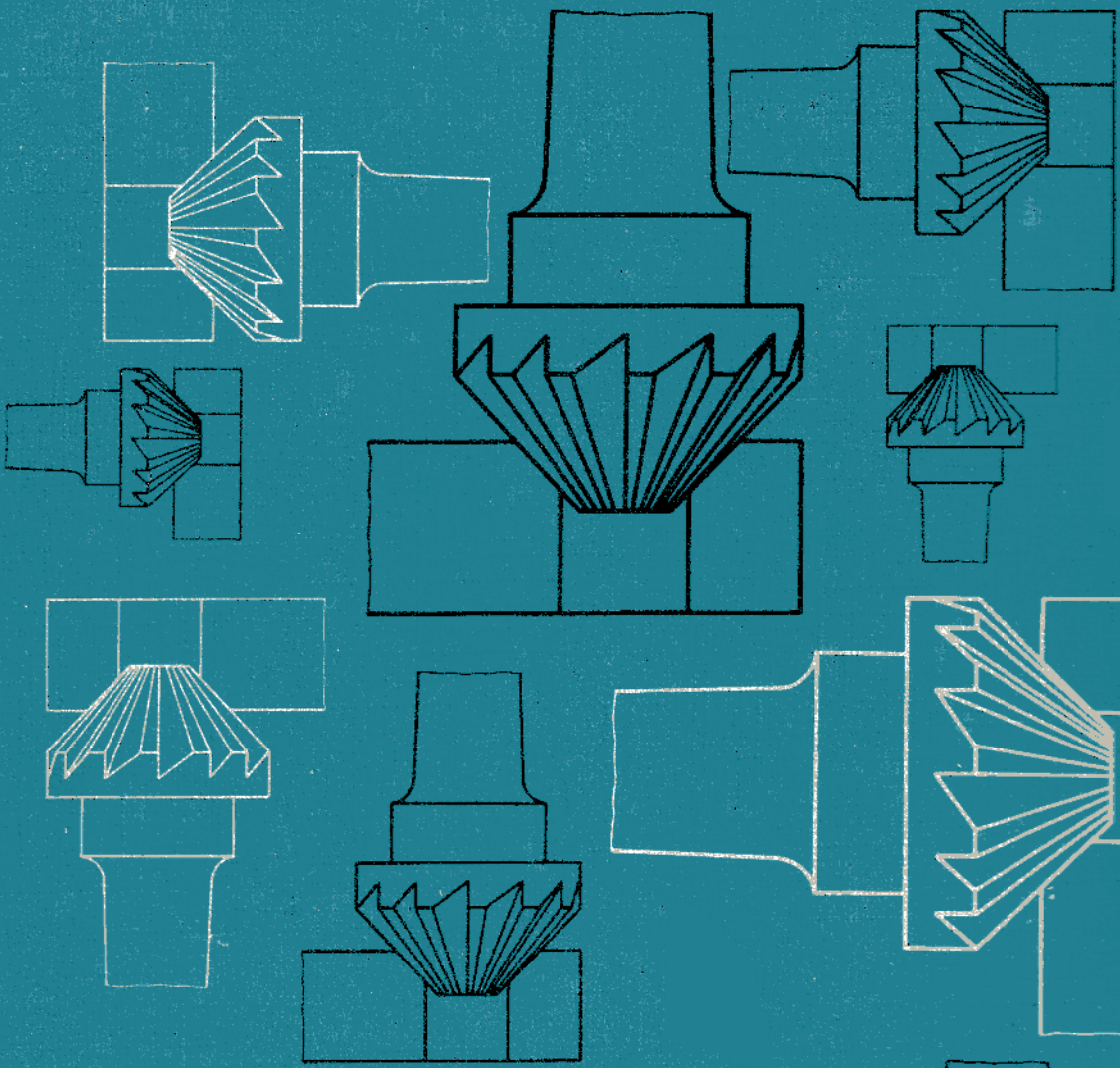
FRIEDRICH-TABELLENBÜCHER

METALL



VEB FACHBUCHVERLAG
LEIPZIG

FRIEDRICH-TABELLENBÜCHER

METALL

FRIEDRICH-TABELLENBÜCHER

Herausgegeben von Oberingenieur Adolf Teml

METALL

19., neubearbeitete Auflage (654. bis 723. Tausend) · Mit etwa 1800 Bildern



VEB FACHBUCHVERLAG LEIPZIG

Auf Grund der raschen Weiterentwicklung der Technik ist es notwendig, sich bei Anwendung des Tabellenbuches über den jeweils neuesten Stand aller Vorschriften zu informieren.

Bearbeitet von einem Autorenkollektiv, bestehend aus

Berufsschullehrer Heinrich Reinhold, Leipzig (Federführender),
Oberstudiendirektor Dr.-Ing. Rudi Boberg, Markkleeberg,
Obering. Hans Göttsch, Leipzig,
Dr.-Ing. Rolf Hartmann, Magdeburg,
Ing. Martin Knauth, Leipzig,
Dr. rer. nat. Heiner Köhler, Dresden,
Dr. rer. nat. Herbert Küstner, Markkleeberg,
Dipl.-Ing. Helmut Semrad, Berlin

Diese Ausgabe des FRIEDRICH darf weder direkt noch indirekt in die Bundesrepublik Deutschland und Berlin (West) geliefert oder verbracht werden.

© VEB Fachbuchverlag Leipzig 1975
19. Aufl. (654. bis 723. Tausend)
Lizenznummer: 114-210/116/75; D 205/74
LSV 3407
Verlagslektor: Heinrich Planitzer
Gestaltung: Egon Hunger
Printed in GDR
Satz: Fachbuchdruck Naumburg (Saale)
Fotomechanischer Nachdruck: (52) Nationales Druckhaus VOB National, Berlin
Redaktionsschluß: 28. 2. 1973
Bestellnummer: 545 996 6
EVP 8,60 Mark

Vorwort

Die Tabellenbücher von *Friedrich* haben sich seit Jahrzehnten in der Praxis als gute Ratgeber bewährt und werden auch in der Ausbildung geschätzt. Diesem Wissensspeichertyp – kurze Zugriffszeit und knappe, leicht verständliche Ausdrucksweise – ist es zuzuschreiben, daß die *Friedrich*-Tabellenbücher in der Deutschen Demokratischen Republik hohe Auflagen erlebten.

Diese weite Verbreitung wurde aber vor allem durch ständige Bearbeitung und Vervollständigung der Tabellenwerke erreicht, wobei deren Inhalte stets sowohl auf die volkswirtschaftlichen Erfordernisse wie auch auf die in Wissenschaft und Technik erzielten Fortschritte abgestimmt wurden.

Die vorliegende Ausgabe wurde erweitert durch die Abschnitte Automatisierung, Elektronik (BMSR) von Herrn Dipl.-Ing. *Helmut Semrad*, Elektronische Datenverarbeitung von Herrn Dr. rer. nat. *Heiner Köhler*, Hydraulik und Pneumatik von Herrn Obering. *Fritz Berg*, Verdienter Techniker des Volkes. Den Abschnitt über Allgemeine Grundlagen überarbeitete Herr NPT Dr. rer. nat. *Herbert Küstner*, und wertvolle Hinweise gab Frau Dr. phil. *Erna Padelt*. Völlig neu gestaltet wurden die Abschnitte Schweißen, Löten, Metallkleben und Beschichten von Herrn Dr.-Ing. *Rolf Hartmann*. Herr Oberstudiendirektor Dr.-Ing. *Rudi Boberg* überarbeitete den Abschnitt Gastechnik, und Herr Obering. *Hans Göttsch* ergänzte und modernisierte die Abschnitte Formen und Gießen, Roheisen, Gußeisen, Stahl, Werkstoffprüfung und Werkstoffe. Herr Ing. *Martin Knauth* sah die bisherigen Standards der Halbzeuge kritisch durch, ergänzte die

Tabellen und erweiterte den Abschnitt Bauschlosserarbeiten. Straffungen und Zusätze, z. B. die Neufassung des Abschnittes Wärmekraftmaschinen, stammen von dem federführenden Bearbeiter, Herrn Berufsschullehrer *Heinrich Reinhold*. Zahlreiche Verbesserungsvorschläge zum Gesamtmanuskript unterbreitete Herr Ing. *Helmut Winkler*. Allen Beteiligten sei hiermit für ihre verantwortungsbewußte Mitarbeit gedankt.

Hinweise und Vorschläge zur weiteren Verbesserung des Tabellenbuches nehmen wir auch künftig gern entgegen.

Herausgeber und Verlag

Inhaltsverzeichnis

1. **AG Allgemeine Grundlagen** 11

1.1. Mathematik 11
1.1.1. Zeichen und Symbole 11
1.1.2. Algebra 12
1.1.2.1. Die vier Grundrechenarten 12
1.1.2.2. Bruchrechnung 12
1.1.2.3. Proportionen 13
1.1.2.4. Prozentrechnung 14
1.1.2.5. Potenzieren 14
1.1.2.6. Radizieren (Wurzelziehen) 14
1.1.2.7. Gleichungen ersten Grades mit einer Unbekannten 15
1.1.2.8. Gleichungen ersten Grades mit zwei Unbekannten 15
1.1.2.9. Gleichungen zweiten Grades (quadratische Gleichungen) 16
1.1.2.10. Logarithmen 16
1.1.2.11. Rechenstab 17
1.1.2.12. Fehlerfortpflanzung (Größtfehler) 18
1.1.3. Geometrie 19
1.1.3.1. Formeln für Flächenberechnung (Planimetrie) 19
1.1.3.2. Formeln für Volumenberechnung (Stereometrie) 20
1.1.3.3. Winkelfunktionen (Goniometrie) 21
1.1.3.4. Berechnungen an Dreiecken (Trigonometrie) 23
1.1.3.5. Geometrische Grundkonstruktionen 24
1.1.3.6. Aus der analytischen Geometrie 24
1.1.4. Zahlentafeln 25

1.2. Aus der Physik 48
1.2.1. Einheiten 48
1.2.2. Aus der Mechanik 56
1.2.2.1. Einfache Maschinen 56
1.2.2.2. Arbeit und Leistung 57
1.2.2.3. Reibung 58
1.2.2.4. Dichte 59
1.2.3. Aus der Festigkeitslehre 60
1.2.3.1. Zugbeanspruchung 60
1.2.3.2. Druckbeanspruchung 60
1.2.3.3. Biegebeanspruchung 60
1.2.3.4. Schub- und Scherbeanspruchung 61
1.2.3.5. Drehbeanspruchung 61
1.2.3.6. Knickbeanspruchung 61
1.2.4. Aus der Wärmelehre 63
1.2.4.1. Wärmeausdehnungskoeffizient 63
1.2.4.2. Spezifische Wärmekapazität 63
1.2.4.3. Schmelzwärme und Verdampfungswärme 64
1.2.4.4. Wärmeleitfähigkeit 64
1.2.5. Aus der Elektrizitätslehre 66
1.2.5.1. Grundbegriffe 66
1.2.5.2. Spezifischer elektrischer Widerstand 67
1.2.5.3. Wechselstromkreis 68
1.2.5.4. Drehstrom (Dreiphasenstrom) 68

1.3. Aus der Chemie 68
1.3.1. Die chemischen Elemente 68
1.3.1.1. Periodensystem 68
1.3.1.2. Relative Atommassen 70
1.3.2. Trivialname und chemische Benennung technisch wichtiger Stoffe 70
1.3.3. Elektrochemische Äquivalente 71
1.3.4. Physikalische Konstanten 71

2. **Pl Plaste** 72

2.1. Allgemeines 72
2.2. Aufbau der Plaste 72
2.3. Einteilung der Plaste 72
2.4. Übersicht über die wichtigsten Plaste 73
2.5. Verarbeitung der Plaste 75
2.5.1. Spanlose Verarbeitung 75
2.5.2. Spanabhebende Bearbeitung der Plast-Halbzeuge 77
2.6. Verwendung der Plaste (Beispiele) 77

3. **ME Maschinenelemente** 79

3.1. Wellen, Keile, Federn, Kreisbewegung, Riemen und Zahnradtriebe 79
3.2. Niete und Nietverbindungen 83
3.3. Schrauben und Gewinde 85
3.4. Rohre, Formstücke, Flansche 92
3.5. Normalabmessungen für Ventile 97
3.6. Keilriemen 98

4. **El Elektrik, Elektronik** 101

4.1. Schaltungen 101
4.2. Lichttechnik 101
4.3. Spannungen für elektrische Anlagen, Stromstärken, Leistungen, Nennströme 101
4.4. Elektronik 108
4.4.1. Aufbau elektronischer Geräte 108
4.4.2. Standardisierte Schaltzeichen und Symbole 108
4.4.3. Grundschaltelemente 111
4.4.4. Halbleiterbauelemente 116
4.4.4.1. Allgemeine Grundlagen 116
4.4.4.2. Elektronische Schaltungen 119

5. **TZ Technisches Zeichen** 121

5.1. Blattgrößen 121
5.2. Schräge Schrift für Zeichnungen; Linienarten und Liniengruppen 121
5.3. Maßeintragung 122
5.3.1. Allgemeines 122
5.3.2. Maßlinien, Maßhilfslinien 122
5.3.3. Maßpfeile 123
5.3.4. Maßzahlen 123
5.3.5. Halbmesser 125
5.3.6. Durchmesserzeichen 125
5.3.7. Quadratzeichen und Diagonalkreuz 125
5.3.8. Kugel 126
5.3.9. Kegel, Verjüngung, Neigung 126
5.3.10. Nuten 127
5.3.11. Anordnung und Auswahl der Maße 127
5.3.12. Lochteilungen 129
5.3.13. Kreisteilungen 130
5.3.14. Bogenmaße 130
5.3.15. Gleichheitszeichen bei symmetrischen Körpern 131
5.3.16. Gewinde 131
5.3.17. Toleranzen und Passungen 132
5.3.18. Laufende Nummern der Teile 134
5.4. Schrauben- und Zahnraddarstellungen 134
5.5. Beispiele zum technischen Zeichnen 135

6. **EDV Elektronische Datenverarbeitung** 138

6.1. Bedeutung der elektronischen Datenverarbeitung 138
6.1.1. Allgemeines 138
6.1.2. Organisationsformen der elektronischen Datenverarbeitung 138
6.1.3. Anwendungskomplexe 138
6.2. Grundlagen der elektronischen Datenverarbeitung 138
6.2.1. Informationsdarstellung 138

6.2.2. Mathematische Grundlagen 139
6.2.2.1. Zahlendarstellung 139
6.2.2.2. Arithmetische Operationen 139
6.2.2.3. Logische Operationen 139
6.3. Datenerfassung und Datenaufbereitung . . . 141
6.3.1. Datenbereitstellung 141
6.3.2. Datenerfassung 141
6.3.3. Datenträger 141
6.3.4. Verschlüsselung (Codierung) 141
6.4. Aufbau und Arbeitsweise von elektronischen Datenverarbeitungsanlagen 142
6.4.1. Anforderungen und Grundfunktionen 142
6.4.2. Prinzip der Programmsteuerung 144
6.4.3. Aufbau einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage (EDVA) 145
6.4.4. Die EDVA ROBOTRON 300 147
6.4.5. Die EDVA ES 1040 147
6.5. Vorbereitung von Datenverarbeitungsaufgaben 147
6.5.1. Flußtechnik 147
6.5.1.1. Datenflußplan 147
6.5.1.2. Programmablaufplan und Sinnbilder 147
6.5.2. Elemente der Programmierung 148
6.5.2.1. Programmierung 148
6.5.2.2. Programmiersprachen 148
6.5.3. Systemunterlagen 150
6.6. Das Einheitliche System der elektronischen Rechentechnik (ESER) 150

7. **Au Automatisierung** 151

7.1. Kybernetik 151
7.1.1. Begriffsbestimmung 151
7.1.2. Arbeitsgebiete der Kybernetik 151
7.1.3. Technische Kybernetik 152
7.1.4. Methoden der Kybernetik 153
7.2. Steuern und Regeln 153
7.2.1. Einführung 153
7.2.2. Steuerungstechnik 164
7.2.3. Regelungstechnik 165
7.2.4. System Ursamat 168
7.2.5. Einheitssignale 168
7.2.6. Steuerungen mit spezieller Aufgabenstellung . 168
7.2.7. Numerisch gesteuerte Maschinen 176

8. **AM Allgemeine Metallkunde** 180

8.1. Allgemeine Übersichten über metallische Werkstoffe 180
8.2. Kristalliner Aufbau 180
8.2.1. Gittertypen 189
8.2.2. Kristallarten 190
8.3. Zustandsdiagramme 190
8.3.1. Grundlagen der Zustandsdiagramme 190
8.3.2. Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, Eisen-Kohlenstoff-Schaubild 192
8.3.3. Gefügezusammensetzung der technischen Eisensorten 194
8.3.4. Gefügeveränderungen beim Erwärmen und Abkühlen 195
8.4. Wärmebehandlung 195
8.4.1. Glühen 195
8.4.2. Härten und Anlassen des Stahles 196
8.4.3. Vergüten 199
8.4.4. Öfen zum Erhitzen 199
8.5. Korrosion und Korrosionsschutz 200
8.5.1. Ursachen und Arten der Korrosion 200
8.5.2. Korrosionsschutz und Oberflächenveredlung . 202

9. **WP Werkstoffprüfung** 206

9.1. Aufgaben, allgemeine Einteilung 206
9.2. Mechanisch-technologische Prüfverfahren . . 206
9.2.1. Begriffsbestimmung 206
9.2.2. Statische Meß- und Prüfverfahren 206
9.2.3. Dynamische Festigkeitsprüfungen 210
9.2.4. Härtemessungen 211
9.2.5. Technologische Untersuchungen 214
9.3. Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung 214
9.3.1. Allgemeines 214
9.3.2. Prüfung mit RÖNTGEN- und Gammastrahlen 214
9.3.3. Ultraschall-Prüfverfahren 216
9.3.4. Magnetische Prüfverfahren 216
9.3.5. Prüfungen mit Penetrierflüssigkeiten 217
9.4. Chemisch-technische Prüfverfahren 217
9.5. Metallographische Prüfverfahren 218
9.6. Verschleiß- und Korrosionsprüfungen 219
9.7. Plastprüfungen 219
9.7.1. Einfache Verfahren zur Plastidentifizierung . 219
9.7.2. Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der Kennwerte 221

10. **ESt Roheisen, Gußeisen, Stahl** 222

10.1. Allgemeine Übersicht 222
10.2. Darstellung des Roheisens 223
10.3. Stahlerzeugung im Hüttenwerk 224

11. **We Standardisierung der Werkstoffe, Halbzeuge und Profile** 230

11.1. Benennung der Eisen- und Stahlsorten . . . 230
11.2. Zusammensetzung und Eigenschaften wichtiger Stähle 231
11.3. Stähle nach GOST und vergleichbaren TGL . 236
11.4. Leichtmetalle, Leichtmetallegierungen . . . 237
11.5. Schwermetallegierungen, Lote 246
11.5.1. Kupfer-Gußlegierungen 246
11.5.2. Feinzink-Gußlegierungen 246
11.5.3. Lote 246
11.6. Standardisierte Profile aus Leichtmetall, Stahl und in Leichtbauausführung 247

12. **Ur Urformen** 256

12.1. Begriff, Gießmetalle 256
12.2. Öfen 256
12.3. Werkzeuge, Modelle, Formen und Formerei . 259
12.3.1. Urformwerkzeuge für die Gießereiindustrie . 259
12.3.2. Hand-, Herd-, Kasten-, Schablonen-, Lehm-, Maschinenformerei und spezielle Formverfahren 267
12.4. Spezielle Gießverfahren in Dauerformen . . . 271
12.5. Gußputzen, Gußfehler, Gußfehlerbehebung . 273
12.6. Pulvermetallurgie 277

13. **Sch Schmieden, Schweißen, Metallkleben, Löten** 279

13.1. Schmieden 279
13.2. Schweißen 282
13.2.1. Begriff, Unterteilung 282
13.2.2. Schweißverfahren 283
13.2.3. Schweißelektroden 288
13.2.4. Schweißdrähte 288
13.2.5. Schweißpulver 290
13.2.6. Schweißstromquellen 290
13.2.7. Nachbehandlung geschweißter Teile, Spannungen 294
13.2.8. Darstellung geschweißter Konstruktionen, Nahtformen 295
13.2.9. Berechnung der Schweißverbindungen . . . 295
13.2.10. Ausführungsklassen der Schweißnähte, Gestaltungsrichtlinien 300
13.3. Metallkleben 301
13.3.1. Allgemeines 301
13.3.2. Klebstoffe, Vorbehandlungen 301
13.3.3. Technologie, Konstruktion, Arbeitsschutz . . 304
13.4. Löten 308

14. **Me Anreißen, Messen, Passungen, Betriebstechnik** . . . 310

14.1. Anreißen 310
14.2. Messen und Meßzeuge 311
14.3. Toleranzen, Passungen 315
14.4. Betriebsmeßtechnik 323

15. **Tr Trennen** 328
15.1. Allgemeines 328
15.2. Meißeln, Sägen, Feilen, Hobeln und Stoßen, Schaben und Räumen 328
15.3. Senken, Bohren, Fräsen 334
15.4. Drehen, Gewindeschneiden, Wechselräder . . 339
15.5. Abschneiden, Lochen, Ausschneiden 353
15.6. Schleifen und Polieren 354
15.7. Gesinterte Hartmetalle, Zerspanungsgruppen . 357
15.8. Berechnungen, Tabellen, Diagramme 363

16. **VA Mechanische, hydraulische, pneumatische Vorrichtungen und Aggregate; Container** 370
16.1. Spann- und Haltezeuge 370
16.2. Hydraulik 374
16.3. Pneumatik 382
16.4. Container 385

17. **KM Kraftmaschinen** 386
17.1. Wasserkraftmaschinen 386
17.2. Wärmekraftmaschinen 386

18. **GT Gastechnik** 394
18.1. Gaserzeugungstechnik 394
18.2. Gasaufbereitungstechnik 399
18.3. Gasfortleitungs- und Gasverteilungstechnik . 401
18.4. Gasanwendungstechnik 402

19. **Be Beschichten** 406
19.1. Metallspritzen 406
19.2. Galvanotechnik 412

20. **RS Reibung und Schmierung** . . . 414

21. **BA Bauschlosserarbeiten** . . . 416
21.1. Türen und Tore aus Stahl 416
21.2. Schlösser für Türen und Tore 417
21.3. Stahlgitter 417
21.4. Stahlfenster 421

1. Allgemeine Grundlagen

1.1. Mathematik

1.1.1. Zeichen und Symbole

In den Tabellen 1.1···1.5 sind die wichtigsten mathematischen Zeichen, die römischen Zahlzeichen sowie das deutsche, griechische und russische Alphabet zusammengestellt.

Tabelle 1.1: Mathematische Zeichen (nach TGL 0-1302)

Zeichen	Bedeutung
$+$	plus
$-$	minus
$\cdot$ oder $\times$	mal
: oder	
/ oder $-$	durch, geteilt durch, zu
...	und so weiter bis
%	Prozent (vom Hundert)
‰	Promille (vom Tausend)
$=$	gleich
$\neq$	nicht gleich, ungleich
$\equiv$	identisch gleich
$\approx$	nahezu gleich, etwa
$\triangleq$	entspricht
$<$	kleiner als
$>$	größer als
$\leq$	kleiner oder gleich
$\geq$	größer oder gleich
$\ll$	klein gegen
$\gg$	groß gegen
∞	unendlich
$\parallel$	parallel
$\nparallel$	nicht parallel
$\dot{\parallel}$	gegensinnig parallel
$\ddot{\parallel}$	gleichsinnig parallel
$\perp$	rechtwinklig zu, senkrecht auf
$\cong$	kongruent
$\sim$	proportional, ähnlich, äquivalent (Mengenlehre)
$\sphericalangle$	Winkel
Σ	Summe
$\sqrt{}$	Quadratwurzel aus
$\overline{AB}$	Strecke AB
$\overset{\frown}{AB}$	Bogen AB
d	Differentialzeichen
π	LUDOLFsche Zahl, Pi, $\pi = 3{,}141592\ldots$
e	Basis der natürlichen Logarithmen e = 2,71828...
$\log_a$	Logarithmus zur Basis a
lg	Zehnerlogarithmus (Basis 10; BRIGGSscher oder gewöhnlicher Logarithmus)
ln	natürlicher Logarithmus (Basis e)
lb	Zweierlogarithmus (Basis 2)
M_a	Modul des Logarithmensystems zur Basis a
sin	Sinus
cos	Kosinus
tan	Tangens
cot	Kotangens
°, ', ''	Grad, Minute, Sekunde
g, c, cc	Neugrad, Neuminute, Neusekunde
$\mathfrak{a}, \mathfrak{b}, \mathfrak{c}$	Vektor a, b, c
$\mathfrak{A}, \mathfrak{B}, \mathfrak{C}$	Vektor A, B, C
$\in$	Element aus
$\notin$	nicht Element aus
$\subset$	enthalten in
$\subseteq$	echt enthalten in
$\cup$	vereinigt mit
$\cap$	geschnitten mit

Tabelle 1.2: Römische Zahlzeichen)*

I = 1	XX = 20	CC = 200	M = 1000
II = 2	XXX = 30	CCC = 300	MCC = 1200
III = 3	XL = 40	CD = 400	MCD = 1400
IV = 4	L = 50	D = 500	MDCC = 1700
V = 5	LX = 60	DC = 600	MCM = 1900
VI = 6	LXX = 70	DCC = 700	MCMXC = 1990
VII = 7	LXXX = 80	DCCC = 800	MCMXCIX = 1999
VIII = 8	XC = 90	CM = 900	MM = 2000
IX = 9	XCIX = 99	CMXC = 990	
X = 10	C = 100	CMXCIX = 999	

*) I, X oder C werden nur den beiden nächsthöheren Zahlzeichen vorangestellt.

Beispiele: 253 = CCLIII; 1975 = MCMLXXV.

Tabelle 1.3: Deutsches Alphabet

Antiqua	Fraktur Druckschrift	Fraktur Schreibschrift	Antiqua	Fraktur Druckschrift	Fraktur Schreibschrift
A, a	$\mathfrak{A}$, $\mathfrak{a}$	$\mathcal{A}$ $\mathcal{a}$	N, n	$\mathfrak{N}$, $\mathfrak{n}$	$\mathcal{N}$ $\mathcal{n}$
B, b	$\mathfrak{B}$, $\mathfrak{b}$	$\mathcal{B}$ $\mathcal{b}$	O, o	$\mathfrak{O}$, $\mathfrak{o}$	$\mathcal{O}$ $\mathcal{o}$
C, c	$\mathfrak{C}$, $\mathfrak{c}$	$\mathcal{C}$ $\mathcal{c}$	P, p	$\mathfrak{P}$, $\mathfrak{p}$	$\mathcal{P}$ $\mathcal{p}$
D, d	$\mathfrak{D}$, $\mathfrak{d}$	$\mathcal{D}$ $\mathcal{d}$	Q, q	$\mathfrak{Q}$, $\mathfrak{q}$	$\mathcal{Q}$ $\mathcal{q}$
E, e	$\mathfrak{E}$, $\mathfrak{e}$	$\mathcal{E}$ $\mathcal{e}$	R, r	$\mathfrak{R}$, $\mathfrak{r}$	$\mathcal{R}$ $\mathcal{r}$
F, f	$\mathfrak{F}$, $\mathfrak{f}$	$\mathcal{F}$ $\mathcal{f}$	S, s	$\mathfrak{S}$, $\mathfrak{s}$	$\mathcal{S}$ $\mathcal{s}$ ß
G, g	$\mathfrak{G}$, $\mathfrak{g}$	$\mathcal{G}$ $\mathcal{g}$			ß
H, h	$\mathfrak{H}$, $\mathfrak{h}$	$\mathcal{H}$ $\mathcal{h}$	T, t	$\mathfrak{T}$, $\mathfrak{t}$	$\mathcal{T}$ $\mathcal{t}$
I, i	$\mathfrak{I}$, $\mathfrak{i}$	$\mathcal{I}$ $\mathcal{i}$	U, u	$\mathfrak{U}$, $\mathfrak{u}$	$\mathcal{U}$ $\mathcal{u}$
J, j	$\mathfrak{J}$, $\mathfrak{j}$	$\mathcal{J}$ $\mathcal{j}$	V, v	$\mathfrak{V}$, $\mathfrak{v}$	$\mathcal{V}$ $\mathcal{v}$
K, k	$\mathfrak{K}$, $\mathfrak{k}$	$\mathcal{K}$ $\mathcal{k}$	W, w	$\mathfrak{W}$, $\mathfrak{w}$	$\mathcal{W}$ $\mathcal{w}$
L, l	$\mathfrak{L}$, $\mathfrak{l}$	$\mathcal{L}$ $\mathcal{l}$	X, x	$\mathfrak{X}$, $\mathfrak{x}$	$\mathcal{X}$ $\mathcal{x}$
M, m	$\mathfrak{M}$, $\mathfrak{m}$	$\mathcal{M}$ $\mathcal{m}$	Y, y	$\mathfrak{Y}$, $\mathfrak{y}$	$\mathcal{Y}$ $\mathcal{y}$
			Z, z	$\mathfrak{Z}$, $\mathfrak{z}$	$\mathcal{Z}$ $\mathcal{z}$

Tabelle 1.4: Griechisches Alphabet

A, α	B, β	Γ, γ	Δ, δ	E, ε	Z, ζ	H, η	Θ, ϑ
Alpha	Beta	Gamma	Delta	Epsilon	Zeta	Eta	Theta
I, ι	$K, \varkappa$	Λ, λ	M, μ	N, ν	Ξ, ξ	O, o	Π, π
Iota	Kappa	Lambda	My	Ny	Xi	Omikron	Pi
P, ϱ	Σ, σ	T, τ	Y, υ	Φ, φ	X, χ	Ψ, ψ	Ω, ω
Rho	Sigma	Tau	Ypsilon	Phi	Chi	Psi	Omega

Tabelle 1.5: Russisches Alphabet

Druckschrift	Umschreibung	Name	Druckschrift	Umschreibung	Name
А, а	a	a	Р, р	r	er
Б, б	b	be	С, с	s	eß
В, в	v	we	Т, т	t	te
Г, г	g (h)	ge	У, у	u	u
Д, д	d	de	Ф, ф	f	ef
Е, е	e	je	Х, х	ch	cha
Ё, ё	jo	e (ou)	Ц, ц	z	ze
Ж, ж	sh wie j	sche (weich)	Ч, ч	tsch	tsche
			Ш, ш	sch	scha
З, з	wie s in Rose	se	Щ, щ	schtsch	schtscha
			Ъ, ъ	hartes Zeichen	
И, и	i	i			
Й, й	i	kurzes i	Ы, ы	y	jerrü
К, к	k	ka	Ь, ь	weiches Zeichen	
Л, л	l (hart)	el			
М, м	m	em	Э, э	ae	e
Н, н	n	en	Ю, ю	ju	ju
О, о	o	o	Я, я	ja	ja
П, п	p	pe			

1.1.2. Algebra

Die Algebra lehrt die Anwendung der arithmetischen Rechnung auf allgemeine, durch Buchstaben ausgedrückte Größen. Die Buchstaben können jede beliebige Zahl bedeuten. In derselben Rechnung hat jedoch ein bestimmter Buchstabe immer nur denselben Wert.

1.1.2.1. Die vier Grundrechenarten

Addieren

Das Rechenzeichen ist »+« (gelesen »plus«). In $a + b = c$ sind a und b die *Summanden*, c ist die *Summe*. Die Reihenfolge der Summanden ist beliebig. Der besseren Übersicht halber ordnet man sie alphabetisch.

Beispiel: $a + c + b + d = a + b + c + d$.

Regel: Gleichbenannte Summanden addiert man, indem man ihre Beizahlen addiert.

Beispiele: $4x + 5y + 3x + 4y = 7x + 9y$;

$a + a + a = 3a$;

$3a + b + 2c - a + b + c = 2a + 2b + 3c$.

Subtrahieren

Das Rechenzeichen ist »−« (gelesen »minus«).
In $a - b = c$ ist a der *Minuend*, b der *Subtrahend* und c die *Differenz*. Nur gleichbenannte Größen lassen sich subtrahieren.

Regel: Gleichbenannte Größen subtrahiert man, indem man ihre Beizahlen subtrahiert.

Beispiele: $10a - 6a = 4a$;

$5a - 3a - 2b = 2a - 2b$;

$9a + 9b - 7a + 3c - 6b - c = 2a + 3b + 2c$.

Ausdrücke der Gestalt $2a + 3b - c$ bezeichnet man als algebraische Summen. Soll mit einer algebraischen Summe eine Rechnung ausgeführt werden, so schließt man sie in runde bzw. eckige *Klammern*. Beim ersten Glied der Klammer läßt man das Vorzeichen weg, wenn es positiv ist; $3a$ hat also den Wert $+3a$.

Regel: Eine Klammer, vor der das Rechenzeichen »+« steht, kann man beim Addieren ohne Einfluß auf das Resultat fortlassen. Steht vor einer Klammer das Rechenzeichen »−«, so löst man sie auf, indem man die Vorzeichen aller Glieder der Klammer umkehrt.

Beispiele: $a + (b + c) = a + b + c$;

$a + (b - c) = a + b - c$;

$(3a + 5b + 6c) + 7a = 3a + 7a + 5b + 6c$

$= 10a + 5b + 6c$;

$a - (b + c) = a - b - c$;

$a - (b - c) = a - b + c$;

$a - (-b - c) = a + b + c$;

$9a - 7b + 3 - [(14a - 19b - 8) - (23a - 15b + 6)]$
$= 9a - 7b + 3 - (14a - 19b - 8) + (23a - 15b + 6)$
$= 3 + 9a - 7b - 14a + 19b + 8 + 23a - 15b + 6$
$= 3 + 8 + 6 + 9a + 23a - 14a + 19b - 7b - 15b$
$= 17 + 18a - 3b$.

Multiplizieren

Das Rechenzeichen ist »·« (gelesen »mal«). Der Multiplikationspunkt ist bei der Buchstabenrechnung möglichst wenig zu verwenden.
In $ab = c$ sind a und b die *Faktoren*, und c ist das *Produkt*. Die Faktoren darf man vertauschen. Es ist z. B.

$abc = acb = bac = bca = cab$.

Regel: Multipliziert man zwei Zahlen, die gleiches Vorzeichen haben, so ist das Produkt positiv. Das Produkt aus zwei Zahlen mit verschiedenen Vorzeichen ist negativ.

Beispiele: $(+a)(+b) = +(ab)$; $(-a)(-b) = +(ab)$;

$(+a)(-b) = -(ab)$; $(-a)(+b) = -(ab)$.

Regel: Man multipliziert algebraische Summen, indem man jedes Glied der einen Summe mit jedem Glied der anderen Summe multipliziert.

Beispiele: $(a + b)c = ac + bc$; $(a + b)(-c) = -ac - bc$;

$(a + b)(c + d) = ac + bc + ad + bd$.

Merke: Man kann zwei Produkte erst dann addieren oder subtrahieren, wenn innerhalb der Produkte die Multiplikation ausgeführt ist.

Beispiel: $(a + b + c)d + a(b + d)$
$= ad + bd + cd + ab + ad$
$= ab + ad + ad + bd + cd$
$= ab + 2ad + bd + cd$.

Regel: Produkte werden miteinander multipliziert, indem man die Faktoren in beliebiger Reihenfolge multipliziert.

Beispiele: $(3a)(4b) = 3 \cdot 4ab = 12ab$;

$4a \cdot (5b - 3c) + 2a(3b + 8c)$
$= 5 \cdot 4ab - 3 \cdot 4ac + 2 \cdot 3ab + 2 \cdot 8ac$
$= 20ab - 12ac + 6ab + 16ac = 26ab + 4ac$.

Dividieren

Das Rechenzeichen ist der Doppelpunkt »:« (gelesen »geteilt durch«). Das Dividieren ist die Umkehrung des Multiplizierens:

$3 \cdot 4 = 12$; $12 : 4 = 3$; $12 : 3 = 4$.

In der Gleichung $a : b = c$ ist a der *Dividend*, b der *Divisor* und c der *Quotient*.

Regel: Dividiert man zwei Zahlen, die gleiches Vorzeichen haben, so ist der Quotient positiv. Der Quotient aus zwei Zahlen mit verschiedenen Vorzeichen dagegen ist negativ.

Beispiele: $(+a) : (+b) = +(a : b)$; $(-a) : (-b) = +(a : b)$;

$(-a) : (+b) = -(a : b)$; $(+a) : (-b) = -(a : b)$.

Regel: Eine algebraische Summe wird durch eine Zahl geteilt, indem man jedes einzelne Glied der Summe durch diese Zahl dividiert.

Beispiele: $(a + b) : c = a : c + b : c$;

$(a - b) : c = a : c - b : c$;

$(32ac + 16bc + 24cd) : 2b$
$= 32ac : 2b + 16bc : 2b + 24cd : 2b = 16\frac{ac}{b} + 8c + 12\frac{cd}{b}$.

Hat man zwei algebraische Summen zu dividieren, so werden zunächst beide auf gleiche Weise geordnet. Dann teilt man das erste Glied des Dividenden durch das erste Glied des Divisors. Mit dem so erhaltenen Quotienten multipliziert man den gesamten Divisor. Dieses Produkt ist vom Dividenden abzuziehen. Bleibt ein Rest, so verfährt man mit ihm ebenso.

Beispiele:

$$
\begin{array}{l|l}
 & (2ab + b \cdot b + a + a \cdot a + b) : (a + b) \\
- & (a \cdot a + a + 2ab + b + b \cdot b) : (a + b) = a + 1 + b \\
 & a \cdot a \quad + ab \\
\hline
 & \quad + a + ab \quad + b + b \cdot b \\
- & \quad + a \quad\quad + b \\
\hline
 & \quad\quad + ab \quad\quad + b \cdot b \\
- & \quad\quad + ab \quad\quad + b \cdot b \\
\hline
 & \quad\quad\quad 0 \quad\quad\quad 0
\end{array}
$$

1.1.2.2. Bruchrechnung

Allgemeines

$\frac{a}{b}$ ist ein *gemeiner Bruch*; über dem Bruchstrich steht der *Zähler* a, darunter der *Nenner* b.

Man unterscheidet:

$a = 1$ Stammbrüche, z. B. $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{5}$;

$a < b$ echte Brüche, z. B. $\frac{1}{3}, \frac{5}{7}, \frac{11}{15}$;

$a \geqq b$ unechte Brüche, z. B. $\frac{3}{2}, \frac{4}{4}, \frac{11}{9}$;

gleichnamige Brüche, z. B. $\frac{1}{3}, \frac{2}{3}$ und $\frac{5}{3}$;

ungleichnamige Brüche, z. B. $\frac{3}{4}$ und $\frac{2}{5}$.

Erweitern und Kürzen

Regel: Wenn man Zähler und Nenner eines Bruches mit derselben Zahl multipliziert (erweitert) oder durch dieselbe Zahl dividiert (kürzt), ändert sich der Wert des Bruches nicht.

Beispiele: $\frac{a}{b} = \frac{ac}{bc}; \quad \frac{a}{b} = \frac{a:c}{b:c}$

$\frac{2}{3} = \frac{2 \cdot 5}{3 \cdot 5} = \frac{10}{15}; \quad \frac{14}{4} = \frac{14:2}{4:2} = \frac{7}{2} = 3\frac{1}{2}.$

Addieren und Subtrahieren

Regel: Gleichnamige Brüche werden addiert (subtrahiert), indem man ihre Zähler addiert (subtrahiert) und die Summe (Differenz) durch den gemeinsamen Nenner dividiert.

Beispiele: $\frac{a}{c} + \frac{b}{c} = \frac{a+b}{c}; \quad \frac{a}{c} - \frac{b}{c} = \frac{a-b}{c};$

$\frac{1}{5} + \frac{2}{5} + \frac{3}{5} = \frac{6}{5} = 1\frac{1}{5}; \quad \frac{7}{8} - \frac{3}{8} - \frac{1}{8} + \frac{2}{8} = \frac{5}{8}.$

Will man ungleichnamige Brüche addieren (subtrahieren), so muß man sie durch Erweitern gleichnamig machen.

Beispiele:

$\frac{a}{4d} + \frac{b}{6c} = \frac{a \cdot 3c}{4d \cdot 3c} + \frac{b \cdot 2d}{6c \cdot 2d} = \frac{3ac + 2bd}{12cd}$; Hauptnenner $12cd$;

$\frac{2}{3} + \frac{1}{4} = \frac{8}{12} + \frac{3}{12} = \frac{11}{12}$; Hauptnenner 12.

Multiplizieren

Regel: Brüche werden multipliziert, indem man Zähler mit Zähler und Nenner mit Nenner multipliziert.

Beispiele: $\frac{a}{b} \cdot c = \frac{ac}{b}; \quad \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{ac}{bd};$

$\frac{5}{6} \cdot 3 = \frac{5}{6} \cdot \frac{3}{1} = \frac{5 \cdot 3}{6 \cdot 1} = \frac{15}{6} = 2\frac{3}{6} = 2\frac{1}{2};$

$\frac{2}{3} \cdot \frac{4}{11} = \frac{2 \cdot 4}{3 \cdot 11} = \frac{8}{33}.$

Dividieren

Regel: Durch einen Bruch wird dividiert, indem man mit dem umgekehrten (reziproken) Wert multipliziert.

Beispiele: $\frac{a}{b} : \frac{c}{d} = \frac{a}{b} \cdot \frac{d}{c} = \frac{ad}{bc};$

$\frac{a}{b} : c = \frac{a}{b} : \frac{c}{1} = \frac{a}{b} \cdot \frac{1}{c} = \frac{a}{bc};$

$\frac{3}{8} : \frac{3}{4} = \frac{3}{8} \cdot \frac{4}{3} = \frac{3 \cdot 4}{8 \cdot 3} = \frac{12}{24} = \frac{1}{2};$

$\frac{8}{9} : 4 = \frac{8}{9} \cdot \frac{1}{4} = \frac{8 \cdot 1}{9 \cdot 4} = \frac{2}{9}.$

Verwandeln (s. a. Tabelle 1.6)

Unechter Bruch: $\frac{3}{2} = \frac{2}{2} + \frac{1}{2} = 1 + \frac{1}{2} = 1\frac{1}{2};$

$\frac{17}{3} = \frac{15}{3} + \frac{2}{3} = 5\frac{2}{3}; \quad 3\frac{1}{8} = 3 + \frac{1}{8} = \frac{24}{8} + \frac{1}{8} = \frac{25}{8}.$

Tabelle 1.6: Verwandlung einiger Brüche in Dezimalbrüche

$^1/_2 = 0{,}5000$	$^2/_{11} = 0{,}1818$	$^2/_{15} = 0{,}1333$	$^5/_{18} = 0{,}2778$
$^1/_3 = 0{,}3333$	$^3/_{11} = 0{,}2727$	$^4/_{15} = 0{,}2667$	$^7/_{18} = 0{,}3889$
$^2/_3 = 0{,}6667$	$^4/_{11} = 0{,}3636$	$^7/_{15} = 0{,}4667$	$^{11}/_{18} = 0{,}6111$
$^1/_4 = 0{,}2500$	$^5/_{11} = 0{,}4545$	$^8/_{15} = 0{,}5333$	$^{13}/_{18} = 0{,}7222$
$^3/_4 = 0{,}7500$	$^6/_{11} = 0{,}5455$	$^{11}/_{15} = 0{,}7333$	$^{17}/_{18} = 0{,}9444$
$^1/_5 = 0{,}2000$	$^7/_{11} = 0{,}6364$	$^{13}/_{15} = 0{,}8667$	$^1/_{19} = 0{,}0526$
$^2/_5 = 0{,}4000$	$^8/_{11} = 0{,}7273$	$^{14}/_{15} = 0{,}9333$	$^2/_{19} = 0{,}1053$
$^3/_5 = 0{,}6000$	$^9/_{11} = 0{,}8182$	$^1/_{16} = 0{,}0625$	$^3/_{19} = 0{,}1579$
$^4/_5 = 0{,}8000$	$^{10}/_{11} = 0{,}9091$	$^3/_{16} = 0{,}1875$	$^4/_{19} = 0{,}2105$
$^1/_6 = 0{,}1667$	$^1/_{12} = 0{,}0833$	$^5/_{16} = 0{,}3125$	$^5/_{19} = 0{,}2632$
$^5/_6 = 0{,}8333$	$^5/_{12} = 0{,}4167$	$^7/_{16} = 0{,}4375$	$^6/_{19} = 0{,}3158$
$^1/_7 = 0{,}1429$	$^7/_{12} = 0{,}5833$	$^9/_{16} = 0{,}5625$	$^7/_{19} = 0{,}3684$
$^2/_7 = 0{,}2857$	$^{11}/_{12} = 0{,}9167$	$^{11}/_{16} = 0{,}6875$	$^8/_{19} = 0{,}4211$
$^3/_7 = 0{,}4286$	$^1/_{13} = 0{,}0769$	$^{13}/_{16} = 0{,}8125$	$^9/_{19} = 0{,}4737$
$^4/_7 = 0{,}5714$	$^2/_{13} = 0{,}1538$	$^{15}/_{16} = 0{,}9375$	$^{10}/_{19} = 0{,}5263$
$^5/_7 = 0{,}7143$	$^3/_{13} = 0{,}2308$	$^1/_{17} = 0{,}0588$	$^{11}/_{19} = 0{,}5789$
$^6/_7 = 0{,}8571$	$^4/_{13} = 0{,}3077$	$^2/_{17} = 0{,}1176$	$^{12}/_{19} = 0{,}6316$
$^1/_8 = 0{,}1250$	$^5/_{13} = 0{,}3846$	$^3/_{17} = 0{,}1765$	$^{13}/_{19} = 0{,}6842$
$^3/_8 = 0{,}3750$	$^6/_{13} = 0{,}4615$	$^4/_{17} = 0{,}2353$	$^{14}/_{19} = 0{,}7368$
$^5/_8 = 0{,}6250$	$^7/_{13} = 0{,}5385$	$^5/_{17} = 0{,}2941$	$^{15}/_{19} = 0{,}7895$
$^7/_8 = 0{,}8750$	$^8/_{13} = 0{,}6154$	$^6/_{17} = 0{,}3529$	$^{16}/_{19} = 0{,}8421$
$^1/_9 = 0{,}1111$	$^9/_{13} = 0{,}6923$	$^7/_{17} = 0{,}4118$	$^{17}/_{19} = 0{,}8947$
$^2/_9 = 0{,}2222$	$^{10}/_{13} = 0{,}7692$	$^8/_{17} = 0{,}4706$	$^{18}/_{19} = 0{,}9474$
$^4/_9 = 0{,}4444$	$^{11}/_{13} = 0{,}8462$	$^9/_{17} = 0{,}5294$	$^1/_{20} = 0{,}0500$
$^5/_9 = 0{,}5556$	$^{12}/_{13} = 0{,}9231$	$^{10}/_{17} = 0{,}5882$	$^3/_{20} = 0{,}1500$
$^7/_9 = 0{,}7778$	$^1/_{14} = 0{,}0714$	$^{11}/_{17} = 0{,}6471$	$^7/_{20} = 0{,}3500$
$^8/_9 = 0{,}8889$	$^3/_{14} = 0{,}2143$	$^{12}/_{17} = 0{,}7059$	$^9/_{20} = 0{,}4500$
$^1/_{10} = 0{,}1000$	$^5/_{14} = 0{,}3571$	$^{13}/_{17} = 0{,}7647$	$^{11}/_{20} = 0{,}5500$
$^3/_{10} = 0{,}3000$	$^9/_{14} = 0{,}6429$	$^{14}/_{17} = 0{,}8235$	$^{13}/_{20} = 0{,}6500$
$^7/_{10} = 0{,}7000$	$^{11}/_{14} = 0{,}7857$	$^{15}/_{17} = 0{,}8824$	$^{17}/_{20} = 0{,}8500$
$^9/_{10} = 0{,}9000$	$^{13}/_{14} = 0{,}9286$	$^{16}/_{17} = 0{,}9412$	$^{19}/_{20} = 0{,}9500$
$^1/_{11} = 0{,}0909$	$^1/_{15} = 0{,}0667$	$^1/_{18} = 0{,}0556$	$^1/_{21} = 0{,}0476$

Dezimalbruch: $\frac{3}{5} = 3:5 = 6:10 = 0{,}6;$

$\frac{5}{40} = 5:40 = 0{,}125; \quad \frac{9}{11} = 9:11 = 0{,}818181\ldots$

$0{,}5 = \frac{5}{10} = \frac{1}{2}; \quad 0{,}35 = \frac{35}{100} = \frac{7}{20};$

$0{,}875 = \frac{875}{1000} = \frac{7 \cdot 125}{8 \cdot 125} = \frac{7}{8}.$

1.1.2.3. Proportionen

Will man das Verhältnis zweier Zahlen zueinander, z. B. von 15 und 3, bestimmen, so kann man sagen: 15 ist fünfmal so groß wie 3; $15:3 = 5$. Dieses Verhältnis nennt man *geometrisches Verhältnis*.
Eine *geometrische Proportion* ist eine Gleichung zwischen zwei geometrischen Verhältnissen:

$15:3 = 20:4; \quad a:b = c:d.$

Ein geometrisches Verhältnis läßt sich auch als Bruch auffassen; man kann es erweitern oder kürzen:

$\frac{a}{b} = \frac{ac}{bc}; \quad \frac{a}{b} = \frac{a:d}{b:d}.$

Regel: In jeder geometrischen Proportion ist das Produkt der äußeren Glieder gleich dem Produkt der inneren Glieder.

Beispiele:

$\underbrace{a:b = c:d}_{3:6 = 4:8} \qquad a \cdot d = b \cdot c.$

$3 \cdot 8 = 6 \cdot 4 = 24.$

Aus drei Gliedern einer Proportion läßt sich das vierte berechnen. Das unbekannte Glied bezeichnet man in der Regel mit x.

Beispiel: $a:b = c:x; \quad \frac{a}{b} = \frac{c}{x}; \quad ax = bc; \quad x = \frac{bc}{a}.$

Aufgabe: Die Anzahl der Zähne zweier Zahnräder soll sich verhalten wie 3 : 4.
Wieviel Zähne muß das zweite Rad haben, wenn das erste 27 Zähne hat?

$z_1 : z_2 = 3:4; \quad z_1 = 27,$ mithin $27 : z_2 = 3:4.$

$3z_2 = 27 \cdot 4; \quad z_2 = (27 \cdot 4):3 = 36.$

Umgekehrt läßt sich jede Produktengleichung in Proportionen umwandeln. Die Faktoren des einen Produkts werden äußere Glieder, die Faktoren des anderen innere Glieder genannt oder umgekehrt.

1.1.2.4. Prozentrechnung

Prozent, vom Hundert (v. H.), Zeichen %; 10% von 500 ist 50; hierin sind 500 der *Grundwert*, 50 der *Prozentwert*, 10 der *Prozentsatz*.

Regel: Prozentwert : Grundwert = Prozentsatz : 100.

Beispiel: 3% von 1240 M?

$x : 1240 = 3 : 100;$

$100x = 3 \cdot 1240 = 3720,$

$x = 37{,}20$ M.

Merke auch:

1% ≙ Grundwert : 100; 1% von 3408 = 34,08.
2% ≙ Grundwert : 50; 2% von 3408 = 68,16.
2,5% ≙ Grundwert : 40; 2,5% von 3408 = 85,20.
$3^1/_3$% ≙ Grundwert : 30; $3^1/_3$% von 3408 = 113,60.
4% ≙ Grundwert : 25; 4% von 3408 = 136,32.
5% ≙ Grundwert : 20; 5% von 3408 = 170,40.

Promille, vom Tausend (v. T.), Zeichen ‰
1‰ von 5000 ist 5.

Regel: Prozentwert : Grundwert = Prozentsatz : 1000.

Beispiel:
$1^1/_2$‰ von 45000 M?
$x : 45000 = 1{,}5 : 1000,$
$1000x = 45000 \cdot 1{,}5 = 67500,$
$x = 67{,}50$ M.

1.1.2.5. Potenzieren

Ein Produkt mit gleichen Faktoren schreibt man:

$a = a^1,$
$a \cdot a = a^2,$
$a \cdot a \cdot a = a^3,$
$a \cdot a \cdots (m\text{mal}) = a^m$ (»a hoch m« oder »a zur m-ten Potenz«).

In $a^m = c$ ist a die *Grundzahl* oder *Basis*, m die *Hochzahl* oder der *Exponent* und c die *Potenz*.

Regel: Potenzen kann man nur dann addieren oder subtrahieren, wenn sie gleiche Basen und gleiche Exponenten haben.

Beispiele: $2a^4 + 3a^4 = 5a^4$; $4a^2 + 3a = 4a^2 + 3a$.

Ist m eine beliebige natürliche Zahl, so ist $2m$ stets eine gerade, $2m + 1$ stets eine ungerade Zahl.
Für das Vorzeichen der Potenz gilt, je nachdem, ob der Exponent gerade ($2m$) oder ungerade ($2m + 1$) ist:

$(+a)^{2m} = +a^{2m}$ $\quad (+3)^4 = +81,$
$(-a)^{2m} = +a^{2m}$ $\quad (-3)^4 = +81,$
$(+a)^{2m+1} = +a^{2m+1}$ $\quad (+3)^3 = +27,$
$(-a)^{2m+1} = -a^{2m+1}$ $\quad (-3)^3 = -27.$

Regeln für das Potenzrechnen:

$a^m \cdot a^n = a^{m+n},$ $\quad 3^5 \cdot 3^2 = 3^7,$
$a^m : a^n = a^{m-n},$ $\quad 3^5 : 3^2 = 3^3,$
$a^m \cdot b^m = (ab)^m,$ $\quad 3^5 \cdot 4^5 = (3 \cdot 4)^5 = 12^5,$
$a^m : b^m = (a : b)^m,$ $\quad 8^3 : 4^3 = (8 : 4)^3 = 2^3,$
$(a^m)^n = a^{m \cdot n},$ $\quad (3^5)^2 = 3^{10}.$

Ferner gilt: $a^0 = 1$ für $a \neq 0$, $a^{-m} = \frac{1}{a^m}$ für $a \neq 0$.

Beachte: $1^m = 1$; $0^m = 0$.
Die Regeln gelten durch Erweiterung des Potenzbegriffes auch für rationale und irrationale Exponenten.

Anwendungen:

$(a + b)^2 = (a + b)(a + b) = a^2 + 2ab + b^2,$

$(a - b)^2 = (a - b)(a - b) = a^2 - 2ab + b^2,$

$(a + b) \cdot (a - b) = a^2 - ab + ab - b^2 = a^2 - b^2.$

Beispiele:

$a^2 \cdot (a^3 + b + a + 2a^2) = a^5 + a^2b + a^3 + 2a^4,$

$11x(2x^3 + 7x^2 + a) = 22x^4 + 77x^3 + 11ax,$

$(18a^4 - 9a^3) : 3a^2 = 6a^2 - 3a^0 = 6a^2 - 3,$

$x^m : x = x^{m-1};$ $\quad a^2 \cdot b^2 \cdot c^2 = (abc)^2,$

$(4a \cdot 3b)^2 = 16a^2 \cdot 9b^2 = 144a^2b^2.$

1.1.2.6. Radizieren (Wurzelziehen)

Das Radizieren ist eine Umkehrung des Potenzierens. Aus gegebener Potenz und gegebenem Exponenten ist die Basis zu ermitteln.
Löst man die Gleichung $a^m = c$ nach a auf, so ergibt sich $a = \sqrt[m]{c}$ (lies: »a gleich m-te Wurzel aus c«). Hierin sind c der *Radikand*, m der *Wurzelexponent* und a die *Wurzel*.

Regel: Wurzeln kann man nur dann addieren bzw. subtrahieren, wenn sie gleichen Wurzelexponenten und gleichen Radikanden haben.

Beispiele:

$\sqrt[4]{a} + \sqrt[4]{a} = 2\sqrt[4]{a};$

$5 \cdot \sqrt[3]{x} - 2 \cdot \sqrt[3]{x} = 3\sqrt[3]{x};$

$2\sqrt{b} + 3\sqrt{c} = 2\sqrt{b} + 3\sqrt{c}.$

Man schreibt statt $\sqrt[2]{x}$ kurz $\sqrt{x}$.

Für das Rechnen mit geraden und ungeraden Wurzelexponenten ergibt sich, wenn $a > 0$:

$\sqrt[2m]{+a} = \pm a^{\frac{1}{2m}};$ $\quad \sqrt[4]{16} = \pm 2;$ $\quad \sqrt[2m]{-a}$ ist imaginär.

$\sqrt[2m+1]{+a} = +a^{\frac{1}{2m+1}};$ $\quad \sqrt[3]{8} = +2;$

$\sqrt[2m+1]{-a} = -a^{\frac{1}{2m+1}};$ $\quad \sqrt[3]{-8} = -2.$

Für das Rechnen mit Wurzeln gelten folgende *Regeln:*

$\sqrt[m]{a} \cdot \sqrt[m]{b} = \sqrt[m]{a \cdot b};$ $\quad \sqrt[3]{3} \cdot \sqrt[3]{9} = \sqrt[3]{3 \cdot 9} = \sqrt[3]{27} = 3.$

$\sqrt[m]{a} : \sqrt[m]{b} = \sqrt[m]{a : b};$ $\quad \sqrt{32} : \sqrt{2} = \sqrt{32 : 2} = \sqrt{16} = \pm 4.$

$\sqrt[m]{a^n} = \left(\sqrt[m]{a}\right)^n = a^{\frac{n}{m}} = \sqrt[m]{\sqrt[n]{a}};$ $\quad \sqrt{4^3} = (\sqrt{4})^3 = 2^3 = 8;$

$\sqrt[m]{a^m} = a^{\frac{m}{m}} = a^1 = a;$

$\sqrt[m]{a^n} = \sqrt[m \cdot p]{a^{n \cdot p}} = \sqrt[m:p]{a^{n:p}};$ $\quad \sqrt[4]{x^2} = \sqrt[2]{x^1};$

$\sqrt[4]{9x^2} = \sqrt[4]{9} \cdot \sqrt[4]{x^2} = x^2\sqrt{3}.$

$\sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[n]{\sqrt[m]{a}} = \sqrt[m \cdot n]{a};$ $\quad \sqrt[2]{\sqrt[3]{16}} = \sqrt[3]{\sqrt[2]{16}} = \sqrt[3]{4}.$

Berechnen der Quadratwurzel

Da die Quadratwurzel die Umkehrung der zweiten Potenz ist, ergibt sich $\sqrt{a^2 + 2ab + b^2} = a + b$,
denn $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$.
Soll ein dreigliedriger algebraischer Ausdruck radiziert werden, so wird er nach der Form $a^2 + 2ab + b^2$ geordnet. Es ergibt sich dann zur Berechnung der Quadratwurzel:

Rechenschema:

$$a^2 = \sqrt{25x^2 + 40xz + 16z^2} = \overset{(a)}{5x} + \overset{(b)}{4z}$$

$$\begin{array}{rl} & 25x^2 \\ \hline & +\ 40xz + 16z^2 \\ 2ab = & \underline{\ 40xz\ } : 10x \text{ (d. i. } 2a) \\ & +\ 16z^2 \\ b^2 = & \underline{\ 16z^2\ } \\ & 0 \end{array}$$

1. Beispiel:

$$\begin{array}{lll} & & a + b + c \\ & = 600^2 & \sqrt{43|42|81} = 600 + 50 + 9 = 659 \\ & & = 360000 \\ \hline & & 74281 : 2a \text{ bzw. } 2 \cdot 600 \\ & & \text{bzw. } 1200 \approx 60 \\ 2ab & = 2 \cdot 600 \cdot 50 = 60000 & \text{Probe: } (2a + b)b = 1260 \\ \hline & & 14281 \quad \times 60 = 75600 > 74281 \\ & & \text{folglich } b = 50 \\ b^2 & = 50^2 = 2500 & \\ \hline & & = 11781 : 2(a + b) \text{ bzw. } 2 \cdot 650 \\ 2(a + b)c & = 2 \cdot 650 \cdot 9 = 11700 & \text{bzw. } 1300 \\ \hline & & 81 \qquad \approx 9 = c \\ & = 9^2 = 81 & \end{array}$$

2. Beispiel:

$$\begin{array}{lll} & & a + b + c \\ & & \sqrt{6,91|69} = 2 + 0,6 + 0,03 = 2,63 \\ & = 2^2 & = 4,0000 \\ \hline & & 2,9169 : 2a \text{ bzw. } 4 \approx 0,7 \\ 2ab & = 2 \cdot 2 \cdot 0,6 = 2,4000 & \text{Probe: } (2a + b)b = 4,7 \\ \hline & & 0,5169 \quad \times 0,7 = 3,29 > 2,9169 \\ b^2 & = 0,6^2 = 0,3600 & \text{folglich: } b = 0,6 \\ \hline & & 0,1569 : 2(a + b) \text{ bzw. } 2 \cdot 2,6 \\ 2(a + b)c & = 2 \cdot 2,6 \cdot 0,03 = 0,1560 & \text{bzw. } 5,2 \quad \approx 0,03 = c \\ \hline & & 0,0009 \\ & = 0,03^2 = 0,0009 & \end{array}$$

Man zerlegt den Radikanden von der Einerstelle aus nach links in Gruppen zu je zwei Ziffern. Beim Dezimalbruch erfolgt diese Einteilung vom Komma aus nach links und nach rechts. Die Anzahl der Stellen der Wurzel ist gleich der Anzahl der Gruppen des Radikanden. Ist die Wurzel eine dreiziffrige Zahl, so wird sie nach der Formel berechnet:

$$(a + b + c)^2 = a^2 + 2ab + b^2 + 2(a + b)c + c^2$$
$$= a^2 + (2a + b)b + (2a + 2b + c)c.$$

In Beispiel 1 läßt sich der Radikand in drei Gruppen einteilen; also ist die Wurzel eine aus drei Ziffern (a Hunderter, b Zehner, c Einer) bestehende Zahl.
Bei der Berechnung in Beispiel 1 ist die Zehnerzahl b so zu wählen, daß $(2a + b)b < 74281$.
Einfacher läßt sich das Wurzelziehen mit Hilfe von Tabellen oder auf logarithmischem Wege ausführen.

1.1.2.7. Gleichungen ersten Grades mit einer Unbekannten

Verbindet man zwei gleiche Größen durch ein Gleichheitszeichen, so erhält man eine *Gleichung*. Man unterscheidet identische Gleichungen und Bestimmungsgleichungen.

Identische Gleichungen sind z. B. $a + b = b + a$, $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$. Sie sind für jeden Wert von a und b gültig.

Eine *Bestimmungsgleichung* dagegen ist i. allg. nur für *einen* Wert der Unbekannten richtig, z. B. die Gleichung $x + 3 = 10$ für den Wert $x = 7$. Um die Bestimmungsgleichung nach der Unbekannten aufzulösen, müssen auf beiden Seiten der Gleichung dieselben Rechenoperationen ausgeführt werden, so daß sich der Wert der Gleichung nicht ändert.

Beispiele:

$x + 3 = 10$, auf beiden Seiten 3 abziehen, ergibt
$x + 3 - 3 = 10 - 3$,
$x = 7$.

$x - 5 = 20$, auf beiden Seiten 5 hinzuzählen,
$x - 5 + 5 = 20 + 5$,
$x = 25$.

$5x = 25$, beide Seiten durch 5 dividieren,
$\frac{5x}{5} = \frac{25}{5}$,
$x = 5$.

$\frac{x}{3} = 15$, beide Seiten mit 3 multiplizieren,
$\frac{x}{3} \cdot 3 = 15 \cdot 3$,
$x = 45$.

Tritt die Unbekannte in einer Gleichung mehrfach auf, so sind mehrfache Umformungen nötig. Zunächst beseitigt man die Brüche, indem man beide Seiten der Gleichung mit dem Hauptnenner multipliziert; dann löst man die Klammern auf, faßt alle Glieder mit x auf einer Seite zusammen und teilt schließlich beide Seiten der Gleichung durch den Faktor von x.

Beispiele:

$$\frac{12 - 3x}{6} + \frac{8x - 1}{5} - \frac{9x - 4}{7} = \frac{4x - 2}{3},$$

durch den Hauptnenner $6 \cdot 5 \cdot 7 = 210$ teilen, ergibt

$(12 - 3x) \cdot 5 \cdot 7 + (8x - 1) \cdot 6 \cdot 7 - (9x - 4) \cdot 5 \cdot 6$
$= (4x - 2)\, 5 \cdot 7 \cdot 2$,

$420 - 105x + 336x - 42 - 270x + 120 = 280x - 140$,

$336x - 105x - 270x - 280x = 42 - 140 - 420 - 120$,

$336x - 655x = 42 - 680 - 319x = -638$,

$x = (-638) : (-319) = 2$; $x = 2$.

1.1.2.8. Gleichungen ersten Grades mit zwei Unbekannten

Kommen in einer Gleichung zwei *Unbekannte* x, y vor, so lassen sich diese nicht eindeutig bestimmen. Der Gleichung $x + y = 100$ z. B. genügen unendlich viele Wertpaare x, y, etwa $x_1 = 20$, $y_1 = 80$; $x_2 = 40$, $y_2 = 60$ u. a. Hat man dagegen für die beiden Unbekannten zwei lineare Gleichungen, die nicht auseinander durch Umformung entstanden sind und die sich nicht widersprechen, so gibt es nur *ein* Wertpaar, das beiden Gleichungen genügt.
Zum Beispiel werden die Gleichungen $x + y = 100$, $3x - 4y = 20$ nur von den Werten $x = 60$ und $y = 40$ erfüllt. Um die zwei Unbekannten zu finden, stellt man aus den zwei Ausgangsgleichungen eine dritte Gleichung her, die nur eine der beiden Unbekannten enthält und nach dieser aufgelöst werden kann. Dies geschieht meist nach der Einsetzungs-, der Gleichsetzungs- oder der Additionsmethode.

Einsetzungsmethode

$$\begin{array}{ll} \text{I} & 3x + 2y = 18 \\ \text{II} & 4x + \ y = 19 \end{array}$$

Aus Gleichung II folgt

II $y = 19 - 4x$.

Diesen Wert von y setzt man in I ein und erhält

I $3x + 2 \cdot (19 - 4x) = 18$;

hieraus errechnet man $x = 4$ und setzt diesen Wert in I oder II ein:

II $4 \cdot 4 + y = 19$,

$y = 19 - 16$; $y = 3$.

Gleichsetzungsmethode

$$\begin{array}{ll} \text{I} & 3x + 2y = 18 \\ \text{II} & 4x + \ y = 19 \end{array}$$

Man löst beide Gleichungen nach y auf:

$$\begin{array}{ll} \text{I} & y = (18 - 3x) : 2 \\ \text{II} & y = 19 - 4x \end{array}$$

und setzt sie einander gleich:

$(18 - 3x) : 2 = 19 - 4x,$

$18 - 3x = (19 - 4x) \cdot 2; \quad x = 4.$

Durch Einsetzen in I oder II findet man

$y = 3.$

Additions- bzw. Subtraktionsmethode

$$\begin{array}{l|l} \text{I} & 3x + 2y = 18 \\ \text{II} & 4x + y = 19 \end{array}$$

mit 2 erweitern und I von II abziehen:

$$\begin{array}{l|l} \text{II} & 8x + 2y = 38 \\ -\text{I} & 3x + 2y = 18 \\ \hline & 5x = 20 \\ & x = 4. \end{array}$$

Durch Einsetzen in I oder II findet man

$y = 3.$

1.1.2.9. Gleichungen zweiten Grades (quadratische Gleichungen)

Reinquadratische Gleichungen haben die Form $x^2 + q = 0$, die Unbekannte kommt nur in der zweiten Potenz vor. Für $q < 0$ treten zwei reelle Lösungen auf, die sich nur durch das Vorzeichen unterscheiden.

Beispiele: $x^2 = 25,$

$x = \pm\sqrt{25} = \pm 5,$
$x_1 = +5; \quad x_2 = -5.$

$15 + 3x^2 = x^2 + 47,$
$3x^2 - x^2 = 47 - 15,$
$2x^2 = 32,$
$x^2 = 16,$
$x = \pm\sqrt{16},$
$x_1 = 4; \quad x_2 = -4.$

Gemischtquadratische Gleichungen haben die Form $x^2 + px + q = 0$. Man bringt q auf die rechte Seite und ergänzt die linke Seite zu einem Quadrat, indem man auf beiden Seiten das Glied $\left(\frac{p}{2}\right)^2$ addiert (quadratische Ergänzung):

$$x^2 + px + \left(\frac{p}{2}\right)^2 = -q + \left(\frac{p}{2}\right)^2.$$

Nun läßt sich die linke Seite als Quadrat darstellen, und man erhält

$$x^2 + 2 \cdot \frac{p}{2} x + \left(\frac{p}{2}\right)^2 = -q + \left(\frac{p}{2}\right)^2,$$

$$\left(x + \frac{p}{2}\right)^2 = -q + \frac{p^2}{4},$$

$$x + \frac{p}{2} = \pm\sqrt{-q + \frac{p^2}{4}},$$

$$x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{-q + \frac{p^2}{4}}.$$

Beispiel:

$2x^2 + x + 13 = x^2 - 5x + 40,$
$x^2 + 6x = 27,$
$x^2 + 2 \cdot 3x + 3^2 = 27 + 3^2,$
$(x + 3)^2 = 27 + 9 = 36,$
$x + 3 = \pm\sqrt{36},$
$x = -3 \pm 6,$
$x_1 = 3; \quad x_2 = -9.$

Weitere Beispiele:

1. $18{,}75 - 5x = x^2 - 75,$
$18{,}75 + 75 = x^2 + 5x,$
$93{,}75 = x^2 + 2 \cdot 2{,}5x,$
$93{,}75 + 2{,}5^2 = x^2 + 2 \cdot 2{,}5x + 2{,}5^2,$
$93{,}75 + 6{,}25 = (x + 2{,}5)^2,$
$100 = (x + 2{,}5)^2,$
$\pm\sqrt{100} = x + 2{,}5,$
$\pm\sqrt{100} - 2{,}5 = x,$
$\pm 10 - 2{,}5 = x,$
$x_1 = 7{,}5; \quad x_2 = -12{,}5.$

2. $x + 3x^2 = 7x + 45,$
$3x^2 + x - 7x = 45,$
$3x^2 - 6x = 45,$
$x^2 - 2x = 15,$
$x^2 - 2 \cdot 1 \cdot x + 1^2 = 15 + 1^2,$
$(x - 1)^2 = 15 + 1,$
$x - 1 = \pm\sqrt{16}.$
$x = 1 \pm \sqrt{16},$
$x = 1 \pm 4,$
$x_1 = 5; \quad x_2 = -3.$

3. $bx + x^2 - b^2 = 2b^2 + 3bx,$
$x^2 + bx - 3bx = 2b^2 + b^2,$
$x^2 - 2bx = 3b^2,$
$x^2 - 2 \cdot bx + b^2 = 3b^2 + b^2,$
$(x - b)^2 = 4b^2,$
$x - b = \pm\sqrt{4b^2},$
$x = b \pm \sqrt{4b^2},$
$x = b \pm 2b,$
$x_1 = 3b; \quad x_2 = -b.$

1.1.2.10. Logarithmen

Das Logarithmieren ist eine Umkehrung des Potenzierens. Löst man die Gleichung $a^m = c$ nach m auf, so ergibt sich

$m = \log_a c$ (lies: m gleich Logarithmus von c zur Basis a).

Man nennt m den *Logarithmus*, a die *Basis*, c den *Numerus*. Der Logarithmus m einer Zahl c ist also derjenige Exponent, der zur Basis a die Zahl c ergibt.
Alle Logarithmen gleicher Basis bilden ein *Logarithmensystem*. Die Zahl e = 2,718 28... ist Basis der *natürlichen Logarithmen*, $\log_e c = \ln c$. Die natürlichen Logarithmen werden hauptsächlich in der höheren Mathematik benutzt. *Künstliche Logarithmen* sind alle anderen mit beliebiger Basis, z. B. $a = 2$, $\log_2 c = \text{lb}\, c$, oder $a = 10$, $\log_{10} c = \lg c$. Letztere werden BRIGGSsche, *dekadische*, *gewöhnliche* oder *Zehner-Logarithmen* genannt. Sie werden beim Rechnen am häufigsten verwendet.
Für Zehnerpotenzen sind die BRIGGSschen Logarithmen leicht zu bestimmen:

$\lg 1000 = 3$, da $10^3 = 1000,$
$\lg 100 = 2$, da $10^2 = 100,$
$\lg 10 = 1$, da $10^1 = 10,$
$\lg 1 = 0$, da $10^0 = 1,$
$\lg 0{,}1 = -1$, da $10^{-1} = 0{,}1,$
$\lg 0{,}01 = -2$, da $10^{-2} = 0{,}01,$
$\lg 0{,}001 = -3$, da $10^{-3} = 0{,}001$ usw.

Demnach gilt, wenn c der Numerus und m sein Logarithmus bedeuten:

$1000 > c > 100 \quad 3 > m > 2$, z. B. $\lg 348 = 2{,}541\,58,$
$100 > c > 10 \quad 2 > m > 1$, z. B. $\lg 34{,}8 = 1{,}541\,58,$
$10 > c > 1 \quad 1 > m > 0$, z. B. $\lg 3{,}48 = 0{,}541\,58,$
$1 > c > 0 \quad 0 > m > -1$, z. B. $\lg 0{,}348 = 0{,}541\,58 - 1,$
$0 > c > 0{,}1 \quad -1 > m > -2$, z. B. $\lg 0{,}0348 = 0{,}541\,58 - 2,$
$0{,}1 > c > 0{,}01 \quad -2 > m > -3$, z. B. $\lg 0{,}003\,48 = 0{,}541\,58 - 3.$

usw.

Die Logarithmen bestehen also aus einer ganzen Zahl, der *Kennziffer*, und aus der Ziffernfolge nach dem Komma, der *Mantisse*.

Regeln: 1. Für eine Zahl mit n Ziffern vor dem Komma lautet die Kennziffer des Logarithmus $n - 1$.
2. Die negative Kennziffer des Logarithmus von Dezimalzahlen kleiner als 1 ist so groß wie die Anzahl der Nullen vor den geltenden Ziffern.
3. Zahlen mit gleicher Ziffernfolge haben die gleiche Mantisse.

Zugrunde liegen folgende vier *Gesetze*, die die Vorteile des Rechnens mit Logarithmen erkennen lassen:

$$\log (a \cdot b) = \log a + \log b,$$

$$\log \frac{a}{b} = \log a - \log b,$$

$$\log a^n = n \cdot \log a,$$

$$\log \sqrt[n]{a} = \log a^{\frac{1}{n}} = \frac{1}{n} \log a.$$

Multiplizieren wird auf Addieren, Dividieren auf Subtrahieren, Potenzieren auf Multiplizieren und Radizieren auf Dividieren zurückgeführt.

Beispiele:

$$\lg \frac{2{,}8 \cdot 0{,}3}{1{,}7^3} = \lg 2{,}8 + \lg 0{,}3 - 3 \cdot \lg 1{,}7;$$

$$\lg \sqrt[5]{\left(\frac{1{,}4^3 \cdot 0{,}15}{19{,}2}\right)^3} = \frac{3}{5} (2 \cdot \lg 1{,}4 + \lg 0{,}15 - \lg 19{,}2).$$

Zum Rechnen mit Logarithmen dienen *Logarithmentafeln*, je nach der erforderlichen Genauigkeit mit 4-, 5- oder auch mehrstelligen Mantissen. Die Seiten 36 und 37 enthalten fünfstellige Mantissen zu den Logarithmen der Zahlen 1···1000 (Ablesebeispiele siehe unter den Zahlentafeln).

Beispiele:

$x = a \cdot b = 75{,}9 \cdot 9{,}25$ | $\lg a = 1{,}88024$
$\lg x = \lg a + \lg b$ | $+ \quad \lg b = 0{,}96614$
| $\lg x = 2{,}84638; \quad x = 702.$

$x = a : b = 193 : 8{,}93$ | $\lg a = 2{,}28556$
$\lg x = \lg a - \lg b$ | $- \quad \lg b = 0{,}95085$
| $\lg x = 1{,}33471; \quad x = 21{,}6.$

$x = a^n = 7{,}77^3$ | $\lg a = 0{,}89042,$
$\lg x = n \lg a$ | $n \lg a = 2{,}67126; \quad x = 469.$

4. $x = \sqrt[n]{a} = \sqrt{6{,}917}$ | $\lg a = \lg 6{,}92 = 0{,}84011,$
$\lg x = \frac{1}{n} \lg a$ | $\frac{1}{n} \lg a = 0{,}42005; \quad x = 2{,}63.$

1.1.2.11. Rechenstab

Der Rechenstab dient vor allem zum schnellen und sicheren Multiplizieren und Dividieren mit einer für die Praxis ausreichenden Genauigkeit. Er ist zur Überprüfung und überschläglichen Erledigung technischer oder ökonomischer Berechnungen besonders geeignet. Beim Taschen-Rechenstab sind die Skalenlänge 12,5 cm und die Ablesegenauigkeit etwa 3 Stellen, beim Normal-Rechenstab entsprechend 25 cm und 3···4 Stellen.
Der Rechenstab besteht aus *Stabkörper*, verschiebbarer *Zunge* und *Läufer* mit Teilstrich. Körper und Zunge sind mit Skalen versehen, deren wichtigste die logarithmisch geteilten Skalen sind (Bild 1.1):

C, D für Numeri von 1···10
A, B für Quadratzahlen
K für Kubikzahlen
CI für Reziprokzahlen
L für Logarithmen

Da die Skalen des Rechenstabs logarithmischen Maßstab aufweisen, liegen dem Rechenstabrechnen die *Regeln* für das logarithmische Rechnen zugrunde:

$\lg a + \lg b = \lg (ab)$ $\qquad$ $\lg (a^2) = 2 \lg a;$

$\lg a - \lg b = \lg \frac{a}{b};$ $\qquad$ $\lg (a^3) = 3 \lg a.$

Die Stellenzahl ermittelt man am besten überschläglich im Kopf.

Multiplizieren

1. Beispiel: $1{,}3 \cdot 1{,}6$

Über Teilstrich 13 der Skale D stellt man mit Hilfe des Läufers den Teilstrich 1 auf Skale C der Zunge (Bild 1.2). Unter dem Teilstrich 16 der Skale C liest man mit Hilfe des Läuferstrichs auf Skale D als Ergebnis 208 ab. Die Kommastellung findet man durch die Überschlagsrechnung $1{,}3 \cdot 1{,}6 \approx 2$, also ergibt sich $1{,}3 \cdot 1{,}6 = 2{,}08$.

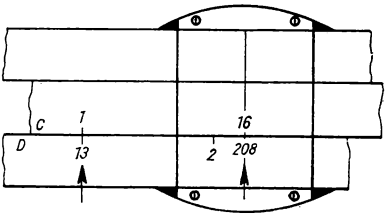


Bild 1.2
Zu Beispiel 1:
$1{,}3 \cdot 1{,}6 = 2{,}08$

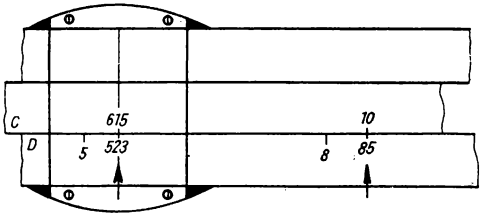


Bild 1.3. Zu Beispiel 2: $8{,}5 \cdot 61{,}5 = 523$

2. Beispiel: $8{,}5 \cdot 61{,}5$

Über Teilstrich 85 der Skale D wird Teilstrich 10 der Skale C gestellt, unter Teilstrich 615 der Skale C auf Skale D 523 abgelesen (Bild 1.3).

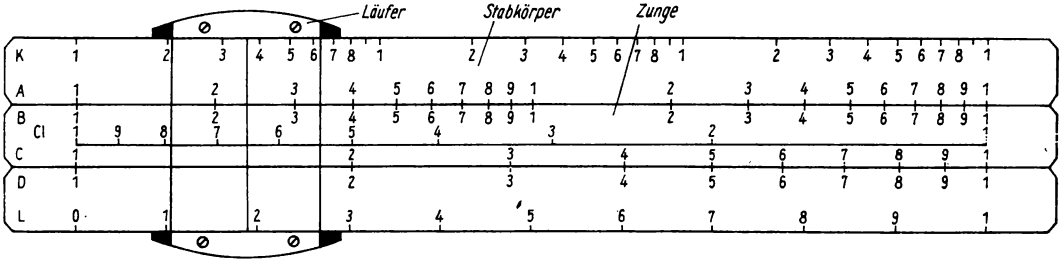


Bild 1.1. Normalrechenstab

Die Überschlagsrechnung ergibt $8{,}5 \cdot 61{,}5 \approx 500$, also erhält man $8{,}5 \cdot 61{,}5 = 523$.
Bei drei und mehr Faktoren multipliziert man zunächst die beiden ersten miteinander, ihr Produkt mit dem dritten Faktor usw.

Dividieren

Beispiel: 32,4 : 1,4

Man stellt den Läuferstrich auf den Dividenden 324 der Skale D und bringt den Divisor 14 der Skale C darüber. Unter Teilstrich 1 (oder 10) der Skale C liest man dann auf Skale D das Ergebnis 231 ab (Bild 1.4). Durch Überschlagsrechnung $32{,}4 : 1{,}4 \approx 30 : 1{,}5 = 20$ erhält man $32{,}4 : 1{,}4 = 23{,}1$.

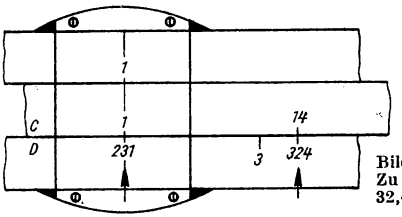


Bild 1.4
Zu Beispiel:
32,4 : 1,4 = 23,1

Liegen Ausdrücke der Form $\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d}{e \cdot f \cdot g}$ vor, so beginnt man am vorteilhaftesten mit Dividieren. Dann multipliziert und dividiert man – ohne Zwischenergebnisse abzulesen – abwechselnd so, daß unnötige Zwischenstellungen vermieden werden.

Beispiel: $\frac{28 \cdot 2{,}85 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}076}{17{,}84 \cdot 22{,}3 \cdot 0{,}007}$.

Man erhält die Ziffernfolge 436. Die Überschlagsrechnung ergibt

$$\frac{30 \cdot 3 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}1}{20 \cdot 20 \cdot 0{,}01} \approx \frac{3 \cdot 3 \cdot 0{,}2 \cdot 1}{2 \cdot 2 \cdot 1} \approx \frac{2}{2 \cdot 2} = 0{,}5;$$

also ist die Lösung 0,436.

Quadrieren

Man findet den Quadratwert einer Zahl, indem man den Läuferstrich über die zu quadrierende Zahl auf Skale D stellt und auf Skale A das Ergebnis abliest (Bild 1.5), z. B. $3{,}1^2 = 9{,}6$;

$31^2 = 960$; $38{,}6^2 = 1490$.

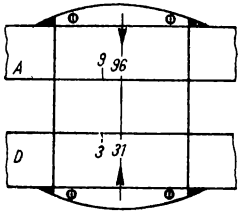


Bild 1.5
Zu Beispiel: $3{,}1^2 = 9{,}6$

Quadratwurzelziehen (Radizieren)

Man findet die Quadratwurzel einer Zahl, indem man diese auf Skale A einstellt und mittels des Läuferstrichs auf Skale D das Ergebnis abliest. Es ist darauf zu achten, daß – vom Komma aus gerechnet – die ungeradstelligen Zahlen auf der linken und die geradstelligen Zahlen auf der rechten Hälfte der Skale A gesucht werden (Bild 1.6).

Beispiele:

$\sqrt{23} = 4{,}8$ (rechts),

$\sqrt{0{,}04'4} = 0{,}21$ (links),

$\sqrt{0{,}44'} = 0{,}66$ (rechts).

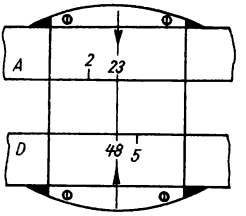


Bild 1.6
Zu Beispiel: $\sqrt{23} = 4{,}8$

Reziproke Werte

Auf den beiden Skalen C und CI der Zunge werden durch den Läuferstrich zueinander reziproke Ziffernfolgen verbunden. Man stellt die gegebene Zahl, z. B. 3, auf C ein und findet darüber auf Skale CI die Ziffernfolge 333 des reziproken Wertes. Ergebnis: 1/3 = 0,333.
Beim Ablesen ist zu beachten, daß die Ziffern der Skale CI von rechts nach links wachsen. Da umgekehrt auch die Ziffernfolgen von C reziprok zu denen auf CI sind, kann man analog auf CI einstellen und auf C ablesen.

Ablesen von Sinus- und Tangenswerten

Zum Ablesen von *Sinuswerten* bedient man sich der Skale S auf der Rückseite des Rechenstabs, auf der die Winkelwerte von 6°···90° eingetragen sind. Man stellt den Läuferstrich auf den gegebenen Winkel, z. B. 30°, und liest auf Skale D des Stabkörpers die Ziffernfolge 500 ab. Ergebnis: sin 30° = 0,5 (Bild 1.7).

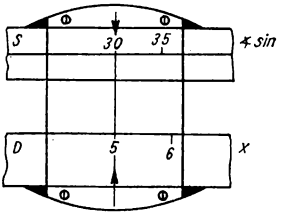


Bild 1.7
Zu Beispiel: sin 30° = 0,5

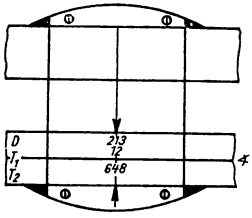


Bild 1.8. Zu Beispiel:
tan 12° = 0,212,
tan 64,8° = 2,13

Zum Ablesen von *Tangenswerten* dienen die beiden Skalen T_1 und T_2, ebenfalls auf der Rückseite des Rechenstabs; Skale T_1 für Winkel bis 45°, Skale T_2 für Winkel über 45°. Der Tangenswert wird wie der Sinuswert auf Skale D abgelesen (Bild 1.8).

Beispiele:

$\alpha = 12°$, $\tan \alpha = 0{,}213$ (T_1);

$\alpha = 15°30' = 15{,}5°$, $\sin \alpha = 0{,}267$;

$\sin \alpha = 0{,}7$, $\alpha = 44{,}4° = 44°24'$;

$\alpha = 64°48' = 64{,}8°$, $\tan \alpha = 2{,}13$ (T_2);

$\tan \alpha = 0{,}92$, $\alpha = 42{,}6° = 42°36'$ (T_1).

1.1.2.12. Fehlerfortpflanzung (Größtfehler)

Jeder an einem Meßgerät abgelesene Meßwert u ist mit einem gewissen *Fehler* behaftet. Die Ablesung der Temperatur an einem gewöhnlichen Zimmerthermometer erfolgt mit einer Ungenauigkeit von etwa $\pm\frac{2}{10}$ K, z. B. $u = 18{,}5$ °C, Δu

$= \pm 0{,}2$ K. Die vollständige Angabe der Messung lautet also $u + \Delta u = 18{,}5\,°C \pm 0{,}2$ K. Dabei bezeichnet man Δu als den *absoluten (Größt-)Fehler*. Ferner interessiert, z. B. zum Vergleich der Zuverlässigkeit der Angaben, das Verhältnis absoluter Fehler zu Meßwert, im Beispiel $\Delta u/u = 0{,}2 : 18{,}5 \approx 0{,}01 \triangleq 1\,\%$. Diesen Wert nennt man *relativen Fehler:*

u Meßwert,
Δu absoluter Fehler,
$\Delta u/u$ relativer Fehler.

Werden in einer Formel mehrere Meßwerte durch Rechenoperationen miteinander verbunden, so pflanzen sich auch die Fehler nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten fort, die für einfache Fälle in Tabelle 1.7 zusammengestellt sind.

Tabelle 1.7: Fehlerfortpflanzung bei einfachen Rechenoperationen

Rechenoperation	y	Δy	$\Delta y/y$
Summe	$u + v$	$\Delta u + \Delta v$	–
Differenz	$u - v$	$\Delta u + \Delta v$	–
Produkt	$u \cdot v$	–	$\frac{\Delta u}{u} + \frac{\Delta v}{v}$
Quotient	u/v		$\frac{\Delta u}{u} + \frac{\Delta v}{v}$
Kombination	$\frac{u \cdot v}{w}$		$\frac{\Delta u}{u} + \frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta w}{w}$
Potenz	u^n	–	$n \cdot \frac{\Delta u}{u}$

Es bedeuten

u, v, w Meßwerte, $\Delta u, \Delta v, \Delta w$ absolute Fehler, $\frac{\Delta u}{u}, \frac{\Delta v}{v}, \frac{\Delta w}{w}$ relative Fehler; y Ergebnis, Δy absoluter Fehler, $\frac{\Delta y}{y}$ relativer Fehler.

Hieraus lassen sich z. B. folgende *Regeln* erkennen:

1. Der absolute Fehler einer Summe (Differenz) ist gleich der Summe der absoluten Fehler der Summanden.
2. Der relative Fehler eines Produkts (Quotienten) ist gleich der Summe der relativen Fehler der Faktoren.

Beispiel 1: Um die Länge einer abgesteckten Strecke mit dem Bandmaß zu messen, sind zwei aufeinanderfolgende Absetzungen erforderlich: $a_1 = 10$ m, $a_2 = 7{,}60$ m. Wie groß sind die Gesamtstrecke sowie deren absoluter und relativer Fehler, wenn für jede der beiden Messungen ein absoluter Fehler von ± 1 cm angenommen wird?

$a = a_1 + a_2 = 10\text{ m} + 7{,}60\text{ m} = 17{,}60\text{ m};$

$\Delta a = \Delta a_1 + \Delta a_2 = 1\text{ cm} + 1\text{ cm} = 2\text{ cm};$

$a = 17{,}60\text{ m} \pm 0{,}02\text{ m};$

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{0{,}02\text{ m}}{17{,}60\text{ m}} \approx 0{,}001 \triangleq 0{,}1\,\%.$$

Beispiel 2: Der Rauminhalt eines Betonwürfels ist einschließlich absolutem und relativem Fehler zu berechnen. Für die Kantenlängen werden folgende Werte gemessen: $a = 19{,}6$ cm, $b = 20{,}1$ cm, $c = 20{,}7$ cm. Der absolute Fehler wird bei allen drei Meßwerten mit $\pm 0{,}5$ cm angenommen.

$V = a \cdot b \cdot c = 19{,}6\text{ cm} \cdot 20{,}1\text{ cm} \cdot 20{,}7\text{ cm} = 8154{,}972\text{ cm}^3;$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} = \frac{0{,}5\text{ cm}}{19{,}6\text{ cm}} + \frac{0{,}5\text{ cm}}{20{,}1\text{ cm}} + \frac{0{,}5\text{ cm}}{20{,}7\text{ cm}}$$
$$\approx 0{,}0255 + 0{,}0249 + 0{,}0242$$
$$\triangleq 2{,}6\,\% + 2{,}5\,\% + 2{,}4\,\% = 7{,}5\,\%;$$

$\Delta V = V \cdot \frac{\Delta V}{V} = 8154{,}972\text{ cm}^3 \cdot 0{,}075 \approx 612\text{ cm}^3;$

$V = (8155 \pm 612)\text{ cm}^3.$

Beispiel 3: An einem Verbraucher liegt eine Spannung von 36 V, der hindurchfließende Strom hat eine Stärke von 250 mA. Die absoluten Fehler werden mit ± 2 V bzw. ± 10 mA angegeben. Berechne den Widerstand mit absolutem und relativem Fehler!

$$R = \frac{U}{I} = \frac{36\text{ V}}{0{,}250\text{ A}} = 144\,\Omega;$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} = \frac{2}{36} + \frac{10}{250} \approx 0{,}06 + 0{,}04 = 0{,}1 \triangleq 10\,\%;$$

$\Delta R = R \cdot \frac{\Delta R}{R} = 144\,\Omega \cdot 0{,}1 \approx 14\,\Omega; \quad R = (144 \pm 14)\,\Omega.$

1.1.3. Geometrie

1.1.3.1. Formeln für Flächenberechnung (Planimetrie)

In Tabelle 1.8 sind Formeln für den Flächeninhalt bzw. den Umfang der einfachsten geometrischen Figuren zusammengestellt.

Tabelle 1.8: Flächeninhalte und Umfänge von Flächen

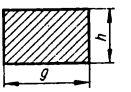
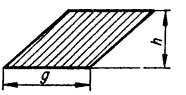
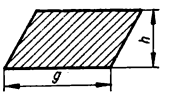
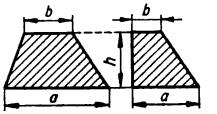
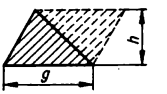
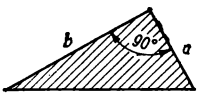
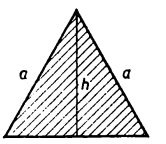
Bild	Bezeichnung und Formel
	Quadrat $A = aa = a^2$
	Rechteck $A = gh$
	Rhombus $A = gh$
	Rhomboid (Parallelogramm) $A = gh$
	Trapez $A = \frac{a+b}{2}h$
	Dreieck, allgemein $A = \frac{gh}{2}$
	rechtwinkliges Dreieck $A = \frac{ab}{2}$
	gleichseitiges Dreieck $A = \frac{a^2}{4}\sqrt{3};\quad h = \frac{a}{2}\sqrt{3}$

Tabelle 1.8 (Fortsetzung)

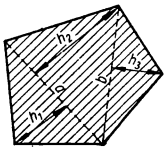
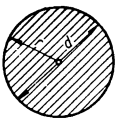
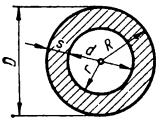
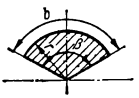
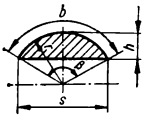
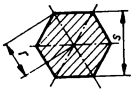
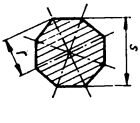
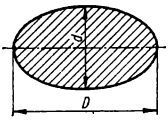
Bild	Bezeichnung und Formel
	Vieleck (Zerlegung in Dreiecke) $A = A_1 + A_2 + A_3$ $A = \frac{1}{2}(ah_1 + ah_2 + bh_3)$
	Kreis $U = \pi d = 2\pi r$ $A = \frac{\pi d^2}{4} = \pi r^2$ $\pi = 3{,}14159265\ldots \approx 3{,}14$
	Kreisring $s = R - r$ $A = \pi(R^2 - r^2)$ $A = \pi s(d + s)$ $A = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}$
	Kreisausschnitt (Sektor) $b = \frac{\pi r \beta}{180°}$ $A = \frac{br}{2}$
	Kreisabschnitt (Segment) $s = \sqrt{8rh - 4h^2}$ $h = r - \sqrt{r^2 - 0{,}25s^2}$ $r = \frac{h}{2} + \frac{s^2}{8h}$ $A = \frac{br}{2} - \frac{s(r-h)}{2}$ $A \approx \frac{h}{6s}(3h^2 + 4s^2)$ $A \approx \frac{2}{3}sh$ für $\beta < 45°$
	Sechseck $A = 0{,}866s^2$ $A = \frac{3}{2}\sqrt{3}\,r^2 \approx 2{,}60r^2$
	Achteck $A = 0{,}828s^2$ $A = 2\sqrt{2}\,r^2 \approx 2{,}83r^2$
	Ellipse $U \approx \pi \frac{D + d}{2}$ $A = \frac{\pi D d}{4}$

Tabelle 1.8 (Fortsetzung)

Bild	Bezeichnung und Formel
	FRIEDRICHsche Formeln:
I. für $d \leqq 0{,}6D$	I. $U \approx \frac{7d}{20} + \frac{19d^2}{20D} + 2D$
II. für $d > 0{,}6D$	II. $U \approx \frac{6d}{10} + \frac{11d^2}{20D} + 2D$
	HOFMANNsche Formel: $U \approx 1{,}965 \cdot \frac{D^2 + 1{,}2Dd + d^2}{D + d}$

GULDINsche *Regeln*

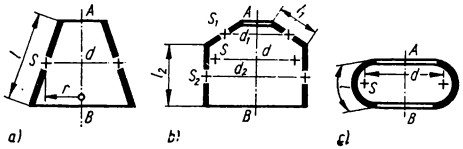
1. *Mantel einer Umdrehungsfläche*

gleich Länge der erzeugenden Linie mal Weglänge ihres Schwerpunkts:

$A_M = l \cdot \pi 2r = l \cdot \pi d$ (Bilder 1.9a und 1.9b)

$A_M = l_1 \pi d_1 + l_2 \pi d_2 = (l_1 + l_2) \cdot \pi d$ (Bild 1.9c)

l Länge der erzeugenden Linie
S Schwerpunkt der erzeugenden Linie
AB Drehachse



a) b) c)

Bild 1.9. Umdrehungsflächen

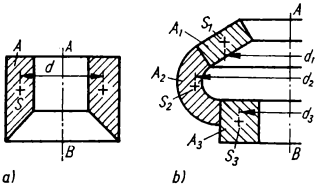
2. *Rauminhalt eines Umdrehungskörpers*

gleich erzeugende Fläche mal Weglänge ihres Schwerpunkts:

$V = A \cdot \pi 2r = A \cdot \pi d$ (Bild 1.10a)

$V = A_1 \pi d_1 + A_2 \pi d_2 + A_3 \pi d_3$ (Bild 1.10b)

A erzeugende Fläche
S Schwerpunkt der erzeugenden Fläche
AB Drehachse



a) b)

Bild 1.10 Umdrehungskörper

1.1.3.2. Formeln für Volumenberechnung (Stereometrie)

In Tabelle 1.9 sind Formeln für den Rauminhalt bzw. den Mantel der einfachsten Körper zusammengestellt.

Tabelle 1.9: Rauminhalte und Mantelflächen

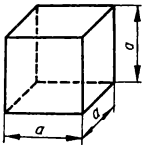
Bild	Bezeichnung und Formel
	Würfel $V = aaa = a^3$

Tabelle 1.9 (Fortsetzung)

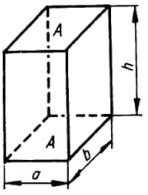
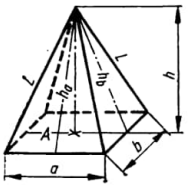
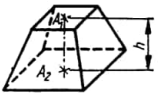
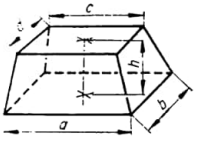
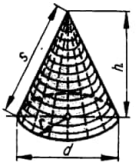
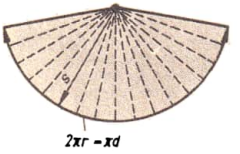
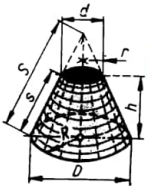
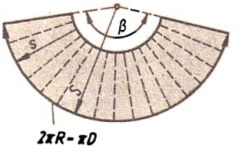
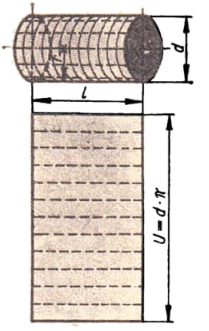
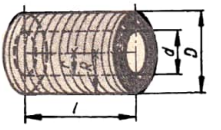
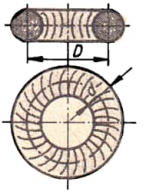
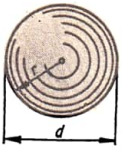
Bild	Bezeichnung und Formel
	Quader $V = Ah = abh$
	Pyramide $V = \frac{abh}{3} = \frac{Ah}{3}$ $h_b = \sqrt{h^2 + \frac{a^2}{4}}$ $L = \sqrt{h_b^2 + \frac{b^2}{4}}$ h_a und h_b Flächenhöhen L Kantenlänge
	Pyramidenstumpf $V = \frac{h}{3}\left(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}\right)$ $V \approx h\frac{A_1 + A_2}{2}$ A_1 und A_2 Grundflächen
	Ponton (verschieden geneigte Seitenflächen, Grundflächen einander nicht ähnlich) $V = \frac{h}{6}(2ab + ad + bc + 2cd)$
 	Kegel und Mantelfläche $A_M = \frac{\pi d s}{2}$ $V = \frac{Ah}{3} = \pi h\frac{d^2}{12}$
 	Kegelstumpf und Mantelfläche $A_M = \pi s(R + r) = \frac{\pi s(D + d)}{2}$ $V = (Rr + R^2 + r^2)\frac{\pi h}{3}$

Tabelle 1.9 (Fortsetzung)

Bild	Bezeichnung und Formel
	$V = (Dd + D^2 + d^2)\frac{\pi h}{12}$ $\beta = \frac{D \cdot 180}{S}$
	Zylinder mit Mantelfläche $A_M = \pi d l$ $V = \pi r^2 l$ $V = \frac{\pi d^2}{4} l = 0{,}785 d^2 l$
	Hohlzylinder $V = \pi(R^2 - r^2)l$ $V = \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}\right) l$
	Zylindrischer Ring $A_M = \pi d\, \pi D$ $V = \pi D \frac{\pi d^2}{4}$
	Kugel $A_M = 4\pi r^2 = \pi d^2$ $V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{\pi d^3}{6}$ $V = 4{,}189 r^3 = 0{,}5236 d^3$

1.1.3.3. Winkelfunktionen (Goniometrie)

Der Vollkreis wird in 360 (*Alt-)Grad* (360°) oder in 400 *Neugrad* (400ᵍ) eingeteilt. Ein Viertel des Vollkreises umfaßt einen rechten Winkel, das sind 90° oder 100ᵍ. Ein (Alt-)Grad wird unterteilt in 60 Winkelminuten (′), eine Winkelminute in 60 Winkelsekunden (″). Ein Neugrad wird unterteilt in 100 Neuminuten (ᶜ), eine Neuminute in 100 Neusekunden (ᶜᶜ):

$1° = 60'$, $1' = 60''$,
$1^g = 100^c$, $1^c = 100^{cc}$.

Neben der sexagesimalen Unterteilung des (Alt-)Grades in Minuten und Sekunden verwendet man auch die dezimale Unterteilung dieses Winkels:

$7°30' = 7{,}5°$; $15°21' = 15{,}35°$; $20°15'45'' = 20{,}2625°$.

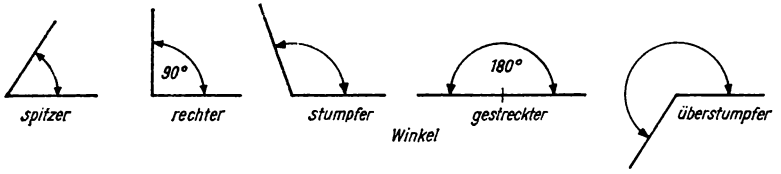


Bild 1.11
Bezeichnung der Winkel

Je nach der Größe des Winkels unterscheidet man (Bild 1.11):

$0 < \alpha < 90°$	spitzer Winkel,
$\alpha = 90°$	rechter Winkel,
$90° < \alpha < 180°$	stumpfer Winkel,
$\alpha = 180°$	gestreckter Winkel,
$180° < \alpha < 360°$	überstumpfer Winkel.

Einführung der Winkelfunktionen

1. im *rechtwinkligen Dreieck* für spitze Winkel (Bild 1.12)

$$\text{Sinus} = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}} \qquad \sin\alpha = \frac{a}{c};\quad \sin\beta = \frac{b}{c}.$$

$$\text{Kosinus} = \frac{\text{anliegende Kathete}}{\text{Hypotenuse}} \qquad \cos\alpha = \frac{b}{c};\quad \cos\beta = \frac{a}{c}.$$

$$\text{Tangens} = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{anliegende Kathete}} \qquad \tan\alpha = \frac{a}{b};\quad \tan\beta = \frac{b}{a}.$$

$$\text{Kotangens} = \frac{\text{anliegende Kathete}}{\text{Gegenkathete}} \qquad \cot\alpha = \frac{b}{a};\quad \cot\beta = \frac{a}{b}.$$

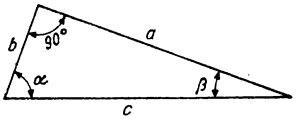


Bild 1.12
Rechtwinkliges Dreieck
(c Hypotenuse;
a, b Katheten)

2. am *Einheitskreis für beliebige Winkel* (Bild 1.13)

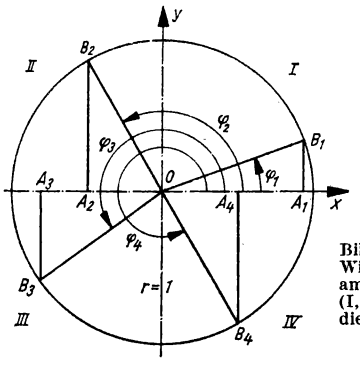


Bild 1.13
Winkelfunktionen
am Einheitskreis
(I, II, III, IV
die vier Quadranten)

$$\sin\varphi = \frac{\overline{AB}}{\overline{OB}};\quad \cos\varphi = \frac{\overline{OA}}{\overline{OB}};$$

$$\tan\varphi = \frac{\overline{AB}}{\overline{OA}};\quad \cot\varphi = \frac{\overline{OA}}{\overline{AB}}.$$

$\overline{AB}$ nach oben positiv, nach unten negativ,
$\overline{OA}$ nach rechts positiv, nach links negativ,
$\overline{OB}$ positiv.

Verlauf der Winkelfunktionen in Abhängigkeit von der Größe des Winkels (Bild 1.14):

Die Winkelfunktionen $y = \sin\alpha$ und $y = \cos\alpha$ sind periodisch mit der Periode 2π:

$y = \sin\alpha = \sin(\alpha + 2\pi)$,
$y = \cos\alpha = \cos(\alpha + 2\pi)$.

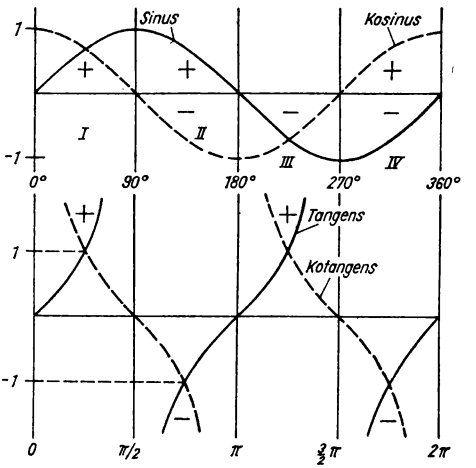


Bild 1.14. Die vier Winkelfunktionen

Die Winkelfunktionen $y = \tan\alpha$ und $y = \cot\alpha$ sind periodisch mit der Periode π:

$y = \tan\alpha = \tan(\alpha + \pi)$,
$y = \cot\alpha = \cot(\alpha + \pi)$.

In den Tabellen 1.10 sind Zusammenhänge, Werte und Vorzeichen bezüglich der Winkelfunktionen dargestellt.

Tabelle 1.10a: Zusammenhang in den Quadranten

	$90° \pm \alpha$	$180° \pm \alpha$	$270° \pm \alpha$	$360° \pm \alpha$	$-\alpha$
sin	$\cos\alpha$	$\mp\sin\alpha$	$-\cos\alpha$	$\pm\sin\alpha$	$-\sin\alpha$
cos	$\mp\sin\alpha$	$-\cos\alpha$	$\pm\sin\alpha$	$\cos\alpha$	$\cos\alpha$
tan	$\mp\cot\alpha$	$\pm\tan\alpha$	$\mp\cot\alpha$	$\pm\tan\alpha$	$-\tan\alpha$
cot	$\mp\tan\alpha$	$\pm\cot\alpha$	$\mp\tan\alpha$	$\pm\cot\alpha$	$-\cot\alpha$

Beispiele:

$\sin(90° + \alpha) = \cos\alpha$, $\sin 120° = \cos 30°$,
$\sin\alpha = \sin(180° - \alpha)$, $\sin 135° = \sin 45°$,
$\cos(-\alpha) = \cos\alpha$, $\cos(-56°) = \cos 56°$,
$\tan(90° - \alpha) = \cot\alpha$, $\tan 70° = \cot 20°$.

Tabelle 1.10b: Besondere Werte von Winkelfunktionen

	0°	30°	45°	60°	90°
Sinus	0	1/2	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	1
Kosinus	1	$\frac{1}{2}\sqrt{3}$	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	1/2	0
Tangens	0	$\frac{1}{3}\sqrt{3}$	1	$\sqrt{3}$	$\pm\infty$
Kotangens	$\pm\infty$	$\sqrt{3}$	1	$\frac{1}{3}\sqrt{3}$	0

Tabelle 1.10c: Vorzeichen in den vier Quadranten

Quadrant	sin	cos	tan	cot
I	+	+	+	+
II	+	−	−	−
III	−	−	+	+
IV	−	+	−	−

Beziehung zwischen den Winkelfunktionen

$\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$,
$\tan\alpha = \sin\alpha : \cos\alpha$,
$1 + \tan^2\alpha = 1 : \cos^2\alpha$,
$1 + \cot^2\alpha = 1 : \sin^2\alpha$.

Additionstheoreme

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \sin\beta\cos\alpha$$
$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \mp \sin\alpha\sin\beta$$
$$\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan\alpha \pm \tan\beta}{1 \mp \tan\alpha\tan\beta}$$
$$\cot(\alpha \pm \beta) = \frac{\cot\alpha\cot\beta \mp 1}{\cot\beta \pm \cot\alpha}$$

1.1.3.4. Berechnungen an Dreiecken (Trigonometrie)

Formeln für das rechtwinklige Dreieck (Bild 1.15):

Wegen $\alpha = 90° - \beta$ gilt
$\sin\alpha = \cos\beta = a : c$,
$\cos\alpha = \sin\beta = b : c$,
$\tan\alpha = \cot\beta = a : b$,
$\cot\alpha = \tan\beta = b : a$.

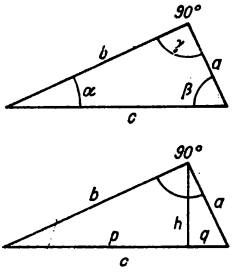


Bild 1.15
Rechtwinklige Dreiecke

Flächeninhalt $A = \frac{ab}{2}$,

$$A = \frac{bc}{2}\sin\alpha = \frac{ac}{2}\cos\alpha = \frac{b^2}{2}\tan\alpha = \frac{a^2}{2}\cot\alpha.$$

Satz des EUKLID $a^2 = qc$; $b^2 = pc$.
Satz des PYTHAGORAS $a^2 + b^2 = c^2$.
Höhensatz $h^2 = qp$.

1. Beispiel (Bild 1.16): Es soll ein Kegel mit $D = 100$ mm, $d = 60$ mm und $l = 90$ mm gedreht werden. Wie groß wird der Einstellwinkel α?

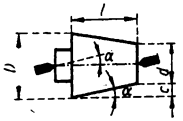


Bild 1.16. Kegel

Lösung: $c = (D - d) : 2$;
$c = (100\text{ mm} - 60\text{ mm}) : 2 = 40\text{ mm} : 2 = 20\text{ mm}$,
$\tan\alpha = c : l = 20\text{ mm} : 90\text{ mm} = 0{,}2222$.
Aus Tafel 3 (S. 40) findet man $\alpha = 12°39' = 12{}^1/_2{}°$.

2. Beispiel (Bild 1.17): Die Radien zweier Kegelräder betragen $a = 450$ mm, $b = 240$ mm.
Wie groß sind die Winkel α und β zu wählen?

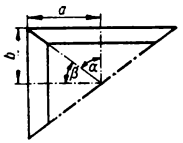


Bild 1.17. Kegelräder

Lösung: $\tan\alpha = a : b = 450\text{ mm} : 240\text{ mm} = 1{,}8750$.
In Tafel 3 (S. 41) findet man
für $\tan 61°60'$ 1,8807,
für $\tan 61°54'$ 1,8728;
Tafeldifferenz 0,0079,
Differenz zu $\tan\alpha$ ..... 0,0022.

Es gilt die Proportion
$x : 22 = 6' : 79$, $x \approx 2'$;
$\alpha = 61°54' + 2' = 61°56'$;
$\beta = 90° - 61°56' = 28°4'$.

Formeln für das schiefwinklige Dreieck (Bild 1.18)

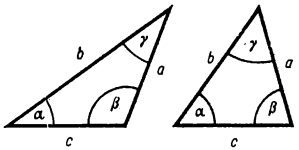


Bild 1.18
Schiefwinklige Dreiecke

Sinussatz $\frac{a}{\sin\alpha} = \frac{b}{\sin\beta} = \frac{c}{\sin\gamma}$;

Kosinussatz
$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc\cdot\cos\alpha$,
$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac\cdot\cos\beta$,
$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cdot\cos\gamma$.

Bei stumpfem Winkel Vorzeichen beachten!

Tangenssatz $\frac{a+b}{a-b} = \frac{\tan\frac{1}{2}(\alpha+\beta)}{\tan\frac{1}{2}(\alpha-\beta)}$.

MOLLWEIDEsche *Formeln*

$$(a+b) : c = \cos\frac{\alpha-\beta}{2} : \sin\frac{\gamma}{2},$$

$$(a-b) : c = \sin\frac{\alpha-\beta}{2} : \cos\frac{\gamma}{2}.$$

Flächeninhalt $A = \frac{ab\cdot\sin\gamma}{2} = \frac{ac\cdot\sin\beta}{2} = \frac{bc\cdot\sin\alpha}{2}$;

$A = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$;
$2s = a + b + c$.

Beispiel (Bild 1.19): Zwei Orte A und B liegen $c = 6{,}90$ km voneinander entfernt.
Man peilt einen Turm C an, ausgehend von der Richtung $\overline{AB}$
in A unter dem Winkel $\alpha = 63°42'$,
in B unter dem Winkel $\beta = 40°12'$.

Gesucht sind die Strecken $\overline{BC} = a$, $\overline{CD} = e$ und $\overline{BD} = d$.

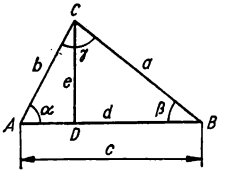


Bild 1.19
Zur Dreieckberechnung

Lösung: Aus $\frac{a}{\sin\alpha} = \frac{c}{\sin\gamma}$ findet man $a = c\cdot\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma}$,
wobei $\gamma = 180° - \alpha - \beta = 76°6'$

$$a = \frac{6{,}9\text{ km}\cdot\sin 63°42'}{\sin 76°6'} = \frac{6{,}9\text{ km}\cdot 0{,}89649}{0{,}97072} \approx 6{,}37\text{ km}.$$

Im rechtwinkligen Dreieck BCD ist $\sin\beta = \frac{e}{a}$; $e = a\cdot\sin\beta$
$= 6{,}37\text{ km}\cdot\sin 40°12' = 6{,}37\text{ km}\cdot 0{,}64546 \approx 4{,}11$ km.

Die Strecke $d = \overline{BD}$ berechnet sich nach dem Satz des PYTHAGORAS $d = \sqrt{a^2 - e^2}$ oder nach der Beziehung $\cos\beta = \frac{d}{a}$.

$d = \sqrt{6{,}372^2 - 4{,}113^2} = \sqrt{23{,}6856\text{ km}^2} \approx 4{,}9$ km.

$d = a\cdot\cos\beta = 6{,}372\text{ km}\cdot\cos 40°12' = 6{,}372\text{ km}\cdot 0{,}7638$
$\approx 4{,}9$ km.

1.1.3.5. Geometrische Grundkonstruktionen

Eine Strecke halbieren (Bild 1.20)

Gegeben ist die Strecke $\overline{AB}$. Um A und B beschreibt man mit gleichen, genügend großen Radien Kreisbögen und verbindet deren Schnittpunkte C und D. Der Schnittpunkt E von $\overline{CD}$ (Mittellot) und $\overline{AB}$ ist der Mittelpunkt der Strecke $\overline{AB}$.

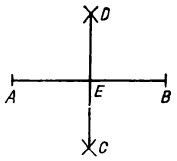


Bild 1.20. Streckenhalbierung

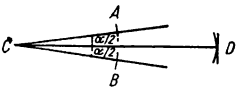


Bild 1.21. Winkelhalbierung

Einen Winkel halbieren (Bild 1.21)

Gegeben ist der Winkel α. Um seinen Scheitel C beschreibt man mit beliebigem Radius einen Kreis; er schneidet die beiden Schenkel in A und B. Um A und B schlägt man mit gleichem, genügend großem Radius Kreise; sie schneiden sich in D. Die Verbindungsgerade CD halbiert den Winkel α.

Einen Winkel antragen (Bild 1.22)

Im Punkt P der Geraden AB ist der gegebene Winkel α anzutragen. Um O und um P schlägt man Kreise mit gleichen Radien. Schnittpunkte sind auf den Schenkeln von α die Punkte C und D, auf der Geraden der Punkt E. Ein Kreis um E mit dem Radius $\overline{CD}$ schneidet den um P gezogenen Kreis in F; Winkel EPF ist gleich α.

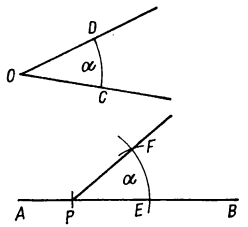


Bild 1.22. Winkel antragen

Eine Senkrechte errichten (Bild 1.23)

Auf der Geraden AB ist in P die Senkrechte zu errichten. Um Punkt P der Geraden AB schlägt man mit beliebigem Radius einen Kreis; er schneidet die Gerade in D und E. Um D und E schlägt man mit gleichem, genügend großem Radius Kreise, ihr Schnittpunkt ist F. Die Gerade $\overline{PF}$ steht senkrecht auf AB.

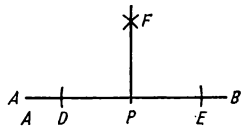


Bild 1.23. Senkrechte errichten

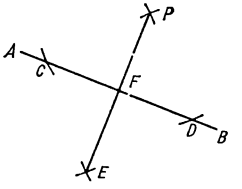


Bild 1.24. Lot fällen

Ein Lot fällen (Bild 1.24)

Vom Punkt P ist auf die Gerade AB das Lot zu fällen. Man schlägt um P einen Kreis mit genügend großem Radius; er schneidet AB in C und D. Um diese beiden Punkte werden wiederum Kreise mit gleichem, genügend großem Radius gezogen. Ihren Schnittpunkt E verbindet man mit P; $\overline{EP}$ ist das gesuchte Lot mit dem Fußpunkt F auf AB.

Eine Parallele ziehen (Bild 1.25)

Durch Punkt P ist zu der Geraden AB die Parallele zu ziehen. Man verbindet P mit einem beliebigen Punkt C von AB und schlägt um C einen Kreis mit Radius $\overline{CP}$; er schneidet AB in D. Um D und P werden wiederum Kreise mit Radius $\overline{CP}$ geschlagen; sie schneiden sich in E. Die Gerade PE läuft parallel zu AB.

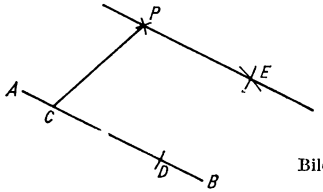


Bild 1.25. Parallele ziehen

An einen Kreis eine Tangente legen (Bild 1.26)

Von Punkt P sind an einen Kreis um Z die Tangenten zu legen. Man verbindet P mit Z, halbiert die Strecke $\overline{PZ}$ und schlägt um den Halbierungspunkt M mit der halben Streckenlänge den Kreis. Er schneidet den gegebenen Kreis in T_1 und T_2; PT_1 und PT_2 sind die gesuchten Tangenten.

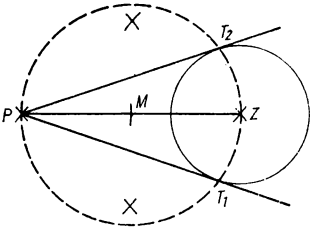


Bild 1.26
Tangente am Kreis

Zu einem Kreisbogen den Mittelpunkt suchen (Bild 1.27)

Man zeichnet zwei Sehnen in den Kreisbogen und errichtet auf ihnen die Mittelsenkrechten. Diese schneiden sich im Mittelpunkt M des Kreises.

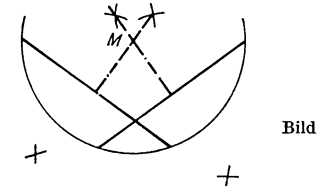


Bild 1.27. Kreismittelpunkt

1.1.3.6. Aus der analytischen Geometrie

Die analytische Geometrie beschreibt Form und Lage geometrischer Figuren durch Zahlen und Gleichungen. Im kartesischen Koordinatensystem (rechtwinklige Parallelkoordinaten) stehen die Abszissen- oder x-Achse (horizontal) und die Ordinaten- oder y-Achse (vertikal) aufeinander senkrecht. Jeder Punkt $P(x; y)$ der Ebene wird durch seine Abstände x bzw. y von der y- bzw. der x-Achse zahlenmäßig beschrieben.

Strecke (Bild 1.28): $\overline{P_1P_2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$.

Streckenmittelpunkt P_m: $x_m = \frac{x_1 + x_2}{2}$, $y_m = \frac{y_1 + y_2}{2}$.

Gerade (Bild 1.29): Normalform $y = mx + n$;
$m = \tan\varphi$ Anstieg, n Abschnitt auf y-Achse.

Achsenabschnittsgleichung: $\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1$;

a Abschnitt auf x-Achse, b Abschnitt auf y-Achse.

Zweipunktegleichung: $\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$.

Punktrichtungsgleichung: $\frac{y - y_1}{x - x_1} = \tan\varphi$.

Beispiel: Gegeben $P_1(2; -4)$ und $P_2(6; 4)$. Gesucht Mittelpunkt und Länge der Strecke $\overline{P_1P_2}$ sowie Gleichung der Geraden durch P_1, P_2.

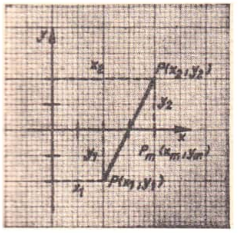


Bild 1.28. Strecke $\overline{P_1P_2}$

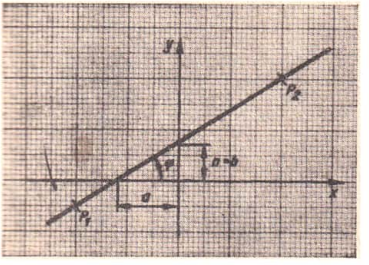


Bild 1.29. Zur Gleichung einer Geraden

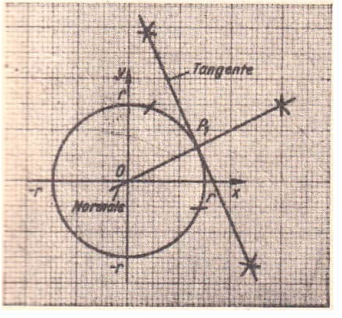


Bild 1.30. Kreis in Mittelpunktlage

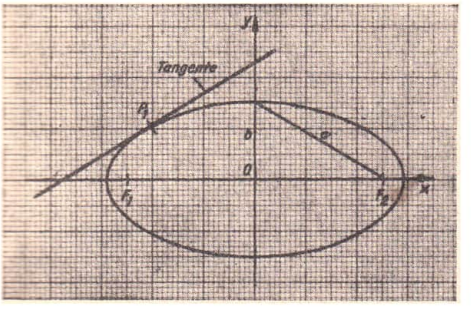


Bild 1.31. Ellipse

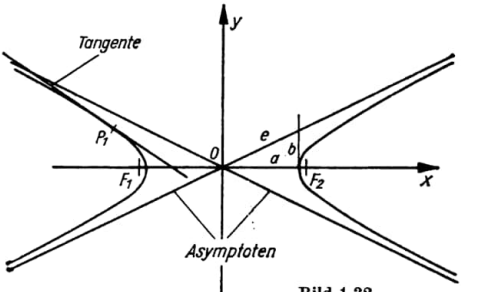


Bild 1.32
Hyperbel mit Asymptoten

Lösung: $x_m = \frac{2 + 6}{2} = 4, \quad y_m = \frac{-4 + 4}{2} = 0;$

$\overline{P_1P_2} = \sqrt{(6 - 2)^2 + (4 + 4)^2} = \sqrt{16 + 64} = \sqrt{80} \approx 8{,}9;$

Zweipunktegleichung: $\frac{y + 4}{x - 2} = \frac{4 + 4}{6 - 2} = 2;$

$y + 4 = 2x - 4; \quad y = 2x - 8.$

Kreis (Bild 1.30): Mittelpunktlage $x^2 + y^2 = r^2$.
Tangente in P_1: $xx_1 + yy_1 = r^2$.

Normale durch P_1: $y = \frac{y_1}{x_1}x$.

Mittelpunkt $M(c; d)$: $(x - c)^2 + (y - d)^2 = r^2$.

Ellipse, Hyperbel (Bilder 1.31 und 1.32): $\frac{x^2}{a^2} \pm \frac{y^2}{b^2} = 1.$

Tangente in P_1: $\frac{xx_1}{a^2} \pm \frac{yy_1}{b^2} = 1.$

Gleichung der Asymptoten: $\frac{x}{a} \pm \frac{y}{b} = 1.$

Mittelpunkt $M(c; d)$: $\frac{(x - c)^2}{a^2} + \frac{(y - d)^2}{b^2} = 1.$

Parabel (Bild 1.33): Scheitellage, nach rechts geöffnet: $y^2 = 2px$.
Tangente in P_1: $yy_1 = p(x + x_1)$.

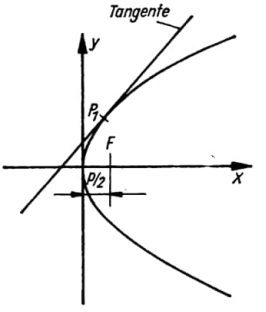


Bild 1.33. Parabel

Beispiel: Wie lautet die Gleichung der Tangente im Punkt $P_1(x_1 = 4; y_1 > 0)$ an den Kreis in Mittelpunktlage mit Radius $r = 5$?

Lösung: Kreisgleichung $x^2 + y^2 = 25$; $y = \sqrt{25 - 16} = \pm 3$, $y_1 = 3$.

Tangentengleichung $x \cdot 4 + y \cdot 3 = 25$; $y = -\frac{4}{3}x + \frac{25}{3}$.

1.1.4. Zahlentafeln

Die Tafeln enthalten Potenzen, Wurzeln, Kreisumfänge, Kreisinhalte (Tafel 1), Mantissen der Ziffernfolgen 1···1000 (Tafel 2), natürliche Werte der Winkelfunktionen (Tafel 3), natürliche Logarithmen der Zahlen 1···1000 (Tafel 4), Werte der Exponentialfunktion e^x und e^{-x} (Tafel 5) und Umrechnungswerte Neper – Dezibel (Tafel 6).

Tafel 1: Potenzen, Wurzeln, Kreisumfänge und Kreisinhalte 0,1···10,0

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
0,01	0,0001	0,000001	0,100	0,215	0,0314	0,00008
0,1	0,0100	0,001000	0,316	0,464	0,3142	0,00785
0,2	0,0400	0,008000	0,447	0,585	0,6283	0,03142
0,3	0,0900	0,027000	0,548	0,669	0,9425	0,07069
0,4	0,1600	0,064000	0,632	0,737	1,2566	0,12566
0,5	0,2500	0,125000	0,707	0,794	1,5708	0,19635
0,6	0,3600	0,216000	0,775	0,843	1,8850	0,28274
0,7	0,4900	0,343000	0,837	0,888	2,1991	0,38485
0,8	0,6400	0,512000	0,894	0,928	2,5133	0,50266
0,9	0,8100	0,729000	0,949	0,965	2,8274	0,63617
1,0	1,00	1,000	1,000	1,000	3,142	0,7854
1,1	1,21	1,331	1,049	1,032	3,456	0,9503
1,2	1,44	1,728	1,095	1,063	3,770	1,1310
1,3	1,69	2,197	1,140	1,091	4,084	1,3273
1,4	1,96	2,744	1,183	1,119	4,398	1,5394
1,5	2,25	3,375	1,225	1,145	4,712	1,7671
1,6	2,56	4,096	1,265	1,170	5,027	2,0106
1,7	2,89	4,913	1,304	1,194	5,341	2,2697
1,8	3,24	5,832	1,342	1,216	5,655	2,5447
1,9	3,61	6,859	1,378	1,239	5,969	2,8353
2,0	4,00	8,000	1,414	1,260	6,283	3,1416
2,1	4,41	9,261	1,449	1,281	6,597	3,4636
2,2	4,84	10,648	1,483	1,301	6,912	3,8013
2,3	5,29	12,167	1,517	1,320	7,226	4,1548
2,4	5,76	13,824	1,549	1,339	7,540	4,5239
2,5	6,25	15,625	1,581	1,357	7,854	4,9087
2,6	6,76	17,576	1,613	1,375	8,168	5,3093
2,7	7,29	19,683	1,643	1,393	8,482	5,7256
2,8	7,84	21,952	1,673	1,410	8,797	6,1575
2,9	8,41	24,389	1,703	1,426	9,111	6,6052
3,0	9,00	27,000	1,732	1,442	9,425	7,0686
3,1	9,61	29,791	1,761	1,458	9,739	7,5477
3,2	10,24	32,768	1,789	1,474	10,053	8,0425
3,3	10,89	35,937	1,817	1,489	10,367	8,5530
3,4	11,56	39,304	1,844	1,504	10,681	9,0792
3,5	12,25	42,875	1,871	1,518	10,996	9,6211
3,6	12,96	46,656	1,897	1,533	11,310	10,1788
3,7	13,69	50,653	1,924	1,547	11,624	10,7521
3,8	14,44	54,872	1,949	1,561	11,938	11,3411
3,9	15,21	59,319	1,975	1,574	12,252	11,9459
4,0	16,00	64,000	2,000	1,587	12,566	12,5664
4,1	16,81	68,921	2,025	1,601	12,881	13,2025
4,2	17,64	74,088	2,049	1,613	13,195	13,8544
4,3	18,49	79,507	2,074	1,626	13,509	14,5220
4,4	19,36	85,184	2,098	1,639	13,823	15,2053
4,5	20,25	91,125	2,121	1,651	14,137	15,9043
4,6	21,16	97,336	2,145	1,663	14,451	16,6190
4,7	22,09	103,823	2,168	1,675	14,765	17,3494
4,8	23,04	110,592	2,191	1,687	15,080	18,0956
4,9	24,01	117,649	2,214	1,699	15,394	18,8574
5,0	25,00	125,000	2,236	1,710	15,708	19,6350

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
5,0	25,00	125,00	2,236	1,710	15,708	19,64
5,1	26,01	132,65	2,258	1,721	16,022	20,43
5,2	27,04	140,61	2,280	1,733	16,336	21,24
5,3	28,09	148,88	2,302	1,744	16,650	22,06
5,4	29,16	157,46	2,324	1,754	16,965	22,90
5,5	30,25	166,38	2,345	1,765	17,279	23,76
5,6	31,36	175,62	2,366	1,776	17,593	24,63
5,7	32,49	185,19	2,387	1,786	17,907	25,52
5,8	33,64	195,11	2,408	1,797	18,221	26,42
5,9	34,81	205,38	2,429	1,807	18,535	27,34
6,0	36,00	216,00	2,450	1,817	18,850	28,27
6,1	37,21	226,98	2,470	1,827	19,164	29,22
6,2	38,44	238,33	2,490	1,837	19,478	30,19
6,3	39,69	250,05	2,510	1,847	19,792	31,17
6,4	40,96	262,14	2,530	1,857	20,106	32,17
6,5	42,25	274,63	2,550	1,866	20,420	33,18
6,6	43,56	287,50	2,569	1,876	20,735	34,21
6,7	44,89	300,76	2,588	1,885	21,049	35,26
6,8	46,24	314,43	2,608	1,894	21,363	36,32
6,9	47,61	328,51	2,627	1,904	21,677	37,39
7,0	49,00	343,00	2,646	1,913	21,991	38,48
7,1	50,41	357,91	2,665	1,922	22,305	39,59
7,2	51,84	373,25	2,683	1,931	22,619	40,72
7,3	53,29	389,02	2,702	1,940	22,934	41,85
7,4	54,76	405,22	2,720	1,949	23,248	43,01
7,5	56,25	421,88	2,739	1,957	23,562	44,18
7,6	57,76	438,98	2,757	1,966	23,876	45,36
7,7	59,29	456,53	2,775	1,975	24,190	46,57
7,8	60,84	474,55	2,793	1,983	24,504	47,78
7,9	62,41	493,04	2,811	1,992	24,819	49,02
8,0	64,00	512,00	2,828	2,000	25,133	50,27
8,1	65,61	531,44	2,846	2,008	25,447	51,53
8,2	67,24	551,37	2,864	2,017	25,761	52,81
8,3	68,89	571,79	2,881	2,025	26,075	54,11
8,4	70,56	592,70	2,898	2,033	26,389	55,42
8,5	72,25	614,13	2,915	2,041	26,704	56,75
8,6	73,96	636,06	2,933	2,049	27,018	58,09
8,7	75,69	658,50	2,950	2,057	27,332	59,45
8,8	77,44	681,47	2,966	2,065	27,646	60,82
8,9	79,21	704,97	2,983	2,072	27,960	62,21
9,0	81,00	729,00	3,000	2,080	28,274	63,62
9,1	82,81	753,57	3,017	2,088	28,588	65,04
9,2	84,64	778,69	3,033	2,095	28,903	66,48
9,3	86,49	804,36	3,050	2,103	29,217	67,93
9,4	88,36	830,58	3,066	2,111	29,531	69,40
9,5	90,25	857,38	3,082	2,118	29,845	70,88
9,6	92,16	884,74	3,098	2,125	30,159	72,38
9,7	94,09	912,67	3,115	2,133	30,473	73,90
9,8	96,04	941,19	3,131	2,140	30,788	75,43
9,9	98,01	970,30	3,146	2,147	31,102	76,98
10,0	100,00	1000,00	3,162	2,154	31,416	78,54

Kommaverschiebung nach rechts

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
21,5	462,3	9938	4,637	2,781	67,54	363,1
215	46230	9938000	—	—	675,4	36310
2150	4 Stellen	6 Stellen	46,37	—	2 Stellen	4 Stellen

Tafel 1 (Fortsetzung) **10,0···20,0**

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
10.0	100,00	1000,00	3,162	2,154	31,416	78,54
10.1	102,01	1030,30	3,178	2,162	31,730	80,12
10.2	104,04	1061,21	3,194	2,169	32,044	81,71
10.3	106,09	1092,73	3,209	2,176	32,358	83,32
10.4	108,16	1124,86	3,225	2,183	32,673	84,95
10.5	110,25	1157,63	3,240	2,190	32,987	86,59
10.6	112,4	1191	3,256	2,197	33,30	88,25
10.7	114,5	1225	3,271	2,204	33,62	89,92
10.8	116,6	1260	3,286	2,210	33,93	91,61
10.9	118,8	1295	3,302	2,217	34,24	93,31
11.0	121,0	1331	3,317	2,224	34,56	95,03
11.1	123,2	1368	3,332	2,231	34,87	96,77
11.2	125,4	1405	3,347	2,237	35,19	98,52
11.3	127,7	1443	3,362	2,244	35,50	100,3
11.4	130,0	1482	3,376	2,251	35,81	102,1
11.5	132,3	1521	3,391	2,257	36,13	103,9
11.6	134,6	1561	3,406	2,264	36,44	105,7
11.7	136,9	1602	3,421	2,270	36,76	107,5
11.8	139,2	1643	3,435	2,277	37,07	109,4
11.9	141,6	1685	3,450	2,283	37,38	111,2
12.0	144,0	1728	3,464	2,289	37,70	113,1
12.1	146,4	1772	3,479	2,296	38,01	115,0
12.2	148,8	1816	3,493	2,302	38,33	116,9
12.3	151,3	1861	3,507	2,308	38,64	118,8
12.4	153,8	1907	3,521	2,315	38,96	120,8
12.5	156,3	1953	3,536	2,321	39,27	122,7
12.6	158,8	2000	3,550	2,327	39,58	124,7
12.7	161,3	2048	3,564	2,333	39,90	126,7
12.8	163,8	2097	3,578	2,339	40,21	128,7
12.9	166,4	2147	3,592	2,345	40,53	130,7
13.0	169,0	2197	3,606	2,351	40,84	132,7
13.1	171,6	2248	3,619	2,357	41,16	134,8
13.2	174,2	2300	3,633	2,363	41,47	136,8
13.3	176,9	2353	3,647	2,369	41,78	138,9
13.4	179,6	2406	3,661	2,375	42,10	141,0
13.5	182,3	2460	3,674	2,381	42,41	143,1
13.6	185,0	2515	3,688	2,387	42,73	145,3
13.7	187,7	2571	3,701	2,393	43,04	147,4
13.8	190,4	2628	3,715	2,399	43,35	149,6
13.9	193,2	2686	3,728	2,404	43,67	151,7
14.0	196,0	2744	3,742	2,410	43,98	153,9
14.1	198,8	2803	3,755	2,416	44,30	156,1
14.2	201,6	2863	3,768	2,422	44,61	158,4
14.3	204,5	2924	3,782	2,427	44,93	160,6
14.4	207,4	2986	3,795	2,433	45,24	162,9
14.5	210,3	3049	3,808	2,438	45,55	165,1
14.6	213,2	3112	3,821	2,444	45,87	167,4
14.7	216,1	3177	3,834	2,450	46,18	169,7
14.8	219,0	3242	3,847	2,455	46,50	172,0
14.9	222,0	3308	3,860	2,461	46,81	174,4
15.0	225,0	3375	3,873	2,466	47,12	176,7

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
15,0	225,0	3375	3,873	2,466	47,12	176,7
15,1	228,0	3443	3,886	2,472	47,44	179,1
15,2	231,0	3512	3,899	2,477	47,75	181,5
15,3	234,1	3582	3,912	2,483	48,07	183,9
15,4	237,2	3652	3,924	2,488	48,38	186,3
15,5	240,3	3724	3,937	2,493	48,69	188,7
15,6	243,4	3796	3,950	2,499	49,01	191,1
15,7	246,5	3870	3,962	2,504	49,32	193,6
15,8	249,6	3944	3,975	2,509	49,64	196,1
15,9	252,8	4020	3,987	2,515	49,95	198,6
16,0	256,0	4096	4,000	2,520	50,27	201,1
16,1	259,2	4173	4,012	2,525	50,58	203,6
16,2	262,4	4252	4,025	2,530	50,89	206,1
16,3	265,7	4331	4,037	2,535	51,21	208,7
16,4	269,0	4411	4,050	2,541	51,52	211,2
16,5	272,3	4492	4,062	2,546	51,84	213,8
16,6	275,6	4574	4,074	2,551	52,15	216,4
16,7	278,9	4657	4,087	2,556	52,47	219,0
16,8	282,2	4742	4,099	2,561	52,78	221,7
16,9	285,6	4827	4,111	2,566	53,09	224,3
17,0	289,0	4913	4,123	2,571	53,41	227,0
17,1	292,4	5000	4,135	2,576	53,72	229,7
17,2	295,8	5088	4,147	2,581	54,04	232,4
17,3	299,3	5178	4,159	2,586	54,35	235,1
17,4	302,8	5268	4,171	2,591	54,66	237,8
17,5	306,3	5359	4,183	2,596	54,98	240,5
17,6	309,8	5452	4,195	2,601	55,29	243,3
17,7	313,3	5545	4,207	2,606	55,61	246,1
17,8	316,8	5640	4,219	2,611	55,92	248,8
17,9	320,4	5735	4,231	2,616	56,24	251,6
18,0	324,0	5832	4,243	2,621	56,55	254,5
18,1	327,6	5930	4,254	2,626	56,86	257,3
18,2	331,2	6029	4,266	2,630	57,18	260,2
18,3	334,9	6128	4,278	2,635	57,49	263,0
18,4	338,6	6230	4,290	2,640	57,81	265,9
18,5	342,3	6332	4,301	2,645	58,12	268,8
18,6	346,0	6435	4,313	2,650	58,43	271,7
18,7	349,7	6539	4,324	2,654	58,75	274,6
18,8	353,4	6645	4,336	2,659	59,06	277,6
18,9	357,2	6751	4,347	2,664	59,38	280,6
19,0	361,0	6859	4,359	2,668	59,69	283,5
19,1	364,8	6968	4,370	2,673	60,00	286,5
19,2	368,6	7078	4,382	2,678	60,32	289,5
19,3	372,5	7189	4,393	2,682	60,63	292,6
19,4	376,4	7301	4,405	2,687	60,95	295,6
19,5	380,3	7415	4,416	2,692	61,26	298,6
19,6	384,2	7530	4,427	2,696	61,58	301,7
19,7	388,1	7645	4,438	2,701	61,89	304,8
19,8	392,0	7762	4,450	2,705	62,20	307,9
19,9	396,0	7881	4,461	2,710	62,52	311,0
20,0	400,0	8000	4,472	2,714	62,83	314,2

Kommaverschiebung nach rechts

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
21,5 21500	462,3 6 Stellen	9938 9 Stellen	4,637 —	2,781 27,81	67,54 3 Stellen	363,1 6 Stellen

Tafel 1 (Fortsetzung) 20,0···30,0

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
20,0	400,0	8000	4,472	2,714	62,83	314,2
20,1	404,0	8121	4,483	2,719	63,15	317,3
20,2	408,0	8242	4,494	2,723	63,46	320,5
20,3	412,1	8365	4,506	2,728	63,77	323,7
20,4	416,2	8490	4,517	2,732	64,09	326,9
20,5	420,3	8615	4,528	2,737	64,40	330,1
20,6	424,4	8742	4,539	2,741	64,72	333,3
20,7	428,5	8870	4,550	2,746	65,03	336,5
20,8	432,6	8999	4,561	2,750	65,35	339,8
20,9	436,8	9129	4,572	2,755	65,66	343,1
21,0	441,0	9261	4,583	2,759	65,97	346,4
21,1	445,2	9394	4,593	2,763	66,29	349,7
21,2	449,4	9528	4,604	2,768	66,60	353,0
21,3	453,7	9664	4,615	2,772	66,92	356,3
21,4	458,0	9800	4,626	2,776	67,23	359,7
21,5	462,3	9938	4,637	2,781	67,54	363,1
21,6	466,6	10078	4,648	2,785	67,86	366,4
21,7	470,9	10218	4,658	2,789	68,17	369,8
21,8	475,2	10360	4,669	2,794	68,49	373,3
21,9	479,6	10503	4,680	2,798	68,80	376,7
22,0	484,0	10648	4,690	2,802	69,12	380,1
22,1	488,4	10794	4,701	2,806	69,43	383,6
22,2	492,8	10941	4,712	2,811	69,74	387,1
22,3	497,3	11090	4,722	2,815	70,06	390,6
22,4	501,8	11239	4,733	2,819	70,37	394,1
22,5	506,3	11391	4,743	2,823	70,69	397,6
22,6	510,8	11543	4,754	2,827	71,00	401,1
22,7	515,3	11697	4,764	2,831	71,31	404,7
22,8	519,8	11852	4,775	2,836	71,63	408,3
22,9	524,4	12009	4,785	2,840	71,94	411,9
23,0	529,0	12167	4,796	2,844	72,26	415,5
23,1	533,6	12326	4,806	2,848	72,57	419,1
23,2	538,2	12487	4,817	2,852	72,88	422,7
23,3	542,9	12649	4,827	2,856	73,20	426,4
23,4	547,6	12813	4,837	2,860	73,51	430,1
23,5	552,3	12978	4,848	2,864	73,83	433,7
23,6	557,0	13144	4,858	2,868	74,14	437,4
23,7	561,7	13312	4,868	2,872	74,46	441,2
23,8	566,4	13481	4,879	2,876	74,77	444,9
23,9	571,2	13652	4,889	2,880	75,08	448,6
24,0	576,0	13824	4,899	2,884	75,40	452,4
24,1	580,8	13998	4,909	2,888	75,71	456,2
24,2	585,6	14172	4,919	2,892	76,03	460,0
24,3	590,5	14349	4,930	2,896	76,34	463,8
24,4	595,4	14527	4,940	2,900	76,65	467,6
24,5	600,3	14706	4,950	2,904	76,97	471,4
24,6	605,2	14887	4,960	2,908	77,28	475,3
24,7	610,1	15069	4,970	2,912	77,60	479,2
24,8	615,0	15253	4,980	2,916	77,91	483,1
24,9	620,0	15438	4,990	2,920	78,23	487,0
25,0	625,0	15625	5,000	2,924	78,54	490,9

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
25,0	625,0	15625	5,000	2,924	78,54	490,9
25,1	630,0	15813	5,010	2,928	78,85	494,8
25,2	635,0	16003	5,020	2,932	79,17	498,8
25,3	640,1	16194	5,030	2,936	79,48	502,7
25,4	645,2	16387	5,040	2,940	79,80	506,7
25,5	650,3	16581	5,050	2,943	80,11	510,7
25,6	655,4	16777	5,060	2,947	80,42	514,7
25,7	660,5	16975	5,070	2,951	80,74	518,7
25,8	665,6	17174	5,079	2,955	81,05	522,8
25,9	670,8	17374	5,089	2,959	81,37	526,9
26,0	676,0	17576	5,099	2,962	81,68	530,9
26,1	681,2	17780	5,109	2,966	82,00	535,0
26,2	686,4	17985	5,119	2,970	82,31	539,1
26,3	691,7	18191	5,128	2,974	82,62	543,3
26,4	697,0	18400	5,138	2,978	82,94	547,4
26,5	702,3	18610	5,148	2,981	83,25	551,5
26,6	707,6	18821	5,158	2,985	83,57	555,7
26,7	712,9	19034	5,167	2,989	83,88	559,9
26,8	718,2	19249	5,177	2,993	84,19	564,1
26,9	723,6	19465	5,187	2,996	84,51	568,3
27,0	729,0	19683	5,196	3,000	84,82	572,6
27,1	734,4	19903	5,206	3,004	85,14	576,8
27,2	739,8	20124	5,215	3,007	85,45	581,1
27,3	745,3	20346	5,225	3,011	85,77	585,3
27,4	750,8	20571	5,235	3,015	86,08	589,6
27,5	756,3	20797	5,244	3,018	86,39	594,0
27,6	761,8	21025	5,254	3,022	86,71	598,3
27,7	767,3	21254	5,263	3,026	87,02	602,6
27,8	772,8	21485	5,273	3,029	87,34	607,0
27,9	778,4	21718	5,282	3,033	87,65	611,4
28,0	784,0	21952	5,292	3,037	87,96	615,8
28,1	789,6	22188	5,301	3,040	88,28	620,2
28,2	795,2	22426	5,310	3,044	88,59	624,6
28,3	800,9	22665	5,320	3,047	88,91	629,0
28,4	806,6	22906	5,329	3,051	89,22	633,5
28,5	812,3	23149	5,339	3,055	89,54	637,9
28,6	818,0	23394	5,348	3,058	89,85	642,4
28,7	823,7	23640	5,357	3,062	90,16	646,9
28,8	829,4	23888	5,367	3,065	90,48	651,4
28,9	835,2	24138	5,376	3,069	90,79	656,0
29,0	841,0	24389	5,385	3,072	91,11	660,5
29,1	846,8	24642	5,394	3,076	91,42	665,1
29,2	852,6	24897	5,404	3,079	91,73	669,7
29,3	858,5	25154	5,413	3,083	92,05	674,3
29,4	864,4	25412	5,422	3,086	92,36	678,9
29,5	870,3	25672	5,431	3,090	92,68	683,5
29,6	876,2	25934	5,441	3,093	92,99	688,1
29,7	882,1	26198	5,450	3,097	93,31	692,8
29,8	888,0	26464	5,459	3,100	93,62	697,5
29,9	894,0	26731	5,468	3,104	93,93	702,2
30,0	900,0	27000	5,477	3,107	94,25	706,9

Kommaverschiebung nach links

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
21,5	462,3	9938	4,637	2,781	67,54	363,1
2,15	4,623	9,938	—	—	6,754	3,63
0,215	4 Stellen	6 Stellen	0,4637	—	2 Stellen	4 Stellen

Tafel 1 (Fortsetzung) 30,0···40,0

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
30,0	900,0	27000	5,477	3,107	94,25	706,9
30,1	906,0	27271	5,486	3,111	94,56	711,6
30,2	912,0	27544	5,495	3,114	94,88	716,3
30,3	918,1	27818	5,505	3,117	95,19	721,1
30,4	924,2	28094	5,514	3,121	95,50	725,8
30,5	930,3	28373	5,523	3,124	95,82	730,6
30,6	936,4	28653	5,532	3,128	96,13	735,4
30,7	942,5	28934	5,541	3,131	96,45	740,2
30,8	948,6	29218	5,550	3,135	96,76	745,1
30,9	954,8	29504	5,559	3,138	97,08	749,9
31,0	961,0	29791	5,568	3,141	97,39	754,8
31,1	967,2	30080	5,577	3,145	97,70	759,6
31,2	973,4	30371	5,586	3,148	98,02	764,5
31,3	979,7	30664	5,595	3,151	98,33	769,4
31,4	986,0	30959	5,604	3,155	98,65	774,4
31,5	992,3	31256	5,612	3,158	98,96	779,3
31,6	998,6	31554	5,621	3,162	99,27	784,3
31,7	1005	31855	5,630	3,165	99,59	789,2
31,8	1011	32157	5,639	3,168	99,90	794,2
31,9	1018	32462	5,648	3,171	100,2	799,2
32,0	1024	32768	5,657	3,175	100,5	804,2
32,1	1030	33076	5,666	3,178	100,8	809,3
32,2	1037	33386	5,675	3,181	101,2	814,3
32,3	1043	33698	5,683	3,185	101,5	819,4
32,4	1050	34012	5,692	3,188	101,8	824,5
32,5	1056	34328	5,701	3,191	102,1	829,6
32,6	1063	34646	5,710	3,195	102,4	834,7
32,7	1069	34966	5,718	3,198	102,7	839,8
32,8	1076	35288	5,727	3,201	103,0	845,0
32,9	1082	35611	5,736	3,204	103,4	850,1
33,0	1089	35937	5,745	3,208	103,7	855,3
33,1	1096	36265	5,753	3,211	104,0	860,5
33,2	1102	36594	5,762	3,214	104,3	865,7
33,3	1109	36926	5,771	3,217	104,6	870,9
33,4	1116	37260	5,779	3,220	104,9	876,2
33,5	1122	37595	5,788	3,224	105,2	881,4
33,6	1129	37933	5,797	3,227	105,6	886,7
33,7	1136	38273	5,805	3,230	105,9	892,0
33,8	1142	38614	5,814	3,233	106,2	897,3
33,9	1149	38958	5,822	3,236	106,5	902,6
34,0	1156	39304	5,831	3,240	106,8	907,9
34,1	1163	39652	5,840	3,243	107,1	913,3
34,2	1170	40002	5,848	3,246	107,4	918,6
34,3	1176	40354	5,857	3,249	107,8	924,0
34,4	1183	40708	5,865	3,252	108,1	929,4
34,5	1190	41064	5,874	3,255	108,4	934,8
34,6	1197	41422	5,882	3,259	108,7	940,2
34,7	1204	41782	5,891	3,262	109,0	945,7
34,8	1211	42144	5,899	3,265	109,3	951,1
34,9	1218	42509	5,908	3,268	109,6	956,6
35,0	1225	42875	5,916	3,271	110,0	962,1

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
35,0	1225	42875	5,916	3,271	110,0	962,1
35,1	1232	43244	5,925	3,274	110,3	967,6
35,2	1239	43614	5,933	3,277	110,6	973,1
35,3	1246	43987	5,941	3,280	110,9	978,7
35,4	1253	44362	5,950	3,283	111,2	984,2
35,5	1260	44739	5,958	3,287	111,5	989,8
35,6	1267	45118	5,967	3,290	111,8	995,4
35,7	1274	45499	5,975	3,293	112,2	1001
35,8	1282	45883	5,983	3,296	112,5	1007
35,9	1289	46268	5,992	3,299	112,8	1012
36,0	1296	46656	6,000	3,302	113,1	1018
36,1	1303	47046	6,008	3,305	113,4	1024
36,2	1310	47438	6,017	3,308	113,7	1029
36,3	1318	47832	6,025	3,311	114,0	1035
36,4	1325	48229	6,033	3,314	114,4	1041
36,5	1332	48627	6,042	3,317	114,7	1046
36,6	1340	49028	6,050	3,320	115,0	1052
36,7	1347	49431	6,058	3,323	115,3	1058
36,8	1354	49836	6,066	3,326	115,6	1064
36,9	1362	50243	6,075	3,329	115,9	1069
37,0	1369	50653	6,083	3,332	116,2	1075
37,1	1376	51065	6,091	3,335	116,6	1081
37,2	1384	51479	6,099	3,338	116,9	1087
37,3	1391	51895	6,107	3,341	117,2	1093
37,4	1399	52314	6,116	3,344	117,5	1099
37,5	1406	52734	6,124	3,347	117,8	1104
37,6	1414	53157	6,132	3,350	118,1	1110
37,7	1421	53583	6,140	3,353	118,4	1116
37,8	1429	54010	6,148	3,356	118,8	1122
37,9	1436	54440	6,156	3,359	119,1	1128
38,0	1444	54872	6,164	3,362	119,4	1134
38,1	1452	55306	6,173	3,365	119,7	1140
38,2	1459	55743	6,181	3,368	120,0	1146
38,3	1467	56182	6,189	3,371	120,3	1152
38,4	1475	56623	6,197	3,374	120,6	1158
38,5	1482	57067	6,205	3,377	121,0	1164
38,6	1490	57512	6,213	3,380	121,3	1170
38,7	1498	57961	6,221	3,382	121,6	1176
38,8	1505	58411	6,229	3,385	121,9	1182
38,9	1513	58864	6,237	3,388	122,2	1188
39,0	1521	59319	6,245	3,391	122,5	1195
39,1	1529	59776	6,253	3,394	122,8	1201
39,2	1537	60236	6,261	3,397	123,2	1207
39,3	1544	60698	6,269	3,400	123,5	1213
39,4	1552	61163	6,277	3,403	123,8	1219
39,5	1560	61630	6,285	3,406	124,1	1225
39,6	1568	62099	6,293	3,409	124,4	1232
39,7	1576	62571	6,301	3,411	124,7	1238
39,8	1584	63045	6,309	3,414	125,0	1244
39,9	1592	63521	6,317	3,417	125,3	1250
40,0	1600	64000	6,325	3,420	125,7	1257

Kommaverschiebung nach links

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
21,5	462,3	9938	4,637	2,781	67,54	363,1
0,0215	6 Stellen	9 Stellen	—	0,2781	3 Stellen	6 Stellen

Tafel 1 (Fortsetzung) 40,0···50,0

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
40,0	1600	64000	6,325	3,420	125,7	1257
40,1	1608	64481	6,332	3,423	126,0	1263
40,2	1616	64965	6,340	3,426	126,3	1269
40,3	1624	65451	6,348	3,428	126,6	1276
40,4	1632	65939	6,356	3,431	126,9	1282
40,5	1640	66430	6,364	3,434	127,2	1288
40,6	1648	66923	6,372	3,437	127,5	1295
40,7	1656	67419	6,380	3,440	127,9	1301
40,8	1665	67917	6,387	3,443	128,2	1307
40,9	1673	68418	6,395	3,445	128,5	1314
41,0	1681	68921	6,403	3,448	128,8	1320
41,1	1689	69427	6,411	3,451	129,1	1327
41,2	1697	69935	6,419	3,454	129,4	1333
41,3	1706	70445	6,427	3,457	129,7	1340
41,4	1714	70958	6,434	3,459	130,1	1346
41,5	1722	71473	6,442	3,462	130,4	1353
41,6	1731	71991	6,450	3,465	130,7	1359
41,7	1739	72512	6,458	3,468	131,0	1366
41,8	1747	73035	6,465	3,471	131,3	1372
41,9	1756	73560	6,473	3,473	131,6	1379
42,0	1764	74088	6,481	3,476	131,9	1385
42,1	1772	74618	6,488	3,479	132,3	1392
42,2	1781	75151	6,496	3,482	132,6	1399
42,3	1789	75687	6,504	3,484	132,9	1405
42,4	1798	76225	6,512	3,487	133,2	1412
42,5	1806	76766	6,519	3,490	133,5	1419
42,6	1815	77309	6,527	3,493	133,8	1425
42,7	1823	77854	6,535	3,495	134,1	1432
42,8	1832	78403	6,542	3,498	134,5	1439
42,9	1840	78954	6,550	3,501	134,8	1445
43,0	1849	79507	6,557	3,503	135,1	1452
43,1	1858	80063	6,565	3,506	135,4	1459
43,2	1866	80622	6,573	3,509	135,7	1466
43,3	1875	81183	6,580	3,512	136,0	1473
43,4	1884	81747	6,588	3,514	136,3	1479
43,5	1892	82313	6,595	3,517	136,7	1486
43,6	1901	82882	6,603	3,520	137,0	1493
43,7	1910	83453	6,611	3,522	137,3	1500
43,8	1918	84028	6,618	3,525	137,6	1507
43,9	1927	84605	6,626	3,528	137,9	1514
44,0	1936	85184	6,633	3,530	138,2	1521
44,1	1945	85766	6,641	3,533	138,5	1527
44,2	1954	86351	6,648	3,536	138,9	1534
44,3	1962	86938	6,656	3,538	139,2	1541
44,4	1971	87528	6,663	3,541	139,5	1548
44,5	1980	88121	6,671	3,544	139,8	1555
44,6	1989	88717	6,678	3,546	140,1	1562
44,7	1998	89315	6,686	3,549	140,4	1569
44,8	2007	89915	6,693	3,552	140,7	1576
44,9	2016	90519	6,701	3,554	141,1	1583
45,0	2025	91125	6,708	3,557	141,4	1590

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
45,0	2025	91125	6,708	3,557	141,4	1590
45,1	2034	91734	6,716	3,560	141,7	1598
45,2	2043	92345	6,723	3,562	142,0	1605
45,3	2052	92960	6,731	3,565	142,3	1612
45,4	2061	93577	6,738	3,567	142,6	1619
45,5	2070	94196	6,745	3,570	142,9	1626
45,6	2079	94819	6,753	3,573	143,3	1633
45,7	2088	95444	6,760	3,575	143,6	1640
45,8	2098	96072	6,768	3,578	143,9	1647
45,9	2107	96703	6,775	3,580	144,2	1655
46,0	2116	97336	6,782	3,583	144,5	1662
46,1	2125	97972	6,790	3,586	144,8	1669
46,2	2134	98611	6,797	3,588	145,1	1676
46,3	2144	99253	6,804	3,591	145,5	1684
46,4	2153	99897	6,812	3,593	145,8	1691
46,5	2162	100545	6,819	3,596	146,1	1698
46,6	2172	101195	6,826	3,599	146,4	1706
46,7	2181	101848	6,834	3,601	146,7	1713
46,8	2190	102503	6,841	3,604	147,0	1720
46,9	2200	103162	6,848	3,606	147,3	1728
47,0	2209	103823	6,856	3,609	147,7	1735
47,1	2218	104487	6,863	3,611	148,0	1742
47,2	2228	105154	6,870	3,614	148,3	1750
47,3	2237	105824	6,877	3,616	148,6	1757
47,4	2247	106496	6,885	3,619	148,9	1765
47,5	2256	107172	6,892	3,622	149,2	1772
47,6	2266	107850	6,899	3,624	149,5	1780
47,7	2275	108531	6,907	3,627	149,9	1787
47,8	2285	109215	6,914	3,629	150,2	1795
47,9	2294	109902	6,921	3,632	150,5	1802
48,0	2304	110592	6,928	3,634	150,8	1810
48,1	2314	111285	6,935	3,637	151,1	1817
48,2	2323	111980	6,943	3,639	151,4	1825
48,3	2333	112679	6,950	3,642	151,7	1832
48,4	2343	113380	6,957	3,644	152,1	1840
48,5	2352	114084	6,964	3,647	152,4	1847
48,6	2362	114791	6,971	3,649	152,7	1855
48,7	2372	115501	6,979	3,652	153,0	1863
48,8	2381	116214	6,986	3,654	153,3	1870
48,9	2391	116930	6,993	3,657	153,6	1878
49,0	2401	117649	7,000	3,659	153,9	1886
49,1	2411	118371	7,007	3,662	154,3	1893
49,2	2421	119095	7,014	3,664	154,6	1901
49,3	2430	119823	7,021	3,667	154,9	1909
49,4	2440	120554	7,029	3,669	155,2	1917
49,5	2450	121287	7,036	3,672	155,5	1924
49,6	2460	122024	7,043	3,674	155,8	1932
49,7	2470	122763	7,050	3,677	156,1	1940
49,8	2480	123506	7,057	3,679	156,5	1948
49,9	2490	124251	7,064	3,682	156,8	1956
50,0	2500	125000	7,071	3,684	157,1	1964

Beispiele: $40{,}3^2 = 1624$, $\sqrt{1858} = 43{,}1$,

$41{,}74^2 = 1742$, $\sqrt{1802} = 42{,}45$.

Tafel 1 (Fortsetzung) **50,0···60,0**

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
50,0	2500	125000	7,071	3,684	157,1	1964
50,1	2510	125752	7,078	3,686	157,4	1971
50,2	2520	126506	7,085	3,689	157,7	1979
50,3	2530	127264	7,092	3,691	158,0	1987
50,4	2540	128024	7,099	3,694	158,3	1995
50,5	2550	128788	7,106	3,696	158,7	2003
50,6	2560	129554	7,113	3,699	159,0	2011
50,7	2570	130324	7,120	3,701	159,3	2019
50,8	2581	131097	7,127	3,704	159,6	2027
50,9	2591	131872	7,134	3,706	159,9	2035
51,0	2601	132651	7,141	3,708	160,2	2043
51,1	2611	133433	7,148	3,711	160,5	2051
51,2	2621	134218	7,155	3,713	160,8	2059
51,3	2632	135006	7,162	3,716	161,2	2067
51,4	2642	135797	7,169	3,718	161,5	2075
51,5	2652	136591	7,176	3,721	161,8	2083
51,6	2663	137388	7,183	3,723	162,1	2091
51,7	2673	138188	7,190	3,725	162,4	2099
51,8	2683	138992	7,197	3,728	162,7	2107
51,9	2694	139798	7,204	3,730	163,0	2116
52,0	2704	140608	7,211	3,733	163,4	2124
52,1	2714	141421	7,218	3,735	163,7	2132
52,2	2725	142237	7,225	3,737	164,0	2140
52,3	2735	143056	7,232	3,740	164,3	2148
52,4	2746	143878	7,239	3,742	164,6	2157
52,5	2756	144703	7,246	3,744	164,9	2165
52,6	2767	145532	7,253	3,747	165,2	2173
52,7	2777	146363	7,259	3,749	165,6	2181
52,8	2788	147198	7,266	3,752	165,9	2190
52,9	2798	148036	7,273	3,754	166,2	2198
53,0	2809	148877	7,280	3,756	166,5	2206
53,1	2820	149721	7,287	3,759	166,8	2215
53,2	2830	150569	7,294	3,761	167,1	2223
53,3	2841	151419	7,301	3,763	167,4	2231
53,4	2852	152273	7,308	3,766	167,8	2240
53,5	2862	153130	7,314	3,768	168,1	2248
53,6	2873	153991	7,321	3,770	168,4	2256
53,7	2884	154854	7,328	3,773	168,7	2265
53,8	2894	155721	7,335	3,775	169,0	2273
53,9	2905	156591	7,342	3,777	169,3	2282
54,0	2916	157464	7,348	3,780	169,7	2290
54,1	2927	158340	7,355	3,782	170,0	2299
54,2	2938	159220	7,362	3,784	170,3	2307
54,3	2948	160103	7,369	3,787	170,6	2316
54,4	2959	160989	7,376	3,789	170,9	2324
54,5	2970	161879	7,382	3,791	171,2	2333
54,6	2981	162771	7,389	3,794	171,5	2341
54,7	2992	163667	7,396	3,796	171,8	2350
54,8	3003	164567	7,403	3,798	172,2	2359
54,9	3014	165469	7,409	3,801	172,5	2367
55,0	3025	166375	7,416	3,803	172,8	2376

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
55,0	3025	166375	7,416	3,803	172,8	2376
55,1	3036	167284	7,423	3,805	173,1	2384
55,2	3047	168197	7,430	3,808	173,4	2393
55,3	3058	169112	7,436	3,810	173,7	2402
55,4	3069	170031	7,443	3,812	174,0	2411
55,5	3080	170954	7,450	3,814	174,4	2419
55,6	3091	171880	7,457	3,817	174,7	2428
55,7	3102	172809	7,463	3,819	175,0	2437
55,8	3114	173741	7,470	3,821	175,3	2445
55,9	3125	174677	7,477	3,824	175,6	2454
56,0	3136	175616	7,483	3,826	175,9	2463
56,1	3147	176558	7,490	3,828	176,2	2472
56,2	3158	177504	7,497	3,830	176,6	2481
56,3	3170	178454	7,503	3,833	176,9	2489
56,4	3181	179406	7,510	3,835	177,2	2498
56,5	3192	180362	7,517	3,837	177,5	2507
56,6	3204	181321	7,523	3,839	177,8	2516
56,7	3215	182284	7,530	3,842	178,1	2525
56,8	3226	183250	7,537	3,844	178,4	2534
56,9	3238	184220	7,543	3,846	178,8	2543
57,0	3249	185193	7,550	3,849	179,1	2552
57,1	3260	186169	7,556	3,851	179,4	2561
57,2	3272	187149	7,563	3,853	179,7	2570
57,3	3283	188133	7,570	3,855	180,0	2579
57,4	3295	189119	7,576	3,857	180,3	2588
57,5	3306	190109	7,583	3,860	180,6	2597
57,6	3318	191103	7,589	3,862	181,0	2606
57,7	3329	192100	7,596	3,864	181,3	2615
57,8	3341	193101	7,603	3,866	181,6	2624
57,9	3352	194105	7,609	3,869	181,9	2633
58,0	3364	195112	7,616	3,871	182,2	2642
58,1	3376	196123	7,622	3,873	182,5	2651
58,2	3387	197137	7,629	3,875	182,8	2660
58,3	3399	198155	7,635	3,878	183,2	2669
58,4	3411	199177	7,642	3,880	183,5	2679
58,5	3422	200202	7,649	3,882	183,8	2688
58,6	3434	201230	7,655	3,884	184,1	2697
58,7	3446	202262	7,662	3,886	184,4	2706
58,8	3457	203297	7,668	3,889	184,7	2715
58,9	3469	204336	7,675	3,891	185,0	2725
59,0	3481	205379	7,681	3,893	185,4	2734
59,1	3493	206425	7,688	3,895	185,7	2743
59,2	3505	207475	7,694	3,897	186,0	2753
59,3	3516	208528	7,701	3,900	186,3	2762
59,4	3528	209585	7,707	3,902	186,6	2771
59,5	3540	210645	7,714	3,904	186,9	2781
59,6	3552	211709	7,720	3,906	187,2	2790
59,7	3564	212776	7,727	3,908	187,6	2799
59,8	3576	213847	7,733	3,911	187,9	2809
59,9	3588	214922	7,740	3,913	188,2	2818
60,0	3600	216000	7,746	3,915	188,5	2827

Beispiele: $50{,}4^3 = 128024$, $\sqrt[3]{157464} = 54{,}0$,

$51{,}67^3 = 137948$, $\sqrt[3]{158375} \approx 54{,}14$.

Tafel 1 (Fortsetzung) 60,0···70,0

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
60,0	3600	216000	7,746	3,915	188,5	2827
60,1	3612	217082	7,752	3,917	188,8	2837
60,2	3624	218167	7,759	3,919	189,1	2846
60,3	3636	219256	7,765	3,921	189,4	2856
60,4	3648	220349	7,772	3,924	189,8	2865
60,5	3660	221445	7,778	3,926	190,1	2875
60,6	3672	222545	7,785	3,928	190,4	2884
60,7	3684	223649	7,791	3,930	190,7	2894
60,8	3697	224756	7,797	3,932	191,0	2903
60,9	3709	225867	7,804	3,934	191,3	2913
61,0	3721	226981	7,810	3,936	191,6	2922
61,1	3733	228099	7,817	3,939	192,0	2932
61,2	3745	229221	7,823	3,941	192,3	2942
61,3	3758	230346	7,829	3,943	192,6	2951
61,4	3770	231476	7,836	3,945	192,9	2961
61,5	3782	232608	7,842	3,947	193,2	2971
61,6	3795	233745	7,849	3,949	193,5	2980
61,7	3807	234885	7,855	3,951	193,8	2990
61,8	3819	236029	7,861	3,954	194,2	3000
61,9	3832	237177	7,868	3,956	194,5	3009
62,0	3844	238328	7,874	3,958	194,8	3019
62,1	3856	239483	7,880	3,960	195,1	3029
62,2	3869	240642	7,887	3,962	195,4	3039
62,3	3881	241804	7,893	3,964	195,7	3048
62,4	3894	242971	7,899	3,966	196,0	3058
62,5	3906	244141	7,906	3,968	196,3	3068
62,6	3919	245314	7,912	3,971	196,7	3078
62,7	3931	246492	7,918	3,973	197,0	3088
62,8	3944	247673	7,925	3,975	197,3	3097
62,9	3956	248858	7,931	3,977	197,6	3107
63,0	3969	250047	7,937	3,979	197,9	3117
63,1	3982	251240	7,944	3,981	198,2	3127
63,2	3994	252436	7,950	3,983	198,5	3137
63,3	4007	253636	7,956	3,985	198,9	3147
63,4	4020	254840	7,962	3,987	199,2	3157
63,5	4032	256048	7,969	3,990	199,5	3167
63,6	4045	257259	7,975	3,992	199,8	3177
63,7	4058	258475	7,981	3,994	200,1	3187
63,8	4070	259694	7,987	3,996	200,4	3197
63,9	4083	260917	7,994	3,998	200,7	3207
64,0	4096	262144	8,000	4,000	201,1	3217
64,1	4109	263375	8,006	4,002	201,4	3227
64,2	4122	264609	8,012	4,004	201,7	3237
64,3	4134	265848	8,019	4,006	202,0	3247
64,4	4147	267090	8,025	4,008	202,3	3257
64,5	4160	268336	8,031	4,010	202,6	3267
64,6	4173	269586	8,037	4,013	202,9	3278
64,7	4186	270840	8,044	4,015	203,3	3288
64,8	4199	272098	8,050	4,017	203,6	3298
64,9	4212	273359	8,056	4,019	203,9	3308
65,0	4225	274625	8,062	4,021	204,2	3318

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
65,0	4225	274625	8,062	4,021	204,2	3318
65,1	4238	275894	8,068	4,023	204,5	3329
65,2	4251	277168	8,075	4,025	204,8	3339
65,3	4264	278445	8,081	4,027	205,1	3349
65,4	4277	279726	8,087	4,029	205,5	3359
65,5	4290	281011	8,093	4,031	205,8	3370
65,6	4303	282300	8,099	4,033	206,1	3380
65,7	4316	283593	8,106	4,035	206,4	3390
65,8	4330	284890	8,112	4,037	206,7	3400
65,9	4343	286191	8,118	4,039	207,0	3411
66,0	4356	287496	8,124	4,041	207,3	3421
66,1	4369	288805	8,130	4,043	207,7	3432
66,2	4382	290118	8,136	4,045	208,0	3442
66,3	4396	291434	8,142	4,047	208,3	3452
66,4	4409	292755	8,149	4,049	208,6	3463
66,5	4422	294080	8,155	4,051	208,9	3473
66,6	4436	295408	8,161	4,053	209,2	3484
66,7	4449	296741	8,167	4,055	209,5	3494
66,8	4462	298078	8,173	4,058	209,9	3505
66,9	4476	299418	8,179	4,060	210,2	3515
67,0	4489	300763	8,185	4,062	210,5	3526
67,1	4502	302112	8,191	4,064	210,8	3536
67,2	4516	303464	8,198	4,066	211,1	3547
67,3	4529	304821	8,204	4,068	211,4	3557
67,4	4543	306182	8,210	4,070	211,7	3568
67,5	4556	307547	8,216	4,072	212,1	3578
67,6	4570	308916	8,222	4,074	212,4	3589
67,7	4583	310289	8,228	4,076	212,7	3600
67,8	4597	311666	8,234	4,078	213,0	3610
67,9	4610	313047	8,240	4,080	213,3	3621
68,0	4624	314432	8,246	4,082	213,6	3632
68,1	4638	315821	8,252	4,084	213,9	3642
68,2	4651	317215	8,258	4,086	214,3	3653
68,3	4665	318612	8,264	4,088	214,6	3664
68,4	4679	320014	8,270	4,090	214,9	3675
68,5	4692	321419	8,276	4,092	215,2	3685
68,6	4706	322829	8,283	4,094	215,5	3696
68,7	4720	324243	8,289	4,096	215,8	3707
68,8	4733	325661	8,295	4,098	216,1	3718
68,9	4747	327083	8,301	4,100	216,5	3728
69,0	4761	328509	8,307	4,102	216,8	3739
69,1	4775	329939	8,313	4,104	217,1	3750
69,2	4789	331374	8,319	4,106	217,4	3761
69,3	4802	332813	8,325	4,108	217,7	3772
69,4	4816	334255	8,331	4,109	218,0	3783
69,5	4830	335702	8,337	4,111	218,3	3794
69,6	4844	337154	8,343	4,113	218,7	3805
69,7	4858	338609	8,349	4,115	219,0	3816
69,8	4872	340068	8,355	4,117	219,3	3826
69,9	4886	341532	8,361	4,119	219,6	3837
70,0	4900	343000	8,367	4,121	219,9	3848

Beispiele: $\sqrt{65{,}7} = 8{,}106$, $8{,}337^2 = 69{,}5$,

$\sqrt{0{,}657} = 0{,}811$, $83{,}37^2 = 6950$.

Tafel 1 (Fortsetzung) **70,0···80,0**

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
70,0	4900	343000	8,367	4,121	219,9	3848
70,1	4914	344472	8,373	4,123	220,2	3859
70,2	4928	345948	8,379	4,125	220,5	3870
70,3	4942	347429	8,385	4,127	220,9	3882
70,4	4956	348914	8,390	4,129	221,2	3893
70,5	4970	350403	8,396	4,131	221,5	3904
70,6	4984	351896	8,402	4,133	221,8	3915
70,7	4998	353393	8,408	4,135	222,1	3926
70,8	5013	354895	8,414	4,137	222,4	3937
70,9	5027	356401	8,420	4,139	222,7	3948
71,0	5041	357911	8,426	4,141	223,1	3959
71,1	5055	359425	8,432	4,143	223,4	3970
71,2	5069	360944	8,438	4,145	223,7	3982
71,3	5084	362467	8,444	4,147	224,0	3993
71,4	5098	363994	8,450	4,149	224,3	4004
71,5	5112	365526	8,456	4,151	224,6	4015
71,6	5127	367062	8,462	4,152	224,9	4026
71,7	5141	368602	8,468	4,154	225,3	4038
71,8	5155	370146	8,473	4,156	225,6	4049
71,9	5170	371695	8,479	4,158	225,9	4060
72,0	5184	373248	8,485	4,160	226,2	4072
72,1	5198	374805	8,491	4,162	226,5	4083
72,2	5213	376367	8,497	4,164	226,8	4094
72,3	5227	377933	8,503	4,166	227,1	4106
72,4	5242	379503	8,509	4,168	227,5	4117
72,5	5256	381078	8,515	4,170	227,8	4128
72,6	5271	382657	8,521	4,172	228,1	4140
72,7	5285	384241	8,526	4,174	228,4	4151
72,8	5300	385828	8,532	4,176	228,7	4162
72,9	5314	387420	8,538	4,177	229,0	4174
73,0	5329	389017	8,544	4,179	229,3	4185
73,1	5344	390618	8,550	4,181	229,7	4197
73,2	5358	392223	8,556	4,183	230,0	4208
73,3	5373	393833	8,562	4,185	230,3	4220
73,4	5388	395447	8,567	4,187	230,6	4231
73,5	5402	397065	8,573	4,189	230,9	4243
73,6	5417	398688	8,579	4,191	231,2	4254
73,7	5432	400316	8,585	4,193	231,5	4266
73,8	5446	401947	8,591	4,195	231,8	4278
73,9	5461	403583	8,597	4,196	232,2	4289
74,0	5476	405224	8,602	4,198	232,5	4301
74,1	5491	406869	8,608	4,200	232,8	4312
74,2	5506	408518	8,614	4,202	233,1	4324
74,3	5520	410172	8,620	4,204	233,4	4336
74,4	5535	411831	8,626	4,206	233,7	4347
74,5	5550	413494	8,631	4,208	234,0	4359
74,6	5565	415161	8,637	4,210	234,4	4371
74,7	5580	416833	8,643	4,212	234,7	4383
74,8	5595	418509	8,649	4,213	235,0	4394
74,9	5610	420190	8,654	4,215	235,3	4406
75,0	5625	421875	8,660	4,217	235,6	4418

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
75,0	5625	421875	8,660	4,217	235,6	4418
75,1	5640	423565	8,666	4,219	235,9	4430
75,2	5655	425259	8,672	4,221	236,2	4441
75,3	5670	426958	8,678	4,223	236,6	4453
75,4	5685	428661	8,683	4,225	236,9	4465
75,5	5700	430369	8,689	4,227	237,2	4477
75,6	5715	432081	8,695	4,228	237,5	4489
75,7	5730	433798	8,701	4,230	237,8	4501
75,8	5746	435520	8,706	4,232	238,1	4513
75,9	5761	437245	8,712	4,234	238,4	4525
76,0	5776	438976	8,718	4,236	238,8	4536
76,1	5791	440711	8,724	4,238	239,1	4548
76,2	5806	442451	8,729	4,240	239,4	4560
76,3	5822	444195	8,735	4,241	239,7	4572
76,4	5837	445944	8,741	4,243	240,0	4584
76,5	5852	447697	8,746	4,245	240,3	4596
76,6	5868	449455	8,752	4,247	240,6	4608
76,7	5883	451218	8,758	4,249	241,0	4620
76,8	5898	452985	8,764	4,251	241,3	4632
76,9	5914	454757	8,769	4,252	241,6	4645
77,0	5929	456533	8,775	4,254	241,9	4657
77,1	5944	458314	8,781	4,256	242,2	4669
77,2	5960	460100	8,786	4,258	242,5	4681
77,3	5975	461890	8,792	4,260	242,8	4693
77,4	5991	463685	8,798	4,262	243,2	4705
77,5	6006	465484	8,803	4,264	243,5	4717
77,6	6022	467289	8,809	4,265	243,8	4729
77,7	6037	469097	8,815	4,267	244,1	4742
77,8	6053	470911	8,820	4,269	244,4	4754
77,9	6068	472729	8,826	4,271	244,7	4766
78,0	6084	474552	8,832	4,273	245,0	4778
78,1	6100	476380	8,837	4,274	245,4	4791
78,2	6115	478212	8,843	4,276	245,7	4803
78,3	6131	480049	8,849	4,278	246,0	4815
78,4	6147	481890	8,854	4,280	246,3	4827
78,5	6162	483737	8,860	4,282	246,6	4840
78,6	6178	485588	8,866	4,284	246,9	4852
78,7	6194	487443	8,871	4,285	247,2	4865
78,8	6209	489304	8,877	4,287	247,6	4877
78,9	6225	491169	8,883	4,289	247,9	4889
79,0	6241	493039	8,888	4,291	248,2	4902
79,1	6257	494914	8,894	4,293	248,5	4914
79,2	6273	496793	8,899	4,294	248,8	4927
79,3	6288	498677	8,905	4,296	249,1	4939
79,4	6304	500566	8,911	4,298	249,4	4951
79,5	6320	502460	8,916	4,300	249,8	4964
79,6	6336	504358	8,922	4,302	250,1	4976
79,7	6352	506262	8,927	4,303	250,4	4989
79,8	6368	508170	8,933	4,305	250,7	5001
79,9	6384	510082	8,939	4,307	251,0	5014
80,0	6400	512000	8,944	4,309	251,3	5027

Beispiele: $\sqrt[3]{77{,}6} = 4{,}265$, $4{,}172^3 = 72{,}6$,

$\sqrt[3]{70{,}65} = 4{,}134$, $4{,}308^3 = 79{,}95$.

Tafel 1 (Fortsetzung) 80,0···90,0

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
80,0	6400	512000	8,944	4,309	251,3	5027
80,1	6416	513922	8,950	4,311	251,6	5039
80,2	6432	515850	8,955	4,312	252,0	5052
80,3	6448	517782	8,961	4,314	252,3	5064
80,4	6464	519718	8,967	4,316	252,6	5077
80,5	6480	521660	8,972	4,318	252,9	5090
80,6	6496	523607	8,978	4,320	253,2	5102
80,7	6512	525558	8,983	4,321	253,5	5115
80,8	6529	527514	8,989	4,323	253,8	5128
80,9	6545	529475	8,994	4,325	254,2	5140
81,0	6561	531441	9,000	4,327	254,5	5153
81,1	6577	533412	9,006	4,329	254,8	5166
81,2	6593	535387	9,011	4,330	255,1	5178
81,3	6610	537368	9,017	4,332	255,4	5191
81,4	6626	539353	9,022	4,334	255,7	5204
81,5	6642	541343	9,028	4,336	256,0	5217
81,6	6659	543338	9,033	4,337	256,4	5230
81,7	6675	545339	9,039	4,339	256,7	5242
81,8	6691	547343	9,044	4,341	257,0	5255
81,9	6708	549353	9,050	4,343	257,3	5268
82,0	6724	551368	9,055	4,344	257,6	5281
82,1	6740	553388	9,061	4,346	257,9	5294
82,2	6757	555412	9,066	4,348	258,2	5307
82,3	6773	557442	9,072	4,350	258,6	5320
82,4	6790	559476	9,077	4,352	258,9	5333
82,5	6806	561516	9,083	4,353	259,2	5346
82,6	6823	563560	9,088	4,355	259,5	5359
82,7	6839	565609	9,094	4,357	259,8	5372
82,8	6856	567664	9,099	4,359	260,1	5385
82,9	6872	569723	9,105	4,360	260,4	5398
83,0	6889	571787	9,110	4,362	260,8	5411
83,1	6906	573856	9,116	4,364	261,1	5424
83,2	6922	575930	9,121	4,366	261,4	5437
83,3	6939	578010	9,127	4,367	261,7	5450
83,4	6956	580094	9,132	4,369	262,0	5463
83,5	6972	582183	9,138	4,371	262,3	5476
83,6	6989	584277	9,143	4,373	262,6	5489
83,7	7006	586376	9,149	4,374	263,0	5502
83,8	7022	588480	9,154	4,376	263,3	5515
83,9	7039	590590	9,160	4,378	263,6	5529
84,0	7056	592704	9,165	4,380	263,9	5542
84,1	7073	594823	9,171	4,381	264,2	5555
84,2	7090	596948	9,176	4,383	264,5	5568
84,3	7106	599077	9,182	4,385	264,8	5581
84,4	7123	601212	9,187	4,386	265,2	5595
84,5	7140	603351	9,192	4,388	265,5	5608
84,6	7157	605496	9,198	4,390	265,8	5621
84,7	7174	607645	9,203	4,392	266,1	5635
84,8	7191	609800	9,209	4,393	266,4	5648
84,9	7208	611960	9,214	4,395	266,7	5661
85,0	7225	614125	9,220	4,397	267,0	5675

$n = d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
85,0	7225	614125	9,220	4,397	267,0	5675
85,1	7242	616295	9,225	4,399	267,3	5688
85,2	7259	618470	9,230	4,400	267,7	5701
85,3	7276	620650	9,236	4,402	268,0	5715
85,4	7293	622836	9,241	4,404	268,3	5728
85,5	7310	625026	9,247	4,405	268,6	5741
85,6	7327	627222	9,252	4,407	268,9	5755
85,7	7344	629423	9,257	4,409	269,2	5768
85,8	7362	631629	9,263	4,411	269,5	5782
85,9	7379	633840	9,268	4,412	269,9	5795
86,0	7396	636056	9,274	4,414	270,2	5809
86,1	7413	638277	9,279	4,416	270,5	5822
86,2	7430	640504	9,284	4,417	270,8	5836
86,3	7448	642736	9,290	4,419	271,1	5849
86,4	7465	644973	9,295	4,421	271,4	5863
86,5	7482	647215	9,301	4,423	271,7	5877
86,6	7500	649462	9,306	4,424	272,1	5890
86,7	7517	651714	9,311	4,426	272,4	5904
86,8	7534	653972	9,317	4,428	272,7	5917
86,9	7552	656235	9,322	4,429	273,0	5931
87,0	7569	658503	9,327	4,431	273,3	5945
87,1	7586	660776	9,333	4,433	273,6	5958
87,2	7604	663055	9,338	4,434	273,9	5972
87,3	7621	665339	9,343	4,436	274,3	5986
87,4	7639	667628	9,349	4,438	274,6	5999
87,5	7656	669922	9,354	4,440	274,9	6013
87,6	7674	672221	9,359	4,441	275,2	6027
87,7	7691	674526	9,365	4,443	275,5	6041
87,8	7709	676836	9,370	4,445	275,8	6055
87,9	7726	679151	9,375	4,446	276,1	6068
88,0	7744	681472	9,381	4,448	276,5	6082
88,1	7762	683798	9,386	4,450	276,8	6096
88,2	7779	686129	9,391	4,451	277,1	6110
88,3	7797	688465	9,397	4,453	277,4	6124
88,4	7815	690807	9,402	4,455	277,7	6138
88,5	7832	693154	9,407	4,456	278,0	6151
88,6	7850	695506	9,413	4,458	278,3	6165
88,7	7868	697864	9,418	4,460	278,7	6179
88,8	7885	700227	9,423	4,461	279,0	6193
88,9	7903	702595	9,429	4,463	279,3	6207
89,0	7921	704969	9,434	4,465	279,6	6221
89,1	7939	707348	9,439	4,466	279,9	6235
89,2	7957	709732	9,445	4,468	280,2	6249
89,3	7974	712122	9,450	4,470	280,5	6263
89,4	7992	714517	9,455	4,471	280,9	6277
89,5	8010	716917	9,460	4,473	281,2	6291
89,6	8028	719323	9,466	4,475	281,5	6305
89,7	8046	721734	9,471	4,476	281,8	6319
89,8	8064	724151	9,476	4,478	282,1	6333
89,9	8082	726573	9,482	4,480	282,4	6348
90,0	8100	729000	9,487	4,481	282,7	6362

Beispiele: $d = 82{,}6 \rightarrow \pi d = 259{,}5$, $\pi d = 282{,}4 \rightarrow d = 89{,}9$,

$d = 8{,}89 \rightarrow \pi d = 27{,}93$, $\pi d = 25{,}64 \rightarrow d = 8{,}165$.

Tafel 1 (Fortsetzung) **90,0···100,0**

$n=d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
90,0	8100	729000	9,487	4,481	282,7	6362
90,1	8118	731433	9,492	4,483	283,1	6376
90,2	8136	733871	9,497	4,485	283,4	6390
90,3	8154	736314	9,503	4,486	283,7	6404
90,4	8172	738763	9,508	4,488	284,0	6418
90,5	8190	741218	9,513	4,490	284,3	6433
90,6	8208	743677	9,518	4,491	284,6	6447
90,7	8226	746143	9,524	4,493	284,9	6461
90,8	8245	748613	9,529	4,495	285,3	6475
90,9	8263	751089	9,534	4,496	285,6	6490
91,0	8281	753571	9,539	4,498	285,9	6504
91,1	8299	756058	9,545	4,500	286,2	6518
91,2	8317	758551	9,550	4,501	286,5	6533
91,3	8336	761048	9,555	4,503	286,8	6547
91,4	8354	763552	9,560	4,505	287,1	6561
91,5	8372	766061	9,566	4,506	287,5	6576
91,6	8391	768575	9,571	4,508	287,8	6590
91,7	8409	771095	9,576	4,509	288,1	6604
91,8	8427	773621	9,581	4,511	288,4	6619
91,9	8446	776152	9,586	4,513	288,7	6633
92,0	8464	778688	9,592	4,514	289,0	6648
92,1	8482	781230	9,597	4,516	289,3	6662
92,2	8501	783777	9,602	4,518	289,7	6677
92,3	8519	786330	9,607	4,519	290,0	6691
92,4	8538	788889	9,612	4,521	290,3	6706
92,5	8556	791453	9,618	4,523	290,6	6720
92,6	8575	794023	9,623	4,524	290,9	6735
92,7	8593	796598	9,628	4,526	291,2	6749
92,8	8612	799179	9,633	4,527	291,5	6764
92,9	8630	801765	9,638	4,529	291,9	6778
93,0	8649	804357	9,644	4,531	292,2	6793
93,1	8668	806954	9,649	4,532	292,5	6808
93,2	8686	809558	9,654	4,534	292,8	6822
93,3	8705	812166	9,659	4,536	293,1	6837
93,4	8724	814781	9,664	4,537	293,4	6851
93,5	8742	817400	9,670	4,539	293,7	6866
93,6	8761	820026	9,675	4,540	294,1	6881
93,7	8780	822657	9,680	4,542	294,4	6896
93,8	8798	825294	9,685	4,544	294,7	6910
93,9	8817	827936	9,690	4,545	295,0	6925
94,0	8836	830584	9,695	4,547	295,3	6940
94,1	8855	833238	9,701	4,548	295,6	6955
94,2	8874	835897	9,706	4,550	295,9	6969
94,3	8892	838562	9,711	4,552	296,3	6984
94,4	8911	841232	9,716	4,553	296,6	6999
94,5	8930	843909	9,721	4,555	296,9	7014
94,6	8949	846591	9,726	4,556	297,2	7029
94,7	8968	849278	9,731	4,558	297,5	7044
94,8	8987	851971	9,737	4,560	297,8	7058
94,9	9006	854670	9,742	4,561	298,1	7073
95,0	9025	857375	9,747	4,563	298,5	7088

$n=d$	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	πd	$\frac{\pi d^2}{4}$
95,0	9025	857375	9,747	4,563	298,5	7088
95,1	9044	860085	9,752	4,565	298,8	7103
95,2	9063	862801	9,757	4,566	299,1	7118
95,3	9082	865523	9,762	4,568	299,4	7133
95,4	9101	868251	9,767	4,569	299,7	7148
95,5	9120	870984	9,772	4,571	300,0	7163
95,6	9139	873723	9,778	4,572	300,3	7178
95,7	9158	876467	9,783	4,574	300,7	7193
95,8	9178	879218	9,788	4,576	301,0	7208
95,9	9197	881974	9,793	4,577	301,3	7223
96,0	9216	884736	9,798	4,579	301,6	7238
96,1	9235	887504	9,803	4,580	301,9	7253
96,2	9254	890277	9,808	4,582	302,2	7268
96,3	9274	893056	9,813	4,584	302,5	7284
96,4	9293	895841	9,818	4,585	302,8	7299
96,5	9312	898632	9,823	4,587	303,2	7314
96,6	9332	901429	9,829	4,588	303,5	7329
96,7	9351	904231	9,834	4,590	303,8	7344
96,8	9370	907039	9,839	4,592	304,1	7359
96,9	9390	909853	9,844	4,593	304,4	7375
97,0	9409	912673	9,849	4,595	304,7	7390
97,1	9428	915499	9,854	4,596	305,0	7405
97,2	9448	918330	9,859	4,598	305,4	7420
97,3	9467	921167	9,864	4,599	305,7	7436
97,4	9487	924010	9,869	4,601	306,0	7451
97,5	9506	926859	9,874	4,603	306,3	7466
97,6	9526	929714	9,879	4,604	306,6	7482
97,7	9545	932575	9,884	4,606	306,9	7497
97,8	9565	935441	9,889	4,607	307,2	7512
97,9	9584	938314	9,894	4,609	307,6	7528
98,0	9604	941192	9,899	4,610	307,9	7543
98,1	9624	944076	9,905	4,612	308,2	7558
98,2	9643	946966	9,910	4,614	308,5	7574
98,3	9663	949862	9,915	4,615	308,8	7589
98,4	9683	952764	9,920	4,617	309,1	7605
98,5	9702	955672	9,925	4,618	309,4	7620
98,6	9722	958585	9,930	4,620	309,8	7636
98,7	9742	961505	9,935	4,621	310,1	7651
98,8	9761	964430	9,940	4,623	310,4	7667
98,9	9781	967362	9 945	4,625	310,7	7682
99,0	9801	970299	9,950	4,626	311,0	7698
99,1	9821	973242	9,955	4,628	311,3	7713
99,2	9841	976191	9,960	4,629	311,6	7729
99,3	9860	979147	9,965	4,631	312,0	7744
99,4	9880	982108	9,970	4,632	312,3	7760
99,5	9900	985075	9,975	4,634	312,6	7776
99,6	9920	988048	9,980	4,635	312,9	7791
99,7	9940	991027	9,985	4,637	313,2	7807
99,8	9960	994012	9,990	4,638	313,5	7823
99,9	9980	997003	9,995	4,640	313,8	7838
100,0	10000	1000000	10,000	4,642	314,2	7854

Beispiele: $d = 91{,}3 \rightarrow \frac{d^2\pi}{4} = 6547$, $\frac{d^2\pi}{4} = 6590 \rightarrow d = 91{,}6$,

$d = 9{,}93 \rightarrow \frac{d^2\pi}{4} = 77{,}44$, $\frac{d^2\pi}{4} = 74{,}88 \rightarrow d = 9{,}764$.

Tafel 2: Mantissen der Ziffernfolgen 1···1000

lg 1···lg 500

Num.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	$-\infty$	00000	30103	47712	60206	69897	77815	84510	90309	95424
1	00000	04139	07918	11394	14613	17609	20412	23045	25527	27875
2	30103	32222	34242	36173	38021	39794	41497	43136	44716	46240
3	47712	49136	50515	51851	53148	54407	55630	56820	57978	59106
4	60206	61278	62325	63347	64345	65321	66276	67210	68124	69020
5	69897	70757	71600	72428	73239	74036	74819	75587	76343	77085
6	77815	78533	79239	79934	80618	81291	81954	82607	83251	83885
7	84510	85126	85733	86332	86923	87506	88081	88649	89209	89763
8	90309	90849	91381	91908	92428	92942	93450	93952	94448	94939
9	95424	95904	96379	96848	97313	97772	98227	98677	99123	99564
10	00000	00432	00860	01284	01703	02119	02531	02938	03342	03743
11	04139	04532	04922	05308	05690	06070	06446	06819	07188	07555
12	07918	08279	08636	08991	09342	09691	10037	10380	10721	11059
13	11394	11727	12057	12385	12710	13033	13354	13672	13988	14301
14	14613	14922	15229	15534	15836	16137	16435	16732	17026	17319
15	17609	17898	18184	18469	18752	19033	19312	19590	19866	20140
16	20412	20683	20952	21219	21484	21748	22011	22272	22531	22789
17	23045	23300	23553	23805	24055	24304	24551	24797	25042	25285
18	25527	25768	26007	26245	26482	26717	26951	27184	27416	27646
19	27875	28103	28330	28556	28780	29003	29226	29447	29667	29885
20	30103	30320	30535	30750	30963	31175	31387	31597	31806	32015
21	32222	32428	32634	32838	33041	33244	33445	33646	33846	34044
22	34242	34439	34635	34830	35025	35218	35411	35603	35793	35984
23	36173	36361	36549	36736	36922	37107	37291	37475	37658	37840
24	38021	38202	38382	38561	38739	38917	39094	39270	39445	39620
25	39794	39967	40140	40312	40483	40654	40824	40993	41162	41330
26	41497	41664	41830	41996	42160	42325	42488	42651	42813	42975
27	43136	43297	43457	43616	43775	43933	44091	44248	44404	44560
28	44716	44871	45025	45179	45332	45484	45637	45788	45939	46090
29	46240	46389	46538	46687	46835	46982	47129	47276	47422	47567
30	47712	47857	48001	48144	48287	48430	48572	48714	48855	48996
31	49136	49276	49415	49554	49693	49831	49969	50106	50243	50379
32	50515	50651	50786	50920	51055	51188	51322	51455	51587	51720
33	51851	51983	52114	52244	52375	52504	52634	52763	52892	53020
34	53148	53275	53403	53529	53656	53782	53908	54033	54158	54283
35	54407	54531	54654	54777	54900	55023	55145	55267	55388	55509
36	55630	55751	55871	55991	56110	56229	56348	56467	56585	56703
37	56820	56937	57054	57171	57287	57403	57519	57634	57749	57864
38	57978	58092	58206	58320	58433	58546	58659	58771	58883	58995
39	59106	59218	59329	59439	59550	59660	59770	59879	59988	60097
40	60206	60314	60423	60531	60638	60746	60853	60959	61066	61172
41	61278	61384	61490	61595	61700	61805	61909	62014	62118	62221
42	62325	62428	62531	62634	62737	62839	62941	63043	63144	63246
43	63347	63448	63548	63649	63749	63849	63949	64048	64147	64246
44	64345	64444	64542	64640	64738	64836	64933	65031	65128	65225
45	65321	65418	65514	65610	65706	65801	65896	65992	66087	66181
46	66276	66370	66464	66558	66652	66745	66839	66932	67025	67117
47	67210	67302	67394	67486	67578	67669	67761	67852	67943	68034
48	68124	68215	68305	68395	68485	68574	68664	68753	68842	68931
49	69020	69108	69197	69285	69373	69461	69548	69636	69723	69810
50	69897	69984	70070	70157	70243	70329	70415	70501	70586	70672

Beispiele: $n = 293 \rightarrow \lg n = 2{,}46687$,

$n = 0{,}293 \rightarrow \lg n = 0{,}46687 - 1$.

Tafel 2 (Fortsetzung)

lg 500···lg 1000

Num.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	69897	69984	70070	70157	70243	70329	70415	70501	70586	70672
51	70757	70842	70927	71012	71096	71181	71265	71349	71433	71517
52	71600	71684	71767	71850	71933	72016	72099	72181	72263	72346
53	72428	72509	72591	72673	72754	72835	72916	72997	73078	73159
54	73239	73320	73400	73480	73560	73640	73719	73799	73878	73957
55	74036	74115	74194	74273	74351	74429	74507	74586	74663	74741
56	74819	74896	74974	75051	75128	75205	75282	75358	75435	75511
57	75587	75664	75740	75815	75891	75967	76042	76118	76193	76268
58	76343	76418	76492	76567	76641	76716	76790	76864	76938	77012
59	77085	77159	77232	77305	77379	77452	77525	77597	77670	77743
60	77815	77887	77960	78032	78104	78176	78247	78319	78390	78462
61	78533	78604	78675	78746	78817	78888	78958	79029	79099	79169
62	79239	79309	79379	79449	79518	79588	79657	79727	79796	79865
63	79934	80003	80072	80140	80209	80277	80346	80414	80482	80550
64	80618	80686	80754	80821	80889	80956	81023	81090	81158	81224
65	81291	81358	81425	81491	81558	81624	81690	81757	81823	81889
66	81954	82020	82086	82151	82217	82282	82347	82413	82478	82543
67	82607	82672	82737	82802	82866	82930	82995	83059	83123	83187
68	83251	83315	83378	83442	83506	83569	83632	83696	83759	83822
69	83885	83948	84011	84073	84136	84198	84261	84323	84386	84448
70	84510	84572	84634	84696	84757	84819	84880	84942	85003	85065
71	85126	85187	85248	85309	85370	85431	85491	85552	85612	85673
72	85733	85794	85854	85914	85974	86034	86094	86153	86213	86273
73	86332	86392	86451	86510	86570	86629	86688	86747	86806	86864
74	86923	86982	87040	87099	87157	87216	87274	87332	87390	87448
75	87506	87564	87622	87679	87737	87795	87852	87910	87967	88024
76	88081	88138	88195	88252	88309	88366	88423	88480	88536	88593
77	88649	88705	88762	88818	88874	88930	88986	89042	89098	89154
78	89209	89265	89321	89376	89432	89487	89542	89597	89653	89708
79	89763	89818	89873	89927	89982	90037	90091	90146	90200	90255
80	90309	90363	90417	90472	90526	90580	90634	90687	90741	90795
81	90849	90902	90956	91009	91062	91116	91169	91222	91275	91328
82	91381	91434	91487	91540	91593	91645	91698	91751	91803	91855
83	91908	91960	92012	92065	92117	92169	92221	92273	92324	92376
84	92428	92480	92531	92583	92634	92686	92737	92788	92840	92891
85	92942	92993	93044	93095	93146	93197	93247	93298	93349	93399
86	93450	93500	93551	93601	93651	93702	93752	93802	93852	93902
87	93952	94002	94052	94101	94151	94201	94250	94300	94349	94399
88	94448	94498	94547	94596	94645	94694	94743	94792	94841	94890
89	94939	94988	95036	95085	95134	95182	95231	95279	95328	95376
90	95424	95472	95521	95569	95617	95665	95713	95761	95809	95856
91	95904	95952	95999	96047	96095	96142	96190	96237	96284	96332
92	96379	96426	96473	96520	96567	96614	96661	96708	96755	96802
93	96848	96895	96942	96988	97035	97081	97128	97174	97220	97267
94	97313	97359	97405	97451	97497	97543	97589	97635	97681	97727
95	97772	97818	97864	97909	97955	98000	98046	98091	98137	98182
96	98227	98272	98318	98363	98408	98453	98498	98543	98588	98632
97	98677	98722	98767	98811	98856	98900	98945	98989	99034	99078
98	99123	99167	99211	99255	99300	99344	99388	99432	99476	99520
99	99564	99607	99651	99695	99739	99782	99826	99870	99913	99957
100	00000	00043	00087	00130	00173	00217	00260	00303	00346	00389

Beispiele: $\lg n = 3{,}91540 \rightarrow n = 8230$,

$\lg n = 0{,}78604 - 2 \rightarrow n = 0{,}0611$.

Tafel 3: Natürliche Werte der Winkelfunktionen

sin 0°···sin 45°

Min.	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	
Grad	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9	(1,0)	
0	0,00000	00175	00349	00524	00698	00873	01047	01222	01396	01571	01745	89
1	01745	01920	02094	02269	02443	02618	02792	02967	03141	03316	03490	88
2	03490	03664	03839	04013	04188	04362	04536	04711	04885	05059	05234	87
3	05234	05408	05582	05756	05931	06105	06279	06453	06627	06802	06976	86
4	06976	07150	07324	07498	07672	07846	08020	08194	08368	08542	08716	**85**
5	08716	08889	09063	09237	09411	09585	09758	09932	10106	10279	10453	84
6	10453	10626	10800	10973	11147	11320	11494	11667	11840	12014	12187	83
7	12187	12360	12533	12706	12880	13053	13226	13399	13572	13744	13917	82
8	13917	14090	14263	14436	14608	14781	14954	15126	15299	15471	15643	81
9	15643	15816	15988	16160	16333	16505	16677	16849	17021	17193	17365	**80**
10	0,17365	17537	17708	17880	18052	18224	18395	18567	18738	18910	19081	79
11	19081	19252	19423	19595	19766	19937	20108	20279	20450	20620	20791	78
12	20791	20962	21132	21303	21474	21644	21814	21985	22155	22325	22495	77
13	22495	22665	22835	23005	23175	23345	23514	23684	23853	24023	24192	76
14	24192	24362	24531	24700	24869	25038	25207	25376	25545	25713	25882	**75**
15	25882	26050	26219	26387	26556	26724	26892	27060	27228	27396	27564	74
16	27564	27731	27899	28067	28234	28402	28569	28736	28903	29070	29237	73
17	29237	29404	29571	29737	29904	30071	30237	30403	30570	30736	30902	72
18	30902	31068	31233	31399	31565	31730	31896	32061	32227	32392	32557	71
19	32557	32722	32887	33051	33216	33381	33545	33710	33874	34038	34202	**70**
20	0,34202	34366	34530	34694	34857	35021	35184	35347	35511	35674	35837	69
21	35837	36000	36162	36325	36488	36650	36812	36975	37137	37299	37461	68
22	37461	37622	37784	37946	38107	38268	38430	38591	38752	38912	39073	67
23	39073	39234	39394	39555	39715	39875	40035	40195	40355	40514	40674	66
24	40674	40833	40992	41151	41310	41469	41628	41787	41945	42104	42262	**65**
25	42262	42420	42578	42736	42894	43051	43209	43366	43523	43680	43837	64
26	43837	43994	44151	44307	44464	44620	44776	44932	45088	45243	45399	63
27	45399	45554	45710	45865	46020	46175	46330	46484	46639	46793	46947	62
28	46947	47101	47255	47409	47562	47716	47869	48022	48175	48328	48481	61
29	48481	48634	48786	48938	49090	49242	49394	49546	49697	49849	50000	**60**
30	0,50000	50151	50303	50453	50603	50754	50904	51054	51204	51354	51504	59
31	51504	51653	51803	51952	52101	52250	52399	52547	52696	52844	52992	58
32	52992	53140	53288	53435	53583	53730	53877	54024	54171	54317	54464	57
33	54464	54610	54756	54902	55048	55194	55339	55484	55630	55775	55919	56
34	55919	56064	56208	56353	56497	56641	56784	56928	57071	57215	57358	**55**
35	57358	57501	57643	57786	57928	58070	58212	58354	58496	58637	58779	54
36	58779	58920	59061	59201	59342	59482	59622	59763	59902	60042	60182	53
37	60182	60321	60460	60599	60738	60876	61015	61153	61291	61429	61566	52
38	61566	61704	61841	61978	62115	62251	62388	62524	62660	62796	62932	51
39	62932	63068	63203	63338	63473	63608	63742	63877	64011	64145	64279	**50**
40	0,64279	64412	64546	64679	64812	64945	65077	65210	65342	65474	65606	49
41	65606	65738	65869	66000	66131	66262	66393	66523	66653	66783	66913	48
42	66913	67043	67172	67301	67430	67559	67688	67816	67944	68072	68200	47
43	68200	68327	68455	68582	68709	68835	68962	69088	69214	69340	69466	46
44	69466	69591	69717	69842	69966	70091	70215	70339	70463	70587	70711	**45**
	(1,0)	,9	,8	,7	,6	,5	,4	,3	,2	,1	,0	Grad
	60	54	48	42	36	30	24	18	12	6	0	Min.

cos 45°···cos 90°

Beispiele: $\alpha = 15{,}6° = 15°36' \rightarrow \sin\alpha = 0{,}26892$,

$\sin\alpha = 0{,}67301 \rightarrow \alpha = 42{,}3° = 42°18'$,

$\alpha = 57{,}2° = 57°12' \rightarrow \cos\alpha = 0{,}54171$,

$\cos\alpha = 0{,}67301 \rightarrow \alpha = 47{,}7° = 47°42'$.

Tafel 3 (Fortsetzung)

sin 45°···sin 90°

Min.	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	
Grad	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9	(1,0)	
45	0,70711	70834	70957	71080	71203	71325	71447	71569	71691	71813	71934	44
46	71934	72055	72176	72297	72417	72537	72657	72777	72897	73016	73135	43
47	73135	73254	73373	73491	73610	73728	73846	73963	74080	74198	74314	42
48	74314	74431	74548	74664	74780	74896	75011	75126	75241	75356	75471	41
49	75471	75585	75700	75813	75927	76041	76154	76267	76380	76492	76604	**40**
50	0,76604	76717	76828	76940	77051	77162	77273	77384	77494	77605	77715	39
51	77715	77824	77934	78043	78152	78261	78369	78478	78586	78694	78801	38
52	78801	78908	79016	79122	79229	79335	79441	79547	79653	79758	79864	37
53	79864	79968	80073	80178	80282	80386	80489	80593	80696	80799	80902	**36**
54	80902	81004	81106	81208	81310	81412	81513	81614	81714	81815	81915	**35**
55	81915	82015	82115	82214	82314	82413	82511	82610	82708	82806	82904	34
56	82904	83001	83098	83195	83292	83389	83485	83581	83676	83772	83867	33
57	83867	83962	84057	84151	84245	84339	84433	84526	84619	84712	84805	32
58	84805	84897	84989	85081	85173	85264	85355	85446	85536	85627	85717	31
59	85717	85806	85896	85985	86074	86163	86251	86340	86427	86515	86603	**30**
60	0,86603	86690	86777	86863	86949	87036	87121	87207	87292	87377	87462	29
61	87462	87546	87631	87715	87798	87882	87965	88048	88130	88213	88295	28
62	88295	88377	88458	88539	88620	88701	88782	88862	88942	89021	89101	27
63	89101	89180	89259	89337	89415	89493	89571	89649	89726	89803	89879	26
64	89879	89956	90032	90108	90183	90259	90334	90408	90483	90557	90631	**25**
65	90631	90704	90778	90851	90924	90996	91068	91140	91212	91283	91355	24
66	91355	91425	91496	91566	91636	91706	91775	91845	91914	91982	92050	23
67	92050	92119	92186	92254	92321	92388	92455	92521	92587	92653	92718	22
68	92718	92784	92849	92913	92978	93042	93106	93169	93232	93295	93358	21
69	93358	93420	93483	93544	93606	93667	93728	93789	93849	93909	93969	**20**
70	0,93969	94029	94088	94147	94206	94264	94322	94380	94438	94495	94552	19
71	94552	94609	94665	94721	94777	94832	94888	94943	94997	95052	95106	18
72	95106	95159	95213	95266	95319	95372	95424	95476	95528	95579	95630	17
73	95630	95681	95732	95782	95832	95882	95931	95981	96029	96078	96126	16
74	96126	96174	96222	96269	96316	96363	96410	96456	96502	96547	96593	**15**
75	96593	96638	96682	96727	96771	96815	96858	96902	96945	96987	97030	14
76	97030	97072	97113	97155	97196	97237	97278	97318	97358	97398	97437	13
77	97437	97476	97515	97553	97592	97630	97667	97705	97742	97778	97815	12
78	97815	97851	97887	97922	97958	97992	98027	98061	98096	98129	98163	11
79	98163	98196	98229	98261	98294	98325	98357	98389	98420	98450	98481	**10**
80	0,98481	98511	98541	98570	98600	98629	98657	98686	98714	98741	98769	9
81	98769	98796	98823	98849	98876	98902	98927	98953	98978	99002	99027	8
82	99027	99051	99075	99098	99122	99144	99167	99189	99211	99233	99255	7
83	99255	99276	99297	99317	99337	99357	99377	99396	99415	99434	99452	6
84	99452	99470	99488	99506	99523	99540	99556	99572	99588	99604	99619	5
85	99619	99635	99649	99664	99678	99692	99705	99719	99731	99744	99756	4
86	99756	99768	99780	99792	99803	99813	99824	99834	99844	99854	99863	3
87	99863	99872	99881	99889	99897	99905	99912	99919	99926	99933	99939	2
88	99939	99945	99951	99956	99961	99966	99970	99974	99978	99982	99985	1
89	99985	99988	99990	99993	99995	99996	99998	99999	99999	1,00000	1,00000	**0**
	(1,0)	,9	,8	,7	,6	,5	,4	,3	,2	,1	,0	Grad
	60	54	48	42	36	30	24	18	12	6	0	Min.

cos 0°···cos 45°

Beispiele: $\alpha = 76{,}25° = 76°15' \rightarrow \sin\alpha = 0{,}97134$,

$\sin\alpha = 0{,}96602 \rightarrow \alpha = 75{,}02° = 75°1{,}2'$,

$\alpha = 16{,}55° = 16°33' \rightarrow \cos\alpha = 0{,}95857$,

$\cos\alpha = 0{,}95951 \rightarrow \alpha = 16{,}26° = 16°15{,}6$.

Tafel 3 (Fortsetzung)

tan 0°···tan 45°

Min.	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	
Grad	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9	(1,0)	
0	0,00000	00175	00349	00524	00698	00873	01047	01222	01396	01571	01746	89
1	01746	01920	02095	02269	02444	02619	02793	02968	03143	03317	03492	88
2	03492	03667	03842	04016	04191	04366	04541	04716	04891	05066	05241	87
3	05241	05416	05591	05766	05941	06116	06291	06467	06642	06817	06993	86
4	06993	07168	07344	07519	07695	07870	08046	08221	08397	08573	08749	85
5	08749	08925	09101	09277	09453	09629	09805	09981	10158	10334	10510	84
6	10510	10687	10863	11040	11217	11394	11570	11747	11924	12101	12278	83
7	12278	12456	12633	12810	12988	13165	13343	13521	13698	13876	14054	82
8	14054	14232	14410	14588	14767	14945	15124	15302	15481	15660	15838	81
9	15838	16017	16196	16376	16555	16734	16914	17093	17273	17453	17633	**80**
10	0,17633	17813	17993	18173	18353	18534	18714	18895	19076	19257	19438	79
11	19438	19619	19801	19982	20164	20345	20527	20709	20891	21073	21256	78
12	21256	21438	21621	21804	21986	22169	22353	22536	22719	22903	23087	77
13	23087	23271	23455	23639	23823	24008	24193	24377	24562	24747	24933	76
14	24933	25118	25304	25490	25676	25862	26048	26235	26421	26608	26795	**75**
15	26795	26982	27169	27357	27545	27732	27921	28109	28297	28486	28675	74
16	28675	28864	29053	29242	29432	29621	29811	30001	30192	30382	30573	73
17	30573	30764	30955	31147	31338	31530	31722	31914	32106	32299	32492	72
18	32492	32685	32878	33072	33266	33460	33654	33848	34043	34238	34433	71
19	34433	34628	34824	35020	35216	35412	35608	35805	36002	36199	36397	**70**
20	0,36397	36595	36793	36991	37190	37388	37588	37787	37986	38186	38386	69
21	38386	38587	38787	38988	39190	39391	39593	39795	39997	40200	40403	68
22	40403	40606	40809	41013	41217	41421	41626	41831	42036	42242	42447	67
23	42447	42654	42860	43067	43274	43481	43689	43897	44105	44314	44523	66
24	44523	44732	44942	45152	45362	45573	45784	45995	46206	46418	46631	**65**
25	46631	46843	47056	47270	47483	47698	47912	48127	48342	48557	48773	64
26	48773	48989	49206	49423	49640	49858	50076	50295	50514	50733	50953	63
27	50953	51173	51393	51614	51835	52057	52279	52501	52724	52947	53171	62
28	53171	53395	53620	53844	54070	54296	54522	54748	54975	55203	55431	61
29	55431	55659	55888	56117	56347	56577	56808	57039	57271	57503	57735	**60**
30	0,57735	57968	58201	58435	58670	58905	59140	59376	59612	59849	60086	59
31	60086	60324	60562	60801	61040	61280	61520	61761	62003	62245	62487	58
32	62487	62730	62973	63217	63462	63707	63953	64199	64446	64693	64941	57
33	64941	65189	65438	65688	65938	66189	66440	66692	66944	67197	67451	56
34	67451	67705	67960	68215	68471	68728	68985	69243	69502	69761	70021	**55**
35	70021	70281	70542	70804	71066	71329	71593	71857	72122	72388	72654	54
36	72654	72921	73189	73457	73726	73996	74267	74538	74810	75082	75355	53
37	75355	75629	75904	76180	76456	76733	77010	77289	77568	77848	78129	52
38	78129	78410	78692	78975	79259	79544	79829	80115	80402	80690	80978	51
39	80978	81268	81558	81849	82141	82434	82727	83022	83317	83613	83910	**50**
40	0,83910	84208	84507	84806	85107	85408	85710	86014	86318	86623	86929	49
41	86929	87236	87543	87852	88162	88473	88784	89097	89410	89725	90040	48
42	90040	90357	90674	90993	91313	91633	91955	92277	92601	92926	93252	47
43	93252	93578	93906	94235	94565	94896	95229	95562	95897	96232	96569	46
44	96569	96907	97246	97586	97927	98270	98613	98958	99304	99652	1,00000	**45**
	(1,0)	,9	,8	,7	,6	,5	,4	,3	,2	,1	,0	Grad
	60	54	48	42	36	30	24	18	12	6	0	Min.

cot 45°···cot 90°

Beispiele: $\alpha = 13{,}7° = 13°42' \rightarrow \tan\alpha = 0{,}24377$

$\tan\alpha = 0{,}39190 \rightarrow \alpha = 21{,}4° = 21°24'$,

$\alpha = 82{,}1° = 82°6' \rightarrow \cot\alpha = 0{,}13876$,

$\cot\alpha = 0{,}39190 \rightarrow \alpha = 68{,}6° = 68°36'$.

Tafel 3 (Fortsetzung)

tan 45°···tan 90°

Min.	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	
Grad	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9	(1,0)	
45	1,00000	00350	00701	01053	01406	01761	02117	02474	02832	03192	03553	44
46	03553	03915	04279	04644	05010	05378	05747	06117	06489	06862	07237	43
47	07237	07613	07990	08369	08749	09131	09514	09899	10285	10672	11061	42
48	11061	11452	11844	12238	12633	13029	13428	13828	14229	14632	15037	41
49	15037	15443	15851	16261	16672	17085	17500	17916	18334	18754	19175	**40**
50	1,1918	1960	2002	2045	2088	2131	2174	2218	2261	2305	2349	39
51	2349	2393	2437	2482	2527	2572	2617	2662	2708	2753	2799	38
52	2799	2846	2892	2938	2985	3032	3079	3127	3175	3222	3270	37
53	3270	3319	3367	3416	3465	3514	3564	3613	3663	3713	3764	36
54	3764	3814	3865	3916	3968	4019	4071	4124	4176	4229	4281	**35**
55	4281	4335	4388	4442	4496	4550	4605	4659	4715	4770	4826	34
56	4826	4882	4938	4994	5051	5108	5166	5224	5282	5340	5399	33
57	5399	5458	5517	5577	5637	5697	5757	5818	5880	5941	6003	32
58	6003	6066	6128	6191	6255	6319	6383	6447	6512	6577	6643	31
59	6643	6709	6775	6842	6909	6977	7045	7113	7182	7251	7321	**30**
60	1,7321	7391	7461	7532	7603	7675	7747	7820	7893	7966	8040	29
61	8040	8115	8190	8265	8341	8418	8495	8572	8650	8728	8807	28
62	8807	8887	8967	9047	9128	9210	9292	9375	9458	9542	9626	27
63	9626	9711	9797	9883	9970	*0057	*0145	*0233	*0323	*0413	*0503	26
64	2,0503	0594	0686	0778	0872	0965	1060	1155	1251	1348	1445	**25**
65	1445	1543	1642	1742	1842	1943	2045	2148	2251	2355	2460	24
66	2460	2566	2673	2781	2889	2998	3109	3220	3332	3445	3559	23
67	3559	3673	3789	3906	4023	4142	4262	4383	4504	4627	4751	22
68	4751	4876	5002	5129	5257	5386	5517	5649	5782	5916	6051	21
69	6051	6187	6325	6464	6605	6746	6889	7034	7179	7326	7475	**20**
70	2,7475	7625	7776	7929	8083	8239	8397	8556	8716	8878	9042	19
71	9042	9208	9375	9544	9714	9887	*0061	*0237	*0415	*0595	*0777	18
72	3,0777	0961	1146	1334	1524	1716	1910	2106	2305	2506	2709	17
73	2709	2914	3122	3332	3544	3759	3977	4197	4420	4646	4874	16
74	4874	5105	5339	5576	5816	6059	6305	6554	6806	7062	7321	**15**
75	7321	7583	7848	8118	8391	8667	8947	9232	9520	9812	*0108	14
76	4,0108	0408	0713	1022	1335	1653	1976	2303	2635	2972	3315	13
77	3315	3662	4015	4373	4737	5107	5483	5864	6252	6646	7046	12
78	7046	7453	7867	8288	8716	9152	9594	*0045	*0504	*0970	*1446	11
79	5,1446	1929	2422	2924	3435	3955	4486	5026	5578	6140	6713	**10**
80	5,6713	5,7297	5,7894	5,8502	5,9124	5,9758	6,0405	6,1066	6,1742	6,2432	6,3138	9
81	6,3138	6,3859	6,4596	6,5350	6,6122	6,6912	6,7720	6,8548	6,9395	7,0264	7,1154	8
82	7,1154	7,2066	7,3002	7,3962	7,4947	7,5958	7,6996	7,8062	7,9158	8,0285	8,1443	7
83	8,1443	8,2636	8,3863	8,5126	8,6427	8,7769	8,9152	9,0579	9,2052	9,3572	9,5144	6
84	9,5144	9,6768	9,8448	10,019	10,199	10,385	10,579	10,780	10,988	11,205	11,430	5
85	11,430	11,664	11,909	12,163	12,429	12,706	12,996	13,300	13,617	13,951	14,301	4
86	14,301	14,669	15,056	15,464	15,895	16,350	16,832	17,343	17,886	18,464	19,081	3
87	19,081	19,740	20,446	21,205	22,022	22,904	23,859	24,898	26,031	27,271	28,636	2
88	28,636	30,145	31,821	33,694	35,801	38,188	40,917	44,066	47,739	52,081	57,290	1
89	57,290	63,657	71,615	81,847	95,489	114,59	143,24	190,98	286,48	572,96	(∞)	**0**
	(1,0)	,9	,8	,7	,6	,5	,4	,3	,2	,1	,0	Grad
	60	54	48	42	36	30	24	18	12	6	0	Min.

cot 0°···cot 45°

Beispiele: $\alpha = 55{,}86° = 55°52{,}4' \rightarrow \tan\alpha = 1{,}47480$,

$\tan\alpha = 1{,}15645 \rightarrow \alpha = 49{,}15° = 49°9'$,

$\alpha = 36{,}63° = 36°37{,}8' \rightarrow \cot\alpha = 1{,}34503$,

$\cot\alpha = 2{,}0384 \rightarrow \alpha = 26{,}13 = 26°7{,}8'$.

Tafel 4: Natürliche Logarithmen der Zahlen 1···1000

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	(− ∞)	0,00000	0,69315	1,09861	1,38629	1,60944	1,79176	1,94591	2,07944	2,19722
1	2,30259	39790	48491	56495	63906	70805	77259	83321	89037	94444
2	99573	*04452	*09104	*13549	*17805	*21888	*25810	*29584	*33220	*36730
3	3,40120	43399	46574	49651	52636	55535	58352	61092	63759	66356
4	68888	71357	73767	76120	78419	80666	82864	85015	87120	89182
5	91202	93183	95124	97029	98898	*00733	*02535	*04305	*06044	*07754
6	4,09434	11087	12713	14313	15888	17439	18965	20469	21951	23411
7	24850	26268	27667	29046	30407	31749	33073	34381	35671	36945
8	38203	39445	40672	41884	43082	44265	45435	46591	47734	48864
9	49981	51086	52179	53260	54329	55388	56435	57471	58497	59512
10	4,60517	61512	62497	63473	64439	65396	66344	67283	68213	69135
11	70048	70953	71850	72739	73620	74493	75359	76217	77068	77912
12	78749	79579	80402	81218	82028	82831	83628	84419	85203	85981
13	86753	87520	88280	89035	89784	90527	91265	91998	92725	93447
14	94164	94876	95583	96284	96981	97673	98361	99043	99721	*00395
15	5,01064	01728	02388	03044	03695	04343	04986	05625	06260	06890
16	07517	08140	08760	09375	09987	10595	11199	11799	12396	12990
17	13580	14166	14749	15329	15906	16479	17048	17615	18178	18739
18	19296	19850	20401	20949	21494	22036	22575	23111	23644	24175
19	24702	25227	25750	26269	26786	27300	27811	28320	28827	29330
20	5,29832	30330	30827	31321	31812	32301	32788	33272	33754	34233
21	34711	35186	35659	36129	36598	37064	37528	37990	38450	38907
22	39363	39816	40268	40717	41165	41610	42053	42495	42935	43372
23	43808	44242	44674	45104	45532	45959	46383	46806	47227	47646
24	48064	48480	48894	49306	49717	50126	50533	50939	51343	51745
	5,52146	52545	52943	53339	53733	54126	54518	54908	55296	55683
26	56068	56452	56834	57215	57595	57973	58350	58725	59099	59471
27	59842	60212	60580	60947	61313	61677	62040	62402	62762	63121
28	63479	63835	64191	64545	64897	65249	65599	65948	66296	66643
29	66988	67332	67675	68017	68358	68698	69036	69373	69709	70044
30	5,70378	70711	71043	71373	71703	72031	72359	72685	73010	73334
31	73657	73979	74300	74620	74939	75257	75574	75890	76205	76519
32	76832	77144	77455	77765	78074	78383	78690	78996	79301	79606
33	79909	80212	80513	80814	81114	81413	81711	82008	82305	82600
34	82895	83188	83481	83773	84064	84354	84644	84932	85220	85507
35	5,85793	86079	86363	86647	86930	87212	87493	87774	88053	88332
36	88610	88888	89164	89440	89715	89990	90263	90536	90808	91080
37	91350	91620	91889	92158	92426	92693	92959	93225	93489	93754
38	94017	94280	94542	94803	95064	95324	95584	95842	96101	96358
39	96615	96871	97126	97381	97635	97889	98141	98394	98645	98896
40	99146	99396	99645	99894	*00141	*00389	*00635	*00881	*01127	*01372
41	6,01616	01859	02102	02345	02587	02828	03069	03309	03548	03787
42	04025	04263	04501	04737	04973	05209	05444	05678	05912	06146
43	06379	06611	06843	07074	07304	07535	07764	07993	08222	08450
44	08677	08904	09131	09357	09582	09807	10032	10256	10479	10702
45	6,10925	11147	11368	11589	11810	12030	12249	12468	12687	12905
46	13123	13340	13556	13773	13988	14204	14419	14633	14847	15060
47	15273	15486	15698	15910	16121	16331	16542	16752	16961	17170
48	17379	17587	17794	18002	18208	18415	18621	18826	19032	19236
49	19441	19644	19848	20051	20254	20456	20658	20859	21060	21261
50	6,21461	21661	21860	22059	22258	22456	22654	22851	23048	23245

Beispiele: ln 3 = 1,09861; ln 30 = 3,40120; ln 300 = 5,70378.

Tafel 4 (Fortsetzung)

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	6,21461	21661	21860	22059	22258	22456	22654	22851	23048	23245
51	23441	23637	23832	24028	24222	24417	24611	24804	24998	25190
52	25383	25575	25767	25958	26149	26340	26530	26720	26910	27099
53	27288	27476	27664	27852	28040	28227	28413	28600	28786	28972
54	29157	29342	29527	29711	29895	30079	30262	30445	30628	30810
55	6,30992	31173	31355	31536	31716	31897	32077	32257	32436	32615
56	32794	32972	33150	33328	33505	33683	33859	34036	34212	34388
57	34564	34739	34914	35089	35263	35437	35611	35784	35957	36130
58	36303	36475	36647	36819	36990	37161	37332	37502	37673	37843
59	38012	38182	38351	38519	38688	38856	39024	39192	39359	39526
60	6,39693	39859	40026	40192	40357	40523	40688	40853	41017	41182
61	41346	41510	41673	41836	41999	42162	42325	42487	42649	42811
62	42972	43133	43294	43455	43615	43775	43935	44095	44254	44413
63	44572	44731	44889	45047	45205	45362	45520	45677	45834	45990
64	46147	46303	46459	46614	46770	46925	47080	47235	47389	47543
65	6,47697	47851	48004	48158	48311	48464	48616	48768	48920	49072
66	49224	49375	49527	49677	49828	49979	50129	50279	50429	50578
67	50728	50877	51026	51175	51323	51471	51619	51767	51915	52062
68	52209	52356	52503	52649	52796	52942	53088	53233	53379	53524
69	53669	53814	53959	54103	54247	54391	54535	54679	54822	54965
70	6,55108	55251	55393	55536	55678	55820	55962	56103	56244	56386
71	56526	56667	56808	56948	57088	57228	57368	57508	57647	57786
72	57925	58064	58203	58341	58479	58617	58755	58893	59030	59167
73	59304	59441	59578	59715	59851	59987	60123	60259	60394	60530
74	60665	60800	60935	61070	61204	61338	61473	61607	61740	61874
75	6,62007	62141	62274	62407	62539	62672	62804	62936	63068	63200
76	63332	63463	63595	63726	63857	63988	64118	64249	64379	64509
77	64639	64769	64898	65028	65157	65286	65415	65544	65673	65801
78	65929	66058	66185	66313	66441	66568	66696	66823	66950	67077
79	67203	67330	67456	67582	67708	67834	67960	68085	68211	68336
80	6,68461	68586	68711	68835	68960	69084	69208	69332	69456	69580
81	69703	69827	69950	70073	70196	70319	70441	70564	70686	70808
82	70930	71052	71174	71296	71417	71538	71659	71780	71901	72022
83	72143	72263	72383	72503	72623	72743	72863	72982	73102	73221
84	73340	73459	73578	73697	73815	73934	74052	74170	74288	74406
85	6,74524	74641	74759	74876	74993	75110	75227	75344	75460	75577
86	75693	75809	75926	76041	76157	76273	76388	76504	76619	76734
87	76849	76964	77079	77194	77308	77422	77537	77651	77765	77878
88	77992	78106	78219	78333	78446	78559	78672	78784	78897	79010
89	79122	79234	79347	79459	79571	79682	79794	79906	80017	80128
90	6,80239	80351	80461	80572	80683	80793	80904	81014	81124	81235
91	81344	81454	81564	81674	81783	81892	82002	82111	82220	82329
92	82437	82546	82655	82763	82871	82979	83087	83195	83303	83411
93	83518	83626	83733	83841	83948	84055	84162	84268	84375	84482
94	84588	84694	84801	84907	85013	85118	85224	85330	85435	85541
95	6,85646	85751	85857	85961	86066	86171	86276	86380	86485	86589
96	86693	86797	86901	87005	87109	87213	87316	87420	87523	87626
97	87730	87833	87936	88038	88141	88244	88346	88449	88551	88653
98	88755	88857	88959	89061	89163	89264	89366	89467	89568	89669
99	89770	89871	89972	90073	90174	90274	90375	90475	90575	90675
100	6,90776	90875	90975	91075	91175	91274	91374	91473	91572	91672

Beispiele:

$\ln 21540 = \ln (30 \cdot 718)$
$= \ln 30 + \ln 718$
$= 3{,}40120 + 6{,}57647$
$= 9{,}97767$

$\ln 0{,}042 = \ln (42 : 1000)$
$= \ln 42 - \ln 1000$
$= 3{,}73767 - 6{,}90776$
$= -3{,}17009$

Tafel 5: Exponentialfunktion e^x und e^{-x}

x rad	Grad	e^x	e^{-x}	x rad	Grad	e^x	e^{-x}	x rad	Grad	e^x	e^{-x}
0,00	0,00°	1,0000	1,0000	**0,50**	28,65°	1,6487	0,6065	**1,00**	57,30°	2,7183	0,3679
0,01	0,57	1,0101	0,9900	0,51	29,22	1,6653	0,6005	1,01	57,87	2,7456	0,3642
0,02	1,15	1,0202	0,9802	0,52	29,79	1,6820	0,5945	1,02	58,44	2,7732	0,3606
0,03	1,72	1,0305	0,9704	0,53	30,37	1,6989	0,5886	1,03	59,01	2,8011	0,3570
0,04	2,29	1,0408	0,9608	0,54	30,94	1,7160	0,5827	1,04	59,59	2,8292	0,3535
0,05	2,86	1,0513	0,9512	0,55	31,51	1,7333	0,5769	1,05	60,16	2,8577	0,3499
0,06	3,44	1,0618	0,9418	0,56	32,09	1,7507	0,5712	1,06	60,73	2,8864	0,3465
0,07	4,01	1,0725	0,9324	0,57	32,66	1,7683	0,5655	1,07	61,31	2,9154	0,3430
0,08	4,58	1,0833	0,9231	0,58	32,23	1,7860	0,5599	1,08	61,88	2,9447	0,3396
0,09	5,16	1,0942	0,9139	0,59	33,80	1,8040	0,5543	1,09	62,45	2,9743	0,3362
0,10	5,73°	1,1052	0,9048	**0,60**	34,38°	1,8221	0,5488	**1,10**	63,03°	3,0042	0,3329
0,11	6,30	1,1163	0,8958	0,61	34,95	1,8404	0,5434	1,11	63,60	3,0344	0,3296
0,12	6,88	1,1275	0,8869	0,62	35,52	1,8589	0,5379	1,12	64,17	3,0640	0,3263
0,13	7,45	1,1388	0,8781	0,63	36,10	1,8776	0,5326	1,13	64,74	3,0957	0,3230
0,14	8,02	1,1503	0,8694	0,64	36,67	1,8965	0,5273	1,14	65,32	3,1268	0,3198
0,15	8,59	1,1618	0,8607	0,65	37,24	1,9155	0,5220	1,15	65,89	3,1582	0,3166
0,16	9,17	1,1735	0,8521	0,66	37,82	1,9348	0,5169	1,16	66,46	3,1899	0,3135
0,17	9,74	1,1853	0,8437	0,67	38,39	1,9542	0,5117	1,17	67,04	3,2220	0,3104
0,18	10,31	1,1972	0,8353	0,68	38,96	1,9739	0,5066	1,18	67,61	3,2544	0,3073
0,19	10,89	1,2092	0,8270	0,69	39,53	1,9937	0,5016	1,19	68,18	3,2871	0,3042
0,20	11,46°	1,2214	0,8187	**0,70**	40,11°	2,0138	0,4966	**1,20**	68,75°	3,3201	0,3012
0,21	12,03	1,2337	0,8106	0,71	40,68	2,0340	0,4916	1,21	69,33	3,3535	0,2982
0,22	12,61	1,2461	0,8025	0,72	41,25	2,0544	0,4868	1,22	69,90	3,3872	0,2952
0,23	13,18	1,2586	0,7945	0,73	41,83	2,0751	0,4819	1,23	70,47	3,4212	0,2923
0,24	13,75	1,2712	0,7866	0,74	42,40	2,0959	0,4771	1,24	71,05	3,4556	0,2894
0,25	14,32	1,2840	0,7788	0,75	42,97	2,1170	0,4724	1,25	71,62	3,4903	0,2865
0,26	14,90	1,2969	0,7711	0,76	43,54	2,1383	0,4677	1,26	72,19	3,5254	0,2837
0,27	15,47	1,3100	0,7634	0,77	44,12	2,1598	0,4630	1,27	72,77	3,5609	0,2808
0,28	16,04	1,3231	0,7558	0,78	44,69	2,1815	0,4584	1,28	73,34	3,5966	0,2780
0,29	16,62	1,3364	0,7483	0,79	45,26	2,2034	0,4538	1,29	73,91	3,6328	0,2753
0,30	17,19°	1,3499	0,7408	**0,80**	45,84°	2,2255	0,4493	**1,30**	74,48°	3,6693	0,2725
0,31	17,76	1,3634	0,7334	0,81	46,41	2,2479	0,4449	1,31	75,06	3,7062	0,2698
0,32	18,33	1,3771	0,7261	0,82	46,98	2,2705	0,4404	1,32	75,63	3,7434	0,2671
0,33	18,91	1,3910	0,7189	0,83	47,56	2,2933	0,4360	1,33	76,20	3,7810	0,2645
0,34	19,48	1,4049	0,7118	0,84	48,13	2,3164	0,4317	1,34	76,78	3,8190	0,2618
0,35	20,05	1,4191	0,7047	0,85	48,70	2,3396	0,4274	1,35	77,35	3,8574	0,2592
0,36	20,63	1,4333	0,6977	0,86	49,27	2,3632	0,4232	1,36	77,92	3,8962	0,2567
0,37	21,20	1,4477	0,6907	0,87	49,85	2,3869	0,4190	1,37	78,50	3,9354	0,2541
0,38	21,77	1,4623	0,6839	0,88	50,42	2,4109	0,4148	1,38	79,07	3,9749	0,2516
0,39	22,35	1,4770	0,6771	0,89	50,99	2,4351	0,4107	1,39	79,64	4,0149	0,2491
0,40	22,92°	1,4918	0,6703	**0,90**	51,57°	2,4596	0,4066	**1,40**	80,21°	4,0552	0,2466
0,41	23,49	1,5068	0,6637	0,91	52,14	2,4843	0,4025	1,41	80,79	4,0960	0,2441
0,42	24,06	1,5220	0,6570	0,92	52,71	2,5093	0,3985	1,42	81,36	4,1371	0,2417
0,43	24,64	1,5373	0,6505	0,93	53,29	2,5345	0,3946	1,43	81,93	4,1787	0,2393
0,44	25,21	1,5527	0,6440	0,94	53,86	2,5600	0,3906	1,44	82,51	4,2207	0,2369
0,45	25,78	1,5683	0,6376	0,95	54,43	2,5857	0,3867	1,45	83,08	4,2631	0,2346
0,46	26,36	1,5841	0,6313	0,96	55,00	2,6117	0,3829	1,46	83,65	4,3060	0,2322
0,47	26,93	1,6000	0,6250	0,97	55,58	2,6379	0,3791	1,47	84,22	4,3492	0,2299
0,48	27,50	1,6161	0,6188	0,98	56,15	2,6645	0,3753	1,48	84,80	4,3929	0,2276
0,49	28,07	1,6323	0,6126	0,99	56,72	2,6912	0,3716	1,49	85,37	4,4371	0,2254
0,50	28,65°	1,6487	0,6065	**1,00**	57,30°	2,7183	0,3679	**1,50**	85,94°	4,4817	0,2231

Tafel 5 (Fortsetzung)

x rad	Grad	e^x	e^{-x}	x rad	Grad	e^x	e^{-x}	x rad	Grad	e^x	e^{-x}
1,50	85,94°	4,4817	0,2231	**2,00**	114,59°	7,3891	0,1353	**2,50**	143,24°	12,182	0 0821
1,51	86,52	4,5267	0,2209	2,01	115,16	7,4633	0,1340	2,55	146,10	12,807	0,0781
1,52	87,09	4,5722	0,2187	2,02	115,74	7,5383	0,1327	2,60	148,97	13,464	0,0743
1,53	87,66	4,6182	0,2165	2,03	116,31	7,6141	0,1313	2,65	151,83	14,154	0,0707
1,54	88,24	4,6646	0,2144	2,04	116,88	7,6906	0,1300	2,70	154,70	14,880	0,0672
1,55	88,81	4,7115	0,2122	2,05	117,46	7,7679	0,1287	2,75	157,56	15,643	0,0639
1,56	89,38	4,7588	0,2101	2,06	118,03	7,8460	0,1275	2,80	160,43	16,445	0,0608
1,57	89,95	4,8066	0,2080	2,07	118,60	7,9248	0,1262	2,85	163,29	17,288	0,0578
1,58	90,53	4,8550	0,2060	2,08	119,18	8,0045	0,1249	2,90	166,16	18,174	0,0550
1,59	91,10	4,9037	0,2039	2,09	119,75	8,0849	0,1237	2,95	169,02	19,106	0,0523
1,60	91,67°	4,9530	0,2019	**2,10**	120,32°	8,1662	0,1225	**3,00**	171,89°	20,086	0,0498
1,61	92,25	5,0028	0,1999	2,11	120,89	8,2482	0,1212	3,10	177,62	22,198	0,0450
1,62	92,82	5,0531	0,1979	2,12	121,47	8,3311	0,1200	3,20	183,35	24,533	0,0408
1,63	93,39	5,1039	0,1959	2,13	122,04	8,4149	0,1188	3,30	189,08	27,113	0,0369
1,64	93,97	5,1552	0,1940	2,14	122,61	8,4994	0,1177	3,40	194,81	29,964	0,0334
1,65	94,54	5,2070	0,1920	2,15	123,19	8,5849	0,1165	3,50	200,54	33,115	0,0302
1,66	95,11	5,2593	0,1901	2,16	123,76	8,6711	0,1153	3,60	206,26	36,598	0,0273
1,67	95,68	5,3122	0,1883	2,17	124,33	8,7583	0,1142	3,70	211,99	40,447	0,0247
1,68	96,26	5,3656	0,1864	2,18	124,90	8,8463	0,1130	3,80	217,72	44,701	0,0224
1,69	96,83	5,4195	0,1845	2,19	125,48	8,9352	0,1119	3,90	223,45	49,402	0,0202
1,70	97,40°	5,4739	0,1827	**2,20**	126,05°	9,0250	0,1108	**4,00**	229,18°	54,598	0,0183
1,71	97,98	5,5290	0,1809	2,21	126,62	9,1157	0,1097	4,10	234,91	60,340	0,0166
1,72	98,55	5,5845	0,1791	2,22	127,20	9,2073	0,1086	4,20	240,64	66,686	0,0150
1,73	99,12	5,6407	0,1773	2,23	127,77	9,2999	0,1075	4,30	246,37	73,700	0,0136
1,74	99,69	5,6973	0,1755	2,24	128,34	9,3933	0,1065	4,40	252,10	81,451	0,0123
1,75	100,27	5,7546	0,1738	2,25	128,92	9,4877	0,1054	4,50	257,83	90,017	0,0111
1,76	100,84	5,8124	0,1720	2,26	129,49	9,5831	0,1044	4,60	263,56	99,484	0,0101
1,77	101,41	5,8709	0,1703	2,27	130,06	9,6794	0,1033	4,70	269,29	109,95	0,0091
1,78	101,99	5,9299	0,1686	2,28	130,63	9,7767	0,1023	4,80	275,02	121,51	0,0082
1,79	102,56	5,9895	0,1670	2,29	131,21	9,8749	0,1013	4,90	280,75	134,29	0,0074
1,80	103,13°	6,0496	0,1653	**2,30**	131,78°	9,9742	0,1003	**5,00**	286,48°	148,41	0,0067
1,81	103,71	6,1104	0,1637	2,31	132,35	10,074	0,0993	5,10	292,21	164,02	0,0061
1,82	104,28	6,1719	0,1620	2,32	132,93	10,176	0,0983	5,20	297,94	181,27	0,0055
1,83	104,85	6,2339	0,1604	2,33	133,50	10,278	0,0973	5,30	303,67	200,34	0,0050
1,84	105,42	6,2965	0,1588	2,34	134,07	10,381	0,0963	5,40	309,40	221,41	0,0045
1,85	106,00	6,3598	0,1572	2,35	134,65	10,486	0,0954	5,50	315,13	244,69	0,0041
1,86	106,57	6,4237	0,1557	2,36	135,22	10,591	0,0944	5,60	320,86	270,43	0,0037
1,87	107,14	6,4883	0,1541	2,37	135,79	10,697	0,0935	5,70	326,59	298,87	0,0033
1,88	107,72	6,5535	0,1526	2,38	136,36	10,805	0,0926	5,80	332,32	330,30	0,0030
1,89	108,29	6,6194	0,1511	2,39	136,94	10,913	0,0916	5,90	338,05	365,04	0,0027
1,90	108,86°	6,6859	0,1496	**2,40**	137,51°	11,023	0,0907	**6,00**	343,77°	403,43	0,0025
1,91	109,44	6,7531	0,1481	2,41	138,08	11,134	0,0898	6,25	358,10	518,01	0,0019
1,92	110,01	6,8210	0,1466	2,42	138,66	11,246	0,0889	6,50	372,42	665,14	0,0015
1,93	110,58	6,8895	0,1451	2,43	139,23	11,359	0,0880	6,75	386,75	854,06	0,0012
1,94	111,15	6,9588	0,1437	2,44	139,80	11,473	0,0872	7,00	401,07	1096,6	0,0009
1,95	111,73	7,0287	0,1423	**2,45**	140,37	11,588	0,0863	7,50	429,72	1808,0	0,0006
1,96	112,30	7,0993	0,1409	**2,46**	140,95	11,705	0,0854	8,00	458,37	2981,0	0,0003
1,97	112,87	7,1707	0,1395	2,47	141,52	11,822	0,0846	8,50	487,01	4914,8	0,0002
1,98	113,45	7,2427	0,1381	2,48	142,09	11,941	0,0837	9,00	515,66	8103,1	0,0001
1,99	114,02	7,3155	0,1367	2,49	142,67	12,061	0,0829	9,50	544,31	13360	0,0001
2,00	114,59°	7,3891	0,1353	**2,50**	143,24°	12,182	0.0821	**10,00**	572,96°	22026	0,0000

Tafel 6: Umrechnung Neper — Dezibel*)

Np	dB	$a_1 : a_2$	Np	dB	$a_1 : a_2$	Np	dB	$a_1 : a_2$
0,00	0,000	1,000	1,00	8,686	2,72	2,00	17,37	7,39
0,02	0,174	1,020	1,02	8,860	2,77	2,02	17,55	7,54
0,04	0,347	1,041	1,04	9,033	2,83	2,04	17,72	7,69
0,06	0,521	1,062	1,06	9,207	2,89	2,06	17,89	7,85
0,08	0,695	1,083	1,08	9,381	2,94	2,08	18,07	8,00
0,10	0,869	1,105	1,10	9,554	3,00	2,10	18,24	8,17
0,12	1,042	1,128	1,12	9,728	3,06	2,12	18,41	8,33
0,14	1,216	1,150	1,14	9,902	3,13	2,14	18,59	8,50
0,16	1,390	1,174	1,16	10,08	3,19	2.16	18,76	8,67
0,18	1,563	1,197	1,18	10,25	3,25	2,18	18,94	8,85
0,20	1,737	1,221	1,20	10,42	3,32	2,20	19,11	9,03
0,22	1,911	1,246	1,22	10,60	3,39	2,22	19,28	9,21
0,24	2,085	1,271	1,24	10,77	3,46	2,24	19,46	9,39
0,26	2,258	1,297	1,26	10,94	3,53	2,26	19,63	9,58
0,28	2,432	1,323	1,28	11,12	3,60	2,28	19,80	9,78
0,30	2,606	1,350	1,30	11,29	3,67	2,30	19,98	9,97
0,32	2,779	1,377	1,32	11,47	3,74	2,32	20,15	10,18
0,34	2,953	1,405	1,34	11,64	3,82	2,34	20,33	10,38
0,36	3,127	1,433	1,36	11,81	3,90	2,36	20,50	10,59
0,38	3,301	1,462	1,38	11,99	3,97	2,38	20,67	10,80
0,40	3,474	1,492	1,40	12,16	4,06	2,40	20,85	11,02
0,42	3,648	1,522	1,42	12,33	4,14	2,42	21,02	11,25
0,44	3,822	1,553	1,44	12,51	4,22	2,44	21,19	11,47
0,46	3,996	1,584	1,46	12,68	4,31	2,46	21,37	11,70
0,48	4,169	1,616	1,48	12,86	4,39	2,48	21,54	11,94
0,50	4,343	1,649	1,50	13,03	4,48	2,50	21,71	12,18
0,52	4,517	1,682	1,52	13,20	4,57	2,52	21,89	12,43
0,54	4,690	1,716	1,54	13,38	4,66	2,54	22,06	12,68
0,56	4,864	1,751	1,56	13,55	4,76	2,56	22,24	12,94
0,58	5,038	1,786	1,58	13,72	4,85	2,58	22,41	13,20
0,60	5,212	1,822	1,60	13,90	4,95	2,60	22,58	13,46
0,62	5,385	1,859	1,62	14,07	5,05	2,62	22,76	13,74
0,64	5,559	1,897	1,64	14,24	5,16	2,64	22,93	14,01
0,66	5,733	1,935	1,66	14,42	5,26	2,66	23,10	14,30
0,68	5,906	1,974	1,68	14,59	5,37	2,68	23,28	14,59
0,70	6,080	2,014	1,70	14,77	5,47	2,70	23,45	14,88
0,72	6,254	2,054	1,72	14,94	5,58	2,72	23,63	15,18
0,74	6,428	2,096	1,74	15,11	5,70	2,74	23,80	15,49
0,76	6,601	2,138	1,76	15,29	5,81	2,76	23,97	15,80
0,78	6,775	2,182	1,78	15,46	5,93	2,78	24,15	16,12
0,80	6,949	2,226	1,80	15,63	6,05	2,80	24,32	16,45
0,82	7,122	2,271	1,82	15,81	6,17	2,82	24,49	16,78
0,84	7,296	2,316	1,84	15,98	6,30	2,84	24,67	17,12
0,86	7,470	2,363	1,86	16,16	6,42	2,86	24,84	17,46
0,88	7,644	2,411	1,88	16,33	6,55	2,88	25,02	17,81
0,90	7,817	2,460	1,90	16,50	6,69	2,90	25,19	18,17
0,92	7,991	2,509	1,92	16,68	6,82	2,92	25,36	18,54
0,94	8,165	2,560	1,94	16,85	6,96	2,94	25,54	18,92
0,96	8,338	2,612	1,96	17,02	7,10	2,96	25,71	19,30
0,98	8,512	2,665	1,98	17,20	7,24	2,98	25,88	19,69
1,00	8,686	2,718	2,00	17,37	7,39	3,00	26,06	20,09

*) Bemerkungen zu dieser Tafel s. S. 48.

Tafel 6 (Fortsetzung)

Np	dB	$a_1 : a_2$	Np	dB	$a_1 : a_2$	Np	dB	$a_1 : a_2$
3,00	26,06	20,1	5,50	47,77	245	8,0	69,49	$2{,}981 \cdot 10^3$
3,05	26,49	21,1	5,55	48,21	257	8,1	70,36	$3{,}294 \cdot 10^3$
3,10	26,93	22,1	5,60	18,64	270	8,2	71,22	$3{,}641 \cdot 10^3$
3,15	27,36	23,3	5,65	49,08	284	8,3	72,09	$4{,}024 \cdot 10^3$
3,20	27,79	24,5	5,70	49,51	299	8,4	72,96	$4{,}447 \cdot 10^3$
3,25	28,23	25,8	5,75	49,94	314	8,5	73,83	$4{,}915 \cdot 10^3$
3,30	28,66	27,1	5,80	50,38	330	8,6	74,70	$5{,}432 \cdot 10^3$
3,35	29,10	28,5	5,85	50,81	347	8,7	75,57	$5{,}999 \cdot 10^3$
3,40	29,53	30,0	5,90	51,25	365	8,8	76,44	$6{,}634 \cdot 10^3$
3,45	29,97	31,5	5,95	51,68	384	8,9	77,30	$7{,}332 \cdot 10^3$
3,50	30,40	33,1	6,00	52,12	403	9,0	78,17	$8{,}103 \cdot 10^3$
3,55	30,83	34,8	6,05	52,55	424	9,1	79,04	$8{,}955 \cdot 10^3$
3,60	31,27	36,6	6,10	52,98	446	9,2	79,91	$9{,}897 \cdot 10^3$
3,65	31,70	38,5	6,15	53,42	469	9,3	80,78	$1{,}094 \cdot 10^4$
3,70	32,14	40,4	6,20	53,85	493	9,4	81,65	$1{,}209 \cdot 10^4$
3,75	32,57	42,5	6,25	54,29	518	9,5	82,52	$1{,}336 \cdot 10^4$
3,80	33,01	44,7	6,30	54,72	532	9,6	83,38	$1{,}476 \cdot 10^4$
3,85	33,44	47,0	6,35	55,16	572	9,7	84,25	$1{,}632 \cdot 10^4$
3,90	33,88	49,4	6,40	55,59	602	9,8	85,12	$1{,}803 \cdot 10^4$
3,95	34,31	51,9	6,45	56,02	633	9,9	85,99	$1{,}993 \cdot 10^4$
4,00	34,74	54,6	6,50	56,46	665	10,0	86,86	$2{,}203 \cdot 10^4$
4,05	35,18	57,4	6,55	56,89	699	10,1	87,73	$2{,}434 \cdot 10^4$
4,10	35,61	60,3	6,60	57,33	735	10,2	88,60	$2{,}690 \cdot 10^4$
4,15	36,05	63,4	6,65	57,76	773	10,3	89,46	$2{,}973 \cdot 10^4$
4,20	36,48	66,7	6,70	58,20	812	10,4	90,33	$3{,}286 \cdot 10^4$
4,25	36,92	70,1	6,75	58,63	854	10,5	91,20	$3{,}632 \cdot 10^4$
4,30	37,35	73,7	6,80	59,06	898	10,6	92,07	$4{,}013 \cdot 10^4$
4,35	37,78	77,5	6,85	59,50	944	10,7	92,94	$4{,}436 \cdot 10^4$
4,40	38,22	81,5	6,90	59,93	992	10,8	93,81	$4{,}902 \cdot 10^4$
4,45	38,65	85,6	6,95	60,37	1044	10,9	94,68	$5{,}418 \cdot 10^4$
4,50	39,09	90,0	7,00	60,80	1097	11,0	95,54	$5{,}987 \cdot 10^4$
4,55	39,52	94,6	7,05	61,24	1153	11,2	97,28	$7{,}313 \cdot 10^4$
4,60	39,96	99,5	7,10	61,67	1212	11,4	99,02	$8{,}932 \cdot 10^4$
4,65	40,39	104,6	7,15	62,10	1274	11,6	100,8	$1{,}091 \cdot 10^5$
4,70	40,82	109,9	7,20	62,54	1339	11,8	102,5	$1{,}333 \cdot 10^5$
4,75	41,26	115,6	7,25	62,97	1408	12,0	104,7	$1{,}628 \cdot 10^5$
4,80	41,69	121,5	7,30	63,41	1480	12,2	106,0	$1{,}988 \cdot 10^5$
4,85	42,13	127,7	7,35	63,84	1556	12,4	107,7	$2{,}428 \cdot 10^5$
4,90	42,56	134,3	7,40	64,28	1636	12,6	109,4	$2{,}966 \cdot 10^5$
4,95	43,00	141,2	7,45	64,71	1720	12,8	111,2	$3{,}622 \cdot 10^5$
5,00	43,43	148,4	7,50	65,14	1808	13,0	112,9	$4{,}424 \cdot 10^5$
5,05	43,86	156,0	7,55	65,58	1901	13,5	117,3	$7{,}294 \cdot 10^5$
5,10	44,30	164,0	7,60	66,01	1998	14,0	121,6	$1{,}203 \cdot 10^6$
5,15	44,73	172,4	7,65	66,45	2101	14,5	125,9	$1{,}983 \cdot 10^6$
5,20	45,17	181,3	7,70	66,88	2208	15,0	130,3	$3{,}269 \cdot 10^6$
5,25	45,60	190,6	7,75	67,32	2322	15,5	134,6	$5{,}390 \cdot 10^6$
5,30	46,04	200,3	7,80	67,75	2441	16,0	139,0	$8{,}886 \cdot 10^6$
5,35	46,47	210,6	7,85	68,18	2566	17,0	147,7	$2{,}415 \cdot 10^7$
5,40	46,90	221,4	7,90	68,62	2697	18,0	156,3	$6{,}566 \cdot 10^7$
5,45	47,34	232,8	7,95	69,05	2836	19,0	165,0	$1{,}785 \cdot 10^8$
5,50	47,77	244,7	8,00	69,49	2981	20,0	173,7	$4{,}852 \cdot 10^8$

Bemerkungen zu Tafel 6: Umrechnung Neper — Dezibel

Die durch zwei (z. B. Spannungen oder Ströme darstellenden) Größen a_1, a_2 gegebene *Verstärkung* bzw. *Dämpfung* wird entweder als natürlicher oder als 20facher dekadischer Logarithmus ihres Quotienten dargestellt, weil sich dadurch die Rechnungen vereinfachen und große Bereiche bequem darstellen lassen.
Man ordnet diesen Ausdrücken, obwohl sie dimensionslos sind, folgende *Maßbezeichnungen* zu:

$\ln \left| \frac{a_1}{a_2} \right|$ in Neper, Kurzzeichen Np,

$20 \lg \left| \frac{a_1}{a_2} \right|$ in Dezibel, Kurzzeichen dB.

Hieraus folgt für die *Umrechnung*

$1 \text{ Np} \approx 8{,}686 \text{ dB}$ bzw. $1 \text{ dB} \approx 0{,}1151 \text{ Np}$.

In der drahtgebundenen Fernmeldetechnik wird das Neper, in anderen Bereichen das Dezibel bevorzugt angewendet.
Je nachdem, ob a_1 und a_2 Spannungen oder Stromstärken sind, geben die definierten Größen die Spannungsverstärkung oder -dämpfung bzw. die Stromverstärkung oder -dämpfung einer Anordnung an. Handelt es sich um Leistungen, so gilt infolge der quadratischen Zusammenhänge zwischen Spannung bzw. Strom und Leistung für das Leistungsverhältnis $(a_1 : a_2)^2$.
Die Verstärkung bzw. Dämpfung für ein Verhältnis $a_1 : a_2 < 1$ wird ermittelt, indem zu dem Kehrwert $a_2 : a_1$ der entsprechende Tabellenwert aufgesucht und mit einem Minuszeichen versehen wird, da $\ln \frac{1}{x} = -\ln x$ bzw. $\lg \frac{1}{x} = -\lg x$. Das Aufsuchen des Quotienten zu einem negativen Pegel erfolgt entsprechend umgekehrt.

Beispiel 1: Ein Kabel dämpft eine Spannung um 0,80 Np, ein nachgeschalteter Filter nochmals um 0,20 Np. Damit beträgt die gesamte Spannungsdämpfung 0,80 Np + 0,20 Np = 1,00 Np. Aus der Tafel 6 folgt, daß die Gesamtdämpfung $U_1/U_2 = 2{,}718$ beträgt. Der Spannungspegel U_2 am Ausgang des Filters beträgt nur noch das 1:2,718fache bzw. das 0,386fache des Eingangspegels U_1 am Kabeleingang.

Beispiel 2: Ein Kabel dämpft einen elektrischen Strom um 3,474 dB, ein nachgeschalteter Verstärker weist dafür eine Stromverstärkung von 12,16 dB auf. Damit steht am Verstärkerausgang ein Pegel von 3,474 − 12,16 = −8,686 dB an. Dem entspricht ein Verhältnis von 1 : 2,718. Die Gesamtdämpfung der Anordnung beträgt somit das 0,368fache bzw. die Gesamtverstärkung das 2,718fache.

1.2. Aus der Physik

1.2.1. Einheiten

In diesem Abschnitt sind Tabellen über Vorsätze zu Einheiten (Tabelle 1.11), Formelzeichen (Tabelle 1.12), Umrechnung ausländischer Maße (Tabelle 1.13), Umrechnung von Torr in Millibar (Tabelle 1.14), von englisch Zoll in Millimeter (Tabelle 1.15) sowie Umrechnung von weiteren physikalischen Maßeinheiten (Tabellen 1.16···1.19) enthalten. In der Tafel der gesetzlichen Einheiten (Auszug aus Sonderdruck Nr. 605 des Gesetzblattes der DDR vom 1. 3. 1969); Tafel 7 auf S. 51 ff.) sind zusammengefaßt:

1. Die *Grundeinheiten* des Internationalen Einheiten-Systems (SI), durch Fettdruck hervorgehoben,
2. aus diesen kohärent gebildete *abgeleitete SI-Einheiten*,
3. nichtkohärent gebildete *sonstige gesetzliche Einheiten*,
4. in *Spezialgebieten zugelassene Einheiten*.

Tabelle 1.11: Vorsätze

Vorsatz	Kurzzeichen	Faktor	Beispiel
Tera	T	10^{12}	1 TV = 10^{12} V
Giga	G	10^{9}	1 GW = 10^{9} W
Mega	M	10^{6}	1 Mp = 10^{6} p
Kilo	k	10^{3}	1 kHz = 10^{3} Hz
Hekto	h	10^{2}	1 hl = 100 l
Deka	da	10^{1}	1 dag = 10 g
Dezi	d	10^{-1}	1 dt = 0,1 t
Zenti	c	10^{-2}	1 cm = 0,01 m
Milli	m	10^{-3}	1 mA = 10^{-3} A
Mikro	µ	10^{-6}	1 µbar = 10^{-6} bar
Nano	n	10^{-9}	1 nm = 10^{-9} m
Piko	p	10^{-12}	1 pF = 10^{-12} F
Femto	f	10^{-15}	1 fm = 10^{-15} m
Atto	a	10^{-18}	1 ag = 10^{-18} g

Tabelle 1.12: Allgemeine Formelzeichen (nach TGL 0-1304)

Zeichen	Bedeutung
	Länge, Fläche, Raum, Winkel
l, L	Länge
b, B	Breite
r, R	Halbmesser, Radius
d, D	Durchmesser
λ	Wellenlänge
h, H	Höhe
s	Weglänge, Wanddicke
A	Fläche (Querschnitt, Oberfläche)
α, β, γ	Winkel, ebene Winkel
ω, Ω	Raumwinkel
V, τ	Volumen, Rauminhalt
I	Flächen-Trägheitsmoment
	Masse
m	Masse
ϱ, d	Dichte
J	Massen-Trägheitsmoment
A_r	relative Atommasse (früher Atomgewicht)
M_r	relative Molekularmasse (früher Molekulargewicht)
n	Wertigkeit
	Zeit
t, τ, z	Zeitpunkt. Zeitdauer
T	Periodendauer
φ	Vor-, Nacheilwinkel, Phasenverschiebung
n	Umlaufzahl, Drehzahl
a	Beschleunigung
f, ν	Frequenz
v	Geschwindigkeit
g	Fallbeschleunigung
ω, Ω	Winkelgeschwindigkeit
	Kraft, Druck
F	Kraft
M	Moment einer Kraft
p	Druck
σ	Zug-, Druckspannung
τ	Schub-, Scherspannung
E	Elastizitätsmodul
G	Schubmodul
μ	Reibungszahl
η	dynamische Viskosität
	Wärmemenge, Arbeit, Energie
W, Q	Wärmemenge
W, A	Arbeit
W, E	Energie
λ	Wärmeleitfähigkeit
S	Entropie
σ	Oberflächenspannung
c	spezifische Wärmekapazität
c_p	bei konstantem Druck
c_v	bei konstantem Volumen
P	Leistung
η	Wirkungsgrad
R	Gaskonstante

Tabelle 1.12 (Fortsetzung)

Zeichen	Bedeutung
Temperatur	
t	Temperatur, vom Eispunkt aus gerechnet
T	absolute Temperatur
α	Längenausdehnungskoeffizient
γ	Raumausdehnungskoeffizient
Elektrizität, Magnetismus	
Q, q	Elektrizitätsmenge
E	elektrische Feldstärke
U	elektrische Spannung
I	elektrische Stromstärke
R	elektrischer Widerstand
ϱ	spezifischer elektrischer Widerstand
C	elektrische Kapazität
H	magnetische Feldstärke
z	Leiterzahl
N, w	Windungszahl
B	magnetische Induktion
μ	Permeabilität
L	Induktivität

Tabelle 1.12 (Fortsetzung)

Zeichen	Bedeutung
Licht	
c	Lichtgeschwindigkeit
E_v, E	Beleuchtungsstärke
Φ_v, Φ	Lichtstrom
I_v, I	Lichtstärke
Weiterhin wird eingeführt:	
n	Stoffmenge

Tabelle 1.13: Umrechnung ausländischer Maße

GB, USA	UdSSR	SI	inkohärent
1 inch (in, ″)	1 djujim	0,0254 m	2,54 cm
1 yard (yd)		0,9144 m	91,4 cm
1 foot (ft)	1 Fut	0,3048 m	30,48 cm
1 square foot (ft²)	Kwadrat-Fut	0,0929 m²	929,029 cm²
1 cubic foot (ft³)	Kubik-Fut	0,0283 m³	28,317 dm³
1 pound (lb)		0,4536 kg	
	1 russ. Pfund (rlbs)	0,4095 kg	
	1 Pud	16,38 kg	
1 pound-force (lbf)		4,448 N	0,454 kp
1 lbf/ft²		47,38 N/m²	4,882 kp/m²
1 lbf/in²		6894,7 N/m²	0,0703 kp/cm² (at)
1 horse-power-hour (hph)		$2{,}684 \cdot 10^6$ J	$6{,}413 \cdot 10^2$ kcal
1 hp		745,7 W	1,014 PS

Tabelle 1.14: Umrechnung von Torr in Millibar)*

Torr	0	2	4	6	8
	mbar				
66	880	883	885	888	891
67	893	896	899	901	904
68	907	909	912	915	917
69	920	923	925	928	931
70	933	936	939	941	944
71	947	949	952	955	957
72	960	963	965	968	971
73	973	976	979	981	984
74	987	989	992	995	997
75	1000	1003	1005	1008	1011
76	1013	1016	1019	1021	1024
77	1027	1029	1032	1035	1037

mbar	0	2	4	6	8
	Torr				
84	630	632	633	635	636
85	638	639	641	642	644
86	645	647	648	650	651
87	653	654	656	657	659
88	660	662	663	665	666
89	668	669	671	672	674
90	675	677	678	680	681
91	683	684	686	687	689
92	690	692	693	695	696
93	698	699	701	702	704
94	705	707	708	710	711
95	713	714	716	717	719

mbar	0	2	4	6	8
	Torr				
95	713	714	716	717	719
96	720	722	723	725	726
97	728	729	731	732	734
98	735	737	738	740	741
99	743	744	746	747	749
100	750	752	753	755	756
101	758	759	761	762	764
102	765	767	768	770	771
103	773	774	776	777	779
104	780	782	783	785	786
105	788	789	791	792	794
106	795	797	798	800	801

*) 1 Torr = $1{,}33322 \cdot 10^2$ Pa = $^1/_{760}$ atm; 1 mbar = 10^2 Pa = 10^2 N/m² = 10^3 dyn/cm²;
1 Torr = 1,33322 mbar; 1 mbar = 0,75006 Torr.

Tabelle 1.15: Umrechnung von englisch Zoll in Millimeter)*

Zoll in Millimeter

Zoll	mm
1	25,400
2	50,800
3	76,200
4	101,600
5	127,000
6	152,400
7	177,800
8	203,200
9	228,600

Meter in Zoll

Meter	Zoll
1	39,3701
2	78,7402
3	118,1102
4	157,4803
5	196,8504
6	236,2205
7	275,5906
8	314,9606
9	354,3307

Beispiel:

Gegeben 54,33 cm,
gesucht Zoll

50 cm = 19,6850″
4 cm = 1,5748″
0,3 cm = 0,1181″
0,03 cm = 0,0118″
54,33 cm = 21,3897″
≈ $21\frac{25}{64}$″

Zoll Bruch	Dezimalbruch	mm
$\frac{1}{64}$	0,015625	0,397
$\frac{1}{32}$	0,031250	0,794
$\frac{3}{64}$	0,046875	1,191
$\frac{1}{16}$	0,062500	1,588
$\frac{5}{64}$	0,078125	1,984
$\frac{3}{32}$	0,093750	2,381
$\frac{7}{64}$	0,109375	2,778
$\frac{1}{8}$	0,125000	3,175
$\frac{9}{64}$	0,140625	3,572
$\frac{5}{32}$	0,156250	3,969
$\frac{11}{64}$	0,171875	4,366
$\frac{3}{16}$	0,187500	4,763
$\frac{13}{64}$	0,203125	5,159
$\frac{7}{32}$	0,218750	5,556
$\frac{15}{64}$	0,234375	5,953
$\frac{1}{4}$	0,250000	6,350
$\frac{17}{64}$	0,265625	6,747
$\frac{9}{32}$	0,281250	7,144
$\frac{19}{64}$	0,296875	7,541
$\frac{5}{16}$	0,312500	7,938
$\frac{21}{64}$	0,328125	8,334
$\frac{11}{32}$	0,343750	8,731
$\frac{23}{64}$	0,359375	9,128
$\frac{3}{8}$	0,375000	9,525
$\frac{25}{64}$	0,390625	9,922
$\frac{13}{32}$	0,406250	10,319
$\frac{27}{64}$	0,421875	10,716
$\frac{7}{16}$	0,437500	11,113
$\frac{29}{64}$	0,453125	11,509
$\frac{15}{32}$	0,468750	11,906
$\frac{31}{64}$	0,484375	12,303
$\frac{1}{2}$	0,500000	12,700

Zoll Bruch	Dezimalbruch	mm
$\frac{33}{64}$	0,515625	13,097
$\frac{17}{32}$	0,531250	13,494
$\frac{35}{64}$	0,546875	13,891
$\frac{9}{16}$	0,562500	14,288
$\frac{37}{64}$	0,578125	14,684
$\frac{19}{32}$	0,593750	15,081
$\frac{39}{64}$	0,609375	15,478
$\frac{5}{8}$	0,625000	15,875
$\frac{41}{64}$	0,640625	16,272
$\frac{21}{32}$	0,656250	16,669
$\frac{43}{64}$	0,671875	17,066
$\frac{11}{16}$	0,687500	17,463
$\frac{45}{64}$	0,703125	17,859
$\frac{23}{32}$	0,718750	18,256
$\frac{47}{64}$	0,734375	18,653
$\frac{3}{4}$	0,750000	19,050
$\frac{49}{64}$	0,765625	19,447
$\frac{25}{32}$	0,781250	19,844
$\frac{51}{64}$	0,796875	20,241
$\frac{13}{16}$	0,812500	20,638
$\frac{53}{64}$	0,828125	21,034
$\frac{27}{32}$	0,843750	21,431
$\frac{55}{64}$	0,859375	21,828
$\frac{7}{8}$	0,875000	22,225
$\frac{57}{64}$	0,890625	22,622
$\frac{29}{32}$	0,906250	23,019
$\frac{59}{64}$	0,921875	23,416
$\frac{15}{16}$	0,937500	23,813
$\frac{61}{64}$	0,953125	24,209
$\frac{31}{32}$	0,968750	24,606
$\frac{63}{64}$	0,984375	25,003
1	1,000000	25,400

*) 1 Zoll (engl.) = 1″ = 25,400 mm

Tabelle 1.16: Umrechnung von Maßeinheiten der Arbeit und Energie

Arbeit bzw. Energie	J (Ws, Nm, 10^7 erg)	kWh	kcal	kpm	PSh	MeV
1 J (Ws, Nm, 10^7 erg)	1	$2{,}778 \cdot 10^{-7}$	$2{,}388 \cdot 10^{-4}$	$1{,}0197 \cdot 10^{-1}$	$3{,}78 \cdot 10^{-7}$	$6{,}242 \cdot 10^{12}$
1 kWh	$3{,}6 \cdot 10^{6}$	1	$8{,}598 \cdot 10^{2}$	$3{,}671 \cdot 10^{5}$	1,359	$2{,}247 \cdot 10^{19}$
1 kcal	$4{,}1868 \cdot 10^{3}$	$1{,}163 \cdot 10^{-3}$	1	$4{,}269 \cdot 10^{2}$	$1{,}581 \cdot 10^{-3}$	$2{,}613 \cdot 10^{16}$
1 kpm	9,80665	$2{,}724 \cdot 10^{-6}$	$2{,}342 \cdot 10^{-3}$	1	$3{,}703 \cdot 10^{-6}$	$6{,}121 \cdot 10^{13}$
1 PSh	$2{,}648 \cdot 10^{6}$	$7{,}355 \cdot 10^{-1}$	$6{,}325 \cdot 10^{2}$	$2{,}7 \cdot 10^{5}$	1	$1{,}653 \cdot 10^{19}$
1 MeV	$1{,}602 \cdot 10^{-13}$	$4{,}45 \cdot 10^{-20}$	$3{,}826 \cdot 10^{-17}$	$1{,}634 \cdot 10^{-14}$	$6{,}049 \cdot 10^{-20}$	1

Tabelle 1.17: Umrechnung von Maßeinheiten der Leistung

Leistung	kW (10^{10} erg/s)	kcal/s	kpm/s	PS
1 kW (10^{10} erg/s)	1	$2{,}388 \cdot 10^{-1}$	$1{,}0197 \cdot 10^{2}$	1,359
1 kcal/s	4,1868	1	$4{,}269 \cdot 10^{2}$	5,692
1 kpm/s	$9{,}80665 \cdot 10^{-3}$	$2{,}342 \cdot 10^{-3}$	1	$1{,}333 \cdot 10^{-2}$
1 PS	$7{,}355 \cdot 10^{-1}$	$1{,}757 \cdot 10^{-1}$	75	1

Tabelle 1.18: Umrechnung von Maßeinheiten des Druckes

Druck	Pa = N/m²	bar (10^5 mbar)	at (kp/cm²)	atm	Torr
1 Pa = 1 N/m²	1	10^{-5}	$1{,}0197 \cdot 10^{-5}$	$9{,}869 \cdot 10^{-6}$	$7{,}5 \cdot 10^{-3}$
1 bar (10^5 mbar)	10^5	1	1,0197	$9{,}8692 \cdot 10^{-1}$	$7{,}5 \cdot 10^{2}$
1 at (kp/cm²)	$9{,}80665 \cdot 10^{4}$	$9{,}80665 \cdot 10^{-1}$	1	$9{,}6784 \cdot 10^{-1}$	$7{,}3556 \cdot 10^{2}$
1 atm	$1{,}01325 \cdot 10^{5}$	1,01325	1,0332	1	$7{,}6 \cdot 10^{2}$
1 Torr	$1{,}3332 \cdot 10^{2}$	$1{,}3332 \cdot 10^{-3}$	$1{,}36 \cdot 10^{-3}$	$1{,}316 \cdot 10^{-3}$	1

Tabelle 1.19: Umrechnung von Kilowatt und Pferdestärke)*

kW	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
	PS									
1	1,36	1,50	1,63	1,77	1,90	2,04	2,18	2,31	2,45	2,58
2	2,72	2,86	2,99	3,13	3,26	3,40	3,54	3,67	3,81	3,94
3	4,08	4,21	4,35	4,49	4,62	4,76	4,89	5,03	5,17	5,30
4	5,44	5,57	5,71	5,85	5,98	6,12	6,25	6,39	6,53	6,66
5	6,80	6,93	7,07	7,21	7,34	7,48	7,61	7,75	7,89	8,02
6	8,16	8,29	8,43	8,57	8,70	8,84	8,97	9,11	9,25	9,38
7	9,52	9,65	9,79	9,93	10,1	10,2	10,3	10,5	10,6	10,7
8	10,9	11,0	11,1	11,3	11,4	11,6	11,7	11,8	12,0	12,1
9	12,2	12,4	12,5	12,6	12,8	12,9	13,1	13,2	13,3	13,5

PS	,0	,5
	kW	
1	0,735	1,10
2	1,47	1,84
3	2,21	2,57
4	2,94	3,31
5	3,68	4,05
6	4,41	4,78
7	5,15	5,52
8	5,88	6,25
9	6,62	6,99

*) Für Leistungen unter 1 und über 10 kW bzw. PS findet man die Umrechnung durch Kommaverschiebung.

Beispiele: 0,25 kW = 0,34 PS; 150 kW = 204 PS; 45 PS = 33,1 kW.

Tafel 7: Tafel der gesetzlichen Einheiten (Auszug)

Größe	Name der Einheit	Kurzzeichen	Definition Definitionsgleichung	Bemerkungen
Raum und Zeit				
Länge	**Meter**	**m**	Das Meter ist gleich 1650763,73 Vakuum-Wellenlängen der Strahlung, die dem Übergang zwischen den Niveaus $2p_{10}$ und $5d_5$ des Atoms Krypton 86 entspricht.	**Grundeinheit**
	Seemeile*)	sm	1 sm = 1852 m	beschränkt auf Seefahrt
	Ångström*)	Å	1 Å = $1 \cdot 10^{-10}$ m	beschränkt auf
	X-Einheit*)	XE	1 XE = $1 \cdot 10^{-13}$ m	Spektroskopie
	Astronomische Einheit*)	AE	1 AE = $1{,}49600 \cdot 10^{11}$ m	beschränkt auf
	Parsec*)	pc	1 pc = $3{,}08572 \cdot 10^{16}$ m	Astronomie

*) Vorläufig noch gültig.

Tafel 7 (Fortsetzung)

Größe	Name der Einheit	Kurzzeichen	Definition Definitionsgleichung	Bemerkungen
Fläche	Quadratmeter	m^2	$1\ m^2 = 1\ m \cdot 1\ m$	desgl. cm^2, mm^2, km^2 u. a.
	Ar*)	a	$1\ a = 10^2\ m^2$	
	Hektar*)	ha	$1\ ha = 100\ a = 10^4\ m^2$	
	Barn	b	$1\ b = 1 \cdot 10^{-28}\ m^2$	Atom- und Kernphysik
Volumen	Kubikmeter	m^3	$1\ m^3 = 1\ m \cdot 1\ m \cdot 1\ m$	desgl. cm^3, mm^3, km^3 u. a.
	Liter	l	$1\ l = 1\ dm^3 = 1 \cdot 10^{-3}\ m^3$	nicht für Angaben mit einer relativen Unsicherheit $< 5 \cdot 10^{-5}$
Ebener Winkel	Radiant	rad	$1\ rad = 1\ m/1\ m$	Der Radiant ist der ebene Winkel, für den das Verhältnis der Längen des zugehörigen Kreisbogens zu seinem Halbmesser gleich 1 ist.
	Grad		$1^\circ = 1{,}745329 \cdot 10^{-2}$ rad	Der Grad (°) ist der 360ste Teil
	Minute		$1' = 1^\circ/60$	des Vollwinkels; $1^\circ = \frac{\pi}{180}$ rad.
	Sekunde		$1'' = 1'/60 = 1^\circ/3600$	
	Neugrad, Gon*)		$1^g = 1{,}570796 \cdot 10^{-2}$ rad	Der Neugrad, das Gon, ist der
	Neuminute*)		$1^c = 1^g/100$	400ste Teil des Vollwinkels.
	Neusekunde*)		$1^{cc} = 1^c/100 = 1^g/10^4$	
Raumwinkel	Steradiant	sr	$1\ sr = 1\ m^2/1\ m^2$	Der Steradiant ist der Raumwinkel, der von einer vom Mittelpunkt einer Kugel vom Radius 1 m ausgehenden Strahlenschar gebildet wird, die auf der Oberfläche dieser Kugel die Fläche $1\ m^2$ einschließt.
Zeit	**Sekunde**	s	Die Sekunde ist die Dauer von 9192631770 Perioden der Strahlung, die dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustands des Atoms Zäsium 133 entspricht.	**Grundeinheit**
	Minute	min	$1\ min = 60\ s$	
	Stunde	h	$1\ h = 60\ min = 3600\ s$	
	Tag	d	$1\ d = 24\ h = 86400\ s$	
Frequenz	Hertz	Hz	$1\ Hz = 1\ s^{-1}$	bei Umlauffrequenzen auch U/s, U/min, U/h (besser: Umdr. f. U)
Geschwindigkeit	Meter je Sekunde	m/s	$1\ m/s = 1\ m \cdot s^{-1}$	desgl. cm/s, cm/min u. a.
	Knoten*)	kn	$1\ kn = 1\ sm/h = 1852\ m/3600\ s = 0{,}5144\ m/s$	beschränkt auf Seefahrt
Winkelgeschwindigkeit	Radiant je Sekunde	rad/s	$1\ rad/s = 1\ rad \cdot s^{-1}$	
Beschleunigung	Meter je Quadratsekunde	m/s^2	$1\ m/s^2 = 1\ m \cdot s^{-2}$	desgl. cm/s^2, mm/s^2 u. a.
	Gal	Gal	$1\ Gal = 1 \cdot 10^{-2}\ m \cdot s^{-2}$	beschränkt auf Geophysik
Winkelbeschleunigung	Radiant je Quadratsekunde	rad/s^2	$1\ rad/s^2 = 1\ rad \cdot s^{-2}$	
Volumenstrom	Kubikmeter je Sekunde	m^3/s	$1\ m^3/s = 1\ m^3 \cdot s^{-1}$	Volumendurchfluß
Mechanik				
Masse	**Kilogramm**	**kg**	Das Kilogramm ist die Masse des internationalen Kilogrammprototyps.	**Grundeinheit**
	Gramm	g	$1\ g = 1 \cdot 10^{-3}\ kg$	
	Tonne	t	$1\ t = 1 \cdot 10^3\ kg$	$1\ dt = 100\ kg$
	Karat*)	k	$1\ k = 2 \cdot 10^{-4}\ kg$	beschränkt auf Handel mit Edelsteinen, Perlen, Edelmetallen
Dichte	Kilogramm je Kubikmeter	kg/m^3	$1\ kg/m^3 = 1\ kg \cdot m^{-3}$	auch g/m^3, t/m^3 u. a.
Kraft	Newton	N	$1\ N = 1\ m \cdot kg \cdot s^{-2}$	1 N ist die Kraft, die der Masse 1 kg die Beschleunigung $1\ m/s^2$ erteilt.
	Pond*)	p	$1\ p = 0{,}980665 \cdot 10^{-2}\ N$	
	Dyn*)	dyn	$1\ dyn = 1 \cdot 10^{-5}\ N$	möglichst vermeiden

*) Vorläufig noch gültig.

Tafel 7 (Fortsetzung)

Größe	Name der Einheit	Kurzzeichen	Definition Definitionsgleichung	Bemerkungen
Druck, Spannung	Pascal = Newton je Quadratmeter	Pa = N/m²	1 Pa = 1 N/m² = 1 m⁻¹ · kg · s⁻²	
	Bar	bar	1 bar = 1 · 10⁵ Pa	desgl. mbar, µbar u. a.
	Kilopond je Quadratmeter*)	kp/m²	1 kp/m² = 0,980665 · 10 Pa	
	Kilopond je Quadratzentimeter*)	kp/cm²	1 kp/cm² = 0,980665 · 10⁵ Pa	wird auch technische Atmosphäre (at) genannt, 1 at = 1 kp/cm²
	Meter Wassersäule*)	mWS	1 mWS = 0,980665 · 10⁴ Pa	auch mmWS; nicht für Angaben mit einer relativen Unsicherheit $< 5 \cdot 10^{-5}$
	Physikalische Atmosphäre*)	atm	1 atm = 1,01325 · 10⁵ Pa	
	Torr*)	Torr	1 Torr = 1,333224 · 10² Pa	1 Torr = 1 atm/760
Dynamische Viskosität	Pascalsekunde = Newtonsekunde je Quadratmeter	Pa · s = N · s/m²	1 Pa · s = 1 N · s/m² = 1 m⁻¹ kg · s⁻¹	
	Poise*)	P	1 P = 1 · 10⁻¹ Pa · s	häufiger cP; 1 cP = 1 · 10⁻³ Pa · s
Kinematische Viskosität	Quadratmeter je Sekunde	m²/s	$1\ \mathrm{m^2/s} = \frac{1\ \mathrm{Pa \cdot s}}{1\ \mathrm{kg/m^3}} = 1\ \mathrm{m^2 \cdot s^{-1}}$	
	Stokes*)	St	1 St = 1 · 10⁻⁴ m²/s	häufiger cSt; 1 cSt = 1 · 10⁻⁶ m²/s
Arbeit, Energie	Joule	J	1 J = 1 N · m = 1 m² · kg · s⁻²	für Joule auch Newtonmeter oder Wattsekunde; 1 J = 1 N · m = 1 W · s
	Erg*)	erg	1 erg = 1 · 10⁻⁷ J	
	Elektronenvolt	eV	1 eV = 1,60210 · 10⁻¹⁹ J	beschränkt auf Atom- und Kernphysik
Leistung	Watt	W	1 W = 1 J/s = 1 m² · kg · s⁻³	
	Pferdestärke*)	PS	1 PS = 735,49875 W	beschränkt auf Kraft- und Arbeitsmaschinen
Wärmelehre)				
Temperatur (thermodynamische)	**Kelvin**	K	Das Kelvin ist der 273,16te Teil der (thermodynamischen) Temperatur des Tripelpunktes von Wasser	**Grundeinheit**; auch noch Grad Kelvin (°K); Temperaturdifferenzen außer in Kelvin (K) auch noch in Grad (grd)
CELSIUS-*Temperatur*	Grad Celsius	°C	Die Celsius-Temperatur t ist die Differenz einer Temperatur T (in K) und der Temperatur $T_0 = 273{,}15$ K; $t = T - T_0$	Temperaturdifferenzen außer in Kelvin (K) auch noch in Grad (grd)
Wärmemenge	Joule	J	1 J = 1 m² · kg · s⁻²	1 J = 1 N · m = 1 W · s
	Kalorie*)	cal	1 cal = 4,1868 J	
Spezifische Wärmemenge	Joule je Kilogramm	J/kg	1 J/kg = 1 m² · s⁻²	z. B. bei Phasenumwandlung
	Kalorie je Gramm*)	cal/g	1 cal/g = 4,1868 · 10³ J · kg⁻¹	
Wärmekapazität	Joule je Kelvin	J/K	1 J/K = 1 m² · kg · s⁻² · K⁻¹	
Spezifische Wärmekapazität	Joule je Kilogramm mal Kelvin	J/kg · K	1 J/kg · K = 1 m² · s⁻² · K⁻¹	früher spezifische Wärme, meist in cal/g · grd oder kcal/kg · grd; Umrechnung: $1\ \frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg \cdot grd}} = 4{,}1868 \cdot 10^3\ \mathrm{J/kg \cdot K}$
Entropie	Joule je Kelvin	J/K	1 J/K = 1 m² · kg · s⁻² · K⁻¹	
Spezifische Entropie	Joule je Kilogramm mal Kelvin	J/kg · K	1 J/kg · K = 1 m² · s⁻² · K⁻¹	
Wärmestrom	Watt	W	1 W = 1 J/s = 1 m² · kg · s⁻³	
	Kalorie je Sekunde*)	cal/s	1 cal/s = 4,1868 W	
	Kilokalorie je Stunde*)	kcal/h	1 kcal/h = 1,163 W	

*) Vorläufig noch gültig.
**) Siehe auch Mol am Schluß der Tafel.

Tafel 7 (Fortsetzung)

Größe	Name der Einheit	Kurzzeichen	Definition Definitionsgleichung	Bemerkungen
Wärmestromdichte	Watt je Quadratmeter	W/m^2	$1\ W/m^2 = 1\ kg \cdot s^{-3}$	
	Kalorie je Quadratzentimeter mal Sekunde*)	$cal/cm^2 \cdot s$	$1\ cal/cm^2 \cdot s = 4{,}1868 \cdot 10^4\ W \cdot m^{-2}$	
	Kilokalorie je Quadratmeter mal Stunde*)	$kcal/m^2 \cdot h$	$1\ kcal/m^2 \cdot h = 1{,}163\ W \cdot m^{-2}$	
Wärmeübergangskoeffizient	Watt je Quadratmeter mal Kelvin	$W/m^2 \cdot K$	$1\ W/m^2 \cdot K = 1\ kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$	$1\ W/m^2 \cdot K$ ist der Wärmeübergangs- oder der Wärmedurchgangskoeffizient zwischen zwei geeignet gewählten isothermen Flächen, zwischen denen beim Fließen eines Wärmestroms der Dichte $1\ W/m^2$ die Temperaturdifferenz 1 K herrscht.
	Kalorie je Quadratzentimeter mal Sekunde mal Kelvin*)	$cal/cm^2 \cdot s \cdot K$	$1\ cal/cm^2 \cdot s \cdot K = 4{,}1868 \cdot 10^4\ W/m^2 \cdot K$	
Wärmedurchgangskoeffizient	Watt je Quadratmeter mal Kelvin	$W/m^2 \cdot K$	$1\ W/m^2 \cdot K = 1\ kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$	
	Kilokalorie je Quadratmeter mal Stunde mal Kelvin	$kcal/m^2 \cdot h \cdot K$	$1\ kcal/m^2 \cdot h \cdot K = 1{,}163\ W/m^2 \cdot K$	
Wärmeleitfähigkeit	Watt je Meter mal Kelvin	$W/m \cdot K$	$1\ W/m \cdot K = 1\ m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$	$1\ W/m \cdot K$ ist die Wärmeleitfähigkeit eines homogenen Stoffes, in dem sich bei Fließen eines Wärmestroms der Dichte $1\ W/m^2$ die Temperatur in Richtung des Wärmestroms auf 1 m um 1 K ändert.
	Kalorie je Zentimeter mal Sekunde mal Kelvin	$cal/cm \cdot s \cdot K$	$1\ cal/cm \cdot s \cdot K = 4{,}1868 \cdot 10^2\ W/m \cdot K$	
	Kilokalorie je Meter mal Stunde mal Kelvin	$kcal/m \cdot h \cdot K$	$1\ kcal/m \cdot h \cdot K = 1{,}163\ W/m \cdot K$	
Temperaturleitfähigkeit	Quadratmeter je Sekunde	m^2/s	$1\ m^2/s = 1\ m^2 \cdot s^{-1}$	$1\ m^2/s$ ist die Temperaturleitfähigkeit eines Stoffes mit der Wärmeleitfähigkeit $1\ W/m \cdot K$, der spezifischen Wärmekapazität $1\ J/kg \cdot K$ (bei konstantem Druck) und der Dichte $1\ kg/m^3$.
	Quadratmeter je Stunde	m^2/h	$1\ m^2/h = 2{,}7778 \cdot 10^{-4}\ m^2 \cdot s^{-1}$	
Elektrizität und Magnetismus				
Elektrische Stromstärke	**Ampere**	**A**	Das Ampere ist die Stärke des zeitlich unveränderlichen elektrischen Stromes durch zwei geradlinige, parallele, unendlich lange Leiter der relativen Permeabilität 1 und von vernachlässigbarem Querschnitt, die den Abstand 1 m haben und zwischen denen die durch den Strom elektrodynamisch hervorgerufene Kraft im leeren Raum je 1 m Länge der Doppelleitung $2 \cdot 10^{-7}$ N beträgt.	**Grundeinheit**; auch Einheit der magnetischen Spannung
Elektrizitätsmenge (Elektrische Ladung)	Coulomb	C	$1\ C = 1\ s \cdot A$	Die Einheit der Elektrizitätsmenge wird auch Amperesekunde $(A \cdot s)$ genannt.
Elektrische Verschiebung (Verschiebungsdichte)	Coulomb je Quadratmeter	C/m^2	$1\ C/m^2 = 1\ m^{-2} \cdot s \cdot A$	
Elektrischer Verschiebungsfluß	Coulomb	C	$1\ C = 1\ (C/m^2) \cdot m^2 = 1\ s \cdot A$	
Elektrische Leistung	Watt	W	$1\ W = 1\ J/s = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$	Die Einheit der elektrischen Leistung wird zur Angabe von Scheinleistungen auch Voltampere (VA), zur Angabe von Blindleistungen auch Var (var) genannt.
Elektrische Spannung	Volt	V	$1\ V = 1\ W/A = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	
Elektrische Feldstärke	Volt je Meter	V/m	$1\ V/m = 1\ m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	
Elektrische Kapazität	Farad	F	$1\ F = 1\ C/V = 1\ A \cdot s/V = 1\ m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$	
Elektrisches Dipolmoment	Coulombmeter	Cm	$1\ C \cdot m = 1\ m \cdot s \cdot A$	Das Coulombmeter ist das Moment eines elektrischen Dipols, dessen Ladungen vom absoluten Betrag 1 C den Abstand 1 m haben.

*) Vorläufig noch gültig.

Tafel 7 (Fortsetzung)

Größe	Name der Einheit	Kurzzeichen	Definition Definitionsgleichung	Bemerkungen
Elektrische Polarisation	Coulomb je Quadratmeter	C/m^2	$1\ C/m^2 = 1\ m^{-2} \cdot s \cdot A$	Das Coulomb je Quadratmeter ist die elektrische Polarisation, durch die in dem Volumen 1 m^3 das elektrische Dipolmoment 1 C · m hervorgerufen wird.
Elektrischer Widerstand	Ohm	Ω	$1\ \Omega = 1\ V/A = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$	Das Ohm ist der elektrische Widerstand zwischen zwei Punkten eines homogenen und gleichmäßig temperierten metallischen Leiters, durch den bei der Spannung 1 V zwischen den beiden Punkten ein zeitlich unveränderlicher Strom der Stärke 1 A fließt.
Spezifischer elektrischer Widerstand	Ohmmeter	$\Omega \cdot m$	$1\ \Omega \cdot m = 1\ m^3 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$	
Elektrischer Leitwert	Siemens	S	$1\ S = 1/\Omega = 1\ m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$	wird auch Eins je Ohm (1/Ω) genannt
Elektrische Leitfähigkeit	Siemens je Meter	S/m	$1\ S/m = 1\ m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$	wird auch Eins je Ohmmeter (1/Ω · m) genannt
Magnetischer Fluß	Weber	Wb	$1\ Wb = 1\ V \cdot s = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	wird auch Voltsekunde (V · s) genannt
Magnetische Induktion (Magnetische Flußdichte)	Tesla	T	$1\ T = 1\ Wb/m^2 = 1\ kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	wird auch Weber je Quadratmeter (Wb/m^2) genannt
Magnetische Feldstärke	Ampere je Meter	A/m	$1\ A/m = 1\ m^{-1} \cdot A$	
Magnetische Spannung	Ampere	A	$1\ A = 1\ (A/m) \cdot m$	Das Ampere ist die magnetische Spannung zwischen zwei Punkten im Abstand 1 m in Richtung des Vektors eines magnetischen Feldes mit der Feldstärke 1 A/m.
Induktivität	Henry	H	$1\ H = 1\ Wb/A = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	
Magnetische Polstärke nach COULOMB	Weber	Wb	$1\ Wb = 1\ N \cdot m/A = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	Das Weber ist die COULOMBsche magnetische Polstärke eines Pols, auf den in einem magnetischen Feld mit der Feldstärke 1 A/m die Kraft 1 N ausgeübt wird.
Magnetisches Moment nach COULOMB	Webermeter	Wb · m	$1\ Wb \cdot m = 1\ m^3 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	
Magnetische Polarisation	Tesla	T	$1\ T = 1\ Wb/m^2 = 1\ kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	wird auch Weber je Quadratmeter (Wb/m^2) genannt
Magnetischer Leitwert	Henry	H	$1\ H = 1\ Wb/A = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	wird auch Weber je Ampere (Wb/A) genannt
Optische Strahlung				
Lichtstärke	**Candela**	**cd**	Die Candela ist die Lichtstärke, die ein schwarzer Körper der Fläche $\frac{1}{600000}\ m^2$ bei der Erstarrungstemperatur des Platins beim Druck 101325 Pa senkrecht zu seiner Oberfläche ausstrahlt.	**Grundeinheit**
Leuchtdichte	Candela je Quadratmeter	cd/m^2	$1\ cd/m^2 = 1\ m^{-2} \cdot cd$	
	Stilb*)	sb	$1\ sb = 10^4\ cd/m^2$	
	Apostilb*)	asb	$1\ asb = 0{,}318310\ cd/m^2$	beschränkt auf Lichttechnik
Lichtstrom	Lumen	lm	$1\ lm = 1\ cd \cdot sr$	Das Lumen ist der Lichtstrom, den eine punktartige Lichtquelle der Lichtstärke 1 cd gleichmäßig in den Raumwinkel 1 sr aussendet.
Beleuchtungsstärke	Lux	lx	$1\ lx = 1\ lm/m^2 = 1\ m^{-2} \cdot cd \cdot sr$	

*) Vorläufig noch gültig.

Tafel 7 (Fortsetzung)

Größe	Name der Einheit	Kurzzeichen	Definition Definitionsgleichung	Bemerkungen
Lichtmenge	Lumensekunde	lm · s	1 lm · s = 1 s · cd · sr	Die Lumensekunde ist die ausgesandte oder aufgefangene Lichtmenge des 1 s dauernden Lichtstroms 1 lm.
Strahlungsenergie	Joule	J	1 J = 1 W · s = 1 N · m = 1 $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	
Strahlungsfluß	Watt	W	1 W = 1 J/s = 1 $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$	
Strahlstärke	Watt je Steradiant	W/sr	1 W/sr = 1 $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot sr^{-1}$	Das Watt je Steradiant ist die Strahlstärke, die im Raumwinkel 1 sr den Strahlungsfluß 1 W erzeugt.
Strahldichte	Watt je Quadratmeter mal Steradiant	W/m^2 sr	1 W/$m^2 \cdot sr$ = 1 $kg \cdot s^{-3} \cdot sr^{1}$	
Strahlungsflußdichte	Watt je Quadratmeter	W/m^2	1 W/m^2 = 1 $kg \cdot s^{-3}$	
Akustik				
Schallschnelle	Meter je Sekunde	m/s	1 m/s = 1 m · s^{-1}	
Schalldruck	Pascal = Newton je Quadratmeter	Pa = N/m^2	1 Pa = 1 N/m^2 = 1 $m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$	
	Mikrobar	µbar	1 µbar = 1 · 10^{-1} Pa	
Schallenergie	Joule	J	1 J = 1 $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	
Schalleistung	Watt	W	1 W = 1 $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$	
Ionisierende Strahlung				
Teilchenfluenz	Eins je Quadratmeter	1/m^2	1/m^2 = 1 m^{-2}	Unter ionisierender Strahlung ist sowohl direkt (z. B. Elektronen, Protonen, Deuteronen, α-Teilchen) als auch indirekt (z. B. Neutronen, Photonen) ionisierende Strahlung zu verstehen.
Teilchenflußdichte	Eins je Quadratmeter mal Sekunde	1/$m^2 \cdot s$	1/$m^2 \cdot s$ = 1 $m^{-2} \cdot s^{-1}$	
Energiefluenz	Joule je Quadratmeter	J/m^2	1 J/m^2 = 1 $kg \cdot s^{-2}$	
Energieflußdichte	Watt je Quadratmeter	W/m^2	1 W/m^2 = 1 $kg \cdot s^{-3}$	
Energiedosis	Joule je Kilogramm	J/kg	1 J/kg = 1 $m^2 \cdot s^{-2}$	Das Joule je Kilogramm ist die Energiedosis, bei der durch die ionisierende Strahlung einer homogen verteilten Materie der Masse 1 kg die Energie 1 J gleichmäßig zugeführt wird.
	Rad*)	rd	1 rd = 10^{-2} J · kg^{-1}	
Energiedosisleistung	Watt je Kilogramm Rad je Sekunde	W/kg rd/s	1 W/kg = 1 $m^2 \cdot s^{-3}$ 1 rd/s = 10^{-2} W · kg^{-1}	
Aktivität	Eins je Sekunde Curie*)	1/s Ci	1/s = 1 s^{-1} 1 Ci = 3,7 · 10^{10} s^{-1}	
Als *weitere Grundeinheit* wird eingeführt				
Stoffmenge	**Mol**	**mol**	Das Mol ist die Stoffmenge eines Systems bestimmter Zusammensetzung, das aus ebenso vielen Teilchen besteht, wie Atome in 12 g des reinen Kohlenstoffs ^{12}C enthalten sind.	**Grundeinheit**

*) Vorläufig noch gültig.

1.2.2. Aus der Mechanik

1.2.2.1. Einfache Maschinen

Hebelgesetz (Bild 1.34)

Kraft mal Kraftarm = Last mal Lastarm.

$Fa = F_L b$.

F Kraft, a Kraftarm,
F_L Last, b Lastarm.



Bild 1.34. Hebel
a) einarmiger, b) zweiarmiger

Beispiel (Bild 1.35): An einem Hebebaum wird gemessen

$a = 1400$ mm,
$b = 350$ mm.

Gehoben wird mit der Kraft $F = 62$ kp.
Mit welcher Kraft F_L ruht die Platte auf dem Hebebaum?

Lösung: $F_L = \frac{Fa}{b}$;

$$F_L = \frac{62 \text{ kp} \cdot 1400 \text{ mm}}{350 \text{ mm}} = 248 \text{ kp}.$$

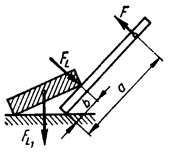


Bild 1.35
Beispiel zum Hebelgesetz

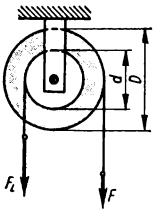


Bild 1.36. Seiltrommel

Seil- und Kettentrommel (Bild 1.36)

$F = \frac{F_L d}{D}$;

d, D Rollendurchmesser.

Lose Rolle (Bild 1.37)

(Wirkungsgrad für jede Rolle $\eta \approx 0{,}95$)

$F = \frac{F_L}{2}$.

Kraft mal Kraftweg = Last mal Lastweg.

$FS = F_L s$.

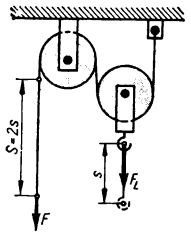


Bild 1.37
Lose Rolle

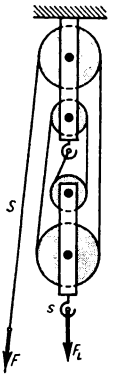


Bild 1.38
Faktorenflaschenzug

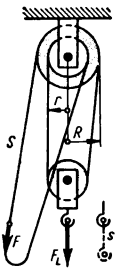


Bild 1.39
Differentialflaschenzug

Faktorenflaschenzug (Bild 1.38)

n Rollenzahl, S Kraftweg, s Lastweg.

Differentialflaschenzug (Bild 1.39)

d, D Durchmesser der oberen Rollen.

$F = F_L \cdot \frac{D - d}{2D}$;

$s = S \cdot \frac{D - d}{2D}$.

Wirkungsgrad im Mittel: $\eta \approx 0{,}5$.

Schiefe Ebene (Bild 1.40)

Kraft mal Kraftweg = Last mal Lastweg.

h/l Steigung.

$Fl = F_L h$.

Normaldruck $F_N = \sqrt{F_L^2 - F^2}$.

Beispiel: $F_L = 10500$ kp. Steigung 1:21; $F = ?$

Lösung: $F = \frac{F_L h}{l} = \frac{10500 \text{ kp} \cdot 1}{21} = 500$ kp

(ohne Berücksichtigung der Reibung).

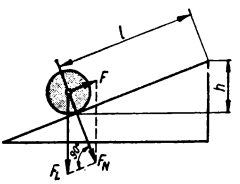


Bild 1.40. Schiefe Ebene

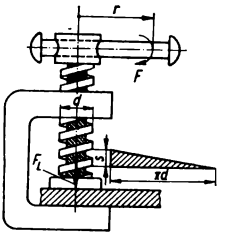


Bild 1.41. Schraube

Schraube (eingängig) (Bild 1.41)

Jeder Schraubengang stellt eine gewundene schiefe Ebene dar. Ganghöhe s ist Lastweg, $\pi d = S$ ist Kraftweg.

Kraft mal Kraftweg = Last mal Lastweg.

$F \cdot \pi d = F_L \cdot s$.

Beispiel: Gegeben $F = 20$ kp, $r = 240$ mm, $s = 8$ mm; gesucht F_L.

Lösung: $F_L = \frac{F \cdot S}{s} = \frac{F \cdot \pi d}{s}$;

$$F_L = \frac{20 \text{ kp} \cdot 2 \cdot 240 \text{ mm} \cdot \pi}{8 \text{ mm}} = 1200\,\pi \text{ kp} = 3769{,}9 \text{ kp} \approx 3770 \text{ kp}.$$

Bei Wirkungsgrad $\eta = 0{,}5$ wird $F_L = 3770 \text{ kp} \cdot 0{,}5 = 1885$ kp.

1.2.2.2. Arbeit und Leistung

Arbeit = Kraft mal Weg.

$W = Fs$.

Leistung = Arbeit durch Zeit.

$P = W/t$.

1 PS = 75 kp m/s; 1 kW = 101,97 kp m/s = 1,359 PS.

1. Beispiel: Ein Kran hebt in 25 s eine Last von 9000 kp 4 m hoch. Welche Leistung entwickelt der Hubmotor (ohne Reibungsverluste)?

Lösung: $W = 9000 \text{ kp} \cdot 4 \text{ m}$;

$P = \frac{9000 \text{ kp} \cdot 4 \text{ m}}{25 \text{ s}}$;

$$P = \frac{9000 \text{ kp} \cdot 4 \text{ m}}{25 \text{ s} \cdot 75} = 19{,}2 \text{ PS} = \frac{19{,}2}{1{,}36} = 14{,}1 \text{ kW}.$$

Ohne Berücksichtigung der Reibungsverluste leistet der Hubmotor $P \approx 14$ kW. Bei einem Wirkungsgrad von $\eta = 75\%$ für die Anlage wären 14 kW : 0,75 ≈ 19 kW erforderlich.

2. Beispiel: Eine Kolbenpumpe fördert stündlich $Q = 540$ m³ Wasser bei einer Förderhöhe $H = 38$ m.
Wie groß ist die Antriebsleistung P?

Lösung: 1 m³ ≙ 1000 kp;
540 m³ ≙ 1000 kp · 540 = 540000 kp.

$$P = \frac{540000 \text{ kp} \cdot 38 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 5700 \text{ kp m/s}.$$

$$P = \frac{5700}{102} \approx 56 \text{ kW}.$$

Mit Rücksicht auf einen mittleren Wirkungsgrad der Pumpenanlagen von $\eta = 85\%$ berechnet man die effektive Antriebsleistung zu

$$P_{eff} = 56 \text{ kW} : 0{,}85 \approx 66 \text{ kW}.$$

1.2.2.3. Reibung

Gleitreibung. Zur Überwindung des Widerstands, der durch Reibung zweier aufeinander gleitender Körper entsteht, benötigt man die *Reibungskraft*. Sie ist bei Beginn der Bewegung am größten (Gleitreibung aus der Ruhe) und nimmt mit zunehmender Geschwindigkeit der aufeinander gleitenden Körper ab. Drückt eine Last F_L senkrecht auf eine Unterlage (Bild 1.42a), so ist die Reibungskraft

$$F = F_L \mu.$$

Hierbei ist μ die *Reibungszahl* der Gleitreibung. Sie ist je nach Oberflächenbeschaffenheit der aufeinander gleitenden Körper verschieden, aber immer kleiner als 1 (vgl. Tabelle 1.20). Die *Reibungsarbeit* längs des Reibungsweges s ist

$$W_r = Fs = F_L \mu s.$$

Im Gleitlager (Bild 1.42b) ist beim Drehen zu überwinden Reibungsmoment = Reibungskraft mal Hebelarm:

$$M_G = F_L \mu r.$$

Die durch Reibung verlorene Leistung P_{rl} ist Reibungskraft mal Weg durch Zeit:

$$P_{rl} = \frac{F \cdot \pi d \cdot n}{60} = \frac{F_L \mu r n}{30};$$

r in m, F_L in kp, n in Umdr./min, P_{rl} in $\frac{\text{kp m}}{\text{s}}$.

Rollreibung

Die Reibungskraft ist

$$F = \frac{F_L f}{r};$$

f Reibungszahl (Hebelarm) der Rollreibung (Bild 1.42c) in cm.

Das Rollreibungsmoment beträgt $M_r = \frac{F_L f r}{r} = F_L f$.

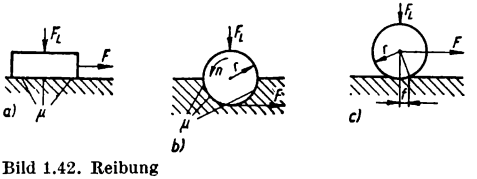


Bild 1.42. Reibung
a) Gleitreibung, b) Reibung in Gleitlager, c) Rollreibung

Beispiel: Der Rollwiderstand eines mit 500 kp belasteten Stahlrades vom Radius $r = 40$ cm auf Stahlschienen ($f = 0{,}05$ cm) ist bei $v \approx 100$ km/h

$$F = \frac{F_L f}{d/2} = \frac{500 \text{ kp} \cdot 0{,}05 \text{ cm}}{40 \text{ cm}} = 0{,}625 \text{ kp}.$$

Die durch Reibung verlorene Leistung ist $P_{rl} = F \cdot \frac{\pi d n}{60} = \frac{F_L f}{d/2} \cdot \frac{\pi d n}{60} = \frac{F_L f \pi n}{30} \left(\text{in } \frac{\text{kp cm}}{\text{s}}\right) = \frac{F_L f \pi n}{3000} \left(\text{in } \frac{\text{kp m}}{\text{s}}\right)$.

Aus $F = \frac{F_L f}{r}$ ist ersichtlich: Je größer r, desto kleiner F.

Handkarren, Rennwagen z. B. haben große Räder, um den Arbeitsaufwand möglichst niedrig zu halten.
Für Stahl auf Stahl ist Reibungszahl $f = 0{,}01$ cm bei $v = 10$ km/h; 0,02 cm bei 25 km/h; 0,03 cm bei 50 km/h und 0,04 cm bei $v = 75$ km/h.

Der Reibungswiderstand bei Kugel- und Rollenlagern wird der Einfachheit halber mit Hilfe der *ideellen Reibungszahl* μ_1 errechnet.

$F = F_L \mu_1$ (vgl. Tabelle 1,20).

Verlorene Leistung in kp m/s ist $P_r = \frac{F_L \mu_1 r_r \pi n}{30}$;

r_1 (in m) ist Abstand von Mitte Welle bis Mitte Kugel oder Rolle.

Beispiel: Ein Transmissionslager ist durch Riemenzug bei $n = 250$ Umdr./min mit $F_L = 200$ kp belastet. Gesucht ist die durch Reibung verlorene Leistung a) bei Anwendung von Gleitlagern, b) bei Anwendung von Kugellagern.

a) *Gleitlager* mit $\mu = 0{,}04$, Wellendurchmesser $d = 6$ cm, $r = 0{,}03$ m.

$$P_L = \frac{F_L \mu r \pi n}{30} = \frac{200 \text{ kp} \cdot 0{,}04 \cdot 0{,}03 \text{ m} \cdot \pi \cdot 250 \text{ min}^{-1}}{30}$$
$$= 6{,}3 \text{ kp m/s} = 0{,}084 \text{ PS} = 0{,}062 \text{ kW}.$$

b) *Kugellager* mit $\mu_1 = 0{,}003$, Kugeldurchmesser $d = 1$ cm, Abstand von Mitte Welle bis Mitte Kugel $r_1 = 4$ cm $= 0{,}04$ m.

$$P_r = \frac{200 \text{ kp} \cdot 0{,}003 \cdot 0{,}04 \text{ m} \cdot \pi \cdot 250 \text{ min}^{-1}}{30}$$
$$= 0{,}63 \text{ kp m/s} = 0{,}0084 \text{ PS} = 6{,}2 \text{ W}.$$

Tabelle 1.20: Reibungszahlen

Werkstoff	Zustand	μ
Grauguß auf Grauguß	etwas fettig	≈0,15
Grauguß auf Stahl	etwas fettig	0,16···0,30
Grauguß auf Hartholz	etwas fettig	0,30···0,37
Flußstahl auf Hartholz	etwas fettig	0,4···0,5
Stahl auf feinem Sandstein	naß	0,9···1,0
Leder auf Grauguß	trocken	0,30···0,36

In Gleit- und Kugellagern ist μ stark abhängig von Belastung und Umfangsgeschwindigkeit der Welle. Für überschlägliche Rechnung kann mit Sicherheit gesetzt werden:

Stahl in Weißmetall oder Bronze	gut geschmiert	0,02···0,06
	schlecht geschmiert	0,08···0,10
Zapfen in Graugußlagern	Fettschmierung	0,1
Kugel- und Rollenlager	gut geschmiert	$\mu_1 = 0{,}001 \cdots 0{,}003$
Rollreibung für Stahlräder		$f = 0{,}01 \cdots 0{,}08$ cm

Der Reibungswiderstand F_r bei *Fahrzeugen* setzt sich zusammen aus dem Gleitwiderstand in der Nabe und dem Rollwiderstand des Rades. Es ist

$$F_r = \frac{M_g + M_r}{R};$$

M_g Gleitreibungsmoment in kp m,
M_r Rollreibungsmoment in kp m,
R Radhalbmesser in m.

F_r gibt die Kraft an, die zur Fortbewegung des Fahrzeugs in der Ebene aufzuwenden ist. Unter Berücksichtigung durchschnittlich auftretender Reibungszahlen und normaler Räder sind für Straßenfuhrwerke mit stählernen Radreifen und Schienenfahrzeuge Gesamtreibungszahlen μ_1 aufgestellt für überschlägliche Berechnung des Gesamtwiderstands F_r (Tabelle 1.21). Es gilt $F_r = F_L \mu_1$ in der Ebene und $F_r = F_L(\mu_1 + s)$ bei Steigungen. Dabei ist s die Steigung in m auf 1 km Weglänge (≙ ‰); z. B. bedeutet $s = 0{,}004$ die Steigung von 4 m auf 1 km Weglänge.

1. Beispiel: Ein 20-Mp-Güterwagen braucht auf einer Steigung von 3‰ eine Zugkraft von

$$F_z = 20000 \text{ kp } (0{,}0025 + 0{,}003) = 110 \text{ kp}.$$

Tabelle 1.21: Gesamtreibung für Straßenfahrzeuge und Eisenbahn

Fahrweg	μ_1
Eisenbahngleise (geringe Geschwindigkeit)	0,0025
gute Asphaltstraße	0,010
gutes Steinpflaster	0,018
schlechtes Steinpflaster (Kopfsteinpflaster)	0,040
gute Schotter-Landstraße	0,030
schlechte, ausgefahrene Schotter-Landstraße (bei Regen)	0,050
trockener, fester und guter Erdweg	0,050
gewöhnlicher Erdweg	0,100
Sandweg (loser Sand)	0,150
Asphalt (Gummibereifung auf)	0,021···0,031

2. Beispiel: Ein 2000 kp schweres Fahrzeug braucht auf ebener, guter Schotterstraße eine Zugkraft von

$F_z = 2000 \text{ kp} \cdot 0{,}03 = 60 \text{ kp}.$

Bei einer Geschwindigkeit $v = 4$ km/h = 1,1 m/s ist die aufzuwendende Leistung

$P = Fv = 60 \text{ kp} \cdot 1{,}1 \text{ m/s} = 66 \text{ kpm/s} \approx 0{,}9 \text{ PS}.$

1.2.2.4. Dichte

Die Dichte ϱ ist das Verhältnis der Masse eines Stoffes zu seinem Volumen. $\varrho = m/V$; ϱ Dichte, m Masse, V Volumen. Sie wird gemessen in g/cm³ bzw. kg/dm³, g/dm³ u. a. Im Gegensatz zur Wichte ist die Dichte eines Stoffes unabhängig vom Ort. Bei porenlosen Stoffen, wie Metallen, spricht man von *Reindichte*, bei porenenthaltenden Stoffen, wie Beton, von *Roh-*

Tabelle 1.22: Dichte einiger Stoffe

Stoff	Dichte in kg/dm³
Feste Stoffe	
Aluminium	2,7
Aluminiumbronze	~7,7
Anthrazit	1,4···1,7
Antimon	6,7
Asbest	2,1···2,8
Asbestpappe	1,2
Asphalt	1,1···1,4
Baustoffe	≈
Basalt	3,0
Beton, Leicht-	0,4···1,4
Beton, Schwer-	1,8···2,5
Dolomit	2,8
Feldstein	2,6
Granit	2,8
Kalkstein	2,6
Sandstein	2,6
Schamottestein	1,8
Syenit	2,8
Tuffstein	2,0
Ziegel, Klinker-	1,9
Ziegel, Mauer-	1,6
Bimsstein	0,4···0,9
Blei	11,3
Bleibronze	9,5
Brauneisenstein	3,4···4,0
Braunkohle	1,2···1,5
Bronze	8,5
Chrom	7,1
Diamant	3,5
Eis	0,9
Erde	1,3···2,0
Flußstahl	7,8
Germanium	5,46
Gips, gebrannt	1,8
Glas, Fenster-	2,6
Glas, Spiegel-	2,5
Glas, Kristall-	2,9
Gold	19,3
Graphit	2,2
Grauguß	7,25
Gummi	≈1,45
Guttapercha	1,02

Hölzer	luft-trocken	frisch
Ahorn	0,66	0,95
Birke	0,65	0,96
Buchsbaum	0,95	1,2
Ebenholz	1,33	—
Eiche	0,69	1,04
Erle	0,53	0,82
Esche	0,69	0,80
Fichte	0,47	0,74
Hickory	0,81	—
Kiefer	0,52	0,70
Linde	0,53	0,74
Nußbaum	0,68	0,92
Pappel	0,45	0,85
Pockholz	1,23	—
Rotbuche	0,72	1,07
Tanne	0,45	1,0
Ulme	0,68	0,96
Weide	0,56	0,85
Weißbuche	0,83	1,05

Stoff	Dichte in kg/dm³
Kalk, gelöscht	1,2
Kalkmörtel	1,6
Kalziumkarbid	2,27
Kautschuk	0,94
Kies, naß	2,0
Kies, erdfeucht	1,8
Kochsalz	2,15
Koks	1,6···1,9
Koks, in Stücken	0,5
Kork	0,25···0,35
Kreide	1,8···2,6
Kupfer	8,9
Leder	0,8···1,0
Lehm, frisch	2,1
Lehm, trocken	1,5
Magnesium-Gußlegierung	1,8
Marmor	≈2,8
Mauerwerk	≈
Bruchstein, frisch	2,6
Bruchstein, trocken	2,4
Klinker	1,9
Mauerziegel	2,6
Sandstein, frisch	2,6
Sandstein, trocken	1,95
Stahlbeton	2,4
Messing	≈8,5
Neusilber	8,7
Nickel	8,9
Phosphorbronze	≈8,6
Papier	0,7···1,2
Pech	1,25···1,33
Plaste	
Anilin-Formaldehyd-Harz	1,2
Zelluloseazetat	1,3
Chlorkautschuk	1,4···1,7
Phenoplast	1,2···1,3
Polyäthylen	0,92···1,00
Polyesterharz	1,2···1,4
Polystyrol	1,1
Polyvinylchlorid (PVC)	1,38
Vulkanfiber	1,2···1,4
Platin	21,4
Porzellan	2,45
Preßkohle	≈1,25
Roheisen, weiß	≈7,4
Roheisen, grau	7,2
Roteisenstein	≈5,2
Sand, naß	2,0

Stoff	Dichte in kg/dm³
Sand, erdfeucht	1,8
Schamottesteine	2,5···2,7
Schiefer	2,8
Schlacke (Hochofen)	2,5···3,0
Schmirgel	4,0
Schnee, lose, trocken	0,125
Schnee, lose, naß	<0,95
Schwerspat	4,25
Selen	4,46
Silber	10,5
Silizium	2,5
Spateisenstein	3,8
Stahl	≈7,85
Steinkohle, in Stücken	1,2···1,5
Steinkohle, geschichtet	≈0,9
Ton, trocken	1,8
Ton, naß	2,1
Torf	0,6
Weißmetall	≈8,9
Wismut	9,8
Wolfram	19,1
Zement, frisch	3,2
Zement, erhärtet	2,3
Zementmörtel	2,1
Zink	7,1
Zinn	7,3

Flüssige Stoffe (bei 15 °C)	in kg/dm³
Äther	0,73
Alkohol	0,79
Benzin	0,68···0,81
Benzol	0,87
Glyzerin	1,26
Leinöl, gekocht	0,94
Mineralschmieröl	≈0,93
Petroleum	≈0,8
Quecksilber	13,55
Wasser	0,999

Gase (bei 0 °C und 760 Torr)	in g/dm³
Ammoniak	0,8
Azetylen	1,171
Chlor	3,22
Generatorgas	1,14
Gichtgas	1,28
Kohlendioxid	1,977
Kohlenoxid	1,25
Leuchtgas	0,49
Luft	1,29
Propangas	2,003
Sauerstoff	1,429
Stadtgas	0,549
Stickstoff	1,25
Stickstoffmonoxid	1,34
Wasserstoff	0,09

dichte. Die Reindichte eines Stoffes ist größer als seine Rohdichte.
Bei der Rohdichte unterscheidet man wiederum zwischen Trockenrohdichte und Feuchtrohdichte. Die *Trockenrohdichte* eines Stoffes ermittelt man, wenn man den Probekörper nach Austrocknung bis zur Massekonstanz wägt.
Bei Gasen ist der Wert der Dichte vom Druck abhängig, und Zahlenangaben sind nur eindeutig, wenn der Druck angegeben ist, unter dem sie ermittelt sind (Tabelle 1.22).
Die Massen von geschichteten Materialien (je m³) sind in Tabelle 1.23 zusammengestellt.

Tabelle 1.23: Berechnungsmengen von geschichtetem Material

Material	kg/m³	Material	kg/m³
Braunkohle	750	Koks	400···500
Brikett	<1200	Sand, erdfeucht	1800
Eis	900	Steinkohle	900
Erde	1700	Stroh, lose	45
Formsand	1200	Stroh, gepreßt	170
Holz	400···650	Torf, lufttrocken	325···410
Holzkohle	200···400	Zement, lose	≈1200
Kalk, gebrannt	1000	Zement, eingerüttelt	1900

1.2.3. Aus der Festigkeitslehre

Es werden mehrere einfache Beanspruchungsarten und damit auch Spannungsarten unterschieden, je nachdem, in welcher Richtung die äußeren Kräfte in bezug auf die Körperachse wirken.

Zug-, Druck- und *Biegespannungen* wirken senkrecht (normal) zum gefährdeten Querschnitt des Werkstücks. Man bezeichnet sie mit σ und nennt sie *Normalspannungen.*

Abscher-, Verdreh- oder *Torsionsspannungen* wirken im oder parallel zum gefährdeten Querschnitt. Man bezeichnet sie mit τ und nennt sie *Tangentialspannungen.*

Mit *Elastizität* bezeichnet man das Bestreben eines durch eine Kraft (Belastung) vorübergehend verformten (gebogenen) Körpers (Stab, Welle, Brücke), nach Aufhören der Kraftwirkung wieder in seine frühere Form (und Lage) zurückzukehren.
Bau- und Maschinenteile dürfen weder bis zur Bruchgrenze noch bis zur Elastizitätsgrenze beansprucht werden.
Bei ruhender Belastung nennt man das Verhältnis Bruchbeanspruchung zur zulässigen Beanspruchung *Sicherheit* oder Sicherheitsgrad ν. – Die Beanspruchung wird in kp/cm², seltener in kp/mm² eingesetzt. Beträgt bei einem Werkstoff die Bruchbeanspruchung 4000 kp/cm² und die zulässige Beanspruchung 800 kp/cm², so ist die Sicherheit

$$\nu = 4000\ \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} : 800\ \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = 5.$$

Bei *Bauten* (Gebäuden, Brücken) befinden sich die auftretenden Kräfte im *Gleichgewicht.* Die Teile sind *statisch beansprucht.*
Im *Maschinenbau* dagegen *ändern sich die Kräfte laufend* nach Größe und Richtung. Die Teile werden *dynamisch beansprucht.*

1.2.3.1. Zugbeanspruchung

Die äußeren Kräfte wirken in der Längsrichtung des Körpers und versuchen, ihn zu strecken oder zu zerreißen; es treten *Zugspannungen* σ_z auf, z. B. bei Zugstange, Seil, Kette.
Bedeuten F ziehende Kraft in kp, A_{min} Größe des kleinsten Querschnitts in cm² (Nutzquerschnitt), $\sigma_{z\,zul}$ zulässige Zugbeanspruchung in kp/cm², so gilt

$$\sigma_{z\,vorh} = \frac{F_{vorh}}{A_{min}},$$

$$A_{erf} = \frac{F_{max}}{\sigma_{z\,zul}}.$$

$$F_{zul} = A_{min}\,\sigma_{z\,zul}.$$

Beispiel: Die Zugstange eines Dachbinders mit kreisförmigem Querschnitt aus Stahl hat eine Kraft von $F = 15000$ kp zu übertragen. Gesucht wird der erforderliche Stangenquerschnitt A_{erf} bei $\sigma_{z\,zul} = 1400$ kp/cm².

Lösung:

$$A_{erf} = \frac{F_{max}}{\sigma_{d\,zul}} = \frac{15000\ \text{kp}}{1400\ \text{kp/cm}^2} \approx 10{,}7\ \text{cm};$$

$$\frac{\pi d^2}{4} = 10{,}714\ \text{cm}^2; \quad d = 3{,}7\ \text{cm}.$$

Gewählt wird $d = 40$ mm mit $A = 12{,}57$ cm². Dann ist $\sigma_{z\,vorh} = 15000 : 12{,}57 = 1193$ kp/cm² $< \sigma_{z\,zul}$.

1.2.3.2. Druckbeanspruchung

Die äußeren Kräfte wirken in der Längsrichtung des Körpers und versuchen, ihn zu erdrücken; dabei treten *Druckspannungen* σ_d auf.
Ist das beanspruchte Teil schlank, so tritt die Zerstörung nicht durch Zerdrücken, sondern durch Zerknicken ein. Reine Druckbeanspruchung tritt deshalb nur bei gedrungenen Werkstücken oder Bauteilen auf. Es gilt

$$\sigma_{d\,vorh} = \frac{F_{vorh}}{A_{min}},$$

$$A_{erf} = \frac{F_{max}}{\sigma_{d\,zul}},$$

$$F_{zul} = A_{min}\,\sigma_{d\,zul}.$$

Beispiel: Ein kurzer Fundamentpfeiler aus Mauerziegel Mz 100 in Kalkzementmörtel soll mit $F = 10000$ kp belastet werden. Die zulässige Druckbeanspruchung ist $\sigma_{d\,zul} = 9$ kp/cm². Gesucht sind Pfeilerquerschnitt A und Quadratseite a.

Lösung: $A_{erf} = F_{max} : \sigma_{d\,zul} = 1000$ kp $: 9$ kp/cm² $= 1111$ cm².
$a = \sqrt{A} = \sqrt{1111\ \text{cm}^2} \approx 33{,}4$ cm ausgeführt 35,6 cm.

1.2.3.3. Biegebeanspruchung

Die äußeren Kräfte wirken senkrecht zur Längsrichtung des Körpers derart, daß der Körper auszubiegen sucht. Es treten *Biegespannungen* σ_b auf.
Die Biegebeanspruchung ist wesentlich vom Belastungsfall abhängig (vgl. Tabelle 1.24).
Die Größe für das Biegebestreben der äußeren Kräfte ist das *Biegemoment* M_b, die Größe für den Widerstand des Körpers gegen Verbiegen das *Widerstandsmoment* W_b. Das Widerstandsmoment ist abhängig von Form und Größe des Körperquerschnitts und wird mit Hilfe des Trägheitsmoments der Querschnittfläche errechnet. Es gilt

$$\sigma_{b\,vorh} = \frac{M_{b\,vorh}}{W_{b\,min}},$$

$$W_{b\,erf} = \frac{M_{b\,max}}{\sigma_{b\,zul}},$$

$$M_{b\,zul} = W_{vorh}\,\sigma_{b\,zul}.$$

Wird ein auf zwei Stützen ruhender Träger oder Balken durch eine Last ungleichmäßig beansprucht, so verteilt sich diese auf die beiden Auflager A und B entsprechend.
Bei einer Einzellast ergibt sich (Bild 1.43):

$$F_A = \frac{Fy}{l} \quad \text{oder} \quad F_B = \frac{Fx}{l}.$$

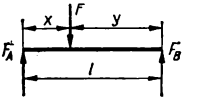


Bild 1.43. Einzellast

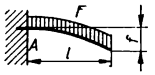
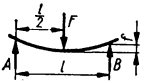
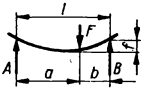
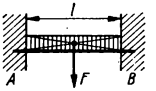
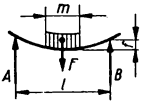
Beispiel: $F = 3000$ kp; $l = 5{,}00$ m; $x = 2{,}00$ m; $y = 3{,}00$ m.

Lösung: $F_A = \frac{Fy}{l} = \frac{3000\ \text{kp} \cdot 3{,}00\ \text{m}}{5{,}00\ \text{m}} = 1800$ kp;

$$F_B = \frac{Fx}{l} = \frac{3000\ \text{kp} \cdot 2{,}00\ \text{m}}{5{,}00\ \text{m}} = 1200\ \text{kp}.$$

Die Summe der Auflagerkräfte F_A und F_B ist gleich der Last, also $F_A + F_B = F$; 1800 kp + 1200 kp = 3000 kp.
Das größte Biegemoment befindet sich im Angriffspunkt der Last F (*gefährdeter Querschnitt*).

*Tabelle 1.24: Belastungsfälle (Biegefestigkeit)**)

Belastungsfall	Auflagerkräfte F_A und F_B Widerstandsmomente W Durchbiegung f
	$F_A = F;\quad W = \frac{Fl}{\sigma_{b\,zul}}$ $f = \frac{Fl^3}{3EI}$
	$F_A = F;\quad W = \frac{Fl}{2\sigma_{b\,zul}}$ $f = \frac{Fl^3}{8EI}$
	$F_A = F_B = \frac{F}{2};\quad W = \frac{Fl}{4\sigma_{b\,zul}}$ $f = \frac{Fl^3}{48EI}$
	$F_A = F_B = \frac{F}{2};\quad W = \frac{Fl}{8\sigma_{b\,zul}}$ $f = \frac{Fl^3}{77EI}$
	$F_A = F_B = \frac{F}{2};\quad W = \frac{Fl}{12\sigma_{b\,zul}}$ $f = \frac{Fl^3}{384EI}$
	$F_A = F_B = \frac{F}{2};\quad W = \frac{F(2l-m)}{8\sigma_{b\,zul}}$ $f = \frac{Fl^3}{\left(48 + \frac{29m}{l}\right)EI}$
	$F_A = \frac{Fb}{l};\quad F_B = \frac{Fa}{l}$ $W = \frac{Fab}{l\sigma_{b\,zul}}$ $f = \frac{Fa^2b^2}{3EIl}$

*) Bei Stahlträgern $l > 7$ m wird der Nachweis der Durchbiegung entsprechend den Vorschriften geführt.

In Tabelle 1.24 bedeuten:

l freie Länge in cm (Stützweite) (bei $l > 7$ m ist f nachzurechnen und mit dem zulässigen Wert zu vergleichen); W Widerstandsmoment in cm³; $\sigma_{b\,zul}$ zulässige Beanspruchung in kp/cm²; M_b Biegemoment in kpcm; F, F_1 und F_2 Einzellasten und gleichmäßig verteilte Lasten (Streckenlasten) in kp; F_A und F_B Auflagerkräfte in kp; I Trägheitsmoment in cm⁴; E Elastizitätsmodul in kp/cm².

Beispiel: Ein Ausleger-Freiträger, 1,00 m freitragend, trägt an seinem freien Ende eine Einzellast von 2000 kp. Welches Trägerprofil ist erforderlich ($\sigma_{b\,zul} = 1400$ kp/cm²)?

Lösung: Nach dem ersten Belastungsfall (Tabelle 1.24) ist
$W = Fl : \sigma_{b\,zul} = 2000\text{ kp} \cdot 100\text{ cm} : 1400\text{ kp/cm}^2 = 142{,}8\text{ cm}^3$.

Nach hierfür zur Verfügung stehenden Tabellen wird I 18 a mit $W_x = 155$ cm³ oder 2 [14 a mit $W_x = 2 \cdot 76{,}5$ cm³ $= 153$ cm³ gewählt.

1.2.3.4. Schub- und Scherbeanspruchung

Die äußeren Kräfte haben das Bestreben, zwei benachbarte Querschnitte eines Körpers gegeneinander zu verschieben, es treten *Scherspannungen* oder *Schubspannungen* auf.
Von Scherspannungen τ_a spricht man, wenn Kraft und Gegenkraft in einer Ebene wirken oder wenn das beanspruchte Teil an der Biegung gehindert wird, z. B. der Nietschaft bei einer Nietverbindung.
Schubspannungen τ_a treten auf, wenn Kraft und Gegenkraft in einem Abstand a gegeneinander wirken, so daß der Bauteil gleichzeitig auf Biegung beansprucht wird.
Bei Scherbeanspruchung kann man die Spannungen gleichmäßig über den Querschnitt verteilt annehmen, bei Schubbeanspruchung dagegen nicht. Es gilt

$$\tau_{a\,vorh} = \frac{F_{max}}{A},$$

$$A_{erf} = \frac{F_{max}}{\tau_{a\,zul}},$$

$$F_{zul} = A_{vorh}\,\tau_{a\,zul}.$$

1.2.3.5. Drehbeanspruchung

Versucht man, einen Stab um seine Längsachse zu verdrehen, so entsteht in ihm eine *Drehbeanspruchung*, z. B. in Kurbelwellen, Transmissions- und Vorlagewellen, Spindeln.

Es gilt

Drehmoment = Kraft mal Hebelarm;

$$M_t = Fr.$$

Dabei ist r der (senkrechte) Abstand der Kraft vom Drehpunkt. Die zulässigen Drehmomente (hier Torsionsmomente M_t) sind für die einzelnen Querschnitte verschieden und ergeben sich aus Tabellen.

Beispiel: Eine Transmissionswelle hat bei einer Umlaufzahl von $n = 200$/min die Leistung $P = 20$ PS zu übertragen. Gesucht ist der erforderliche Wellendurchmesser d. Die zulässige Drehbeanspruchung beträgt $\tau_t = 120$ kp/cm².

$$\text{Drehmoment } M_t = \frac{71600 \cdot P}{n} = \frac{71600 \cdot 20\text{ PS}}{200/\text{min}} = 7160\,\text{kpcm}$$

(71600 ist eine Umrechnungszahl); nach Tabelle 1.25 auf S. 62 ist für runden Querschnitt

$$M_t = \frac{d^3\tau_{t\,zul}}{5};$$

$$d^3 = \frac{5 \cdot M_t}{\tau_{t\,zul}} = \frac{5 \cdot 7160\text{ kpcm}}{120\text{ kp/cm}^2} = 298{,}3\text{ cm}^3;$$

$d \approx 6{,}7$ cm; gewählt wird $d = 70$ mm.

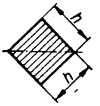
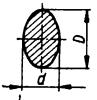
1.2.3.6. Knickbeanspruchung

Bei Druckbelastung dünner Stäbe besteht Knickgefahr. Solche Stäbe sind nach der Berechnung auf Druck und Knickung nachzuprüfen. Es ist

$$F = K : \nu;\quad K = \pi^2 EI/l^2;$$

l Stablänge in cm, s_K Stablänge in m, ν Sicherheitszahl, E Elastizitätsmodul des Werkstoffs in kp/cm², F zulässige Belastung in kp oder Mp; K Knicklast, I kleinstes Trägheitsmoment des gefährdeten Querschnitts.
Die *Sicherheitszahl* ν bezeichnet die Sicherheit gegen Knicken. Die zulässig mittig wirkende Belastung F wird bei Knickbeanspruchung je nach Einspannungsart nach den EULERschen *Formeln* berechnet (Tabelle 1.26) und nach dem ω-Verfahren kontrolliert.

Tabelle 1.25: Trägheitsmomente I, Widerstandsmomente W und zulässige Drehmomente M_t

Querschnitt	I	W	M_t
	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^3}{6}$	$\left(\frac{26b}{125}+\frac{h}{52}\right)hb\tau_{t\,zul}$ bei $(h:b)<(5:1)$
	$\frac{h^4}{12}$	$\frac{h^3}{6}$	$0{,}209h^3\tau_{t\,zul}$
	$\frac{h^4}{12}$	$\frac{2h^3}{17}=0{,}118h^3$	$0{,}209h^3\tau_{t\,zul}$
	$\frac{13s^4}{24}=0{,}541s^4$	$\frac{5s^3}{8}=0{,}625s^3$	$\frac{5s^3\tau_{t\,zul}}{4}$
	$\frac{13s^4}{24}=0{,}541s^4$	$\frac{13s^3}{24}=0{,}541s^3$	$\frac{5s^3\tau_{t\,zul}}{4}$
	$\frac{d^4}{145}$	$\frac{d^3}{42}$	$\frac{d^3\tau_{t\,zul}}{10}$
	$\frac{d^4}{20}$	$\frac{d^3}{10}$	$\frac{d^3\tau_{t\,zul}}{5}$
	$\frac{D^4-d^4}{20}$	$\frac{D^4-d^4}{10D}$	$\frac{(D^4-d^4)\,\tau_{t\,zul}}{5D}$
	$\frac{D^3d}{20}$	$\frac{D^3d}{10}$	$\frac{Dd^2\tau_{t\,zul}}{5}$
	$\frac{b}{12}(H^3-h^3)$	$\frac{b(H^3-h^3)}{6H}$	–

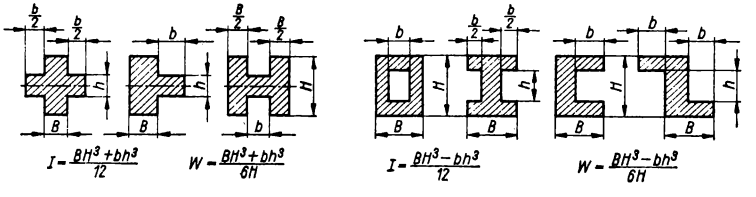


Tabelle 1.26: Zulässige Druckbelastung schlanker Stäbe

Fall I		ein Ende eingespannt, das andere frei	$F = \frac{10EI}{4\nu l^2}$; $I = \frac{4\nu F l^2}{10E}$
Fall II		beide Enden frei, in der Stabachse geführt	$\boxed{F = \frac{10EI}{\nu l^2}}$ $\boxed{I = \frac{\nu F l^2}{10E}}$
Fall III		ein Ende eingespannt, das andere frei, in der Stabachse geführt	$F = \frac{20EI}{\nu l^2}$; $I = \frac{\nu F l^2}{20E}$
Fall IV		beide Enden eingespannt, in der Stabachse geführt	$F = \frac{40EI}{\nu l^2}$; $I = \frac{\nu F l^2}{40E}$

1.2.4. Aus der Wärmelehre

1.2.4.1. Wärmeausdehnungskoeffizient

Erwärmt man einen festen oder flüssigen Stoff, so dehnt er sich im allgemeinen aus. Eine Ausnahme bildet z. B. Wasser, das im Temperaturbereich zwischen 0 °C und 4 °C beim Erwärmen sein Volumen verkleinert (Anomalie des Wassers). Das Verhältnis des Längenzuwachses eines Körpers bei Erwärmung um 1 K zur ursprünglichen Länge nennt man den *linearen Ausdehnungskoeffizienten* α (gemessen in 1/K), das Verhältnis des Volumenzuwachses zum ursprünglichen Volumen den räumlichen oder *kubischen Ausdehnungskoeffizienten* γ (Tabelle 1.27).

Es ist

linear $l_t = l_0(1 + \alpha t)$,

$l_2 - l_1 \approx l_1\alpha(t_2 - t_1)$;

kubisch $V_t = V_0(1 + \gamma t)$,

$V_2 = V_1 \approx V_1\gamma(t_2 - t_1)$;

$\gamma = 3\alpha$.

Es bedeuten

l_0, V_0 Länge bzw. Volumen bei 0 °C, l_t, V_t Länge bzw. Volumen bei der Temperatur t, t in °C, α linearer Ausdehnungskoeffizient, γ kubischer Ausdehnungskoeffizient.

Beispiel: Welchen linearen Ausdehnungskoeffizienten hat eine Legierung, wenn sie sich bei Erwärmung von 15 °C auf 100 °C um 1,5‰ ausdehnt?

Lösung:

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)} = \frac{0{,}0015}{85\ \mathrm{K}} \approx 0{,}000018\ \mathrm{K}^{-1}.$$

1.2.4.2. Spezifische Wärmekapazität

Die *spezifische Wärmekapazität* c (früher spezifische Wärme) eines Stoffes gibt die Wärmemenge in Kalorien an, die nötig ist, um die Masse 1 g des Stoffes um 1 K zu erwärmen $\left(\frac{\mathrm{cal}}{\mathrm{g\ K}}\right.$ oder $\left.\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg\ K}}\right)$. Sie ist in geringem Maße von der Temperatur abhängig.

Bei kalorimetrischen Messungen ist die Kenntnis des *Wasserwertes* für die Genauigkeit des Ergebnisses wichtig. Der Wasserwert gibt an, wieviel Kalorien die Meßapparatur bei einem Temperaturanstieg von 1 K aufnimmt (cal/K).

Bei Gasen ist zu unterscheiden zwischen spezifischer Wärmekapazität bei konstant gehaltenem Druck (c_p) und bei konstant gehaltenem Volumen (c_v). Im folgenden ist immer c_p gemeint (Tabelle 1.28). Die Werte stellen, wenn nicht anders vermerkt, die mittlere spezifische Wärmekapazität zwischen 0 °C und 100 °C dar. Neuerdings wird für die spezifische Wärmekapazität die Maßeinheit J/kg K bevorzugt. Umrechnungsfaktor:

1 cal/g K = $4{,}1868 \cdot 10^3$ J/kg K bzw.

1 J/kg K = $2{,}388 \cdot 10^{-4}$ cal/g K.

Es ist

$$Q = mc\,\Delta t \quad \text{bzw.} \quad c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}; \quad m_W = mc = \frac{Q}{\Delta t}.$$

Es bedeuten

m Masse des Körpers, Q zugeführte Wärmemenge, Δt Temperaturanstieg, m_W Wasserwert.

Beispiel: Welche Wärmemenge muß einem Kupferstück von der Masse 350 g und der Temperatur 18 °C zugeführt werden, damit seine Temperatur auf 70 °C steigt?

Lösung:

$Q = mc\Delta t = 350\ \mathrm{g} \cdot 0{,}09\ \mathrm{cal/g\ K} \cdot 52\ \mathrm{K} = 164\ \mathrm{cal}$.

Tabelle 1.27: Wärmeausdehnungskoeffizienten einiger Stoffe

a) Feste Körper (zwischen 0 und 100 °C)

Stoff	α 1/K	Stoff	α 1/K
Aluminium	0,000023	Mauerwerk aus	
Beton, Bims-	000007	Bruchstein	0,000012
Beton, Stahl-	000012	Mauerziegel	000005
Blei	000029	Platin	000009
Bronze, Messing	000018	Polyvinylchlorid (PVC)	≈000080
Diamant	000001	Porzellan	≈000004
Glas, Fenster-	000010	Quarz	≈000001
Glas, Saale- 16	000008	Schwefel	000090
Gold	000014	Silber	≈000020
Graphit	000008	Stahl, Fluß-	000013
Hartgummi	≈000080	Tantal	000007
Holz ∥ Faser	000008	Wismut	000014
Konstantan	000015	Wolfram	000004
Kupfer	000016	Zink	≈000030
Magnesium	000026	Zinn	≈000027
Mangan	000023		

b) Flüssigkeiten (um 18 °C)

Stoff	γ 1/K
Äthanol (Alkohol)	0,0011
Äthansäure (Essig)	0,0014
Benzol	0,0011
Brom	≈0,001 15
Chloroform	0,001 28
Diäthyläther	0,0016
Erdöl	≈0,0007
Glyzerin	0,0005
Methanol	0,001 19
Paraffin	0,0007
Petroleum	0,0009
Quecksilber	0,000 18
Salpetersäure (75%)	0,0011
Schwefelsäure (17%)	0,0005
Wasser	0,000 18

Tabelle 1.28: Spezifische Wärmekapazitäten einiger Stoffe

Stoff	Zustand	c_p bzw. c_v cal/g · K	Stoff	Zustand	c_p bzw. c_v cal/g · K	Stoff	Zustand	c_p bzw. c_v cal/g · K
Äthanol (0 °C)	fl.	0,56	Helium (18 °C)	g.	1,25	Porzellan	f.	0,19
Aluminium	f.	0,22	Holz, Eiche	f.	0,57	Quarzglas	f.	0,19
Ammoniak	g.	0,50	Holz, Fichte	f.	0,45	Quecksilber	fl.	0,03
Benzol (0 °C)	fl.	0,41	Holzwolle			Sauerstoff	g.	0,22
Beton, Stahl-	f.	0,21	Leichtbauplatt.	f.	0,45	Schlacke	f.	0,20
Beton, Schlacke	f.	0,27	Kalksandstein	f.	0,21	Schwefel		
Blei	f.	0,03	Kobalt	f.	0,10	(monoklin, 0 °C)	f.	0,17
Bor (0 °C)	f.	0,23	Kochsalz	f.	0,21	Silber	f.	0,06
Bronze	f.	0,09	Kohlendioxid	g.	0,20	Silizium	f.	0,018
Chlor	g.	0,12	Konstantan	f.	0,10	Stickstoff	g.	0,25
Chrom	f.	0,11	Kupfer	f.	0,09	Titan	f.	0,15
Diäthyläther (0 °C)	fl.	0,54	Luft (18 °C)	g.	0,24	Torf	f.	0,45
Diamant (0 °C)	f.	0,10	Magnesium	f.	0,25	Wasser	fl.	1,0
Eis (0 °C)	f.	0,50	Mauervollziegel	f.	0,21	Wasserstoff	g.	3,40
Eisen, rein	f.	0,11	Messing	f.	0,09	Wismut	f.	0,03
Glas, Fenster-	f.	0,21	Öl (Masch. 18 °C)	fl.	0,40	Wolfram	f.	0,03
Glas, Saale-	f.	0,20	Petroleum (18 °C)	fl.	0,50	Zink	f.	0,09
Glyzerin (18 °C)	fl.	0,57	Phosphor,			Zinn	f.	0,05
Gold	f.	0,03	gelb (0 °C)	f.	0,18			
Graphit (0 °C)	f.	0,15	Platin	f.	0,03			

1.2.4.3. Schmelzwärme und Verdampfungswärme

Die *Schmelzwärme*, gemessen in cal/g, gibt die Wärmemenge an, die man benötigt, um 1 g eines Stoffes bei der Schmelztemperatur ohne Temperaturerhöhung vom festen in den flüssigen Zustand überzuführen. Die *Erstarrungswärme* ist die Wärmemenge, die frei wird, wenn 1 g eines Stoffes bei der Erstarrungstemperatur vom flüssigen in den festen Zustand übergeht. Schmelzwärme und Erstarrungswärme eines Stoffes sind — ebenso wie Schmelztemperatur und Erstarrungstemperatur — einander gleich.
Die *Verdampfungswärme*, gemessen in cal/g, gibt die Wärmemenge an, die man benötigt, um 1 g eines Stoffes bei der Siedetemperatur vom flüssigen in den gasförmigen Zustand überzuführen. Die *Kondensationswärme* ist die Wärmemenge, die frei wird, wenn 1 g eines Stoffes bei der Kondensationstemperatur vom gasförmigen in den flüssigen Zustand übergeht. Verdampfungswärme und Kondensationswärme eines Stoffes sind ebenfalls einander gleich (Tabellen 1.29 und 1.30).

Es ist

$$Q = mc_{p1}(t_s - t_1) + mS + mc_{p2}(t_2 - t_s),$$

$$Q = mc_{p1}(t_v - t_1) + mV + mc_{p2}(t_2 - t_v).$$

Es bedeuten

S Schmelzwärme, V Verdampfungswärme, t_s Schmelztemperatur, t_v Siedetemperatur, c_{p1}, c_{p2} spezifische Wärmekapazität im Zustand 1 bzw. 2, t_1, t_2 Temperatur im Zustand 1 bzw. 2, Q Wärmemenge.

Beispiel: Um 300 l Wasser von 20 °C zum Sieden zu bringen, leitet man Dampf von 100 °C ein. Wieviel Dampf benötigt man?

Lösung:

$$m_w c_w \Delta t = m_D V,$$

$$m_D = \frac{1}{539\ \text{kcal/kg}} \cdot 300\,\text{kg} \cdot 1\,\frac{\text{kcal}}{\text{kg K}} \cdot 80\ \text{K} = 44{,}6\,\text{kg}.$$

1.2.4.4. Wärmeleitfähigkeit

Die *Wärmeleitfähigkeit* bzw. der *Wärmeleitwert* gibt an, welche Wärmemenge durch eine Stoffschicht von 1 m Dicke und 1 m² Oberfläche innerhalb einer Stunde hindurchgeleitet wird, wenn auf den beiden Oberflächen konstante Temperaturen herrschen, deren Unterschied 1 K beträgt.
Die Wärmeleitfähigkeit wird in kcal/m h K oder in cal/cm s K gemessen; neuerdings bevorzugt man die Maßeinheit W/m K. Umrechnungsfaktor: 1 kcal/m h K = 1,163 W/m K.
Stoffe mit kleinem Wärmeleitwert leiten die Wärme schlecht, sie sind daher für die *Wärmedämmung* besonders geeignet (Tabelle 1.31).

Tabelle 1.29: Schmelz- und Verdampfungswärme einiger Stoffe

a) Schmelzwärme

Stoff	Schmelzwärme cal/g	Stoff	Schmelzwärme cal/g
Aluminium	95	Nickel	72
Antimon	39	Phosphor	5
Blei	6	Platin	24
Chrom	75	Quecksilber	2,7
Eis	79,7	Sauerstoff	3
Eisen, rein	64	Schwefel (monoklin)	9
Gold	15	Silber	25
Kadmium	13	Silizium	34
Kalium	15	Wachs	42
Kobalt	62	Wasserstoff	14
Kohlendioxid	43	Wismut	13
Kupfer	49	Wolfram	46
Magnesium	89	Zink	24
Mangan	63	Zinn	14
Natrium	27		

b) Verdampfungswärme

Stoff	Verdampfungswärme in cal/g
Ammoniak	327
Äthanol	201
Benzol	94
Blei	203
Chlor	62
Diäthyläther	86
Kohlendisulfid	87
Quecksilber	68
Sauerstoff	51
Schwefel	79
Stickstoff	48
Toluol	83
Wasser	539
Wasserstoff	112
Zink	420

Tabelle 1.30: Schmelztemperaturen und Siedetemperaturen (bei 760 Torr)

Stoff	Schmelztemperatur °C	Siedetemperatur °C	Stoff	Schmelztemperatur °C	Siedetemperatur °C	Stoff	Schmelztemperatur °C	Siedetemperatur °C
Aluminium	659	2497	Iridium	2454		Quarzglas	1700	
Ammoniak	−78	−33	Jod	113	184	Quecksilber	−38,8	357
Antimon	630	1635	Kadmium	321	767	Radium	700	1140
Asbest	1250		Kalium	63	776	Radon	−71	−62
Äthanol	−114	78	Kalzium	851	1487	Salpetersäure	−47	86
Äthen	−170	−104	Kobalt	1490	3185	Sauerstoff	−219	−183
Äthin	−82	−84	Kohlendioxid	(−57)	(−78)	Schwefel	119	445
Barium	710	1638	Kohlendisulfid	−112	46	Schwefelwasserstoff	−86	−60
Benzin	<−50	100	Kohlenoxid	−205	−192	Silber	961	2170
Benzol	5	80	Kupfer	1083	2600	Silizium	1410	2630
Beryllium	1280	2967	Leinöl	−15	316	Stahl	≈1400	
Blei	327	1752	Lithium	179	1372	Stearin	50	
Bor	2300	≈2550	Luft	−213	−193	Stickstoff	−210	−196
Brom	−7	59	Magnesium	657	1102	Tantal	3030	4100
Bronze	≈1000		Mangan	1250	2152	Terpentinöl	−10	161
Chlor	−103	−34	Messing	≈900		Titan	1727	>3000
Chloroform	−63	61	Methan	−183	−161	Uran	1690	
Chrom	1920	2327	Molybdän	2622	4800	Wasser	0	100
Diäthyläther	−124	35	Naphthalin	80	218	Wasserstoff	−262	−253
Eis	0							
Eisen, rein	1537	2735	Natrium	98	883	Wismut	271	1560
Fluor	−218	−188	Neon	−249	−246	Wolfram	3380	6000
Glyzerin	18	290	Nickel	1455	3177	Zer	775	
Gold	1063	2960	Phosphor	44	280	Zink	419	907
Helium	−271	−269	Platin	1773	4400	Zinn	232	2430

Tabelle 1.31: Wärmeleitfähigkeit einiger Stoffe

a) Metalle (zwischen 0 °C und 100 °C)

Metall	Wärmeleitfähigkeit cal/cm · s · K	Metall	Wärmeleitfähigkeit cal/cm · s · K
Aluminium	0,50	Messing (62 Cu)	0,20
Antimon	0,04	Nickel	0,20
Blei	0,08	Platin	0,17
Bronze (84 Cu)	0,14	Silber	1,0
Eisen	0,20	Stahl, Cr-Ni-	0,03
Gold	0,74	Tantal	0,13
Kadmium	0,22	Wismut	0,02
Kalium	≈0,32	Wolfram	0,40
Konstantan	0,055	Zink	≈0,27
Kupfer	0,94	Zinn	0,16
Magnesium	0,40		

Tabelle 1.31 (Fortsetzung)

b) Baustoffe

Baustoff	Rohdichte (trocken) kg/m³	Wärmeleitfähigkeit kcal/m h K
Voll-, Waben-, Lochziegel	800	0,35
	2000	0,82
Klinker	2000	1,00
Kalksandsteine	1800	0,85
Mauerwerk aus Naturstein	1260	0,45
	2680	2,50
Kies- und Splittbeton	400	0,15
Hüttenbimsbeton	1000	0,33
Gas- und Schaumbeton	2000	1,00
Asbestbetonplatten	1800	0,40
Zementmörtel	2000	1,00
Kalkzementmörtel	1800	0,82
Gipsmörtel	1200	0,50
Holz quer zur Faser	550	0,12
	200	0,08
Hartfaserplatten	800	0,25
HWL-Platten (zementgeb. 35 mm)	450	0,10
Bauschlackenwolle	200	0,07
Pflanzenfasermatten	200	0,05
Kunstharzschaum (Polyst.)	25	0,05
Schaumglas	150	0,05
	300	0,10
PVC-Schnitzel	200	0,05
Fensterglas	2400	0,70
Wasser	1000	0,50
Erdreich	2000	1,5···2,2

Es ist

$$Q = \lambda \frac{A\,\Delta T\,t}{d} \quad \text{bzw.} \quad \lambda = \frac{Qd}{A\,\Delta T\,t},$$

$A = \frac{\lambda}{d}$ Wärmedurchlaßwert, $R = \frac{d}{\lambda}$ Wärmedurchlaßwiderstand, Wärmedämmwert.

Es bedeuten

Q Wärmemenge, λ Wärmeleitfähigkeit, A Fläche, ΔT Temperaturdifferenz, t Zeit, d Wanddicke.

Beispiel: Eine 20 cm dicke Betonwand von 4 m Länge und 2,5 m Höhe hat auf beiden Seiten konstante Oberflächentemperatur von 20 °C (innen) und −10 °C (außen). Welche Wärmemenge wird innerhalb 24 Stunden hindurchgeleitet, wenn die Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0{,}33$ kcal/m h K beträgt?

Lösung: $A = 10\ \text{m}^2$, $\Delta T = 30\ \text{K}$, $t = 24\ \text{h}$, $d = 0{,}20\ \text{m}$;

$$Q = \lambda \frac{A\,\Delta T\,t}{d} = 0{,}33\ \frac{\text{kcal}}{\text{m h K}} \cdot 30\ \text{K} \cdot 24\ \text{h} \cdot 10\ \text{m}^2 \cdot \frac{1}{0{,}20\ \text{m}}$$

$$= 11880\ \text{kcal};$$

für den Wärmedämmwert der Wand erhält man

$$R = \frac{d}{\lambda} = \frac{0{,}20\ \text{m}}{0{,}33\ \frac{\text{kcal}}{\text{m h K}}} = 0{,}61\ \frac{\text{m}^2\,\text{h K}}{\text{kcal}}.$$

1.2.5. Aus der Elektrizitätslehre

1.2.5.1. Grundbegriffe

Ladungsmenge	$Q = It$,
OHMsches Gesetz	$U = IR$,
spezifischer Widerstand	$\varrho = \frac{RA}{l}$,
elektrischer Leitwert	$\varkappa = \frac{1}{\varrho}$,
elektrische Leistung	$P = UI = U^2/R$,
elektrische Arbeit	$W = UIt = I^2Rt$ (1 W s = 0,239 cal);

dabei bedeuten

I Stromstärke, U elektrische Spannung, R elektrischer Widerstand, A Fläche, t Zeit, l Länge des Leiters,

in Leitungen gilt	$U_v = IR$,
im Generator gilt	$U_v = IR_i = E - U_k$; $E = I(R_a + R_i)$;
bei Reihenschaltung ist (Bild 1.44)	$U_1 + U_2 = U$; $R_1 + R_2 = R$; $U_1 : U_2 = R_1 : R_2$;
bei Parallelschaltung (Bild 1.45)	$U = IR = I_1R_1 = I_2R_2$; $I_1 + I_2 = I$;
(KIRCHHOFFsche Gesetze)	$I_1 : I_2 = R_2 : R_1$; $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_2}$; $R = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}$;

WHEATSTONEsche Brücke s. Bild 1.46.

Hierbei bedeuten

E Urspannung, U_k Klemmenspannung, U_v Spannungsverlust.

Meßbereichserweiterung (n-fach)

Spannungsmesser: Vorschaltwiderstand in Reihe

$R_V = (n - 1)R_G$ (R_G Gerätewiderstand);

Strommesser: Nebenwiderstand (Shunt) parallel

$$R_N = \frac{R_G}{n - 1}.$$

Die Schaltungen von Stromquellen gehen aus den Bildern 1.47 und 1.48 hervor.
Gleichungen für elektrische Leistungen sind in Tabelle 1.32 zusammengestellt.

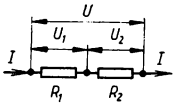


Bild 1.44. In Reihe geschaltete Widerstände

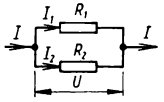


Bild 1.45. Parallelgeschaltete Widerstände

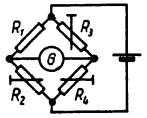


Bild 1.46. WHEATSTONEsche Brücke
Bei $I = 0$ im Galvanometer ist $R_1/R_2 = R_3/R_4$

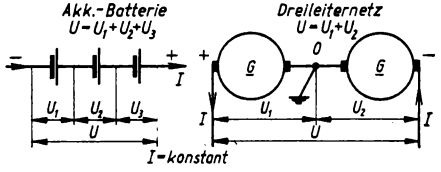


Bild 1.47. In Reihe geschaltete Stromquellen

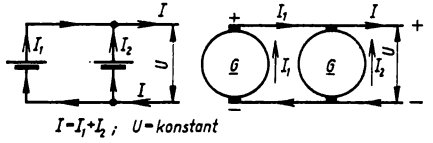


Bild 1.48. Parallelgeschaltete Stromquellen

In Tabelle 1.32 bedeuten

U_p Außenleiterspannung, I_p Außenleiterstrom, R_1 Widerstand, η Wirkungsgrad, f Frequenz, p Polpaare, N_1, N_2 Windungszahlen, n Drehzahl in 1/min. Ferner ist

Wirkstrom	$I_w = I \cdot \cos\varphi$,
Blindstrom	$I_b = I \cdot \sin\varphi$;

Tabelle 1.32: Elektrische Leistung

Stromart			Wirkleistung $P = S^2 - Q^2$ W	Scheinleistung $S = P^2 + Q^2$ VA	Blindleistung $Q = S^2 - P^2$ var
Gleichstrom			$UI = I^2R = \frac{U^2}{R}$ bei Dreileiter $(I_1U_1 + I_2U_2)$		
Drehstrom Phasenfaktor $\sqrt{3} = 1{,}73$	Wirklast	Dreieckschaltung	$U_pI_p \cdot 1{,}73 = 3I_p^2R = \frac{U_p^2}{R}$		Null
		Sternschaltung			
	kapazitiv induktiv	Dreieckschaltung	$U_pI_p \cdot 1{,}73 \cdot \cos\varphi$	$U_pI_p \cdot 1{,}73$	$U_pI_p \cdot 1{,}73 \cdot \sin\varphi = \sqrt{S^2 - Q^2} \cdot \tan\varphi$
		Sternschaltung			
Einphasenstrom	Wirklast		$UI = I^2R = \frac{U^2}{R}$		Null
	induktiv kapazitiv		$UI \cdot \cos\varphi$	UI	$UI \cdot \sin\varphi = \sqrt{S^2 - Q^2} \cdot \tan\varphi$
Gleichstrom-Motoren			P (in kW) $= IU\eta : 1000$		
Einphasen-Motoren			P (in kW) $= IU\eta \cdot \cos\varphi : 1000$		
Generatoren und Trafos			P (in kW) $= IU \cdot \cos\varphi : 1000$;	P (in kVA) $= I \cdot U : 1000$	
Drehstrom-Motoren			P (in W) $= 1{,}73\, IU\eta \cos\varphi$;	$\eta \cdot \cos\varphi \approx 0{,}72$ bei Nennlast; damit wird:	
			P (in kW) $= \frac{IU}{800}$; P (in PS) $= \frac{IU}{590}$		
			$p = \frac{f \cdot 60}{n}$; $n = \frac{f \cdot 60}{p}$		
Transformatoren (Umspanner)			$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$		

Wirkwiderstand $R = \frac{U}{I} \cdot \cos\varphi$,

Blindwiderstand $X = \frac{U}{I} \cdot \sin\varphi$.

1. Beispiel: Wie groß ist der Gesamtwiderstand der in Bild 1.49 skizzierten Schaltung?

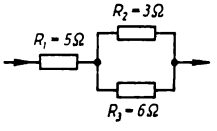


Bild 1.49. Kombinierte Schaltung

Lösung: $R = R_1 + R_{2,3}$;

$\frac{1}{R_{2,3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{3\,\Omega} + \frac{1}{6\,\Omega} = \frac{1}{2\,\Omega}$;

$R_{2,3} = 2\,\Omega$; $R = 5\,\Omega + 2\,\Omega = 7\,\Omega$.

2. Beispiel: Der Meßbereich eines Voltmeters mit dem Gerätewiderstand 1000 Ω beträgt 10 mV und soll auf 100 mV erweitert werden.

Lösung: $n = 10$, $R_V = 9 \cdot 1000\,\Omega = 9000\,\Omega$. Ein Widerstand von 9000 Ω ist in Reihe zu schalten.

3. Beispiel: Welchen Widerstand hat eine Glühlampe, deren Leistung bei 220 V Spannung 60 W beträgt?

Lösung: $R = U/I = U^2/IU = U^2/P = \frac{220^2\,V^2}{60\,W} \approx 807\,\Omega$.

4. Beispiel: Ein Verbraucher von 30 Ω Widerstand wird 30 min lang an eine Spannung von 220 V gelegt. Welche Wärmemenge erzeugt er?

Lösung: $W = UIt = \frac{U^2}{R}t$;

$W = \frac{220^2\,V^2}{30\,\Omega} \cdot 30\,\text{min} = 0{,}484\,\text{kW h}$;

$W = 484\,\text{kW h} \cdot 3600\,\text{s} \cdot 0{,}239\,\text{cal} = 416\,\text{kcal}$.

1.2.5.2. Spezifischer elektrischer Widerstand

Der spezifische elektrische Widerstand ϱ eines Leiters gibt den elektrischen Widerstand des Leiters bei 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt an; er wird gemessen in Ωmm²/m oder in Ωm. Den Kehrwert des spezifischen Widerstands nennt man die spezifische Leitfähigkeit oder den spezifischen Leitwert $\varkappa$ des Stoffes (Tabelle 1.33).
Im allgemeinen nimmt der spezifische Widerstand mit wachsender Temperatur zu; eine Ausnahme bildet z. B. Konstantan. Der Temperaturkoeffizient (früher *Widerstandsbeiwert*) α gibt den Bruchteil an, um den sich der elektrische Widerstand je 1 K ändert. Bei der Bestimmung des spezifischen Widerstands von Isolatoren legt man einen Körper von 1 cm Länge und 1 cm² Querschnitt zugrunde. Es ist

$R = \frac{\varrho l}{A}$,

$R_2 = R_1[1 + \alpha\,(t_2 - t_1)]$,

$\varkappa = 1/\varrho$.

Dabei bedeuten

R Leitungswiderstand, ϱ spezifischer elektrischer Widerstand, l Länge des Leiters, A Querschnitt des Leiters, t_1, t_2 Temperaturen, α Temperaturkoeffizient, $\varkappa$ spezifische elektrische Leitfähigkeit.

Tabelle 1.33: Spezifischer Widerstand, spezifischer Leitwert, Temperaturkoeffizient

Stoff	Spezifischer Widerstand $\frac{\Omega mm^2}{m}$	Spezifischer Leitwert $\frac{m}{mm^2\,\Omega}$	Temperaturkoeffizient α (für 0···100 °C) K^{-1}
a) Metalle (bei 20 °C)			
Aluminium	0,0278	36,0	+0,004
Blei	0,21	4,8	+0,00387
Eisen (WM 13)	0,13	7,7	+0,0048
Konstantan	0,50	2,0	−0,000005
Kupfer	0,0175	57,1	+0,0038
Messing	0,074	13,5	+0,0015
Platin	0,108	9,3	+0,0039
Quecksilber	0,95	1,05	+0,0009
Silber	0,016	62,5	+0,00377
Wolfram	0,055	18,2	+0,0041

b) Isolierstoffe (Gleichstrom 1000 V bei 20 °C und 80% relativer Luftfeuchte)

Stoff	Spezifischer Widerstand MΩ/cm	Vergleichszahl
Schiefer	$1 \cdot 10^3$	0,000001
Fensterglas	$2 \cdot 10^7$	0,02
Porzellan (unglasiert)	$3 \cdot 10^8$	0,3
Mikanit, Vinidur (PVC)	$1 \cdot 10^9$	1
Naturgummi, Kunstharz	$1 \cdot 10^{10}$	10
Paraffin	$(1 \cdots 3{,}4) \cdot 10^{10}$	10···3,4
Schwefel	$1 \cdot 10^{11}$	100
Quarz	$5 \cdot 10^{12}$	5000

c) Stoffe bei verschiedenen Temperaturen

Stoff	Spezifischer Widerstand in MΩ/cm bei 300 °C	700 °C	Temperaturkoeffizient α K^{-1}
Porzellan	$3 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^{-6}$
Quarz (geschmolzen)	$2 \cdot 10^{11}$	$4 \cdot 10^7$	$0{,}5 \cdot 10^{-6}$
Korund (gesintert)	$1 \cdot 10^{13}$	$2 \cdot 10^9$	$1{,}5 \cdot 10^{-6}$

1.2.5.3. Wechselstromkreis

Spannungsverlauf $u = U_{max} \sin \omega t$; $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ Kreisfrequenz (f Frequenz in Hz, T Periodendauer in s);

effektive Spannung $U_{eff} = \frac{1}{2}\sqrt{2}\,U_{max} = 0{,}707 U_{max}$;

effektive Stromstärke $I_{eff} = \frac{1}{2}\sqrt{2} I_{max} = 0{,}707 I_{max}$;

ohmscher Widerstand R;

induktiver Widerstand $X_L = \omega L$; Induktivität L in Henry (H);

kapazitiver Widerstand $X_C = \frac{1}{\omega C}$; Kapazität C in Farad (F);

Scheinwiderstand bei Reihenschaltung $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$;

Wirkwiderstand $R_W = R$;

Blindwiderstand $R_B = X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$;

OHMsches Gesetz $U_{eff} = I_{eff}\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$;

Phasenverschiebung $\tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$;

Wirkleistung $P = U_{eff} I_{eff} \cdot \cos \varphi$ (in W);

Blindleistung $Q = U_{eff} I_{eff} \cdot \sin \varphi$ (in var);

Scheinleistung $S = U_{eff} I_{eff}$ (in VA);

Leistungsfaktor $\cos \varphi$.

Beispiel: In einem Wechselstromkreis ($U_{eff} = 220$ V, $f = 50$ Hz) liegen in Reihe eine Spule der Induktivität $L = 5$ H und ein Kondensator der Kapazität $C = 10\,\mu F$, während der ohmsche Widerstand $R = 100\,\Omega$ beträgt. Berechne Scheinwiderstand Z und Stromstärke I_{eff}!

Lösung: $R = 100\,\Omega$, $R_L = \omega L = 50 \frac{1}{s} \cdot 5\,H = 250\,\Omega$,

$R_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1 \cdot 10^6}{100\,\pi \frac{1}{s} \cdot 10\,\mu F} = 318\,\Omega$;

$Z = \sqrt{(100\,\Omega)^2 + (250\,\Omega - 318\,\Omega)^2} = 121\,\Omega$;

$I_{eff} = \frac{U_{eff}}{Z} = \frac{220\,V}{121\,\Omega} = 1{,}82\,A$.

1.2.5.4. Drehstrom (Dreiphasenstrom)

Es bedeuten (s. a. Bild 1.50 und 1.51)

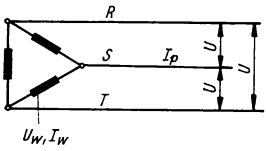


Bild 1.50. Dreieckschaltung

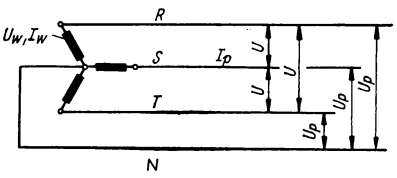


Bild 1.51 Sternschaltung

R, S, T Phasenleiter, U_W Spannung an Wicklung, I_W Strom in Wicklung, U Spannung zwischen zwei Phasenleitern, I_p Strom im Phasenleiter.

Dreieckschaltung (Bild 1.50)

$U = U_W$,

$I_p = I_W \sqrt{3}$ (verkettet).

Sternschaltung (Bild 1.51)

N Nulleiter,

U_p Spannung zwischen Phasen- und Nulleiter,

$U = U_W \sqrt{3}$ (verkettet),

$I_p = I_W$,

$U_p = U_W$.

Zwei verschiedene Spannungen abgreifbar, z.B. $U = 380$ V, $U_p = 220$ V.

Leistung: $P = 3 U_W I_W \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} U I_p \cdot \cos \varphi$ (gilt für Dreieckschaltung und Sternschaltung).

Beispiel: Bei einer Sternschaltung beträgt die Spannung zwischen zwei Phasenleitungen 220 V. Welche Spannung herrscht zwischen Phasenleiter und Nulleiter?

Lösung: $U = 220$ V, $U = U_W \frac{1}{\sqrt{3}}$, $U = 127$ V.

1.3. Aus der Chemie

1.3.1. Die chemischen Elemente

1.3.1.1. Periodensystem

Im Periodensystem der chemischen Elemente (Tafel 8) wird deren Reihenfolge durch die *Ordnungszahl* bestimmt. Sie steht vor dem Kurzzeichen und entspricht der Anzahl der Protonen im Atomkern, somit dessen Ladung sowie der Anzahl der Elektronen in der Atomhülle. Die sieben Perioden (Reihen) entsprechen den sieben Elektronenschalen, die zur gleichen Gruppe

Tafel 8: Periodensystem der Elemente

Periode	Gruppe																	
	Ia	IIa	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb			Ib	IIb	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa
1	1 H 1,00797																	2 He 4,0026
2	3 Li 6,939	4 Be 9,0122											5 B 10,811	6 C 12,01115	7 N 14,0067	8 O 15,9994	9 F 18,9984	10 Ne 20,170
3	11 Na 22,9898	12 Mg 24,305											13 Al 26,9815	14 Si 28,086	15 P 30,9738	16 S 32,064	17 Cl 35,453	18 Ar 39,948
4	19 K 39,102	20 Ca 40,08	21 Sc 44,956	22 Ti 47,90	23 V 50,942	24 Cr 51,996	25 Mn 54,9381	26 Fe 55,847	27 Co 58,9332	28 Ni 58,71	29 Cu 63,546	30 Zn 65,37	31 Ga 69,72	32 Ge 72,59	33 As 74,9216	34 Se 78,96	35 Br 79,904	36 Kr 83,80
5	37 Rb 85,47	38 Sr 87,62	39 Y 88,905	40 Zr 91,22	41 Nb 92,906	42 Mo 95,94	43 Tc (99)	44 Ru 101,07	45 Rh 102,905	46 Pd 106,4	47 Ag 107,868	48 Cd 112,40	49 In 114,82	50 Sn 118,69	51 Sb 121,75	52 Te 127,60	53 J 126,9044	54 Xe 131,30
6	55 Cs 132,905	56 Ba 137,34	57 La*) 138,91	72 Hf 178,49	73 Ta 180,948	74 W 183,85	75 Re 186,2	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,09	79 Au 196,967	80 Hg 200,59	81 Tl 204,37	82 Pb 207,19	83 Bi 208,98	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)
7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac**) (227)															
*) Lanthaniden				58 Ce 140,12	59 Pr 140,907	60 Nd 144,24	61 Pm (147)	62 Sm 150,35	63 Eu 151,96	64 Gd 157,25	65 Tb 158,924	66 Dy 162,50	67 Ho 164,93	68 Er 167,26	69 Tm 168,934	70 Yb 173,04	71 Lu 174,97	
**) Aktiniden				90 Th 232,038	91 Pa (231)	92 U 238,03	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (245)	97 Bk (247)	98 Cf (250)	99 Es (254)	100 Fm (255)	101 Md (255)	102 No (254)	103 Lr (257)	104 Ku (258)
				105 Bo (260)														

(Spalte) gehörenden Elemente haben einander ähnliche chemische Eigenschaften.

Beispiel: Das Element Neon (Ne) hat einen Atomkern mit 10 Protonen, in den beiden Schalen der Hülle befinden sich insgesamt 10 Elektronen. Neon gehört zur Gruppe 0, den Edelgasen.

1.3.1.2. Relative Atommassen

Die relativen Atommassen (Tabelle 1.34) beziehen sich auf das Kohlenstoffisotop ^{12}C. Die eckige Klammer in der Tabelle bedeutet, daß die Massenzahl des langlebigsten Isotops angegeben ist.

Tabelle 1.34: Relative Atommassen A_r

Name	Symbol	Z*)	A_r	Wertigkeit
Aktinium	Ac	89	[227]	3
Aluminium	Al	13	26,9815	3, (1)
Amerizium	Am	95	[243]	2, 3, 4, 5, 6
Antimon	Sb	51	121,75	3, 5, (−3)
Argon	Ar	18	39,948	0
Arsen	As	33	74,9216	3, 5, (−3)
Astatin	At	85	[210]	5, 7
Barium	Ba	56	137,34	2
Berkelium	Bk	97	[247]	3, 4
Beryllium	Be	4	9,0122	2
Blei	Pb	82	207,19	2, 4
Bohrium	Bo	105	[260]	
Bor	B	5	10,811	3
Brom	Br	35	79,904	−1, 1, 5
Chlor	Cl	17	35,453	−1, 1, 3, 5, 7
Chrom	Cr	24	51,996	2, 3, 6, (1, 4, 5)
Curium	Cm	96	[245]	3
Dysprosium	Dy	66	162,50	3
Einsteinium	Es	99	[254]	
Eisen	Fe	26	55,847	2, 3, (6)
Erbium	Er	68	167,26	3
Europium	Eu	63	151,96	3, (2)
Fermium	Fm	100	[255]	
Fluor	F	9	18,9984	−1
Frankium	Fr	87	[223]	1
Gadolinium	Gd	64	157,25	3
Gallium	Ga	31	69,72	3, (1, 2)
Germanium	Ge	32	72,59	2, 4
Gold	Au	79	196,967	1, 3
Hafnium	Hf	72	178,49	4
Helium	He	2	4,0026	0
Holmium	Ho	67	164,930	3
Indium	In	49	114,82	3, (1, 2)
Iridium	Ir	77	192,2	3, 4, (1, 2, 6)
Jod	J	53	126,9044	−1, 1, 3, 5, 7
Kadmium	Cd	48	112,40	2
Kalifornium	Cf	98	[250]	
Kalium	K	19	39,102	1
Kalzium	Ca	20	40,08	2
Kobalt	Co	27	58,9332	2, 3, (4)
Kohlenstoff	C	6	12,011 15	4
Krypton	Kr	36	83,80	0, (2, 4)
Kupfer	Cu	29	63,546	1, 2
Kurtschatovium	Ku	104	[258]	
Lanthan	La	57	138,91	3
Lawrenzium	Lr	103	[257]	
Lithium	Li	3	6,939	1
Lutetium	Lu	71	174,97	3
Magnesium	Mg	12	24,305	2
Mangan	Mn	25	54,9381	2, 4, 7, (1, 3, 5, 6)
Mendelevium	Md	101	[255]	
Molybdän	Mo	42	95,94	6, (2···5)
Natrium	Na	11	22,9898	1
Neodym	Nd	60	144,24	3, (4)
Neon	Ne	10	20,179	0
Neptunium	Np	93	[237]	
Nickel	Ni	28	58,71	2, (3, 4)
Nobelium	No	102	[254]	
Niob	Nb	41	92,906	5, (2, 3, 4)
Osmium	Os	76	190,2	6, 8, (2, 3, 4)
Palladium	Pd	46	106,4	2, 4, (3)
Phosphor	P	15	30,9738	−3, 3, 5
Platin	Pt	78	195,09	2, 4, (1, 3, 6)
Plutonium	Pu	94	[242]	3, 4, 5, 6
Polonium	Po	84	[210]	4
Praseodym	Pr	59	140,907	3, (4)
Promethium	Pm	61	[147]	3
Protaktinium	Pa	91	[231]	5
Quecksilber	Hg	80	200,59	1, 2
Radium	Ra	88	[226]	2
Radon	Rn	86	[222]	0
Rhenium	Re	75	186,2	4, 7, (3, 5, 6)
Rhodium	Rh	45	102,905	3, 4, (1, 2, 6)
Rubidium	Rb	37	85,47	1
Ruthenium	Ru	44	101,07	4, 8, (2, 3, 5···7)
Samarium	Sm	62	150,35	3, (2)
Sauerstoff	O	8	15,9994	−2
Skandium	Sc	21	44,956	3
Schwefel	S	16	32,064	−2, 4, 6
Selen	Se	34	78,96	−2, 4, 6
Silber	Ag	47	107,868	1, (2)
Silizium	Si	14	28,086	4
Stickstoff	N	7	14,0067	−3, 3, 5, (2, 4)
Strontium	Sr	38	87,62	2
Tantal	Ta	73	180,948	5, (2, 3, 4)
Technetium	Tc	43	[99]	7, (2···6)
Tellur	Te	52	127,60	4, 6, (−2)
Terbium	Tb	65	158,924	3, 4
Thallium	Tl	81	204,37	1, 3
Thorium	Th	90	232,038	4
Thulium	Tm	69	168,934	3
Titan	Ti	22	47,90	2, 4, (3)
Uran	U	92	238,03	2, 3, 4
Vanadin	V	23	50,942	5, (2, 3, 4)
Wasserstoff	H	1	1,00797	1, (−1)
Wismut	Bi	83	208,980	3, (−3, −5)
Wolfram	W	74	183,85	6, (2···5)
Xenon	Xe	54	131,30	0, (2, 4, 6, 8)
Ytterbium	Yb	70	173,04	3, (2)
Yttrium	Y	39	88,905	3
Zäsium	Cs	55	132,905	1
Zer	Ce	58	140,12	3, 4
Zink	Zn	30	65,37	2
Zinn	Sn	50	118,69	2, 4
Zirkon	Zr	40	91,22	4, (2, 3)

*) Z Kernladungszahl (Ordnungszahl).

1.3.2. Trivialname und chemische Benennung technisch wichtiger Stoffe

Tabelle 1.35 enthält Angaben zu technisch wichtigen Stoffen.

Tabelle 1.35: Trivialnamen und chemische Benennung

Trivialname	Chemische Formel	Chemischer Name bzw. Erläuterung
Äther	$C_4H_{10}O$	Diäthyläther
Ätzkali	KOH	Kaliumhydroxid
Ätzkalk	$Ca(OH)_2$	Kalziumhydroxid
Ätznatron	NaOH	Natriumhydroxid
Amalgame		Hg-Legierungen von Metallen
Anilin	C_6H_7N	Aminobenzol
Antichlor	$Na_2S_2O_3$	Natriumthiosulfat
Asbest		Ca-Mg-Silikate
Azeton	C_3H_6O	Propanon

Tabelle 1.35 (Fortsetzung)

Trivialname	Chemische Formel	Chemischer Name bzw. Erläuterung
Azetylen	C_2H_2	Äthin
Bleiglätte	PbO	Blei(II)-oxid
Bleiweiß	$PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$	basisches Bleikarbonat
Blutlaugensalz, gelbes	$K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$	Kaliumhexazyanoferrat(II)
–, rotes	$K_3Fe(CN)_6$	Kaliumhexazyanoferrat(III)
Borax	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	Natriumtetraboratdekahydrat
Braunstein	MnO_2	Mangandioxid
Chlorkalk	CaCl(OCl)	Kalziumchloridhypochlorit
Eisenchlorid	$FeCl_2 \cdot 4H_2O$	Eisen(II)-chloridtetrahydrat
Eisenrost	$FeO \cdot Fe_2O_3 \cdot xH_2O$	Eisenoxidhydrat
Eisessig, Essig, Essigsäure	$C_2H_4O_2$	Äthansäure
Fixiersalz	$Na_2S_2O_3$	Natriumthiosulfat
Flußsäure	HF	Fluorwasserstoffsäure
Gips	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Kalziumsulfatdihydrat
Glaubersalz	$NaSO_4 \cdot 10H_2O$	Natriumsulfatdekahydrat
Glyzerin	$C_3H_8O_3$	Propantriol
Grubengas, Sumpfgas	CH_4	Methan
Grünspan	$xCu(CH_3CO_2)_2 \cdot yCu(OH)_2 C_2H_4O_2$	Gemisch basischer Kupferazetate
Holzessig	CH_4O	Äthansäure
Holzgeist		Methanol
Kalk, gebrannter	CaO	Kalziumoxid
–, gelöschter	$Ca(OH)_2$	Kalziumhydroxid
Kalkstein s. Kreide		
Karbid	CaC_2	Kalziumkarbid
Karborundum	SiC	Siliziumkarbid
Kochsalz, Steinsalz	NaCl	Natriumchlorid
Königswasser		Gemisch aus 3 Teilen konz. HCl und 1 Teil konz. HNO_3
Kohlenoxid	CO	Kohlenmonoxid
Kohlenstofftetrachlorid	CCl_4	Tetrachlormethan
Korund, Schmirgel	Al_2O_3	Aluminiumoxid
Kreide, Kalkstein	$CaCO_3$	Kalziumkarbonat
Kupfersulfat	$CuSO_4$	Kupfer(II)-sulfat
Kupfervitriol	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	Kupfer(II)-sulfatpentahydrat
Lötsalz (in Lösung), Lötwasser	$ZnCl_2 \cdot 2NH_4Cl$	Lösung von Zinkchlorid und Ammoniumchlorid
Lachgas	N_2O	Distickstoffoxid
Magnesia	MgO	Magnesiumoxid
Mennige	Pb_3O_4	Blei(III,IV)-oxid
Nitroglyzerin	$C_3H_5O_9N_3$	Propantrioltrinitrat
Oleum		Lösung von Schwefeltrioxid in konz. H_2SO_4
Oxalsäure	$C_2H_2O_4$	Äthandisäure
Pottasche	K_2CO_3	Kaliumkarbonat
Salmiak	NH_4Cl	Ammoniumchlorid
Salmiakgeist	NH_4OH	Ammoniumhydroxid
Salzsäure	HCl	Chlorwasserstoffsäure
Schmirgel s. Korund		
Soda	$NaCO_3 \cdot 10H_2O$	Natriumkarbonatdekahydrat
Spiritus	C_2H_6O	Äthanol
Tetra	CCl_4	Kohlenstofftetrachlorid
Toluol	C_7H_8	Methylbenzol
Tonerde	A_2O_3	Aluminiumoxid
Tri	C_2HCl_3	Trichloräthen
Wasser	H_2O	Wasserstoffoxid
Wasserglas		Lösung von Natrium- und Kaliumsilikaten
Weingeist	C_2H_6O	Äthanol

1.3.3. Elektrochemische Äquivalente

Für die Elektrolyse gilt das *1.* FARADAY*sche Gesetz:*
Die abgeschiedene Stoffmenge ist der Stromstärke I und der Zeit t proportional. Der diese Proportion in eine Gleichung verwandelnde Proportionalitätsfaktor heißt *elektrochemisches Äquivalent*, Formelzeichen c (Tabelle 1.36).
Definiert man als Äquivalentgewicht den Quotienten aus relativer Atommasse und Wertigkeit, so läßt sich das *2.* FARADAY*sche Gesetz* formulieren:
Die von einer bestimmten Elektrizitätsmenge abgeschiedenen Mengen verschiedener Stoffe verhalten sich wie deren Äquivalentmassen. Um ein Grammäquivalent auszuscheiden, benötigt man für alle Stoffe die gleiche Elektrizitätsmenge, und zwar 96490 As.

Es ist

$$m = cIt;$$

dabei bedeuten

m abgeschiedene Stoffmenge, c elektrochemisches Äquivalent, I Stromstärke, t Zeit.

Beispiel: Die Silbermenge, die vom elektrischen Strom der Stärke 30 A in 2 h abgeschieden wird, beträgt

$$m = 1{,}118 \text{ mg/As} \cdot 30 \text{ A} \cdot 2 \text{ h} = 241{,}5 \text{ g}.$$

Tabelle 1.36: Elektrochemische Äquivalentmassen c

Stoff	Wertigkeit	c mg/As
Kationen		
Aluminium	III	0,093
Barium	II	0,712
Blei	II	1,074
Chrom	III	0,180
Eisen	II	0,289
Eisen	III	0,193
Gold	III	0,681
Kalium	I	0,405
Kalzium	II	0,208
Kupfer	II	0,329
Magnesium	II	0,126
Mangan	II	0,285
Mangan	III	0,190
Natrium	I	0,233
Nickel	II	0,304
Nickel	III	0,203
Platin	IV	0,505
Quecksilber	I	2,079
Silber	I	1,118
Wasserstoff	I	0,010
Wismut	III	0,722
Zink	II	0,339
Zinn	II	0,615
Zinn	IV	0,308
Anionen		
Brom	I	0,828
Chlor	I	0,367
Fluor	I	0,197
Sauerstoff	II	0,083

1.3.4. Physikalische Konstanten

BOLTZMANNsche Konstante	k	$= 1{,}3807 \cdot 10^{-23}$ J/K
Elektrisches Elementarquantum	e	$= 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C
Elektron, Ruhmasse	m_0	$= 9{,}1095 \cdot 10^{-28}$ g
Elektron, spezifische Ladung	e/m_0	$= 1{,}759 \cdot 10^{11}$ C/kg
Energieäquivalent der Kalorie	1 cal	$= 4{,}1868$ J $= 0{,}42694$ kp m
Energieäquivalent der Masse	1 g	$\triangleq 5{,}61 \cdot 10^{26}$ MeV
Fallbeschleunigung bei 45° geographischer Breite und NN	g	$= 9{,}80665$ m/s²
Gaskonstante, allgemeine	R_0	$= 8314{,}4$ J/kmol K
Gravitationskonstante	γ	$= 6{,}672 \cdot 10^{-11}$ N m²/kg²
Lichtgeschwindigkeit im masseleeren Raum	c_0	$= 2{,}99792 \cdot 10^{8}$ m/s
LOSCHMIDT-Konstante	N_L	$= 2{,}687 \cdot 10^{25}$/m³
Molvolumen idealer Gase bei 0 °C und 760 Torr	V_m	$= 22{,}414$ m³/kmol
Neutron, Ruhmasse	m_n	$= 1{,}67495 \cdot 10^{-24}$ g
Nullpunkt, absoluter	t	$= -273{,}16$ °C $= 0$ K
PLANCKsches Wirkungsquantum	h	$= 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Js
Proton, Ruhmasse	m_p	$= 1{,}6726 \cdot 10^{-24}$ g
Wellenlänge der roten Cd-Linie bei 15 °C und 760 Torr	λ	$= 643{,}8470$ nm

2. Plaste

2.1. Allgemeines

Die Fortschritte auf dem Gebiete der Elektrotechnik, des Maschinen- und Fahrzeugbaus sowie vieler weiterer Industriezweige sind eng gekoppelt mit der Entwicklung neuer Plaste. Es handelt sich hierbei keinesfalls um Ersatz- oder kopierende Austauschstoffe, sondern vielmehr um neue synthetische Stoffe mit neuen, wertvollen Eigenschaften. Sie zeigen dabei, wenn sie entsprechend ihren Eigenarten und Besonderheiten richtig eingesetzt werden, oft sogar Eigenschaften, die sie den anderen herkömmlichen Werkstoffen überlegen machen. Beim Vergleich mit anderen, herkömmlichen Werkstoffen kommt hinzu, daß die guten Verarbeitungseigenschaften der Plaste vielfach vereinfachte Herstellungstechnologien für die Fertigung der Werkstücke ermöglichen und somit großer ökonomischer Nutzen gewährleistet ist (Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1: Vergleich der Eigenschaften von metallischen und Plastwerkstoffen

Gute bzw. bessere Eigenschaften gegenüber Metallen	Ungünstige Eigenschaften gegenüber Metallen
niedrige Dichte (meist unter der Hälfte der Leichtmetalle)	niedrige Wärmebeständigkeit
größere Korrosionsbeständigkeit, beständig gegen Säuren und Laugen	meist niedrige Festigkeitswerte
gute elektrische Isolationswerte, geringe Wärmeleitfähigkeit	meist brennbar, verhältnismäßig hohe Wärmeausdehnung
meist physiologische Unbedenklichkeit, geruchs- und geschmacksfrei	
gute Verformbarkeit, nur ganz geringe oder keine Nacharbeit, dichte, glatte und geschlossene Oberfläche	
gute durchgehende Einfärbung	

Die Plaste finden umfangreiche Verwendung als Werkstoffe für Maschinenteile, Isolierstoffe, Imprägnier- und Anstrichstoffe sowie Gebrauchsgegenstände und Spinnfasern. Dem Konstrukteur sind daher im Rahmen des »werkstoffgerechten Konstruierens« Aufgaben gestellt, deren Lösung von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung ist.

2.2. Aufbau der Plaste

Plaste sind, im Gegensatz zu den Metallen, aus *Makromolekülen* (Riesenmolekülen) aufgebaut, wobei jedes Makromolekül sich aus vielen Grundmolekülen zusammensetzt. Das Grundmolekül, das *Monomere*, ist aus Atomen nach chemischen Gesetzmäßigkeiten aufgebaut und wiederholt sich mehrere tausendmal im Makromolekül. Durch geeignete Maßnahmen, z. B. Wärme, Druck, Anwesenheit von Katalysatoren, wird das Monomere in das *Polymere* übergeführt. Je größer die Anzahl der Monomere (Grundmoleküle) im Polymeren (Riesenmolekül) ist, um so fester und steifer wird der Werkstoff. Daraus ergibt sich, daß die Plaste in verschiedenen Härtegraden hergestellt werden können.

2.3. Einteilung der Plaste

Die Unterteilung der Plastwerkstoffe kann nach verschiedenen Gesichtspunkten vorgenommen werden, wobei allerdings Überschneidungen nicht zu vermeiden sind. Bei der Einordnung nach gemeinsamen Merkmalen kann man in Gruppen wie in Tabelle 2.2 einteilen.

Tabelle 2.2: Möglichkeiten zur Einteilung der Plastwerkstoffe

Hauptgruppen, eingeteilt nach	Weitere Unterteilung und Charakteristik
Art der Herkunft (Ausgangsstoffe)	*teilsynthetische Plastwerkstoffe* (modifizierte Naturstoffe): aus natürlichen Ausgangsstoffen aufgebaute, veredelte, chemisch abgewandelte Naturstoffe *vollsynthetische Plastwerkstoffe:* aus synthetischen Ausgangsstoffen aufgebaut
Rohstoffbasis	z. B. in Zellulosederivate, Phenoplaste, Aminoplaste
Art der Verarbeitung	z. B. in Preßmassen, Spritzgußmassen, Schichtpreßstoffe
Verhalten in der Wärme	*Duroplaste:* Plastwerkstoffe, die bei der Verformung durch Druck und Wärme in einen unschmelzbaren und unlöslichen Zustand übergehen. Der Verformungsvorgang ist also einmalig, z. B. bei Phenoplasten, Aminoplasten.
	Thermoplaste: Plastwerkstoffe, die bei der Gebrauchstemperatur fest oder gummiartig sind und bei Erwärmung plastisch verformbar werden. Nach Abkühlung ist der Ausgangszustand wieder vorhanden. Die Verformung kann wiederholt werden, z. B. bei Polystyrol, Polyamid, Polyäthylen, Polyvinylchlorid.
Erscheinungsform bei normaler Gebrauchstemperatur (Manche Plaste kommen nur in einer dieser Zustandsformen vor, während hauptsächlich die Thermoplaste mehrere oder auch alle Zustandsformen einnehmen können.)	*Vitroplaste* (Resinoplaste): harte, druckfeste, formsteife spröde bis zähe Plaste; treten als Duroplaste (z. B. Epoxidharze, Preß- und Schichtpreßstoffe) und Thermoplaste (z. B. Zelluloseester, PVC-hart, Polystyrol) auf
	Kristalloplaste: hornartige, biegsame, formstandfeste und zähe bis zähelastische reckbare Plaste (z. B. Polyamide, Polyäthylen, einige Polyurethane)
	Elastoplaste: zeigen weichgummiähnliche Beschaffenheit; werden bei Belastung verformt und kehren nach Entlastung wieder in die Ursprungsform zurück (z. B. Silikonkautschuk, vulkanisierter Weichgummi, einige Polyurethane)
	Fluidoplaste: haben keine Formbeständigkeit und sind klebrig bis zähflüssig; fließen schon unter dem Schwerkrafteinfluß, sind selbstklebend und evtl. fadenziehend (z. B. Polyester für Lackzwecke, einige Polyvinyläther)
Bildung der Makromoleküle	*Polykondensationsprodukte:* Monomere verschiedener Art vereinigen sich, wobei Wasser o. a. Verbindungen abgespalten werden. Die Makromoleküle sind räumlich vernetzt (in allen drei Dimensionen durcheinandergewachsen).
	Polymerisationsprodukte: Monomere werden ohne Abspaltung von Stoffen in Polymere übergeführt. Vorhandene Doppelbindungen werden dabei abgesättigt. Lagern sich Moleküle verschiedener Grundverbindungen zusammen, so erhält man Mischpolymerisate. Die Makromoleküle sind langgestreckte, durch Verknäuelung zusammengeschlossene Fadenmoleküle.
	Polyadditionsprodukte: Zahlreiche verschiedenartige Monomere fügen sich ohne Abspaltung zu Makromolekülen zusammen, wobei intramolekulare Wasserstoffverlagerungen auftreten und die Verknüpfung über Heteroatome erfolgt. Die langen, fadenähnlichen Makromoleküle weisen eine weitmaschige Vernetzung auf.

Tabelle 2.2 (Fortsetzung)

Hauptgruppen, eingeteilt nach	Weitere Unterteilung und Charakteristik
Bildung der Makromoleküle	*Polyveresterungsprodukte:* Es entstehen (ähnlich wie bei der Polykondensation) räumlich vernetzte Makromoleküle, die aber ohne Druck und z. T. auch ohne Wärme aushärten. Die Härtung (Veresterung) erfolgt durch Katalysatoren (Härter) und wird meist erst bei der Verarbeitung durchgeführt.
	Silikone: Herstellung erfolgt nach den Prinzipien der Vulkanisation, wobei an Stelle des Kohlenstoffs das Silizium eingebaut ist.

2.4. Übersicht über die wichtigsten Plaste

In Tabelle 2.3 sind die wichtigsten Plaste zusammengestellt.

Ausgangsstoffe der Plaste

a) Naturstoffe werden chemisch abgewandelt, z. B. Zellulose, Kasein, Latex.

b) Für die synthetischen Plaste sind die wichtigsten Ausgangsrohstoffe Kohle, Kalk, Erdöl, Sand und weitere Chemikalien.

Vollsynthetische Plastwerkstoffe werden umgewandelt aus Kohle, Nebenprodukten der Erdölverarbeitung, Erdgasen, Sand (Silizium) oder durch chemische Vereinigung, z. B. der Grundstoffe Kohle, Kalk, Wasser und Luft.
Viele Plaste, besonders die aus Harz bestehenden duroplastischen Massen, werden zur Verbesserung der Eigenschaften, insbesondere der Festigkeitseigenschaften, mit *Füllstoffen* ver-

Tabelle 2.3: Übersicht über die wichtigsten Plaste

Gruppe	Name	Grundstoffe	Bekannte Handelsnamen	Anwendungsbeispiele
modifizierte Naturstoffe	Vulkanfiber	Holz bzw. andere Zellulose träger – Zellulose-Chlorzinklauge od. Schwefelsäure	Vulkanfiber	Elektrotechnik, Koffer-, Automobil-, Maschinenindustrie
	Kunsthorn	aus Milch gewonnenes Labkasein und Formaldehyd	Galalith	Spielzeug, kochfeste Knöpfe, Möbelbeschläge, modische Artikel
	Zellulose-Azetat	Holz bzw. andere Zelluloseträger – Zellulose u. Essigsäure, Essigsäureanhydrid	Cellon, Cellit	Fotoindustrie (Sicherheitsfilme), Verpackungsindustrie, Bekleidungs- und Lackindustrie
	Zellulose-Äther	Holz bzw. andere Zelluloseträger – Zellulose, Verätherung mit verschiedenen Alkoholen	Trolit	Lackindustrie, Spritzgußmasse für technische Teile, Klebemittel
	Zellulose-Hydrat	Holz bzw. andere Zelluloseträger – Zellulose, Natronlauge, Schwefelkohlenstoff	Cellophan, Zellglas, Wilaphan	Nahrungs- und Genußmittelindustrie, Kosmetik, Verpackungswesen, Bekleidungsindustrie
	Zellulose-Nitrat	Holz bzw. andere Zelluloseträger – Zellulose, Salpetersäure, Schwefelsäure	Zelluloid	Galanteriewaren, Spielwaren, Gebrauchsgegenstände, Lackindustrie
Polykondensationsprodukte (Duroplaste)	Phenol- u. Kresolharz-Preßmassen mit Füllstoffen	Teer – Phenol oder Kresol, Formaldehyd-Füllstoffe	Bakelit, Plastadur	Elektrotechnik, Maschinenbau, optische Industrie, Haushaltwaren
	Phenolharz-Preßmassen für Autokarosserien	Teer – Phenol oder Kresol, Formaldehyd, Baumwolle-Linters	Phenolharz-Preßmasse	Karosserieteile
	Phenolharz-Schichtpreßstoffe	Teer – Phenol oder Kresol, Formaldehyd, lagenförmige Trägermaterialien	Plastatex, Prestofol, Plastacart	elektrische Isolierstoffe, Bau- und Dekorationsplatten, Preß- und Ziehwerkzeuge
	Phenoledelkunstharz	Teer – Phenol und Formaldehyd	Dekorit	chemisch beanspruchte Teile, medizinische Instrumente, Galanteriewaren
	Karbamidharze (Aminoplaste)	Stickstoff – Harnstoff und Formaldehyd; Melamin und Formaldehyd	Harnstoffharze, Melaminharze	Nahrungs- und Genußmittelindustrie, Lack- und Klebemittelindustrie
	Karbamid-Preßmassen (Aminoplaste)	Stickstoff – Harnstoff und Formaldehyd – Harnstoffharz und Füllmittel; Melaminharz und Füllmittel	Didi, Meladur	Gebrauchsgegenstände, Elektrotechnik, Spielwarenindustrie
	Karbamid-Schichtpreßstoffe (Aminoplaste)	Harnstoffharz und Trägermaterialien; Melaminharz und Trägermaterialien	Resopal, Melacart	Bau- und Dekorationsplatten, Graviermaterialien, Wand- und Möbelbeschläge

Tabelle 2.3 (Fortsetzung)

Gruppe	Name	Grundstoffe	Bekannte Handelsnamen	Anwendungsbeispiele
Polymerisationsprodukte (Thermoplaste)	Polyvinylchlorid-hart (PVC)	Kohle und Kalk – Azetylen und Salzsäure	Ekadur, Decelith-H, Vinidur, Mipolam	fast alle Industriezweige, chemische Industrie, Bau- und Verpakkungswsen
	Polyvinylchlorid-weich (PVC)	Kohle und Kalk – Azetylen und Salzsäure, Weichmacher	Decelith-W, Ekalit	fast alle Industriezweige, chem. Industrie, Elektrotechnik, Kunstleder- und Leichtindustrie
	Polyäthylen	Kohle oder Erdöl oder Erdgas, auch Azetylen-Äthylen	Lupolen, Ecelen	Verpackungswesen, unzerbrechliche Gebrauchsgegenstände, chem. Industrie, Spielwaren
	Polyisobutylen	Erdöl oder Kohle	Oppanol	Aus- und Umkleidungen in der chem. Industrie, Nahrungsmittel- und Genußmittelindustrie
	Polyamid	Kohle, Erdgas oder Erdöl	DEDERON, Nylon, Perfol, Miramid	unzerbrechl. Gebrauchsgegenstände, technische Teile hoher Festigkeit, Bekleidungsindustrie
	Polyvinylazetat	Azetylen oder Erdgas, Erdöl	PVA	Farben- und Lackindustrie, Klebemittel, Textil- und Papierindustrie
	Polymethakrylat	Azetylen oder Erdgas, Erdöl – Azeton, Blausäure-Methakrylester	Plexiglas, Plexigum, Piakryl	Fahrzeug- und Flugzeugbau, Meß- und Zeichengeräte, Gebrauchsgegenstände, Schmuck
	Polystyrol	Kohle oder Erdgas und Erdöl – Äthylen und Benzol	Trolitul, Styroflex, Styropin	Gebrauchsgegenstände, modische Artikel, Spielzeug, Schwachstromtechnik
	Polyakrylnitril	Azetylen oder Erdgas oder Erdöl – Blausäure-Akrylnitril	Prelana, Orion, Wolpryla	Wetter-, licht- und chemikalienbeständige Gewebe hoher Festigkeit
	Polyfluorkarbone	Azetylen oder Erdgas, Erdöl (Chloroform, Flußsäure)	Hostaflon, Teflon, Ekafluvin	Hochfrequenztechnik, chemischer Apparatebau, Trennfolien
Polyadditionsprodukte	Polyurethane	Kohle, Kalk – Azetylen – Butindiol – Butandiol oder Diisozyanate u. Dialkohole	Utazin, Dermodur, Moltopren	verschleißfeste technische Teile und Gebrauchsgegenstände
Polyveresterungsprodukte	Polyesterharze (ungesättigt)	Kohle, Kalk – Azetylen – Krotonaldehyd, Maleinsäure	Polyesterharz	für Gießzwecke u. Klebungen, mit Füllstoffen für Formkörper (Karosserien usw.)
	Epoxidharze (Äthoxylinharze)	Kohle, Kalk – Azetylen – Epichlorhydrin, Phenole	Epilox, Araldit, Lekutherm	Gieß-, Kleb- und Verbundharze (Vergießen mit Füllmittel)
Silikone	Silikonharze	Quarzsand, Kohle, Chlor – Silziumtetrachlorid	Silikonharze	Elektroindustrie, Lacke und Poliermittel, Trennmittel, Bautenschutz

Tabelle 2.4: Mechanische Eigenschaften der gebräuchlichsten Duroplaste auf Phenolharz-Basis (Typisierungsbeispiel)

Plasttyp	TGL	Füllstoff	Dichte g/cm³	Biegefestigkeit kp/cm²	Schlagzähigkeit cm kp/cm²	Kerbschlagzähigkeit cm kp/cm²	Druckfestigkeit kp/cm²
11	15565	Gesteinsmehl	1,8	500	3,5	1,0	—
16	15565	Asbestfasern	1,8	700	15,0	15,0	—
31	15565	Holzmehl	1,4	700	6,0	1,5	—
51	15565	Zellstoffasern	1,4	600	5,0	3,5	—
54	15565	Zellstoffschnitzel	1,4	800	8,0	5,5	—
57	15565	Zellstoffbahnen	1,4	1200	15,0	10,0	—
71	15565	Baumwollfasern	1,4	600	6,0	6,0	—
74	15565	Gewebeschnitzel	1,4	600	12,0	12,0	—
77	15565	Baumwoll-Gewebebahnen	1,4	800	25,0	18,0	—
Hgw 2081	15372	Baumwoll-Grobgewebe	1,4	1000	25,0	20,0	2000
Hgw 2082	15372	Baumwoll-Feingewebe	1,4	1300	30,0	18,0	2000
Hgw 2088	15372	Baumwoll-Feingewebe	1,4	800	—	—	700 *)

*) Dieser Wert bezieht sich auf die Prüfung parallel zur Faserrichtung. Wird Hgw 2088 als Lagerwerkstoff verwendet, so gilt der Wert Hgw 2081 bzw. Hgw 2082, da Beanspruchung senkrecht zur Faserrichtung.

sehen, die als Träger dienen. – Füllstoffe: Holzmehl, Gesteinsmehl und Glasfasern (die letzten beiden besonders für hohe Temperaturbeständigkeit), Zellstoffasern, -schnitzel und -bahnen, Textilfasern, -schnitzel, Gewebebahnen. Je nach dem Verwendungszweck beträgt der Füllstoffanteil 0···90 %. Die besten Eigenschaften bei entsprechendem Füllstoffanteil werden ermittelt und diese Plasttypen »typisiert« (Tabelle 2.4).

Die *Lieferformen* der Plaste umfassen einmal die *Rohstoffe* selbst in fester, gelöster oder dispergierter (fein verteilter) Form, zum anderen liegen die Plaste als *Halbzeug* vor, hergestellt aus diesen Rohstoffen durch plastische Formgebung (Folien, Bahnen, Tafeln, Rohre, Stäbe usw.), und als *Formteile*, indem die Rohstoffe plastisch in allseitig geschlossenen Formen (Warmpressen für Duroplaste, Spritzguß für Thermoplaste) oder aus Thermoplast-Halbzeug durch Warmumformung und Schweißung oder aus Duro- und Thermoplasten spangebend gestaltet werden.

2.5. Verarbeitung der Plaste

2.5.1. Spanlose Verarbeitung

Bei der Verarbeitung der Plaste ergeben sich grob betrachtet folgende Unterteilungen (Grenzgebiete werden dabei nicht besprochen):

Verarbeitung zu Formteilen: Für Duroplaste wird Formpressen und Spritzpressen, für Thermoplaste Spritzgießen und Schlagpressen angewandt.
Verarbeitung zu Halbzeugen: Für Duroplaste im Schichtpreßverfahren zu Platten und anderen flächigen Halbzeugen, für Thermoplaste im Strangpreßverfahren zu Voll- und Hohlprofilen, z. B. durch Blasen und Walzen zu Folien.
In Tabelle 2.5 sind Verfahren zur Herstellung der Formteile und Halbzeuge zusammengestellt.

Werkstoffgerechte Gestaltung der Formteile aus Preßmassen

Das durch die Zusammensetzung der Preßmasse bedingte gute Fließvermögen gestattet es, Formteile mit geringen Wanddicken und komplizierter Gestaltung herzustellen. Die Preßwerkzeuge hierfür sind wegen der erforderlichen Präzision sehr teuer.
Bei der Konstruktion der Plastteile ist es wichtig, keine zu engen Toleranzen zu fordern. Diese können – bedingt durch die beim Erhitzen der Form auftretende Ausdehnung sowie durch das Schwinden der Plaste – nicht in den Grenzen wie bei Metall eingehalten werden. Bei komplizierten Teilen ist das Schwinden nach verschiedenen Richtungen unterschiedlich. Die Tolerierung der Plastformteile erfolgt allgemein nach TGL 22240. Da das Schwinden der einzelnen Preßmassen unterschiedlich ist, muß schon bei der Konstruktion der bestgeeignete Plast festgelegt werden, damit beim Bau des Preß-

Tabelle 2.5: Verfahren zur Herstellung der Plast-Formteile und -Halbzeuge

Verfahren		Beschreibung des Verfahrens	Hauptsächliche Anwendung
Preßverfahren	Formpressen	Die Preßmasse (Pulver, Granulat oder Tabletten) wird in genau dosierter Menge in die beheizte Preßform (160···170 °C) eingefüllt. Die Preßmasse beginnt zu fließen und wird durch den Preßdruck (200···600 kp/cm²) in sämtliche Hohlräume gedrückt. Nach der Aushärtung (auch Back- oder Stehzeit genannt) wird die Form durch Hochfahren des Pressenoberteiles geöffnet und das Fertigstück durch Auswerfer aus der Form gestoßen. Großflächige Formteile werden im Heiß- oder Kaltpreßverfahren auf Niederdruckformpressen (1···10 kp/cm²) hergestellt. Man verwendet dazu vielfach vorimprägnierte Matten oder Matten-Vorformlinge.	zur Fertigung von Formteilen und Schichtstofformteilen (z. B. Karosserieteile) aus duroplastischen Preßmassen (bes. Pheno- und Aminoplaste); für Thermoplaste weniger geeignet, da das Preßwerkzeug jedesmal abgekühlt werden muß, um den Preßling zum Erstarren zu bringen
	Spritzpressen (Transferpressen)	Die Preßmasse wird in einen zum Werkzeug gehörenden Plastizierraum eingefüllt, der über einen düsenartigen Kanal (bzw. Kanäle) mit dem eigentlichen Formhohlraum verbunden ist. Im Plastizierraum wird die Preßmasse in den plastischen Zustand übergeführt und dann durch Kolbendruck in den Formhohlraum eingepreßt, wo auch die Aushärtung erfolgt. Bei diesem Verfahren erhält man Teile mit größter Maßgenauigkeit, und es können auch Metallteile mit eingepreßt werden.	nur für leicht fließbare Preßmassen anwendbar; besonders günstig für dickwandige Teile und Teile mit komplizierten Konturen und Metalleinpressungen sowie für Großserien von Kleinteilen aus Duroplasten; auch für Thermoplaste (z. B. für PVC und Polychlortrifluoräthylen) geeignet
	Schichtpressen	Die mit Harz getränkten Bahnen aus Trägerstoff (Papier, Textilgewebe u. dgl.) werden in mehreren Schichten übereinandergelegt, wobei zur gleichzeitigen Herstellung mehrerer Platten diese durch hochglanzpolierte Preßbleche voneinander getrennt werden. In Etagenpressen, in denen sich mehrere in Etagen übereinander angeordnete beheizte Preßplatten befinden, erfolgt dann durch Druck von etwa 100 kp/cm² die Aushärtung.	zur Herstellung von Schichtpreßstoffen (Phenol-, Harnstoff-, Melamin- und andere Harze als Tränkmittel); zur Oberflächenveredlung bei Faser- und Spanplatten
	Strangpressen (Extrudieren)	In einer Strangpresse (Extruder) wird das Plastmaterial von einer Schnecke oder Doppelschnecke durch einen beheizten Plastizierzylinder bewegt, wobei die Plastifizierung und Verdichtung erfolgt. Den vorderen Abschluß des Plastizierzylinders bildet der beheizte Spritzkopf mit der Austrittsdüse, aus der dann das profilierte Material heraustritt. Wir unterscheiden dabei profilierte Düsen zur Profilherstellung, Breitschlitzdüsen zur Herstellung von Folien und Platten und Schrägspritzkopf- und Ummantelungsdüsen zur Herstellung von Kabelummantelungen. Rohre werden über einen Dorn gepreßt. Das Strangpressen ist ein kontinuierliches und somit sehr wirtschaftliches Verfahren.	vielseitigste Methode zur Verarbeitung von Thermoplasten (z. B. Polyamid, Hart- und Weich-PVC, Polystyrol, Polyäthylen); Herstellung von Halbzeugen (Profile, Rohre, Schläuche, Platten und Folien); Ummantelung von Kabeln; auch Duroplaste (bes. Amino- und Phenoplaste) können durch Strangpressen zu Profilen oder Rohren verarbeitet werden.

Tabelle 2.5 (Fortsetzung)

Verfahren		Beschreibung des Verfahrens	Hauptsächliche Anwendung
Gießverfahren	Gießen	Der gießfähige Plastwerkstoff wird in Formen aus Metall (bei kleineren Stückzahlen auch aus Gips, Holz oder Plast) eingebracht. Bei den kaltaushärtenden Harzen erfolgt in den Formen die drucklose Aushärtung. Bei den heißaushärtenden Gießharzen werden die gefüllten metallischen Formen zum Aushärten (bei etwa 130 °C) in Wärmeaggregate eingebracht.	Herstellung von Formteilen aus duroplastischen Gießharzen (z. B. Polyester- und Epoxidharze) oder auch aus gelierbaren Thermoplasten (hauptsächlich PVC-Pasten)
	Formgießen	In einseitig offene Formen wird hochviskose Plastpaste eingefüllt und durch Erwärmen auf etwa 160···200 °C zum Gelieren und Aushärten gebracht.	Herstellung dickwandiger oder massiver Formteile aus hochviskosen gelierbaren Plastpasten
	Rotationsgießen	In die geöffnete Hohlform wird die genau dosierte gelierbare Plastpaste eingefüllt. Nach dem Schließen der Form wird diese beheizt, und man läßt sie um ihre senk- oder waagerechte Achse rotieren, wodurch die Plastpaste gleichmäßig auf die Formwand verteilt wird und geliert.	vorwiegend für die Fertigung von Hohlkörpern (z. B. Bälle, Schwimmkugeln) aus gelierbaren Plastpasten
	Spritzgießen	Das Spritzgußmaterial (meist ohne Füllstoff) wird in der Plastiziereinheit der Spritzgußmaschine erhitzt und durch mechanischen oder hydraulischen Druck mittels eines Kolbens durch eine Düse in die Form gespritzt (Druck je nach Größe und Gestalt des Formteiles 800···1500 kp/cm²). In der kalten Form bei Thermoplasten bzw. beheizten Form bei Duroplasten erfolgt die Erstarrung bzw. Aushärtung.	wichtigstes Verfahren zur Herstellung unterschiedlichster Formteile aus Thermoplasten; auch Duroplaste können durch Spritzgießen zu Formteilen verarbeitet werden
	Foliengießen	Aus lösbaren Plasten wird eine etwa 15···20 %ige Lösung des Polymeren hergestellt. Sie fließt über eine enge Schlitzdüse auf rotierende beheizte Walzen oder auf ein endloses Metallband, welches sich dann durch einen beheizten Trockenkanal bewegt. Das Lösungsmittel verdunstet, und die dünne glatte Plastschicht (Plastfolie) kann abgelöst und aufgerollt werden.	geeignet zur Folienherstellung aus allen Plasten, die in irgendeinem Lösungsmittel löslich sind und filmbildende Eigenschaften aufweisen
weitere Verfahren	Kalandrieren	Die vorplastizierte Masse wird von den beheizten Kalanderwalzen auf die eingestellte und gewünschte Dicke ausgewalzt. Zur Herstellung geprägter Folien für Dekorationszwecke kann die Abnahmewalze mit einer Gravur versehen sein.	Herstellung von Platten, Fußbodenbelägen, Folien u. ä. aus thermoplastischen Massen
	Vakuum-Tiefziehen	Dieses Verfahren gilt als Weiterbearbeitung. Dünne Tafeln oder Folien werden nach Erwärmung (Erweichung) durch Vakuumeinwirkung in eine Negativ- oder besonders bei großer bzw. unterschiedlicher Ziehtiefe über eine Positivform gezogen.	Fertigung von Behältern, Kühlschrankeinsätzen usw. aus Thermoplasten (z. B. PVC-h, Polystyrol-Mischpolymerisate und Polymethakrylat)
	Extrusionsblasen	Durch Strangpressen hergestellte schlauchförmige Vorformlinge werden von zweiteiligen Werkzeugen umschlossen und durch Druckluft aufgeblasen. Folien können durch das kontinuierliche Aufblasen eines aus einer Ringdüse extrudierten (herausgetriebenen) Schlauches hergestellt werden. Der aus dem Spritzkopf austretende plastische Schlauch wird dabei auf etwa das 3- bis 5fache seines ursprünglichen Umfangs aufgeblasen, wobei sich die Foliendicke mehr oder weniger stark verringert. Man kann auf diese Weise sehr dünne Folien (0,01···0,06 mm) herstellen.	Herstellung von Hohlkörpern (z. B. Flaschen, Fässer, Kanister, Puppenteile); Herstellung von besonders dünnen Plastfolien
	Tauchen	Das Positivmodell (meist erwärmt) wird in die Plastpaste eingetaucht. Nach dem Herausnehmen und Abtropfen wird der noch anhaftende Plastfilm in einem Wärmeaggregat geliert und kann nach dem Erkalten abgestreift werden.	Fertigung von Hohlkörpern (z. B. Schutzhandschuhe, -stiefel, Verpackungshüllen), vorwiegend aus PVC oder Weichgummi
	Beschichten	Eine zähe Lösung oder eine Plastpaste wird in bestimmter gewünschter Dicke auf eine Papier- oder Gewebebahn aufgebracht (mit Spritzpistole, im Tauchverfahren, im Walzenauftragsverfahren). Die so beschichtete Bahn durchläuft anschließend einen Trocken- oder Gelierkanal.	Herstellung von Verpackungsmitteln, Fußbodenbelägen, Kunstleder, Transportbändern usf.
	Kaschieren	Das Aufpressen von Plastfolien auf Metallfolien oder Papier-, Papp- oder Gewebebahnen sowie die Verbindung von Plastfolien miteinander erfolgt z. B. in Platten- bzw. Etagenpressen oder auf Kalandern unter Anwendung von Druck und Wärme.	Fertigung kaschierter Papiere und Kartonagen für Broschüren; Elektroisolierstoffe usw.

Tabelle 2.5. (Fortsetzung)

Verfahren	Beschreibung des Verfahrens	Hauptsächliche Anwendung
Schäumen	Plastschäume werden durch rein physikalisch oder chemisch wirkende Mittel hergestellt, wobei immer die aufblähende Wirkung eines Treibmittels erforderlich ist. Der entstehende Schaum erhält bei Thermoplasten durch Abkühlen, bei Duroplasten durch Aushärtung und bei Kautschukschäumen durch Vulkanisation seine endgültige Form.	Wärme- und Schallisolierungen, Halbzeuge (Platten, Blöcke), Verpackungsmaterial
Flammspritzen und Wirbelsintern	Diese Verfahren dienen zur Herstellung korrosionsbeständiger Schutzüberzüge aus Plast (s. korrosionsbeständige Schutzüberzüge	Aufbringen korrosionsbeständiger Schutzüberzüge auf korrosionsgefährdete Bauteile

werkzeuges die Schwindmaße berücksichtigt werden können. – Die Haltbarkeit von Formteilen ist in hohem Maße von der preßtechnischen Gestaltung abhängig. Infolge der Kantenempfindlichkeit der Plaste sind alle Kanten gut zu verrunden. Querschnittsübergänge sollen allmählich verlaufen, damit Materialstauungen vermieden werden. Da die Härtezeit (Stehzeit) sich nach dem größten Querschnitt richtet, sollen möglichst überall gleiche Wanddicken vorliegen. – Plastteile sollen niemals durch Senkschrauben befestigt werden, da durch die auftretende Sprengwirkung die Festigkeiten der Plaste überschritten werden; vielmehr sind Zylinderschrauben zu verwenden. Bei Bohrungen soll der Randabstand ungefähr das 2- bis 2,5fache des Lochdurchmessers betragen. – Einzupressende Metallteile sind so zu gestalten, daß sie gegen Herausziehen und Verdrehen gesichert sind. Einpressen von Muttern in ein Formteil nach TGL 17480. Wirtschaftlicher ist das Einkleben von Metallteilen, da hierdurch bei der Herstellung der Preßform bedeutende Kosten gespart werden. – Damit das fertige Teil leichter aus der Form herausgehoben werden kann, sollen alle Flächen des Formteiles, die in Richtung auf die Öffnung der Preßform liegen, eine Neigung von etwa 1 % aufweisen.

2.5.2. Spanende Bearbeitung der Plast-Halbzeuge

Allgemeine Richtlinien. Zur Erzielung glatter Oberflächen und unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit sollen Duroplaste – da durch den Füllstoff die Schneidwerkzeuge stark abgestumpft werden – mit Schnellarbeitsstählen, besser noch mit Hartmetall (Qualitäten H 1 und H 2) bearbeitet werden. Scharfe Schneiden sind Bedingung. Schmier- und Kühlmittel sind nicht zu verwenden. Bei Schichtpreßstoffen kann das Trennen der Schichten eintreten; deshalb legt man Platten aus Leichtmetall oder Holz, die mit zerspant werden, bei. Zur Vermeidung zu hoher Temperaturen sind kleine Vorschübe und hohe Schnittgeschwindigkeiten zu wählen.
Im folgenden verwendete Formelzeichen:
α Freiwinkel; γ Spanwinkel; ε Spitzenwinkel; $\varkappa$ Einstellwinkel; λ Neigungswinkel, alle in °; n Drehzahl in min^{-1}; r Spitzenrundungsradius in mm; s Vorschub in mm; v Schnittgeschwindigkeit in m/min.

Drehen. $\alpha = 8°$; $\gamma = 12 \cdots 25°$; $\varepsilon = 80 \cdots 90°$; $\varkappa = 45°$; $\lambda = 0°$; $r = 1$ mm; $v = 80 \cdots 100$ m/min bei $s = 0{,}3 \cdots 0{,}5$ mm für Schnellarbeitsstahl; $v = 200 \cdots 250$ m/min bei $s = 0{,}1$ bis 0,3 mm für Hartmetall.

Fräsen. Normale Fräsmaschinen: $\alpha = 20 \cdots 30°$; $\gamma = 20 \cdots 25°$ $v = 40 \cdots 50$ m/min bei $s = 0{,}5 \cdots 0{,}8$ mm für Schnellarbeitsstahl; $v = 200 \cdots 300$ m/min bei $s = 0{,}5 \cdots 0{,}8$ mm für Hartmetall – *Oberfräsen:* $\alpha = 20 \cdots 30°$; $\gamma = 10 \cdots 15°$; $n = 1200$ min^{-1}; $v = 800 \cdots 1000$ m/min.

Bohren. $\alpha = 6 \cdots 8°$; $\gamma = 10°$; $\varepsilon = 60 \cdots 100°$; Hinterschliff der Schneide 8°; $v = 40 \cdots 50$ m/min bei $s = 0{,}2 \cdots 0{,}4$ mm für Schnellarbeitsstahl; $v = 90 \cdots 120$ m/min bei $s = 0{,}2$ bis 0,4 mm für Hartmetall.

Bis 20 mm Bohrung: Drallbohrer; bis 40 mm Bohrung: Zwischenschneider mit Führungszapfen oder Zapfenbohrern; über 40 mm Bohrung: Kreisschneider mit Führungszapfen.

Allgemeine Regeln. Möglichst Bohrer mit steilem Drall und weiten Nuten verwenden, dabei die Ausdehnung infolge der etwa dreifachen Reibungszahl gegenüber Stahl berücksichtigen (Übermaß 0,05···0,1 mm).

Sägen. Bis 25 mm Werkstoffdicke können Kreissägen benutzt werden. Werkstoffe über 25 mm Dicke werden mit Bandsägen getrennt. Kreissägeblätter, ungeschränkt und hohlgeschliffen, aus Schnellarbeitsstahl: $\alpha = 30 \cdots 40°$, $\gamma = 5 \cdots 8°$, aus Hartmetall: $\alpha = 10 \cdots 15°$, $\gamma = 3°$. Bandsägeblätter, geschränkte Zähne: $\alpha = 30 \cdots 40°$, $\gamma = 5 \cdots 8°$, Zahnteilung 5···7 mm, Blattbreite 15···25 mm, Blattdicke 0,8···1 mm, $v = 1500 \cdots 2000$ m/min.

Schleifen, naß. Schleifscheibenkörnung 40···60, -härte L bis M, Umfangsgeschwindigkeit 28 m/s.

Hobeln. Hartmetallwerkzeuge H_1, H_2 und G_1 mit sehr scharfen Schneiden: $\alpha = 10°$, $\gamma = 15°$, $\lambda = 6°$, $v = 50 \cdots 100$ m/min, $s = 0{,}3 \cdots 0{,}5$ mm.

2.6. Verwendung der Plaste (Beispiele)

Phenoplaste (Phenolharz-Preßmassen, -Schichtpreßstoffe). Typen entsprechend den Füllstoffen geordnet und standardisiert. Formteile und Halbzeuge (Platten, Rohre, Stäbe). Besondere Verwendung in der Elektroindustrie.

Aminoplaste (Harnstoff- und Melaminharz-Preßmassen). Ebenfalls typisiert. Formteile für Technik und Haushalt. Halbzeuge in Form dekorativer Schichtpreßstoffe.

Epoxidharze. Verwendung als Gieß- und Klebharze.

Ungesättigte Polyesterharze. Durch Verwendung von Glasfasern und -geweben in verschiedenen Ausführungen werden Formteile, wie Angelruten, Ruder- und Motorboote, und Halbzeuge (Wellplatten, Profile usw.), gefertigt. Verwendung auch als Gießharz.

Hochdruck-Polyäthylen. Verwendung als Formteile und Hohlkörper sowie als Halbzeug (Folien, Schläuche) und Pulver zum Oberflächenschutz (Flammspritzen, Sintern). Besonders für die Elektroindustrie, Haushaltartikel, Verpackung.

Niederdruck-Polyäthylen. Gleiche Einsatzgebiete wie bei Hochdruck-Polyäthylen. Höhere Temperaturbeständigkeit als dieses.

Polystyrol. Technische Formteile (besonders Elektrotechnik), Haushaltartikel, Halbzeug als Platten, Folien für Elektrotechnik und Verpackung.

Polyvinylchlorid hart (PVC-hart). Verwendung für korrosionsfeste Rohre und Apparate (Gebläse, Gaszähler, Wannen-Abzugshauben, Akkukästen, Verpackungsbehälter). Zeichen- und Meßgeräte, Spielwaren usw.

Polyvinylchlorid weich (PVC-weich). Kabelummantelung, Pumpenmanschetten, Membranen, Schuhabsätze, Formsohlen, Regenbekleidung, Sc[illegible]reschutzstiefel, Tischdecken, Fußbodenbelag usw.

Polyamid (Miramid). Formteile für Industrie und Haushalt, Halbzeuge als Folien, Rohre, Fasern. Wegen der Verschleißfestigkeit Eignung für Gleitlager, Zahnräder.

Silikone. Verwendung als Öle, Fette, Lacke, Gummi. Besondere Kennzeichen sind Temperaturbeständigkeit und wasserabweisende Wirkung.

Plaste als Werkstoffe für Gleitlager

Bereits seit längerer Zeit werden Plastlager mit Erfolg im Austausch gegen Buntmetallager eingesetzt. Es ist jedoch erforderlich, jede Lagerkonstruktion eingehend auf die Umstellmöglichkeit zu überprüfen. Nötigenfalls muß man die Kon-

struktion abändern, um die Eigenschaften der Plaste zu berücksichtigen.

Hinweise für den Einbau der Plastlager

Welle

1. Die Lagerstelle muß zylindrisch sein.
2. Zapfenoberfläche schleifen und möglichst prägepolieren, denn rauhe Oberfläche bewirkt erhöhten Verschleiß.
3. Stahlqualität nicht unter St 60.
4. Oberflächenhärtung ist immer vorteilhaft.

Lager

1. Plastlager müssen satte Auflage haben (Bild 2.1).
2. Die Lagerlänge soll gleich dem Lagerdurchmesser sein (Bild 2.2).

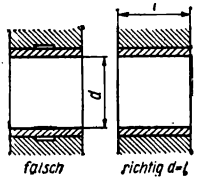


Bild 2.1. Lagerauflage

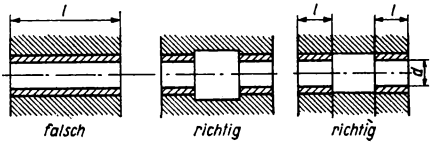


Bild 2.2. Verhältnis Länge – Bohrung

3. Wanddicken nach Herstellervorschrift.
4. Lagerschalen und Buchsen mit Bund möglichst vermeiden (Anlaufbund separat anordnen).
5. Hohlkehle darf nicht tragen (Gefahr des Heißlaufens).
6. Buchsen stets einpressen, niemals einschlagen (Einpreßseite anfasen).
7. Einpreßübermaße nach Herstellervorschrift.
8. Beim Einpressen Lagerspiel beachten (Verengung gleich Einpreßübermaß).
9. Lagerspiel (Tabelle 2.6) größer halten als bei Metallagern (eventuelle Quellung in Rechnung setzen).

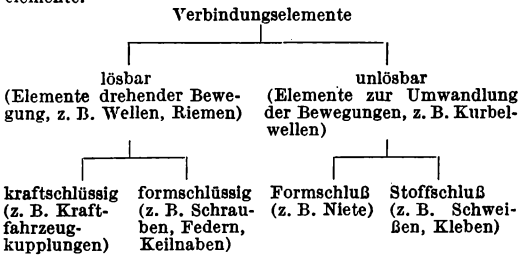
Tabelle 2.6: Empfohlene Lagerspiele

Wellendurchmesser in mm	Lagerspiel in % vom Wellendurchmesser bei Öl- und Fettschmierung	bei Wasser- und Emulsionsschmierung
bis 50	0,5···0,6	0,85
50··· 80	0,5	0,7
80···120	0,4	0,6
120···250	0,3	0,45
250···500	0,25	0,35

10. Bei formgepreßten Lagern Preßhaut entfernen, sonst schlechte Schmierfilmbildung.
11. Schmiernuten in der drucklosen Zone anbringen und Kanten mit großem Radius verrunden, sonst Schmierfilm-Unterbrechung möglich) Folge: Herabsetzung der Tragfähigkeit).
12. Schmiernuten bei geteilten Lagern in Teilfuge als Tasche anbringen und ohne fühlbaren Übergang auslaufen lassen (gute Schmierfilmbildung, hohe Tragfähigkeit).
13. Schmierung durch Fett, Öl und Emulsion. Reichliche Schmiermittelzuteilung zur Abführung der Reibungswärme. Wasserschmierung nur in Ausnahmefällen.
14. Einlaufen hochbelasteter Lager ohne Last 48 h unter Zusatz kolloidaler Graphitsuspensionen zweckmäßig.
15. Vor Einbau Ölbehandlung (24 h bei 90 °C) vorteilhaft.
16. Dauer-Betriebstemperatur nicht über 90 °C. Höhere Temperaturen zerstören den Füllstoff.

3. Maschinenelemente

Bild 3.1 zeigt die gebräuchliche *Einteilung* der Maschinenelemente.



3.1. Wellen, Keile, Federn, Kreisbewegung, Riemen- und Zahnradtriebe

In Tabelle 3.1 sind Kennwerte für Wellen, in Tabelle 3.2 für Längskeile, in Tabelle 3.3 für STAUFFERbuchsen und in Tabelle 3.4 für Scheibenfedern enthalten. Alle Werte sind nur für den Kfz-Bau zugelassen.

Bild 3.1 Einteilung der Maschinenelemente

Tabelle 3.1: Wellendurchmesser und übertragene PS *bzw.* kW

n	Leistung in PS																		
	1	2	3	4	5	8	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	180	200
	Leistung in kW																		
	0,74	1,5	2,2	2,9	3,7	5,9	7,4	11,0	14,7	22,1	29,4	36,8	44,2	58,9	73,6	88,3	103,0	117,8	132,5	147,2
min^{-1}	Wellendurchmesser in mm																			
60	45	55	60	65	65	75	80	85	95	105	110	115	120	130	140	145	150	155	160	170
80	45	50	55	60	75	70	75	80	85	95	105	110	115	120	130	135	140	145	150	155
100	40	50	50	55	60	65	70	75	85	90	100	105	110	115	120	130	135	135	140	145
120	40	45	50	55	55	65	65	75	80	85	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
140	35	45	50	50	55	60	65	70	75	85	90	95	100	105	115	120	120	125	130	135
160	35	40	45	50	55	60	60	70	75	80	85	90	95	105	110	115	120	120	125	130
180	35	40	45	50	50	55	60	65	70	80	85	90	95	100	105	110	115	120	120	125
200	35	40	45	50	50	55	60	65	70	75	85	85	90	100	105	110	110	115	120	120
250	35	40	40	45	50	55	55	60	65	70	80	85	85	95	100	100	105	110	115	115
300	30	35	40	45	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	100	105	110	110
400	30	35	40	40	45	50	50	55	60	65	70	75	75	85	85	90	95	100	100	105

Erläuterungen zu Tabelle 3.1:
Verdrehungsbeanspruchung im Mittel $\tau_t = 120\ kp/cm^2 = 1{,}2\ kp/mm^2$, 1 PS = 0,736 kW

Tabelle 3.2: Längskeile

Bild	Wellendurchmesser über mm	I Hohlkeile b	I Hohlkeile h	II Flachkeile b	II Flachkeile h	III Nuten- oder Einlegekeile b	III Nuten- oder Einlegekeile h	III Nuten- oder Einlegekeile t	IV Tangentialkeile für stoßartigen Wechseldruck Welle	IV Tangentialkeile für stoßartigen Wechseldruck b	IV Tangentialkeile für stoßartigen Wechseldruck h
		mm		mm		mm			mm		
I	10··· 12	—	—	—	—	4	4	2,4			
	12··· 17	—	—	—	—	5	5	2,9			
	17··· 22	—	—	—	—	6	6	3,5	100	30	10
	22··· 30	8	3,5	8	5	8	7	4,1	110	33	11
	30··· 38	10	4	10	6	10	8	4,7	120	36	12
II	38··· 44	12	4	12	6	12	8	4,9	130	39	13
	44··· 50	14	4,5	14	6	14	9	5,5	140	42	14
	50··· 58	16	5	16	7	16	10	6,2	150	45	15
	58··· 65	18	5	18	7	18	11	6,8	160	48	16
	65··· 75	20	6	20	8	20	12	7,4	170	51	17
	75··· 85	22	7	22	9	22	14	8,5	180	54	18
III	85··· 95	25	7	25	9	25	14	8,7	190	57	19
	95···110	28	7,5	28	10	28	16	9,9	200	60	20
	110···130	32	8,5	32	11	32	18	11,1	210	63	21
	130···150	36	9	36	12	36	20	12,3	220	66	22
	170···200	—	—	45	16	38	25	15,3	230	69	23
IV									240	72	24

Tabelle 3.3: Stauferbuchsen

Buchsen-Nr.	Kapsel-durchmesser mm	Gewindezapfen Gasrohrgewinde "	Für Wellen-durchmesser mm
2	22	1/4	20
3	30	1/4	30
4	40	1/4	45
5	50	1/4	60
6	60	1/4	80
7	70	3/8	100
8	85	3/8	125
9	100	3/8	150
10	125	1/2	200

Verhältnis von Halbmesser und Sehne (Bild 3.2 und Tabelle 3.5): $b = (r\pi\beta)/180$; $\beta = 180b/(r\pi)$; $r = 180b/(\beta\pi)$;

$s = \sqrt{8rh - 4h^2}$; $h \approx r - \sqrt{r^2 - 0{,}25\,s^2}$.

Bei standardisierten Flanschen liegen die Schraubenbohrungen symmetrisch zu beiden Hauptachsen. Ihre Anzahl ist durch 4 teilbar.

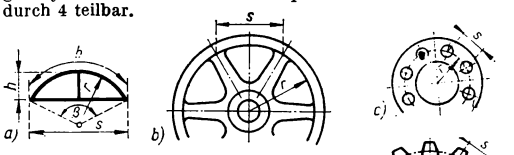


Bild 3.2 Anreiß- und Modellbauwerte

In Bild 3.2d ist r der Halbmesser des Teilkreises, in Bild 3.2c Halbmesser des Lochkreises. In Tabelle 3.5 bedeuten n Anzahl der Arme, Zähne, Bohrungen; s Länge der Sehne.

Tabelle 3.5: Verhältnis von Halbmesser und Sehne

n	s	n	s	n	s
3	1,732 r	14	0,445 r	25	0,251 r
4	1,414 r	15	0,416 r	26	0,241 r
5	1,176 r	16	0,390 r	27	0,2332 r
6	1,000 r	17	0,368 r	28	0,2238 r
7	0,868 r	18	0,347 r	29	0,2162 r
8	0,765 r	19	0,329 r	30	0,2091 r
9	0,684 r	20	0,313 r	31	0,2023 r
10	0,618 r	21	0,298 r	32	0,1960 r
11	0,563 r	22	0,285 r	33	0,1900 r
12	0,518 r	23	0,272 r	34	0,1844 r
13	0,479 r	24	0,261 r	35	0,1792 r

Beispiel: Bei dem Modell eines Rades mit 7 Armen und r = 1300 mm wird $s = 0{,}868\,r = 0{,}868 \cdot 1300$ mm = 1128,4 mm.

Berechnung des regelmäßigen Vielecks (Bild 3.3, Tabelle 3.6): n Seitenzahl; d Durchmesser des einbeschriebenen Kreises; D Durchmesser des umbeschriebenen Kreises; A Vieleckfläche.

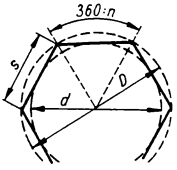


Bild 3.3 n-Eck

Tabelle 3.4: Scheibenfedern

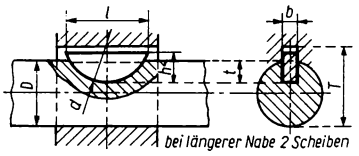


Bild	D über	b	h	l	t	d	$T = D +$
	3···4	1	1,4	3.82	1,0	.4	0,6
	4···6	1,5	2,6	6,76	2,0	7	0,8
	6···8	2	2,6	6,76	1,8	7	1
		2	3,7	9,66	2,9	10	1
	8···10	2,5	3,7	9,66	2,9	10	1
		3	3,7	9,66	2,5	10	1,4
		3	5	12,65	3,8	13	1,4
		4	5	12,65	3,5	13	1,7
	10···12	4	6,5	15,72	5,0	16	1,7
		4	7,5	18,57	6,0	19	1,7
		5	6,5	15,72	4,5	16	2,2
	12···17	5	7,5	18,57	5,5	19	2,2
		5	9	21,63	7,0	22	2,2
		6	7,5	18,57	5,1	10	2,6
	17···22	6	9	21,63	6,6	22	2,6
		6	10	24,49	7,6	25	2,6
		6	11	27,36	8,6	28	2,6
		8	9	21,63	6,2	22	3,0
	22···30	8	11	27,35	8,2	28	3,0
		8	13	31,43	10,2	32	3,0
		10	11	27,35	7,8	28	3,4
	30···38	10	13	31,43	9,8	32	3,4
		10	16	43,08	12,7	45	3,4

Welle D in mm
Keillänge l in mm
Keilbreite b in mm
Keilhöhe h in mm
Scheibe d in mm
Nuttiefe t in mm

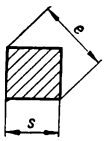
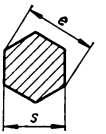
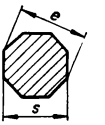
Billige, genaue Keilverbindung, die keiner Nacharbeit bedarf. Bei längeren Naben können zwei oder mehr Keile genommen werden.

b = 2,5 mm nur für Kraftfahrzeugbau

Tabelle 3.6: Seiten und Flächen von regelmäßigen Vielecken

n	Gesucht								
	Seite s		Inkreis d		Umkreis D		Fläche A		
3	0,866 D	1,732 d	0,500 D	0,578 s	2,000 d	1,154 s	0,325 D^2	1,299 d^2	0,433 s^2
4	0,707 D	1,000 d	0,707 D	1,000 s	1,414 d	1,414 s	0,500 D^2	1,000 d^2	1,000 s^2
5	0,588 D	0,727 d	0,809 D	1,376 s	1,236 d	1,702 s	0,595 D^2	0,908 d^2	1,721 s^2
6	0,500 D	0,578 d	0,866 D	1,732 s	1,155 d	2,000 s	0,649 D^2	0,866 d^2	2,598 s^2
7	0,434 D	0,482 d	0,901 D	2,076 s	1,110 d	2,304 s	0,684 D^2	0,843 d^2	3,635 s^2
8	0,383 D	0,414 d	0,924 D	2,414 s	1,082 d	2,614 s	0,707 D^2	0,829 d^2	4,828 s^2
9	0,342 D	0,364 d	0,940 D	2,748 s	1,064 d	2,924 s	0,723 D^2	0,819 d^2	6,182 s^2
10	0,309 D	0,325 d	0,951 D	3,078 s	1,051 d	3,236 s	0,735 D^2	0,812 d^2	7,694 s^2
11	0,282 D	0,294 d	0,960 D	3,406 s	1,042 d	3,550 s	0,744 D^2	0,808 d^2	9,364 s^2
12	0,259 D	0,268 d	0,966 D	3,732 s	1,035 d	3,864 s	0,750 D^2	0,804 d^2	11,196 s^2
16	0,195 D	0,199 d	0,981 D	5,028 s	1,020 d	5,126 s	0,766 D^2	0,796 d^2	20,11 s^2

Tabelle 3.7: Verhältnis von Flachkant und Spitzkant

Vierkant				Sechskant				Achtkant			
											
$e = 1{,}4142\ s$				$e = 1{,}1547\ s$				$e = 1{,}08238\ s$			
s	e	s	e	s	e	s	e	s	e	s	e
1	1,414	27	38,184	1	1,155	27	31,177	1	1,082	27	29,225
3	4,243	32	45,255	3	3,464	32	36,951	3	3,247	32	34,636
4	5,657	36	50,912	4	4,619	36	41,570	4	4,330	36	38,966
5	7,071	41	57,983	5	5,774	41	47,343	5	5,412	41	44,378
6	8,485	46	65,054	6	6,928	46	53,117	6	6,494	46	49,790
8	11,314	50	70,711	8	9,238	50	57,736	8	8,659	50	54,120
9	12,728	55	77,782	9	10,392	55	63,509	9	9,742	55	59,531
11	15,556	60	84,853	11	12,702	60	69,283	11	11,906	60	64,943
14	19,799	65	91,924	14	16,166	65	75,056	14	15,153	65	70,355
17	24,042	70	98,995	17	19,630	70	80,830	17	18,401	70	75,767
19	20,870	75	106,07	19	21,939	75	86,603	19	20,565	75	81,179
22	31,112	80	113,14	22	25,404	80	92,377	22	23,813	80	80,591

1. Beispiel: Die Flächeninhalte eines Fünfecks und eines Zehnecks von gleichem Spitzkant verhalten sich wie

$0{,}595\ D^2 : 0{,}735\ D^2 = 0{,}595 : 0{,}735 = 595 : 735 = 1 : \frac{735}{595} =$

$= 1 : 1{,}235.$

2. Beispiel: Zum Fräsen eines Sechskants mit $d = 68$ mm Schlüsselweite ist erforderlich Rundstahl mit $D = 1{,}555\ d =$ $= 1{,}155 \cdot 68$ mm $= 78{,}54$ mm.

3. Beispiel: 1 m Achtkantstahl von $s = 21$ mm Kantenlänge hat den Querschnitt $A = 4{,}828\ s^2 = 4{,}828 \cdot (2{,}1\ \text{cm})^2 =$ $= 4{,}828 \cdot 4{,}41\ \text{cm}^2 = 21{,}29\ \text{cm}^2$.
Rauminhalt $V = Al = 21{,}29\ \text{cm}^2 \cdot 100\ \text{cm} = 2129\ \text{cm}^3$.
Masse $m = V\varrho = 2129\ \text{cm}^3 \cdot 7{,}85\ \text{g/cm}^3 = 16\,712{,}65\ \text{g} \approx$ $\approx 16{,}7$ kg (ϱ Dichte).

Tabelle 3.7 gibt das Verhältnis zwischen Flachkant (Schlüsselweite) und Spitzkant (Eckenmaß) wieder.

Kreisbewegung (Bild 3.4): d Durchmesser in m; $r = d/2$ Radius in m; n Drehzahl der Kreisscheibe in Umdr./min.
Jeder Punkt p des Umfanges hat die *Umfangsgeschwindigkeit*

$$v = \frac{\pi d n}{60} = \frac{\pi r n}{30} \text{ in m/s.}$$

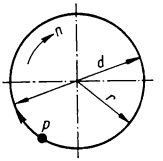


Bild 3.4 Kreisbewegung

Bezieht man die Umfangsgeschwindigkeit auf den Radius $r = 1$, so erhält man die *Winkelgeschwindigkeit*

$$\omega = \frac{\pi n}{30}.$$

Für einen beliebigen Radius r ergibt sich damit die Umfangsgeschwindigkeit $v = r\omega$.
Riemen- und Seiltriebe (Bild 3.5): Umfangsgeschwindigkeit muß für beide Scheiben gleich sein, also

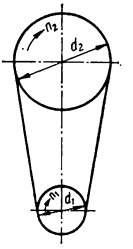
$$v_1 = v_2$$

$$\frac{\pi d_1 n_1}{60} = \frac{\pi d_2 n_2}{60},$$

$$d_1 n_1 = d_2 n_2$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}.$$

Bild 3.5. Riementrieb



Als *Übersetzung* i bezeichnet man technisch das Verhältnis $n_1 : n_2$ in Richtung des Kraftflusses:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2}.$$

$i = 3 : 1$ ist eine Übersetzung ins Langsame,
$i = 1 : 3$ ist eine Übersetzung ins Schnelle.
Der Begriff »Untersetzung« ist zu vermeiden.
Beispiel: Gegeben: $d_1 = 200$ mm Dmr.; $n_1 = 1400$ Umdr./min; $i = 4 : 1$.
Gesucht: n_2; d_2

Lösung:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{4}{1},$$

$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{1400\ \text{Umdr./min} \cdot 1}{4} = 350\ \text{Umdr./min},$$

$$d_1 n_1 = d_2 n_2, \quad d_2 = d_1 \frac{n_1}{n_2} = d_1 i = 200\ \text{mm}\ \frac{4}{1},$$

$$d_2 = 800\ \text{mm Dmr.}$$

Bei *Flachriemen* gilt für Überschlagsrechnung: $P = 0{,}2\ Av$. Hierbei ist P übertragbare Leistung in PS; A Riemenquerschnitt in cm²; v Umfangsgeschwindigkeit in m/s.
Den kleinen Scheibendurchmesser wähle man möglichst groß, um höhere Lebensdauer des Riemens zu erzielen. Zulässige Umfangsgeschwindigkeiten $v = 10$ bis etwa 35 m/s je nach Riemengüte.

Zahnräder (s. a. Bilder 5.158, 5.160 und Bilder in Tabelle 5.2, Abschnitt Technisches Zeichnen)

Bild 3.6 verdeutlicht die *Bezeichnungen am Zahnrad*. Es bedeuten: t Teilung; s Zahndicke; l Zahnlücke; z Zähnezahl.

Für rohe Zähne ist $l = \frac{41}{40}\ t$; $\quad s = \frac{19}{40}\ t$.

Für bearbeitete Zähne ist $l = \frac{41}{80}\ t$; $\quad s = \frac{39}{80}\ t$.

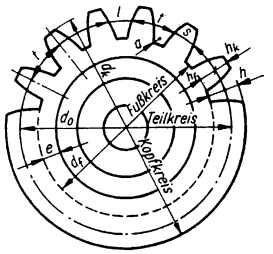


Bild 3.6.
Bezeichnungen am Zahnrad

Tabelle 3.8 enthält Größen zur *Zahnradberechnung* bei Modul-Teilung und mm-Teilung.

Tabelle 3.8: Größen zur Zahnradberechnung

	Modul-Teilung	mm-Teilung
Zahnhöhe	$h = \frac{13}{6} \cdot$ Modul $= 2{,}166$ Modul	$h = 0{,}7t$
Zahnkopf	$h_k = \frac{6}{6} \cdot$ Modul $= 1 \cdot$ Modul	$h_k = 0{,}3t$
Zahnfuß	$h_f = \frac{7}{6} \cdot$ Modul $= 1{,}166 \cdot$ Modul	$h_f = 0{,}4t$
Fußrundung	$a = \frac{1}{6} \cdot$ Modul $= 0{,}166 \cdot$ Modul	$a = 0{,}05t$

Kopfkreis $d_k = (z + 2)\, m = d_0 + 2m$;
Teilkreisdurchmesser d_0 = Zähnezahl × Modul;

Modul $m = \frac{\text{Teilung}}{\pi} = \frac{t}{\pi}$; $m = \frac{d_k}{z+2}$.

Bei $t = 6\pi$ nennt man 6 den Modul (s. Tabelle 3.9).
Beispiel: Gegeben: $d_0 = 90$ mm; $z = 15$.
Gesucht: $t = ?$; $l = ?$ mm;
$s = ?$ mm; $a = ?$ mm; $h_f = ?$ mm; $h_k = ?$ mm; $h = ?$ mm.
Lösung:

Modul-Teilung	mm-Teilung
$t = \frac{\pi d_0}{z} = \frac{90\,\pi}{15} = 6\pi$,	$t = 6\pi = 18{,}85$ mm,
$l = \frac{21}{40} \cdot 6\pi = 3{,}15\,\pi$,	$l = 3{,}15\pi = 9{,}90$ mm,
$s = \frac{19}{40} \cdot 6\pi = 2{,}85\,\pi$,	$s = 2{,}85\pi = 8{,}95$ mm,
$a = 0{,}166 \cdot 6 = 1$ mm,	$a = 0{,}05 \cdot 18{,}85$ mm ≈ 1mm,
$h_f = 1{,}166 \cdot 6 = 7$ mm,	$h_f = 0{,}4 \cdot 18{,}85$ mm $\approx 7{,}5$ mm,
$h_k = 1 \cdot 6 = 6$ mm,	$h_k = 0{,}3 \cdot 18{,}85$ mm $\approx 5{,}7$ mm,
$h = 2{,}166 \cdot 6 = 13$ mm.	$h = 0{,}7 \cdot 18{,}85$ mm $\approx 13{,}2$ mm.

Armzahl $= \frac{1}{7}\sqrt{d_0}$ (d_0 in mm),

Zahnbreite $= (2 \cdots 3)t \approx (6 \cdots 10) \cdot$ Modul, für hohe Umlaufzahlen $(3 \cdots 5)t$ (bis 15 *m*),

Kranzdicke $e = 1{,}6 \cdot$ Modul
Nabendurchmesser $= 2 \cdot$ Bohrung $+ 5$ mm
} bei Stahlguß und Bronze etwas schwächer.

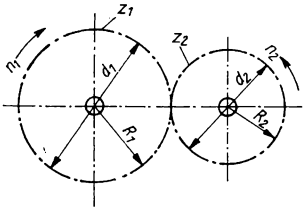


Bild 3.7. Zahnradtrieb

Zahnradtrieb (Bild 3.7)

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1},$$

wobei z_1 und z_2 Zähnezahlen; ω Winkelgeschwindigkeit.

Beispiel: Gegeben: $d_1 = 504$ mm; $z_1 = 84$; $d_2 = 168$ mm.
Gesucht: $z_2 = ?$
Lösung:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2},$$

$$d_1 z_2 = d_2 z_1,$$

$$z_2 = \frac{d_2\, z_1}{d_1},$$

$$z_2 = \frac{168\text{ mm} \cdot 84}{504\text{ mm}} = 28.$$

$z_2 = 28$ Zähne muß das kleine Zahnrad erhalten.

Übersetzung $i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{28}{84} = \frac{1}{3}$ oder 1 : 3.

Doppelübersetzung (Bild 3.8)

$$i_1 = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}; \quad i_2 = \frac{n_3}{n_4} = \frac{d_4}{d_3}; \quad i = i_1 \cdot i_2 = \frac{d_2}{d_1}\frac{d_4}{d_3} = \frac{z_2}{z_1}\frac{z_4}{z_3}.$$

$$n_1 = \frac{z_2\, z_4\, n_4}{z_1\, z_3} \text{ (gesucht } n_1\text{)},$$

$$n_4 = \frac{z_1\, z_3\, n_1}{z_2\, z_4} \text{ (gesucht } n_4\text{)},$$

$$z_1 = \frac{n_4\, z_2\, z_4}{z_3\, n_1} \text{ (gesucht } z_1\text{)},$$

$$z_2 = \frac{n_1\, z_1\, z_3}{z_4\, n_4} \text{ (gesucht } z_2\text{)},$$

$$z_3 = \frac{n_4\, z_2\, z_4}{z_1\, n_1} \text{ (gesucht } z_3\text{)},$$

$$z_4 = \frac{n_1\, z_1\, z_3}{z_2\, n_4} \text{ (gesucht } z_4\text{)}.$$

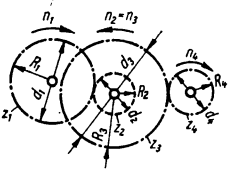


Bild 3.8. Doppelübersetzung

Tabelle 3.9: Modulreihe (nach TGL 15004)

Reihe 1	Teilung	Reihe 1	2	Teilung	Reihe 1	2	Teilung	Reihe 1	2	Teilung
0,05	0,157	1		3,142		5,5	17,279	25		78,540
0,06	0,188	1,25		3,927	6		18,850		28	87,965
0,08	0,251	1,5		4,712		7	21,991	32		100,531
0,1	0,314		1,75	5,498	8		25,133		36	113,097
0,12	0,377	2		6,283		9	28,274	40		125,664
0,15	0,471		2,25	7,069	10		31,416		45	141,372
0,2	0,628	2,5		7,854		11	34,558	50		157,080
0,25	0,785		2,75	8,639	12		37,699		55	172,783
0,3	0,942	3		9,425		14	43,983	60		188,496
0,4	1,257		3,5	10,996	16		50,265		70	219,912
0,5	1,571	4		12,566		18	56,549	80		251,327
0,6	1,885		4,5	14,137	20		62,832		90	282,743
0,8	2,513	5		15,708		22	69,115	100		314,159

Übrige Werte sind gegeben oder anzunehmen.

Größte Umfangsgeschwindigkeit für Zahnräder: Grauguß, Stahl 5 m/s; Phosphorbronze 8 m/s; Sondermessing 9 m/s; Rohhaut mit Eisen 11 m/s.

Schnecke und Schneckenrad (Bild 3.9)

z_2 Zähnezahl des Schneckenrades, z_1 Gangzahl der Schnecke, ein- oder mehrgängig, n_1 Umlaufszahl der treibenden Welle, n_2 Umlaufszahl der getriebenen Welle.

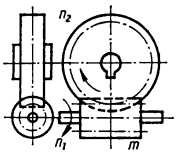


Bild 3.9. Schnecke mit Schneckenrad

Der Schneckentrieb wird besonders für große Übersetzungen gewählt. Größte Übersetzung $\approx 1:50$. Das Übersetzungsverhältnis eines Schneckentriebes ist:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}; \quad z_2 = \frac{n_1 z_1}{n_2}.$$

In Tabelle 3.10 sind Größen des Schneckentriebs zusammengestellt.

Tabelle 3.10: Schneckentriebsgrößen

Größe	Formelzeichen	Schnecke	Schneckenrad
Modul	m	$t:\pi$	$t:\pi$
Steigungswinkel	α	üblich 15° oder 20°	
Achsteilung	t	πm	πm
Teilkreisdmr.	d_2	$> 2m(1{,}4 + 2\sqrt{z_1})$	$z_2 \cdot t/\pi = mz_2$
Kopfkreisdmr.	d_a	$d_{01} + 2m$	$d_{02} + 2m$
Fußkreisdmr.	d_f	$d_{01} - 2m \cdot 1{,}16$	$d_{02} - 2m \cdot 2{,}16$
Steigung	H	$z_1 t = z_1 m\pi$	—
Schneckenlänge	L	$> 2(1 + \sqrt{z_2})m$	—

3.2. Niete und Nietverbindungen

Tabelle 3.11 enthält Kennwerte verschiedener Nietarten, Tabelle 3.12 Nietschaftdurchmesser bei Überlappungsnietungen. Die Bilder 3.10···3.15 zeigen verschiedene Nietverbindungen.

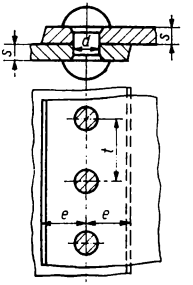


Bild 3.10. Einreihige Überlappungsnietung
$t = 2d + 8$ mm; $e = 1{,}5d$

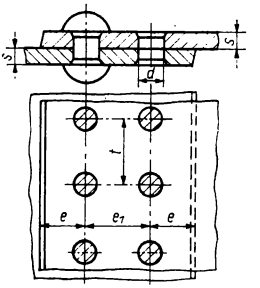


Bild 3.11. Zweireihige Parallel-Überlappungsnietung
$t = 2{,}6d + 10$ mm;
$e = 1{,}5d$; $e_1 = 0{,}8t$

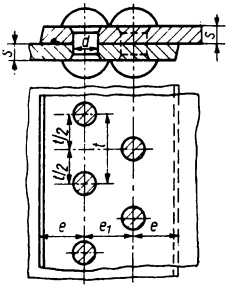


Bild 3.12. Zweireihige Zickzack-Überlappungsnietung
$t = 2{,}6d + 15$ mm; $e = 1{,}5d$;
$e_1 = 0{,}6t$

*Tabelle 3.11: Kennwerte verschiedener Nietarten *)*

Allgemeine Werte					Halbrundniete für Kesselbau (nach TGL 0-123)				Halbrundniete für Stahlbau (nach TGL 0-124)				Senkniete (nach TGL 0-302)			Halbversenkniete (übliche Ausführung)				
d	d_1	D_1	w	α	D	k	r_1	r_2	D	k	r	t	$D \approx$	k	$r \approx$	$D_2 \approx$	H	k	r	r_2
10	11	14,5	1		18	7	9,5	1	16	6,5	8	2,3	14,5	3	27	18	4,5	3	16	3
12	13	18	1		22	9	11	1,6	19	7,5	9,5	3,3	18	4	41	23	5	4	26,5	3,5
16	17	26	1	75°	28	11,5	14,5	2	25	10	13	5,9	26	6,5	85	26	6,5	6,5	29	4
20	21	31,5	1		36	14	18,5	2	32	13	16,5	9,1	31,5	10	124,5	31,5	6,5	10	41,5	4
22	23	34,5	2		40	16	20,5	2	36	14	18,5	10	34,5	11	75,5	34,5	7	11	50,5	4
24	25	38	2	60°	43	17	22	2,5	40	16	20,5	11,3	38	12	91	38	7,5	12	60	4,5
27	28	42	2		48	19	24,5	2,5	43	17	22	12,2	42	13,5	111	42	10,5	13,5	47,5	6
30	31	42,5	2	45°	53	21	27	3	48	19	24,5	13,9	42,5	15	114	42,5	10,5	15	62,5	6,5
36	37	51	2		64	25	33	4	58	23	30	16,9	51	18	164	51	12,5	18	80	7,5

*) Niete unter 10 mm Dmr., Werkstoff Kupfer, Messing, Aluminium: Halbrund-, Senk-, Linsen-, Flachrund- und Riemenniete (Flachsenkkopf).

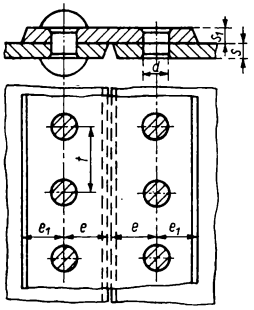


Bild 3.13. Einreihige Laschennietung
$t = 2d + 8$ mm; $e = 1{,}5d$;
$s_1 = s + (0{,}5 \cdots 2)$ mm;
$e_1 = 0{,}9e$

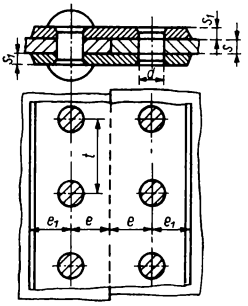


Bild 3.14. Einreihige Doppellaschennietung
$t = 2{,}6d + 10$ mm;
$s_1 = 0{,}63 \cdots 0{,}67s$

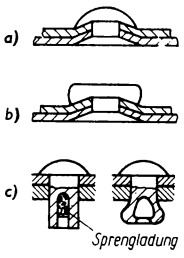


Bild 3.15, Verschiedene Nietarten
a) Pilzkopfniet, b) Flachkopfniet,
c) Sprengniet für unzugängliche Rückseite, explodiert (bei ≈200 °C) nach Erwärmung mit Nietwerkzeug

In Tabelle 3.11 bedeuten: d Rohnietdurchmesser in mm; d_1 geschlagener Niet (Lochdurchmesser); w Rundungshöhe in mm; k Kopfhöhe in mm; D Kopfdurchmesser in mm; r Kopfrundung in mm; r_2 Schaftausrundung in mm; α Senkwinkel in °; t Senktiefe in mm.

Tabelle 3.12: Nietschaftdurchmesser bei Überlappungsnietungen

Blechdicke in mm	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
Nietdurchmesser in mm	14	14	16	16	20	20	22	27	27	30	30	30	30	36	36	36

Bei *Doppellaschennietungen* wird der Nietdurchmesser je Nietreihe 1 mm kleiner. Zu vernietende *Leichtmetallbleche* erhalten für Dichtungen Gewebestreifen als Zwischenlage.

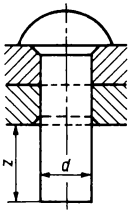


Bild 3.16. Nietlängenzugabe

Nietlängenzugabe für den Schließkopf (Bild 3.16): Die Zugabe für den Schließkopf allein beträgt im Mittel: $z = 1{,}5\,d$. Tabelle 3.13 enthält Mittelwerte der Zugabe für Schließkopf und Ausfüllung des Nietloches.

Tabelle 3.13: Nietlängenzugabe

Niet-durchmesser d mm	Zugabe z für Kesselniet mm	Bauniet mm	Senkniet mm
10	20	17	10
12	23	19	12
14	25	22	14
16	28	25	16
18	31	28	18
20	33	31	21
22	36	33	22
24	39	36	24
27	44	41	27
30	49	46	30
33	54	51	33
36	59	56	36

Klemmlängen

Die größten Klemmlängen für Niete sind Tabelle 3.14 zu entnehmen. Bei größeren Klemmlängen sind Schrauben entsprechend den Paßschrauben für Stahlkonstruktionen zu verwenden.

Tabelle 3.14: Klemmlängen (nach TGL 0-124)

Nietloch-durchmesser d mm	Klemmlänge für Halbrundniet $0{,}2 \cdot d^2$ mm
13	34
17	58
21	88
23	106
25	125
28	157
31	192

In Tabelle 3.15 sind Niet- und Schraubenabstände zusammen gestellt.

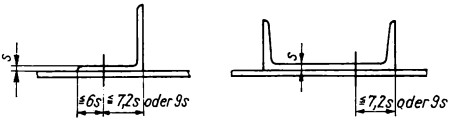


Bild 3.17

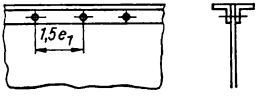


Bild 3.18

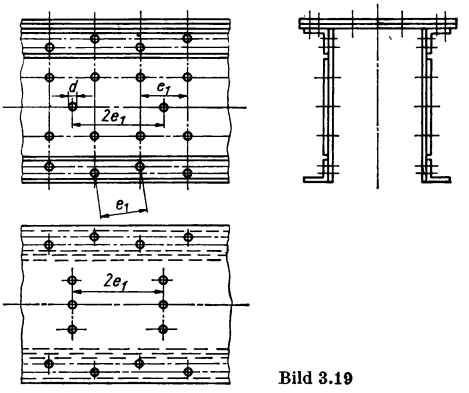


Bild 3.19

Tabelle 3.15: Niet- und Schraubenabstände

Größe	Bemerkung	Hochbau, Kranbau	Brückenbau, chemische Industrie
kleinster Randabstand	in Kraftrichtung	$2d$	
	senkrecht zur Kraftrichtung	$1{,}5d$	
größter Randabstand	allgemein	$3d$ oder $6s$	
	bei Stab- und Formstählen am versteiften Rand (s. Bild 3.17)	$3d$ oder $9s$	$3d$ oder $7{,}2s$
kleinster Lochabstand	allgemein	$3d$	
größter Lochabstand e_1	Kraftniete	$8d$ oder $15s$	$6d$ oder $12s$
	Heftniete im Druckbereich	$8d$ oder $15s$	$7d$ oder $14s$
	Niete in Stegaussteifung und langen Anschlüssen mit Querkraft		$8{,}5d$ oder $17s$
	Heftniete im Zugbereich	$12d$ oder $25s$	$10d$ oder $20s$
	Randniete von Buckel- oder Tonnenblechen und von hochbelasteten Belagblechen		$5d$ oder $10s$ $6d$ oder $12s$
	Randniete von gering belasteten Belagblechen	$18d$ oder $50s$	—
größter Lochabstand	wenn alle außenliegenden Teile Formstähle sind (s. Bild 3.18)		$1{,}5e_1$
	in den inneren Reihen mehrreihiger Nietung (s. Bild 3.19)		$2e_1$

3.3. Schrauben und Gewinde

Schrauben

Schraubenverbindungen bewirken durch Anziehen der Muttern oder Schrauben Zugspannungen im Schraubenschaft und Druckspannungen im umgebenden Werkstoff (Bild 3.20). Die Schraube wird elastisch verlängert, und die verschraubten Teile werden elastisch verkürzt. Dadurch entsteht die Vorspannkraft oder Vorspannung. Solange die Schraubenverbindungen im Bereich der Vorspannkraft axial beansprucht werden, lockern sie sich nicht. Wenn die verschraubten Bauteile durch Setzen (Eindrücken der Oberflächenrauhigkeiten in den Anlageflächen, Nachlassen der Spannkräfte in Dichtungen) ihre Vorspannung verlieren, können sich Muttern und Schrauben durch Erschütterungen lockern und lösen.

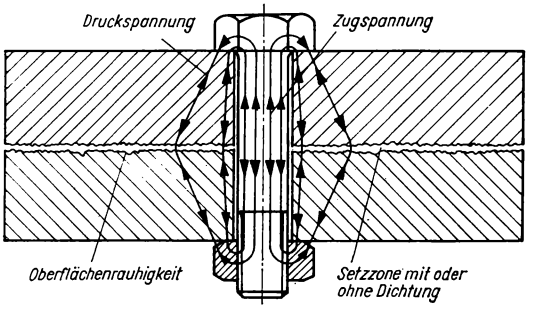


Bild 3.20. Schraubenverbindung

Folgerungen:

a) Dynamische, axiale Beanspruchungen erfordern keine Schraubensicherungen, solange die Vorspannkraft erhalten bleibt.

b) Dynamische Beanspruchungen quer zur Achsrichtung erfordern Sicherungen, wenn die Schubkräfte die verspannten Teile gegeneinander bewegen oder zu kleine Vorspannung ($\sigma_V = 0$) vorhanden ist.

Empfehlungen: Auflageflächen schleifen, wenige Trennflächen vorsehen, Werkstoffpaarungen unterschiedlicher Wärmedehnungen vermeiden, elastische Schraubenverbindungen wählen (wie Dehnschrauben mit verjüngtem Schaft statt Massivschrauben) oder hochfeste Schrauben kleineren Durchmessers verwenden, konstruktiv nicht zu kurze Schrauben vorsehen, ausreichende tragende Gewindelänge muß vorhanden sein, auf saubere und glatte Gewinde achten, Schraubenköpfe und Muttern müssen plan aufliegen. Ungeeignet sind plastische Einlagen oder Schichten.
In Bild 3.21 (s. S. 86) sind *standardisierte Schrauben* zusammengestellt.

Gewinde

ISO-Grundprofil (Bild 3.22): Maßbuchstaben nach ISO-Empfehlung R 68. Es ist im Vergleich zu früherer Ausführung

$P = h$ und $H = t$.

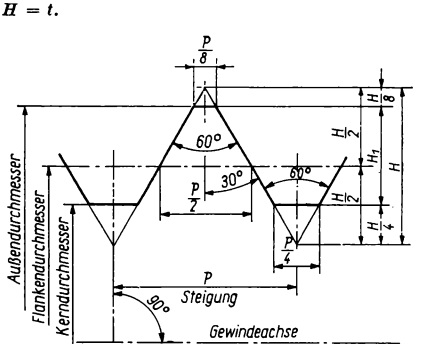


Bild 3.22. ISO-Grundprofil

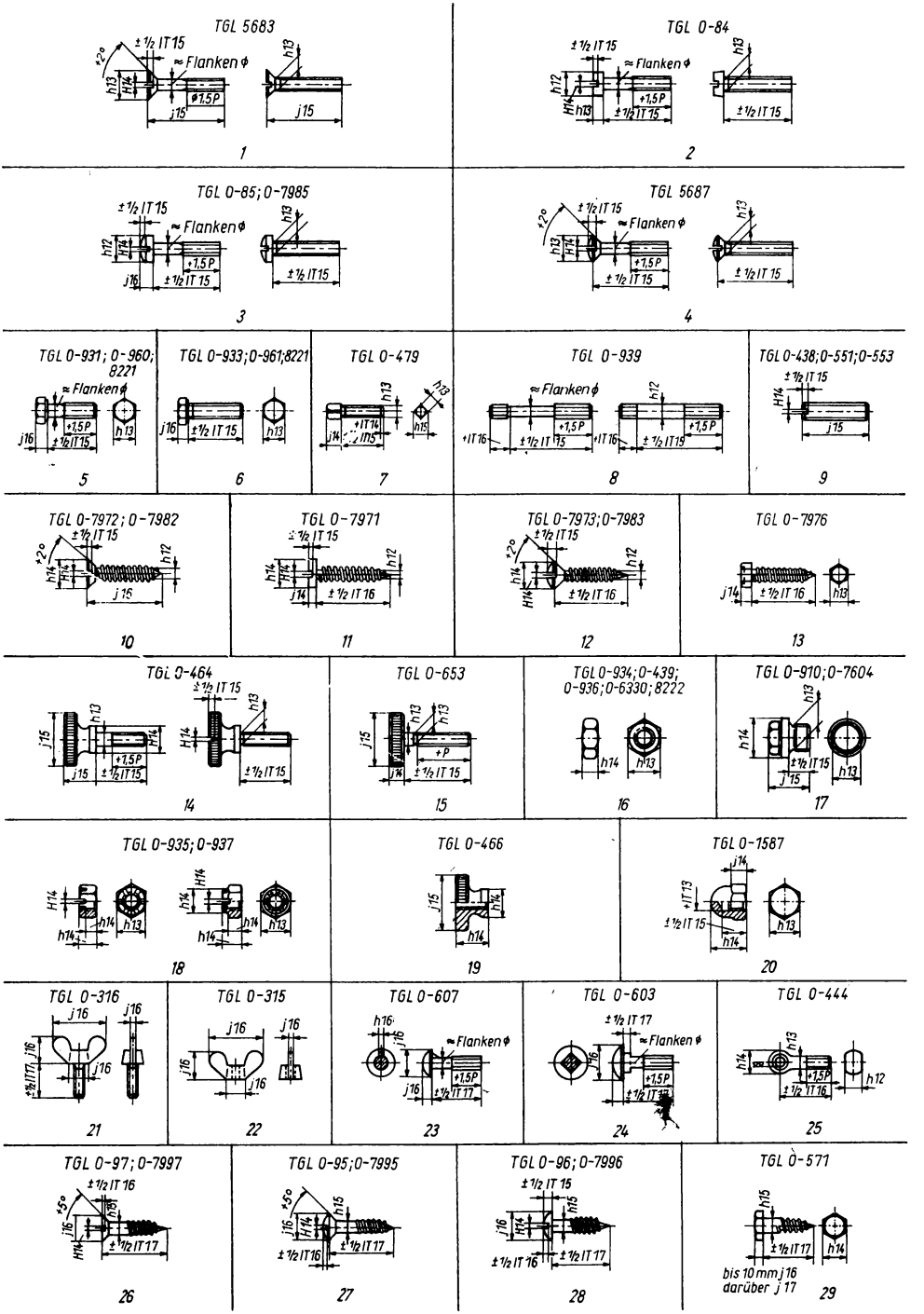


Bild 3.21. Standardisierte Schrauben

Tabelle 3.16: ISO-Gewinde-Nennmaße ($H = 0{,}866\,025\,P$)

Gewinde-Nenndurchmesser[1]) $d = D$ Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Steigung P	Flanken-durchmesser[2]) $d_2 = D_2$	Kerndurchmesser Bolzen d_3	Kerndurchmesser Mutter D_1	Profiltiefe des Bolzengewindes h_3	Nenntragtiefe H_1	Rundung R	Kernquerschnitt[3]) A_q mm²	Spannungsquerschnitt[4]) A_s mm²
0,25			0,075	0,201	0,158	0,169	0,046	0,041	0,011	0,020	0,025
0,3			0,08	0,248	0,202	0,213	0,049	0,043	0,012	0,032	0,040
	0,35		0,09	0,292	0,240	0,253	0,055	0,049	0,013	0,045	0,056
0,4			0,1	0,335	0,277	0,292	0,061	0,054	0,014	0,060	0,074
	0,45		0,1	0,385	0,327	0,342	0,061	0,054	0,014	0,084	0,100
0,5			0,125	0,419	0,347	0,365	0,077	0,068	0,018	0,095	0,115
	0,55		0,125	0,469	0,397	0,415	0,077	0,068	0,018	0,124	0,147
0,6			0,15	0,503	0,416	0,438	0,092	0,081	0,022	0,136	0,166
	0,7		0,175	0,586	0,485	0,511	0,107	0,095	0,025	0,185	0,225
0,8			0,2	0,670	0,555	0,583	0,123	0,108	0,029	0,242	0,295
	0,9		0,225	0,754	0,624	0,656	0,138	0,122	0,032	0,306	0,373
1			0,25	0,838	0,693	0,729	0,153	0,135	0,036	0,377	0,460
	1,1		0,25	0,938	0,793	0,829	0,153	0,135	0,036	0,494	0,588
1,2			0,25	1,038	0,893	0,929	0,153	0,135	0,036	0,626	0,732
	1,4		0,3	1,205	1,032	1,075	0,184	0,162	0,043	0,836	0,983
1,6			0,35	1,373	1,171	1,221	0,215	0,189	0,051	1,08	1,27
	1,8		0,35	1,573	1,371	1,421	0,215	0,189	0,051	1,48	1,70
2			0,4	1,740	1,509	1,567	0,245	0,217	0,058	1,79	2,07
	2,2		0,45	1,908	1,648	1,713	0,276	0,244	0,065	2,13	2,48
2,5			0,45	2,208	1,948	2,013	0,276	0,244	0,065	2,98	3,39
3			0,5	2,675	2,387	2,459	0,307	0,271	0,072	4,47	5,03
	3,5		0,6	3,110	2,764	2,850	0,368	0,325	0,087	6,00	6,77
4			0,7	3,545	3,141	3,242	0,429	0,379	0,101	7,75	8,78
	4,5		0,75	4,013	3,580	3,688	0,460	0,406	0,108	10,1	11,3
5			0,8	4,480	4,019	4,134	0,491	0,433	0,115	12,7	14,2
6			1	5,350	4,773	4,917	0,613	0,541	0,144	17,9	20,1
		7	1	6,350	5,773	5,917	0,613	0,541	0,144	26,2	28,9
8			1,25	7,188	6,466	6,647	0,767	0,677	0,180	32,8	36,6
		9	1,25	8,188	7,466	7,647	0,767	0,677	0,180	43,8	48,1
10			1,5	9,026	8,160	8,376	0,920	0,812	0,217	52,3	58,0
		11	1,5	10,026	9,160	9,376	0,920	0,812	0,217	65,9	72,3
12			1,75	10,863	9,853	10,106	1,074	0,947	0,253	76,2	84,3
	14		2	12,701	11,546	11,835	1,227	1,083	0,289	105	115
16			2	14,701	13,546	13,835	1,227	1,083	0,289	144	157
	18		2,5	16,376	14,933	15,294	1,534	1,353	0,361	175	192
20			2,5	18,376	16,933	17,294	1,534	1,353	0,361	225	245
	22		2,5	20,376	18,933	19,294	1,534	1,353	0,361	281	303
24			3	22,051	20,319	20,752	1,840	1,624	0,433	324	352
	27		3	25,051	23,319	23,752	1,840	1,624	0,433	427	459
30			3,5	27,727	25,706	26,211	2,147	1,894	0,505	519	561
	33		3,5	30,727	28,706	29,211	2,147	1,894	0,505	647	694
36			4	33,402	31,093	31,670	2,454	2,165	0,577	759	817
	39		4	36,402	34,093	34,670	2,454	2,165	0,577	913	976
42			4,5	39,077	36,479	37,129	2,760	2,436	0,650	1045	1121
	45		4,5	42,077	39,479	40,129	2,760	2,436	0,650	1224	1306
48			5	44,752	41,866	42,587	3,067	2,706	0,722	1377	1473
	52		5	48,752	45,866	46,587	3,067	2,706	0,722	1652	1758
56			5,5	52,428	49,252	50,046	3,374	2,977	0,794	1905	2030
	60		5,5	56,428	53,252	54,046	3,374	2,977	0,794	2227	2362
64			6	60,103	56,639	57,505	3,681	3,248	0,866	2520	2676
	68		6	64,103	60,639	61,505	3,681	3,248	0,866	2888	3055

[1]) Richtlinien für die Wahl der Gewinde-Nenndurchmesser nach TGL 7907 Bl. 2.
[2]) Maße aus TGL 7907 Bl. 3 unverändert übernommen, soweit die Gewinde-Nenndurchmesser und Steigungen übereinstimmen.
[3]) Errechnet für das Nennmaß d_3.
[4]) Der Spannungsquerschnitt ist nach der Formel $A_s = \frac{\pi}{4}\left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2$ errechnet. Hierin sind d_2 und d_3 Nennmaße. Die auf A_s bezogene Bruchlast entspricht für Stahl der Zugfestigkeit des gewindefreien Stabes mit dem Querschnitt A_s.

Auf das ISO-Grundprofil beziehen sich die Abmaße, mit denen die Grenzmaße des Bolzen- und Muttergewindes errechnet werden. Ausgangsfigur ist das gleichschenklige Dreieck, dessen Grundlinie parallel zur Gewindeachse liegt.

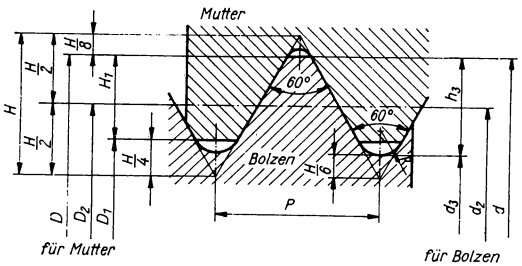


Bild 3.23. Metrisches ISO-Gewindeprofil

Metrisches ISO-Gewinde (nach TGL 7907) (Bild 3.23): Profile für Bolzen und Mutter, Gewindepassung ohne Flankenspiel (*H*/*h*-Passung):

P = Steigung,
$H = 0{,}86603\ P$,
$D = d$ = Nenndurchmesser,

$$D_2 = d_2 = d - \frac{3}{4} H = d - 0{,}64953\ P,$$

$$D_1 = d_2 - 2\left(\frac{H}{2} - \frac{H}{4}\right) = d - 2H_1 = d - 1{,}08253\ P,$$

$$d_3{}^{1}) = d_2 - 2\left(\frac{H}{2} - \frac{H}{6}\right) = d - 1{,}22687\ P,$$

$$H_1 = \frac{D - D_1}{2} = \frac{5}{8} H = 0{,}54127\ P,$$

$$h_3 = \frac{d - d_3}{2} = \frac{17}{24} H = 0{,}61343\ P$$

$$R = \frac{H}{6} = 0{,}14434\ P.$$

Im Vergleich zu früheren Profilen ist das ISO-Muttergewinde am Innendurchmesser abgeflachter und das Bolzengewinde im Kern mehr gerundet. Vorteil: Verringerte Dauerbruchgefahr, längere Standzeit der Gewindebohrer.

In Tabelle 3.16 sind Zahlenwerte für ISO-Gewinde zusammengestellt.
Tabelle 3.17 enthält abgekürzte Bezeichnungen für Gewinde, in Tabelle 3.18 sind Kennwerte metrischer Gewinde zusammengestellt.
Die Werte der Tabelle 3.18 beziehen sich auf die theoretischen Abmessungen der Gewinde. Die entsprechenden Maße der Schneidwerkzeuge sind erfahrungsgemäß dicker oder schwächer zu wählen.
Tabelle 3.19 enthält Bohrerdurchmesser für metrisches Gewinde, in Tabelle 3.20 sind Kennwerte der WHITWORTH-gewinde und in Tabelle 3.21 Festigkeitseigenschaften von Schrauben und Muttern zusammengestellt.
Bild 3.24 enthält die Bezeichnung eines WHITWORTH-gewindes.

In Tabelle 3.22 sind Kennwerte der Rundgewinde (Bild 3.25), in Tabelle 3.23 der Sägengewinde (Bild 3.26), in Tabelle 3.24 der Trapezgewinde (Bild 3.27) und in den Tabellen 3.25 bis 3.27 Kennwerte weiterer Gewindearten zusammengestellt.

[1]) Statt d_1 Maßbezeichnung d_3 für den Kerndurchmesser des Bolzens (Rundung $r = H/6$), da nach ISO der theoretische Durchmesser mit $d_1 = D_1$ angegeben ist.

Tabelle 3.17: Abgekürzte Bezeichnungen für Gewinde (nach TGL 0-202)

Eingängige Rechtsgewinde

Art des eingängigen Rechtsgewindes	Zeichen vor der Maßzahl	Maßangabe	Beispiel
WHITWORTHgewinde	—	Gewindeaußendmr. in Zoll	2″
WHITWORTH-Feingewinde	W	Gewindeaußendmr. in mm mal Steigung in Zoll	W 104 × 1/6″
WHITWORTH-Rohrgewinde	R	Nennweite des Rohres in Zoll	R 4″
metrisches Gewinde	M	Gewindeaußendmr. in mm	M 60
metrisches Feingewinde	M	Gewindeaußendmr. in mm mal Steigung in mm	M 105 × 4
Trapezgewinde	Tr	Gewindeaußendmr. in mm mal Steigung in mm	Tr 48 × 8
Rundgewinde	Rd	Gewindeaußendmr. in mm mal Steigung in Zoll	Rd 40 × 1/6″
Sägengewinde	S	Gewindeaußendmr. in mm mal Steigung in mm	S 70 × 10

Linksgewinde und mehrgängige Gewinde *)

Bezeichnungen d. Zusatzes für	Abkürzung	Zeichenort	Beispiel	Für Gewinde	Gültig für
Linksgewinde **)	links	hinter der Gewinde-bezeichnung	W 104 × 1/6″ links	W	alle eingängigen Rechtsgewinde
			M 80 links	M	
			R 4″ links	R	
			Tr 48 × 8 links	Tr	
mehrgängiges Gewinde rechts	gäng		2″ (2 gäng)	—	
			Tr 48 × 10 (2 gäng)	Tr	
mehrgängiges Gewinde links	gäng links		2″ links (2 gäng)	—	
			Tr 48 × 16 links (2 gäng)	Tr	
gas- und dampfdicht	dicht		2″ dicht		

*) Die Gangzahl ist von Fall zu Fall einzusetzen.
**) Bei Teilen, die mit Rechts- und mit Linksgewinde versehen sind, z. B. bei Spannschlössern, Eisenbahn-Kupplungsspindeln, ist auch hinter die Gewindebezeichnung des Rechtsgewindes »rechts« zu setzen.

Tabelle 3.18: Metrisches Gewinde (bisherige Werte)

Bolzen										Toleranzen in µm ($^1/_{1000}$ mm)					
Gewinde d	Kerndurchmesser d_1	Kernquerschnitt	Gewindelochbohrer	Flankendurchmesser d_2	Steigung h	Gewindetiefe t_1	Rundung r	Lochabstand w	Splint- oder Stift-Dmr.	Kerndurchmesser Muttergew.	Flankendurchm. f. Bolzengew. (—) f. Muttergew. (+) Gütegrad fein (f)	mitt. (m)	grob (g)	Schlüsselweite s	Spitzkant e
mm	mm	cm²	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm					mm	mm
1	0,676	0,0036	0,75	0,838	0,25	0,162	0,03	—	—	80	45	56		3,5	3
1,2	0,876	0,0060	0,95	1,038	0,26	0,162	0,03	—	—					3,5	4
1,4	1,010	0,0080	1,1	1,205	0,3	0,195	0,03	—	—	90		71		4	4,6
1,7	1,246	0,0122	1,3	1,473	0,35	0,227	0,04	—	—					4	4,6
2	1,480	0,0172	1,5	1,740	0,4	0,260	0,04	1,2	0,6	125				4,5	5,2
2,3	1,780	0,0249	1,8	2,040	0,4	0,260	0,04	1,5	0,6		50	80		5	5,8
2,6	2,016	0,0319	2,1	2,308	0,45	0,292	0,05	1,5	0,6	141				5,5	6,4
3	2,350	0,0434	2,4	2,675	0,5	0,325	0,05	1,5	0,8	150				6	6,9
3,5	2,720	0,0581	2,8	3,110	0,6	0,390	0,06	1,8	0,8	180				7	8,1
4	3,090	0,0750	3,2	3,545	0,7	0,455	0,08	1,8	1	190	63	100	160	8	9,2
5	3,960	0,123	4,1	4,480	0,8	0,520	0,09	2	1	224				9	10,4
6	4,700	0,173	4,8	5,350	1	0,650	0,11	2,5	1,5	280	71	112	180	10	11,5
8	6,376	0,319	6,5	7,188	1,25	0,812	0,14	3	2	315	90	140	224	14	16,2
10	8,052	0,509	8,2	9,026	1,5	0,974	0,16	4	2	355				17	19,6
12	9,726	0,743	9,9	10,863	1,75	1,137	0,19	5	3	450				19	21,9
14	11,402	1,02	11,5	12,701	2	1,299	0,22	5	3	475				22	25,4
16	13,402	1,41	13,5	14,701	2	1,299	0,22	5	4					24	27,7
18	14,752	1,71	15	16,376	2,5	1,624	0,27	6,5	4		100	160	250	27	31,2
20	16,752	2,20	17	18,376	2,5	1,624	0,27	6,5	4	560				30	34,6
22	18,752	2,76	19	20,376	2,5	1,624	0,27	6,5	-					32	36,9
24	20,102	3,17	20,5	20,051	3	1,949	0,32	8	5	601				36	41,6
27	23,102	4,19	23,5	25,051	3	1,949	0,32	8	5		125	200	315	41	47,3
30	25,454	5,09	25,8	27,727	3,5	2,273	0,38	8	6	710				46	53,1
33	28,454	6,36	28,8	30,727	3,5	2,273	0,38	10	6					50	57,7
36	30,804	7,45	31	33,402	4	2,598	0,43	10	6	800				55	63,5
39	33,804	8,97	34	36,402	4	2,598	0,43	10	8					60	69,3
42	36,154	10,27	36,5	39,077	4,5	2,923	0,49	10	8					65	75
45	39,154	12,04	39,5	42,077	4,5	2,923	0,49	10	8	901				70	80,8
48	41,504	13,53	42	44,752	5	3,248	0,54	12	8		140	224	355	75	86,5
52	45,504	16,26	46	48,752	5	3,248	0,54	12	8					80	92,4
56	48,856	18,75	48,5	52,428	5,5	3,572	0,60	12	10	950				85	98
60	52,856	21,94	53,5	56,428	5,5	3,572	0,60	12	10					90	104
64	56,206	24,81	57	60,103	6	3,897	0,65	12	10	1000				95	110
68	60,206	28,47	61	64,103	6	3,897	0,65	12	10					100	116

Die Werte der Tabelle 3.18 beziehen sich auf die theoretischen Abmessungen der Gewinde. Die entsprechenden Maße der Schneidwerkzeuge sind erfahrungsgemäß dicker oder schwächer zu wählen.

Tabelle 3.19: Bohrerdurchmesser in mm *für metrisches Gewinde* (Reihe I*) und Reihe II**))

M	I	II	M	I	II	M	I	II	M	I	II	M	I	II	M	I	II
1	0,7	0,75	2,3	1,85	1,9	5	4,1	4,2	14	11,5	11,75	24	20,5	20,5	39	34,25	34.5
1.2	0,9	0,95	2,6	2,1	2,15	6	4,9	5	16	13,5	13,75	27	23,5	23,5	42	36,75	37
1,4	1,05	1,1	3	2,45	2,5	8	6,6	6,7	18	15	15,25	30	25,75	26	45	39,75	40
1,7	1,3	1,35	3,5	2,8	2,9	10	8,2	8,5	20	17	17,25	33	29	29	48	42	42,25
2	1,55	1,6	4	3,2	3,3	12	9,9	10	22	19	19,25	36	31,25	31,5	52	46	46,25

*) Reihe I: Gußeisen, Bronze, Messing, spröde Kupfer-, Alu-, Magnesium-Guß-, Druckguß- und Knetlegierungen.
**) Reihe II: Stahl, Stahlguß, Temperguß, Zink- und Aluminiumlegierungen, Preßstoffe.

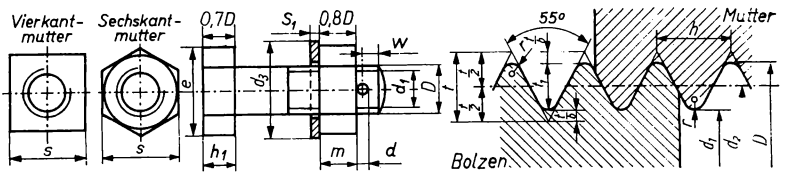


Bild 3.24. Bezeichnung eines Whitworthgewindes ohne Spitzenspiel von 2 Zoll Nenndurchmesser: 2″; Dicke s_1 der Unterlegscheiben = 0,1s; Kopfhöhe h_1 = 0,7D; Mutterhöhe m = 0,8D; Spitzkant e = 1,155s; Steigung h = 25,40095:z (z Gangzahl auf 1″); Rundung r = 0,13733h; Gewindetiefe t_1 = 0,64033h; t = 0,96049h; Lochabstand w und Spitzkant e entsprechen den Maßen in Tabelle 3.18.

Tabelle 3.20: WHITWORTH-*Gewinde* *) *ohne Spitzenspiel* (engl. Zoll)

Äußerer Gewindedurchmesser D des Bolzens		Kerndurchmesser d_1	Gewindelochdurchmesser	Kernquerschnitt	Gewindetiefe t_1	Rundung r	Flankendurchmesser d_2	Steigung h	Gangzahl z auf 1''	Schlüsselweite s	Splint oder Stift d	Unterlegscheibe d_3	Zulässige Belastung bei 480 kp/cm²	Masse der Schrauben, Sechskantmuttern m = 0,8 D und Unterlegscheiben: Schraube Bolzenlänge	Schraube ohne Mutter	Massenerhöhung für je 10 mm Bolzenlänge	je eine Sechskantmutter	je eine Unterlegscheibe
Zoll	mm	mm	mm	cm²	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	kp	mm	kg	kg	kg	kg
1/2	12,7	9,99	10,3	0,78	1,36	0,29	11,35	2,12	12	22	3	28	375	35	0,060	0,0094	0,0245	0,0108
5/8	15,9	12,9	13,3	1,31	1,48	0,32	14,40	2,31	11	27	4	34	630	40	0,110	0,0150	0,0445	0,0157
3/4	19,1	15,8	16,3	1,96	1,63	0,35	17,42	2,54	10	32	4	40	940	45	0,183	0,0215	0,0750	0,0285
7/8	22,2	18,6	19	2,72	1,81	0,39	20,42	2,82	9	36	5	45	1300	50	0,310	0,0288	0,1060	0,0357
1	25,4	21,3	21,8	3,58	2,03	0,44	23,37	3,18	8	41	5	52	1720	55	0,401	0,0382	0,1510	0,0608
1 1/8	28,6	23,9	24,5	4,50	2,32	0,50	26,25	3,63	7	46	6	58	2160	60	0,57	0,049	0,207	0,074
1 1/4	31,8	27,1	27,5	5,77	2,32	0,50	29,43	3,63	7	50	6	62	2770	70	0,78	0,061	0,275	0,083
1 3/8	34,9	29,5	30	6,84	2,71	0,58	32,22	4,23	6	55	6	68	3280	80	1,06	0,074	0,370	0,118
1 1/2	38,1	32,7	33	8,39	2,71	0,58	35,39	4,23	6	60	8	75	4030	90	1,41	0,087	0,467	0,148
1 3/4	44,5	37,9	38,5	11,31	3,25	0,70	41,20	5,08	5	70	8	85	5430	110	2,30	0,119	0,742	0,216
2	50,8	43,6	44	14,91	3,61	0,78	47,19	5,65	4 1/2	80	8	98	7160	130	3,53	0,156	1,110	0,329
2 1/4	57,2	49,0	49,5	18,87	4,07	0,87	53,09	6,35	4	85	10	105	9060	140	4,65	0,198	1,300	0,398
2 1/2	63,5	55,4	56	24,08	4,07	0,87	59,44	6,35	4	95	10	120	11560	150	6,26	0,245	1,850	0,542
2 3/4	69,9	60,6	61	28,80	4,65	1,00	65,21	7,26	3 1/2	105	10	130	13820	165	8,42	0,297	2,530	0,695
3	76,2	66,9	67,5	35,16	4,65	1,00	71,56	7,26	3 1/2	110	10	135	16870	180	11,50	0,354	2,900	0,762

*) In der DDR ist WHITWORTH-Gewinde nur noch für Reparaturen zugelassen.

Tabelle 3.21: Schrauben und Muttern – Festigkeitseigenschaften

Festigkeitseigenschaften	Kennzeichen											
	4 A	4 D	4 P	4 S	5 D	5 S	6 E	6 G	6 S	8 G	10 K	12 K
Streckgrenze in kp/mm²	20	21	21	32	28	40	36	54	48	64	90	108
Zugfestigkeit in kp/mm²	34	37			50		60			80	100	120
Bruchdehnung in %	30	25	—	14	22	10	18	12	8	12	8	8
BRINELL-Härte $HB = 30\,D^2$	95	105			140		170			230	285	340

Erläuterungen zu Tabelle 3.21:
Neben dem Kennzeichen muß auf den Kopfschrauben ständig das Herstellerzeichen vorhanden sein.
◤ Kennzeichen für Schrauben, ◢ Kennzeichen für Muttern
Die Kennziffer gibt die Mindestfestigkeit an (z. B. 5 = 50 kp/mm²). Der Kennbuchstabe gibt die Streckgrenze und Dehnung an.

Tabelle 3.22: Rundgewinde

Gewindedurchmesser mm	Gangzahl z auf 1''	Steigung h mm	Gewindetiefe t_1 mm	Tragtiefe t_2 mm	Rundungen Bolzen r mm	Mutter R mm	R_1 mm
8···12	10	2,540	1,270	0,212	0,606	0,650	0,561
14···38	8	3,175	1,588	0,265	0,757	0,813	0,702
40···100	6	4,233	2,117	0,353	1,010	1,084	0,936
105···200	4	6,350	3,175	0,530	1,515	1,625	1,404

Tabelle 3.23: Sägengewinde (eingängig)

Gewindedurchmesser d mm	Steigung h mm	Gewindetiefe t_1 mm	Tragtiefe t_2 mm	e mm	Rundung r mm
22···28	5	4,339	3,75	1,319	0,621
46···52	8	6,942	6,00	2,111	0,994
85···110	12	10,413	9,00	3,166	1,491
180···200	18	15,620	13,5	4,749	2,237
270···290	24	20,826	18,0	6,332	2,982

Tabelle 3.24: Trapezgewinde (eingängig)

Gewindedurchmesser d mm	Steigung h mm	Gewindetiefe t_1 mm	Tragtiefe t_2 mm	Rundung r*) mm	Gewindetiefe T mm	Gewindegrund x mm
10··· 12	3	1,75	1,25	0,25	1,50	0,96
14··· 20	4	2,25	1,75	0,25	2,00	1,33
22··· 28	5	2,75	2,00	0,25	2,25	1,72
30··· 36	6	3,25	2,50	0,25	2,75	2,06
38··· 44	7	3,75	3,00	0,25	3,25	2,42
46··· 52	8	4,25	3,50	0,25	3,75	2,79
55··· 62	9	4,75	4,00	0,25	4,25	3,26
65··· 82	10	5,25	4,50	0,25	4,75	3,52
85···110	12	6,25	5,50	0,25	5,75	4,26
115···145	14	7,50	6,00	0,50	6,50	4,85
150···175	16	8,50	7,00	0,50	7,50	5,58
180···200	18	9,50	8,00	0,50	8,50	6,32
210···230	20	10,50	9,00	0,50	9,50	7,05
240···260	22	11,50	10,00	0,50	10,50	7,78
270···290	24	12,50	11,00	0,50	11,50	8,51
300	26	13,50	12,00	0,50	12,50	9,24

*) Werden Trapezgewinde für Kraftgewinde verwendet, so ist das Gewindeprofil im Kern der Spindel mit dem Halbmesser r auszurunden.

*Tabelle 3.25: Gasrohrgewinde**)

Innerer Rohrdmr. engl."	Äußerer Gewindedmr. mm	Kerndmr. mm	Gangzahl auf 1"	Innerer Rohrdmr. engl. "	Äußerer Gewindedmr. mm	Kerndmr. mm	Gangzahl auf 1"
1/4	13	11,3	19	1 3/4	52	49	11
3/8	16,5	14,8	19	2	59	56	11
1/2	20,5	18,2	14	2 1/4	70	67	11
3/4	26,5	24,2	14	2 1/2	76	73	11
1	33	30	11	3	89	86	11
1 1/4	42	39	11	3 1/2	101,5	98,5	11
1 1/2	48	45	11	4	114	111	11

*) Wird praktisch nicht mehr verwendet.

Tabelle 3.26: WHITWORTH-*Rohrgewinde (ohne Spitzenspiel)*

Innerer Rohrdmr. engl. "	Äußerer Gewindedmr. mm	Kerndmr. mm	Gangzahl auf 1"	Innerer Rohrdmr. engl. "	Äußerer Gewindedmr. mm	Kerndmr. mm	Gangzahl auf 1"
R 1/8	9,7	8,6	28	R 1 3/4	53,7	50,8	11
R 1/4	13,2	11,4	19	R 2	59,6	56,7	11
R 3/8	16,7	15,0	19	R 2 1/4	65,7	62,8	11
R 1/2	21,0	18,6	14	R 2 1/2	75,2	72,2	11
R 3/4	26,4	24,1	14	R 2 3/4	81,5	78,6	11
R 1	33,3	30,3	11	R 3	87,9	85,0	11
R 1 1/4	41,9	39,0	11	R 3 1/2	100,3	97,4	11
R 1 1/2	47,8	44,9	11	R 4	113,0	110,1	11

Tabelle 3.27: Gewinde für Feinmechanik (ältere Konstruktionen)

Außendmr. mm	Steigung mm	Kerndmr. mm	Wendelbohrer mm	Schlüsselweite mm	Außendmr. mm	Steigung mm	Kerndmr. mm	Wendelbohrer mm	Schlüsselweite mm
1	0,25	0,625	0,66	3	4	0,7	2,95	3,1	8
1,2	0,25	0,825	0,84	4	4,5	0,75	3,375	3,5	10
1,4	0,3	0,95	1	5	5	0,8	3,8	3,9	10
1,7	0,35	1,175	1,2	5	5,5	0,9	4,15	4,3	12
2	0,4	1,4	1,5	6	6	1	4,5	4,6	12
2,3	0,4	1,7	1,78	6	7	1,1	5,35	5,5	14
2,6	0,45	1,925	2	7	8	1,2	6,2	6,4	14
3	0,5	2,25	2,38	7	9	1,3	7,05	7,25	17
3,5	0,6	2,6	2,7	8	10	1,4	7,9	8,2	17

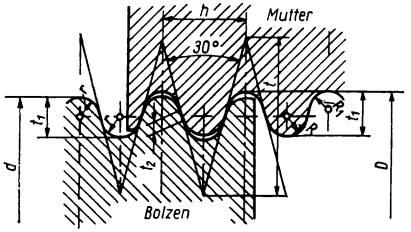


Bild 3.25. Rundgewinde

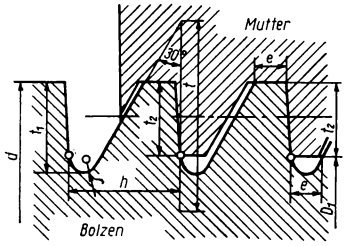


Bild 3.26. Sägengewinde, eingängig

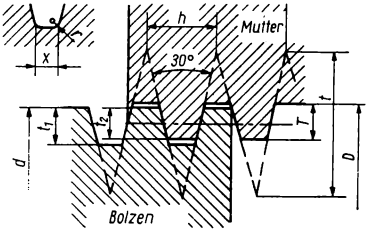


Bild 3.27. Trapezgewinde, eingängig

In Tabelle 3.28 sind Kennwerte für *Scheiben* (s. Bild 3.28) zusammengestellt. Für Scheiben aus Schwermetallen (Sm) beträgt die Masse etwa das 1,083fache der angegebenen Werte, für Scheiben aus Leichtmetall (L) beträgt die Masse etwa das 0,357fache der angegebenen Werte.

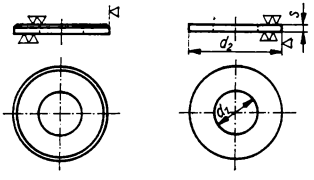


Bild 3.28. Scheiben für Sechskantschrauben und -muttern

Tabelle 3.28 Scheiben (nach TGL0-125)

Für Schrauben metrisch	WHIT-WORTH	d_1 mm	d_2 mm	s mm	Masse je 1000 Stück (7,85 kg/dm³) kg (≈)
1,7		1,8	4,5	0,3	0,031
2		2,2	5,5	0,5	0,079
2,5		2,7	6,5	0,5	0,108
3		3,2	7	0,5	0,120
3,5		3,7	8	0,8	0,248
4		4,3	9	0,8	0,341
5		5,3	11	1	0,452
6		6,4	12	1,5	0,953
8		8,4	17	1,5	2,16
10		10,5	21	2	4,16
12		13	24	2	6,25
	1/2''	13,5	24	3	
14		15	28	3	10,3
16	5/8''	17	30	3	11,3
18		19	34	3	14,7
20	3/4''	21	36	4	21,1
22		23	40	4	26,4
24		25	45	4	34,4
26	1''	27	50	5	
27		28	50	5	52,9
30	1 1/8''	31	56*)	5	67,0
32	1 1/4''	33	60	5	
33		34	60	5	75,3
36		37	67	6	115
39	1 1/2''	40	72	6	133
42	1 5/8''	43	78	6	156
48		50	90	8	276

*) Bei Scheiben aus Schwermetall ist d_2 = 55 mm.

3.4. Rohre, Formstücke, Flansche

Druckstufen (nach TGL 18302 Bl. 1[1]) (Tabelle 3.29)

I (W) zul. Betriebsdruckstufe für Wasser u. a. ungefährliche Flüssigkeiten, Gase und Dämpfe unterhalb 120 °C.

II (G) zul. Betriebsdruckstufe für Flüssigkeiten, Gase und Dämpfe unterhalb 300 °C und für chemische (giftige) Leitungsinhalte.

III (H) zul. Betriebsdruckstufe für Flüssigkeiten, Gase, Dämpfe von 300···400 °C.

p_N Nenndruck, p_P Probedruck, beide in kp/cm²

Tabelle 3.29 Druckstufen (Überdruck, in kp/cm²)

p_N	W	G	H	p_P	p_N	W	G	H	p_P
1	1	1	—	2	25	25	20	16	38
2,5	2,5	2	—	4	32	32	25	20	50
6	6	5	—	9	40	40	32	25	60
10	10	8	—	15	50	50	40	32	75
16	16	13	10	24	64	64	50	40	96
20	20	16	13	32	80	80	64	50	120
					100	100	80	64	150

Nennweiten d_N: **1 1,2 1,5 2 2,5 3 4 5 6 8 10 13 15 16 20 25 32 40 50** 60 **70 80** 90 **100** 110 120 **125** 130 140 **150** 160 175 **200** 225 **250** 275 **300** 325 **350** 375 **400 450 500** 550 **600 700 800 900 1000 1100 1200**, dann um 200 steigend bis **4000**.

Tabelle 3.30 gibt eine Übersicht über Rohre (nach TGL 0-2410[1]).

Flußstahlrohre

In Tabelle 3.31 sind Kennwerte für Gewinderohre zusammengestellt: Gewinde[2]): Rohr kegelig, Kegel 1 : 16; Muffengewinde zylindrisch. Es bedeuten: *V* Inhalt (Fassungsvermögen) von 1 m Rohr in l (dm³); *A* äußere Mantelfläche von 1 m Rohr in m².

Außendurchmesser der Flußstahlrohre

Gewinderohre: Außendurchmesser d_a = Durchmesser Rohrgewinde. Glatte Rohrenden: d_a = 38···622 mm nach TGL, über 622 mm ist d_a = Nennweite d_N + 20 mm.

[1]) Siehe hierzu TGL 5092.

[2]) Gewindekegel am Rohr zulässig bis 1 : 32.

Tabelle 3.30: Übersicht über Rohre

Rohrart (Benennung)		Werkstoff	Betr.-Dr. in kp/cm² p_N	I	II	III	Nennweite mm	TGL
Flanschenrohr		GGL-18	10	10	—	—	40···1200	14389 Bl. 2
Muffenrohr		GGL-18	10	10	—	—	40···1200	14389 Bl. 1
Rippenheizrohr		GGL-18	6	6	5	—	65···100	—
Gewinderohr	leicht	St 00	n *)	32 kp/m²			15···50	—
	m.-schwer	St 00	n *)	32 kp/m²			6···150	14514
	schwer	St 00	n *)	40 kp/m²			6···150	14514
	nahtlos	St 35	100	100	80	64	6···300	14514
glatte Rohre		St 00	25	25	20	—	4···550	—
		St 35	100	100	80	64	4···500	—
		St 55	100	100	80	64	4···500	—
geschw. Stahlrohre für alle Drücke							6···2400	27-33202
Muffenrohr	nahtlos	St 00	20	20	—	—	4···300	27-61121
		St 34	16	16	—	—	350···600	
	geschw.		16	16	—	—	300···800	27-61122

*) n = nahtlos; geschweißte Rohre 20 % kleinere Werte.

Tabelle 3.31: Mittelschwere und schwere Gewinderohre (nach TGL 14514)

Nennweite Zoll	mm	Außendmr. d mm	Mittelschwere Gewinderohre Wanddicke s mm	Masse (je m) m kg	Inhalt V dm³	Schwere Gewinderohre Wanddicke s mm	Masse (je m) m kg	Inhalt V dm³	Äuß. Mantelfl. (je m) A m²	Muffe lang mm	Gewindedmr. mm	Gang/1″
1/8	6	10	2	0,39	0,028	2,5	0,46	0,020	0,031	20	9,73	28
1/4	8	13,25	2,25	0,61	0,060	2,75	0,71	0,047	0,042	25	13,16	19
3/8	10	16,75	2,25	0,80	0,118	2,75	0,95	0,099	0,053	30	16,66	19
1/2	15	21,25	2,75	1,25	0,195	3,25	1,44	0,171	0,067	35	20,96	14
3/4	20	26,75	2,75	1,63	0,355	3,5	2,01	0,306	0,084	40	26,44	14
1	25	33,5	3,25	2,42	0,573	4	2,91	0,511	0,105	45	33,25	11
1 1/4	32	42,25	3,25	3,13	1,004	4	3,77	0,921	0,133	50	41,91	11
1 1/2	40	48,25	3,5	3,86	1,337	4,25	4,61	1,241	0,152	55	47,80	11
2	50	60	3,75	5,20	2,165	4,5	6,16	2,043	0,189	60	59,62	11
2 1/2	65	75,5	3,75	6,64	3,632	4,5	7,88	3,473	0,237	65	75,19	11
3	80	88,25	4	8,31	5,058	4,75	9,78	4,871	0,277	75	87,89	11
4	100	113,5	4,25	11,5	8,659	5	13,4	8,414	0,357	90	113,0	11
5	125	139	4,5	14,9	13,27	5,5	18,1	12,87	0,437	100	138,4	11
6	150	164,5	4,5	17,8	18,99	5,5	21,6	18,51	0,517	110	163,8	11

Tabelle 3.32: Berechnung der theoretischen Wanddicke s_0

Geltungsbereich		s_0 in mm	S *) mit	ohne	K
I	ruhend beansprucht bis 120 °C	$s_0 = \frac{d_a p}{200 v (K : S)}$	1,7	2,0	σ_S
II	schwellend beansprucht bis 120 °C	gegen Verformen $s_0 = \frac{d_a p_{max}}{200 v (K : S)}$	1,7	2,0	σ_S
	(größere Wanddicke ist zu wählen)	gegen Dauerbruch $\frac{d (p_{max} - p_{min})}{200 v (K : S) - (p_{max} - p_{min})}$	2,2	2,5	**)
III	wie I über 120 bis 600 °C	$s_0 = \frac{d_a p}{200 v (K : S) + p}$	1,6	1,8	σ 0,2 t

*) Abnahmezeugnis nach TGL für den Werkstoff.
**) Zeit-Schwellfestigkeit bei 20 °C (s. TGL 19330).
St 00 nur bis p_N = 25 kp/cm² und 200 °C zulässig.

Festigkeitsberechnung (nach TGL 0-2413)
In Tabelle 3.32 bedeuten: s Wanddicke in mm; s_0 theoretische Wanddicke in mm; p Betriebsdruck in kp/cm²; d_a Rohraußendurchmesser in mm; K Werkstoffkennwert in kp/mm² (Streckgrenze des Werkstücks); σ Zugfestigkeit in kp/mm²; p_{min} kleinster Stoßdruck in kp/cm²; p_{max} größter Stoßdruck in kp/cm²; S Sicherheitsbeiwert (1,5···2,5); v Wertigkeit der Längsschweißnaht (= 1,0 bei nahtlosem Rohr); c_1 Zuschlag der zulässigen Wanddickenunterschreitung in mm; c_2 Zuschlag für Korrosion und Abnutzung in mm; Wanddicke $s = s_0 + c_1 + c_2$.

Bezeichnungen

Gasrohr 1½″ bezieht sich auf Innendurchmesser, nahtloses Rohr 60 × 4,5 auf Außendurchmesser und Wanddicke, nahtloses Gewinderohr 4″ × 6,5 auf Nennweite d_N und Wanddicke.

Ausführung: nahtlos d_N bis 6″, stumpf geschweißt bis 2″; schwarz, verzinkt, asphaltiert, asph. u. bejutet.

Kaltwasserdruckprobe: Stahlrohr nahtlos 32 kp/cm², stumpf geschw. 16 kp/cm². TGL 0-2461 nahtlos 40 kp/cm²; stumpf geschw. 25 kp/cm².

Kupferrohre (nahtlos gezogen), s. a. TGL 10759

Werkstoff: Hüttenkupfer C (Cu nach TGL 14708); *Dichte* 8,9 kg/dm³, *Längen* mindestens 3 m. Standardisierte *Wanddicken* s = 0,5; 0,75; 1,0; (1,25); 1,5; 2,0; 2,5 und 3,0 mm. Standardisierte *Außendurchmesser* D = 5, 6, 7···20, 22, 23, 25, 27, 28, 30, 32, 34···38, 40, 42, 45···48, 50, 53, 54, 56, 58, 60, 63, 70, 76, 80, 89, 90, 95, 100 mm; ferner 5,5; 6,5; 7,5; 11,5; 44,5 mm Durchmesser.
In Tabelle 3.33 sind Wanddicken, in Tabelle 3.34 Rohrmassen zusammengestellt, jeweils in Abhängigkeit vom Durchmesser.

Tabelle 3.33: Wanddicken

D mm	Ausgef. Wanddicke s mm	D mm	Ausgef. Wanddicke s mm
5	1,0	16···50	1,0···3,0
5,5···6,5	0,5···1,0	54···60	1,5···3,0
7···10	0,5···2,0	70···80	2,0···3,0
13···15	1,0···2,5	90···100	2,5···3,0

Einzelne Wanddicken der Tabelle 3.33 fallen aus, z. B. ist s = 1,25 mm nur für D = 11, 13, 14 und 16 mm standardisiert. Zulässige Abweichung für s: ± 10 %.

Tabelle 3.34: Rohrmasse je m *bei* 1 mm *Wanddicke* (D in mm)

D	kg	D	kg	D	kg	D	kg
5	0,11	10	0,25	18	0,48	35	0,95
6	0,14	12	0,31	20	0,53	40	1,11
7	0,17	14	0,36	25	0,67	45	1,23
8	0,20	16	0,42	30	0,82	50	1,37

Gußeisen-Flanschen- und Muffendruckrohre

Normaler *Nenndruck* 10 kp/cm², *Betriebsdruck* 10 kp/cm² (s. Druckstufen nach TGL 18302 Bl. 1).
Für Wasserleitungen von p = 4···7 kp/cm² sowie für Gas-, Wind- und Kanalisationsleitungen sind geringere Wanddicken s zulässig. Dabei gilt der Außendurchmesser a als Richtmaß, so daß bei verringerter Wanddicke s die lichte Rohrweite größer wird. Bei Dampfleitungen über p = 10 kp/cm² sowie bei Leitungen, die schädlichen äußeren Einflüssen ausgesetzt sind, ist die Wanddicke entsprechend zu erhöhen.
Die Masseberechnung gilt für Dichte ϱ = 7,25 kg/dm³.
Technische Lieferbedingungen nach TGL 14388 Bl. 1. Dichtungen nach TGL 0-2690.
Die Rohre werden auf Wunsch in Baulängen geliefert, die um 0,5 m oder 1 m größer sind als die normalen.

Flanschenrohre (Bild 3.29, Tabelle 3.35)
Flansche nach TGL 0-2532. In der lotrechten Rohrachse darf kein Schraubenloch liegen. Rohe Sechskantschrauben nach TGL 0-601.

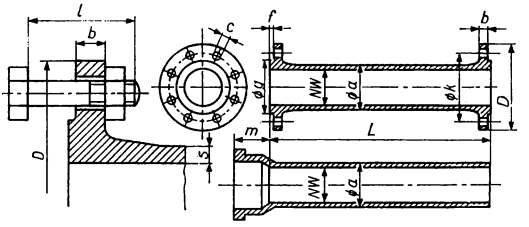


Bild 3.29. Flanschenrohr

Muffenrohre (Bild 3.30, Tabelle 3.36) werden auch innen und außen asphaltiert geliefert.
Vor dem Teeranstrich sind die Rohre innen und außen mit Drahtbürsten zu reinigen und auf 150 °C zu erwärmen. Vergleiche TGL 4562 und 4563.
Muffendeckel, Reinigungsrohre, Krümmer, Bogen, Übergänge, S-, u. T-Stücke s. TGL 4563 u. a.

Gußeisenrohre s. Tabelle 3.37.

Tabelle 3.35: Flanschenrohre (nach TGL 14389 Bl. 2)

Flanschenrohre								Schrauben				Masse		Baulänge L in m		
												m	m je	2	3	4
d_N	s	a	D	b	k	g	h	Anzahl	d Zoll	l	c	je 1 m Rohr	Flansch	Masse in		
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	kg	kg	kg	kg	kg
40	7,5	55	150	18	110	88	3			70		8,11	1,79	19,8	27,9	—
50	7,5	65	165	20	125	102	3		5/8			9,82	2,47	24,6	34,4	—
60	8	76	175	20	135	112	3	4	od.		18	12,4	2,6	30,0	42,4	—
70	8	86	185	20	145	122	3		16	75		14,2	2,9	34,2	48,4	—
80	8,5	97	200	22	160	138	3					17,1	3,8	41,8	58,9	—
90	8,5	107	210	22	170	148	3		5/8			19,1	4	46,2	65,0	—
100	9	118	220	22	180	158	3		od.		18	22,3	4,3	53,2	75,2	—
125	9,5	144	250	24	210	188	3		16							
150	10	170	285	24	240	212	3	8		85		29,1	5,6	69,4	98,5	—
175	11	197	315	26	270	242	3					36,4	6,1	85,0	122	—
200	11	222	340	26	295	268	3		3/4			46,6	8,4	110	157	—
250	12	274	395	28	350	320	3		od.			52,9	9,6	—	177	231
300	13	326	445	28	400	370	4	12	19	100	22	71,6	13,1	—	240	313
350	14	378	505	30	460	430	4					92,7	13,5	—	305	398
400	14	428	565	32	515	482	4		7/8			116	18,5	—	385	501
450	15	480	615	32	565	532	4	16	od.			132	23,5	—	443	575
500	16	532	670	34	620	585	4			105		159	25,5	—	527	687
600	17	634	780	36	725	685	5	20	22		25	188	30,5	—	625	813
700	19	738	895	40	840	800	5		1	115		239	39	—	795	1034
800	21	842	1015	44	950	905	5		26	125	30	311	55	—	1043	1354
900	23	946	1115	46	1050	1005	5	24	1 1/8	135		393	75,5	—	1330	1723
1000	24	1048	1230	50	1160	1110	5		30	135	33	484	85	—	1622	2106
1100	26	1152	1340	52	1270	1220	5	28	1 1/4	150		560	113	—	1906	2466
1200	28	1256	1455	56	1380	1330	5		33	155	36	667	130,5	—	2262	2929
								32	1 3/8	170	40	783	162,5	—	2674	3457

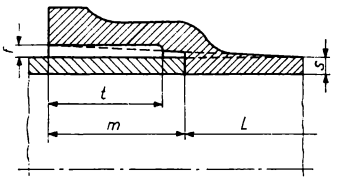


Bild 3.30.
Muffendruckrohr

Tabelle 3.36: Muffendruckrohre (nach TGL 14389 Bl. 1, TGL 14388 Bl. 2)

Muffendruckrohre							*m* je 1 m Rohr ohne Muffe	*m* je Muffe	Baulänge *L* in m					
									2	2,5	3	3,5	4	5
									Masse in					
d_N mm	*a* mm	*s* mm	*d* mm	*m* mm	*t* mm	*f* mm	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
40	55	7,5	69	74	62	7	8,11	2,68	18,9	23,0	27,0	—	—	—
50	65	7,5	80	77	65	7,5	9,82	3,14	—	27,7	32,6	—	—	—
60	76	8	91	80	67	7,5	12,4	3,89	—	—	42,0	47,3	—	—
70	86	8	101	82	69	7,5	14,2	4,35	—	—	47,0	54,1	—	—
80	97	8,5	112	84	70	7,5	17,1	5,09	—	—	—	64,9	73,5	—
90	107	8,5	122	86	72	7,5	19,1	5,70	—	—	—	72,6	82,1	—
100	118	9	133	88	74	7,5	22,3	6,20	—	—	—	84,3	95,4	—
125	144	9,5	159	91	77	7,5	29,1	7,64	—	—	—	—	124	—
150	170	10	185	94	79	7,5	36,4	9,89	—	—	—	—	156	192
175	197	11	212	97	81	7,5	46,6	12,0	—	—	—	—	198	245
200	222	11	238	100	83	8	52,9	14,4	—	—	—	—	226	279
250	274	12	291	103	84	8,5	71,6	19,6	—	—	—	—	306	378
300	326	13	343	105	85	8,5	92,7	25,8	—	—	—	—	397	489
350	378	14	395	107	86	8,5	116	32,2	—	—	—	—	496	612
400	428	14	447	110	88	9,5	132	39,2	—	—	—	—	567	699
450	480	15	499	112	89	9,5	159	44,9	—	—	—	—	681	840
500	532	16	552	115	91	10	188	54,5	—	—	—	—	807	995
600	634	17	655	120	94	10,5	239	71,2	—	—	—	—	1030	1270
700	738	19	760	125	96	11	311	98	—	—	—	—	1340	1650
800	842	21	866	130	98	12	393	129	—	—	—	—	1700	2090
900	946	23	971	135	101	12,5	484	160	—	—	—	—	2100	2580
1000	1048	24	1074	140	104	13	560	196	—	—	—	—	2440	3000
1100	1152	26	1178	145	106	13	667	244	—	—	—	—	2910	3580
1200	1256	28	1282	150	108	13	783	295	—	—	—	—	3430	4210

Tabelle 3.37: Gußeisenrohre

Lichte Weite	Wanddicke in mm							
	1	5	6	8	10	12	15	20
mm	Masse je m in kg							
25	0,59	3,42	4,22	6,01	7,98	10,01	13,67	20,50
30	0,71	3,99	4,92	6,92	9,11	11,48	15,38	22,78
35	0,82	4,56	5,60	7,26	10,25	12,85	17,08	25,05
40	0,93	5,13	6,29	8,75	11,39	14,21	18,79	27,33
45	1,05	5,70	6,97	9,66	12,53	15,58	20,50	29,61
50	1,16	6,25	7,65	10,57	13,67	17,14	22,21	31,89
60	1,39	7,40	9,02	12,39	15,94	19,68	25,62	36,44
70	1,62	8,54	10,39	14,22	18,22	22,41	29,04	40,99
80	1,84	9,68	11,75	16,04	20,50	25,25	32,46	45,56
90	2,07	10,82	13,12	17,86	22,78	27,88	35,88	50,11
100	2,30	11,96	14,48	19,68	25,06	30,61	39,29	54,29
125	2,87	14,80	17,90	24,24	30,75	37,45	47,83	60,04
150	3,44	17,65	21,32	28,79	36,45	44,28	56,38	77,44
175	4,00	20,50	24,74	33,34	42,14	51,11	64,91	88,83
200	4,58	23,34	28,15	37,90	47,82	57,94	73,45	100,2
250	5,72	29,04	34,99	47,02	59,22	71,62	90,53	122,8
300	6,86	34,73	41,84	56,07	70,61	85,27	107,6	145,7
350	8,00	40,42	48,85	65,24	82,00	98,94	124,7	168,5
400	9,13	46,11	55,48	74,34	93,38	112,6	141,8	191,3
450	10,27	51,82	62,32	83,45	104,8	126,3	158,9	214,1
500	11,32	57,49	69,16	92,56	116,2	139,9	176,0	236,9

Tabelle 3.38: Formstücke

A- und B-Stücke			C-Stücke		
D Durchmesser des Hauptrohres mm	*d* Durchmesser des Abzweiges mm	*L* Baulänge mm	*D* Durchmesser des Hauptrohres mm	*d* Durchmesser des Abzweiges mm	*L* Baulänge mm
40···100	40···100	800	40···100	40···100	800
125···325	40···325	1000	125···275	40···275	1000
350···500	40···300	1000	300···425	40···250	1000
	325···500	1250		275···425	1250
550···750	40···250	1000	450···600	40···250	1000
	275···500	1250		275···425	1250
	550···750	1500		450···600	1500
			650···750	40···250	1000
				275···425	1250
				450···600	1500
				650···750	1750

Formstücke (Bild 3.31, Tabelle 3.38)
Für A- und B-Stücke: $a = 100 + 0{,}2\,D + 0{,}5\,d$ mm; $r = 40 + 0{,}05\,d$ mm. Für A-Stücke: $l = 120 + 0{,}1\,d$ mm. Für B-Stücke: l Muffentiefe des Abzweiges. Für C-Stücke: $a = 80 + 0{,}1\,D + 0{,}7\,d$ mm; $r = d$; $l = 0{,}75\,a$.

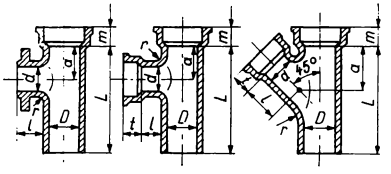


Bild 3.31. Formstücke

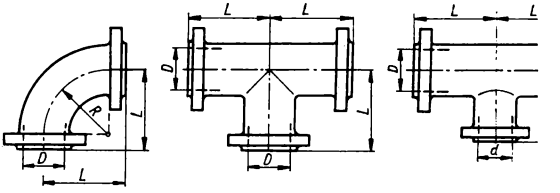


Bild 3.32. Normaler Krümmer und T-Stutzen

Tabelle 3.39: Flansche für Gasrohre (Maße in mm, Masse in kg)

Art	Größe	Formelzeichen	Weite des Mittelloches in mm															
			11,5	15	18,5	20,5	24	30	39	45	49	56	67	73	78	86	98,5	111
			Passend für Gasgewinde in Zoll															
		c	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	2 1/2	2 3/4	3	3 1/2	4
runder Flansch (Bild 3.33a)	äußerer Durchmesser	*a*	65	68	71	73	88	92	96	103	116	124	133	140	146	165	175	190
	Lochkreisdurchmesser	*b*	44	46	50	54	64	66	68	75	84	92	100	108	114	126	138	154
	Flanschdicke*)	*d*	9	9	9	10	10	10	10	10	12	12	12	15	15	18	18	18
	Schraubenlochdurchmesser	*e*	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	14	14	14	14	14	17	17	17
	Anzahl der Schrauben	—	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
	Masse von 100 Flanschen	≈	21	23	24	28	42	44	46	50	75	84	95	125	134	200	226	255
Ansatzflansch (Bild 3.33b)	äußerer Durchmesser	*a*	70	75	85	95	100	112	125	133	140	150	165	173	180	190	203	220
	Lochkreisdurchmesser	*b*	46	48	56	64	68	76	88	95	102	110	124	132	138	146	158	174
	Ansatzdurchmesser	c_1	22	22	27	32	33	40	51	56	62	70	80	88	95	100	110	125
	Flanschdicke	*d*	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	7,5	7,5	10	10	10	10
	Gewindelänge	d_1	9	11	12	13	13	14	15	16	17	18	22	23	24	25	26	27
	Schraubenlochdurchmesser	*e*	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	14	14	14	14	14	17	17	17
	Anzahl der Schrauben	—	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
	Masse von 100 Flanschen	≈	13	18	25	29	32	39	51	67	75	100	125	154	186	204	211	270
flacher und ovaler Flansch (Bilder 3.33c und 3.33d)	Flanschlänge	*a*	66	70	86	90	94	100	116	124	136	154	160	172	178	194	210	220
	Flanschbreite	a_1	35	40	48	52	58	66	76	84	94	102	110	120	128	140	154	164
	Lochabstand	*b*	40	42	54	58	62	68	80	86	94	106	112	122	128	140	154	164
	Flanschdicke*)	*d*	9	9	9	10	10	10	10	10	12	12	12	15	15	18	18	18
	Schraubenlochdurchmesser	*e*	11,5	11,5	14	14	14	14	17	17	17	21	21	21	21	24	24	24
	äußerer Radius	*f*	13	14	16	16	16	16	18	19	21	24	24	25	25	27	28	28
	innerer Radius	*g*	58	54	67	63	61	59	68	70	77	90	90	96	97	106	113	118

*) Für geschmiedete Flansche, Gußeisen-Flansche ≈ $1^2/_3\,d$ dick.

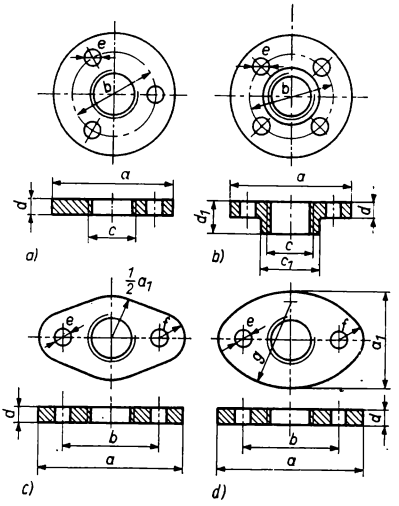


Bild 3.33. Flanscharten
a) runder Flansch, b) Ansatzflansch, c) flacher Flansch, d) ovaler Flansch

3.5. Normalabmessungen für Ventile

Absperrventile (Bilder 3.34 und 3.35; NW ≙ d_N)
In Tabelle 3.40 bedeuten: d_N Nennweite; p_N Nenndruck (Betriebsdruck); p_N 10 für 10 kp/cm² Gas, Dampf bis 300 °C; p_N 16 13···300 °C; p_N 25 20···400 °C; p_N 40 32···400 °C, Wasser bis 100 °C; H_1 Bauhöhe, geöffnet. Flansch und Schrauben nach Tabelle 3.41.
Es werden auch Ventile d_N = 13; 16; 32 und über 150 mm hergestellt.

Ventile (nach TGL 0-2501···0-2504, 0-2531···0-2535, 0-2543 bis 0-2545, 0-2567 u. a.)
In Tabelle 3.41 bedeuten: (d_{FS}) = Flanschdurchmesser × Flanschdicke; $d_L n d_S$ Lochkreis × Schraubenanzahl × Schraubendurchmesser in mm oder ". p_N gilt bis 120 °C; bis 300 °C um ≈ 20 %, bis 400 °C um ≈ 25 % niedriger.

Probedruck: um 50···100 % höher.

Durchgangs- und Auslaufventile (u. a. nach TGL 44-307.01) (Bilder 3.36 und 3.37, Tabelle 3.42)

Durchgangsventil A wie B, jedoch ohne Entleerungswarzen, Verschlußpfropfen und Auslaßventil. – *Ausführungen:* Rotguß, Messing, roh, poliert, poliert und vernickelt. – *Druckstufen* nach TGL 18302 Bl. 1 .– *Anschlußmuffen* ab 1¼" Achtkant.
Der *Ventilhub* (Bild 3.38) muß mindestens ¼ des Durchmessers D betragen.

$$\pi HD = \frac{\pi D^2}{4}\,; \quad H = \frac{\pi D^2}{4\pi D}\,; \quad \text{Hub } H = \frac{D}{4}\,.$$

Baulänge von Absperrschiebern: Flanschenschieber $L = D$ + + 200 mm; Muffenschieber mit eingetriebenen Sitzringen $L = 0{,}7\ D + 100$ mm.

Außer den A-, B- u. C-Stücken gibt es
AA-, BB- u. CC-Stücke mit 2 gegenüberliegenden Abzweigen.
E-Stücke (Flanschen-Muffenstücke) mit 1 Flansch und 1 Muffe. Baulänge L = 300 mm.

F-Stücke (Flanschen-Schwanzstücke) mit 1 Flansch:
Baulängen: L = 600 mm für D = 40···475 mm.
L = 800 mm für D = 500···750 mm.

I-Stücke (scharfe Bogenstücke v. 30°) mit 1 Muffe:
Schwanzendelänge D + 200, höchst. 600 mm,
Bogenradius $R = D + 150$, mindest. 250 mm.
K-Stücke (schlanke Bogenstücke) $R = 10\ D$.
L-Stücke (Bogenstücke) $R = 5\ D$.
R-Stücke (Übergangsschwanzstücke) mit 1 Muffe.
Ü- oder V-Stücke (Überschieber) $L = 4 \times$ Muffentiefe.
Bild 3.32 zeigt normale Krümmer und T-Stutzen.

Flansche (Bild 3.33, Tabelle 3.39)

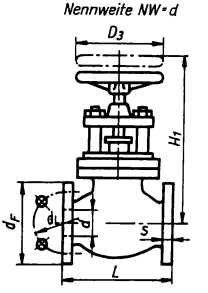


Bild 3.34. Absperrventil

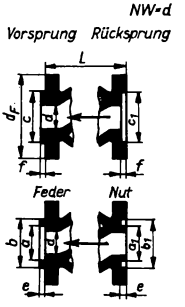


Bild 3.35. Allgemeine Maße

Tabelle 3.40: Absperrventile (Maße in mm)

Nenn- weite	Bau- länge	Nenndruck in kp/cm²								Vor- und Rück- sprung			Nut und Feder übl. Aust.		
		p_N 10		p_N 16		p_N 25		p_N 40							
d_N	L	D_3	H_1	D_3	H_1	D_3	H_1	D_3	H_1	c	c_1	f	a	b	e
10	120	100	248	100	250	120	253	120	253	34	35	4	20	30	3,5
15	130	100	256	100	261	120	261	140	266	39	40	4	25	35	3,5
20	150	120	263	120	268	140	278	160	288	50	51	4	33	45	4
25	160	140	275	140	275	160	295	180	300	57	58	4	38	50	4
30	180	160	286	160	301	180	306	200	326	65	66	4	43	55	4
40	200	160	309	160	309	180	319	225	339	75	76	4	58	65	4
50	230	160	322	160	327	200	352	250	367	87	88	4	66	80	4
60	250	180	336	180	356	225	366	250	386	99	100	4	76	90	4
70	290	200	365	200	365	250	390	280	415	109	110	4	86	100	4
80	310	200	379	225	384	250	409	320	459	120	121	4	96	110	4
90	330	225	403	250	408	280	438	360	473	131	132	4	106	120	4
100	350	225	425	250	450	320	490	360	515	149	150	4,5	120	140	4,5
125	400	250	477	320	507	360	542	360	542	175	176	4,5	145	160	4,5
150	480	280	539	360	579	400	604	400	604	203	204	4,5	170	195	4,5

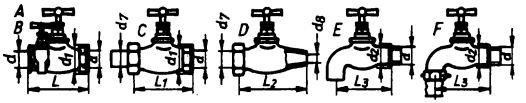


Bild 3.36. Durchgangsventile (A, B, C, D) und Auslaufventile (E, F)

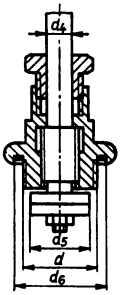


Bild 3.37. Allgemeine Dichtungsmaße

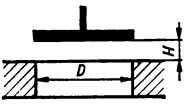


Bild 3.38. Ventilhub

Tabelle 3.41: Ventilkennwerte (Maße in mm)

d_N	L	Nenndruck				d_N	Nenndruck				
		p_N 6 = 6 kp/cm²		p_N 10 u. p_N 16			p_N 25 u. p_N 40 *)		p_N 100		
		$d_F \cdot s$	$d_L \cdot n$	$d_F \cdot s$	$d_L \cdot n$		$d_F \cdot s$	$d_L \cdot n$	L	$d_F \cdot s$	$d_L \cdot n$
10	120	75 · 12	50 · 4 · M10	90 · 14	60 · 4 · 1/2"	10	90 · 16	60 · 4 · 1/2"	210	100 · 20	70 · 4 · 1/2"
15	130	80 · 12	55 · 4 · M10	95 · 14	70 · 4 · 1/2"	15	95 · 16	70 · 4 · 1/2"	210	105 · 20	75 · 4 · 1/2"
20	150	90 · 14	65 · 4 · M10	105 · 16	75 · 4 · 1/2"	20	105 · 18	75 · 4 · 1/2"	230	130 · 22	90 · 4 · 5/8"
25	160	100 · 14	75 · 4 · M10	115 · 16	85 · 4 · 1/2"	25	115 · 18	85 · 4 · 1/2"	230	140 · 24	100 · 4 · 5/8"
30	180	120 · 16	90 · 4 · 1/2"	140 · 18	100 · 4 · 5/8"	30	140 · 18	100 · 4 · 5/8"	260	155 · 24	110 · 4 · 3/4"
40	200	130 · 16	100 · 4 · 1/2"	150 · 18	110 · 4 · 5/8"	40	150 · 18	110 · 4 · 5/8"	260	170 · 26	125 · 4 · 3/4"
50	230	140 · 16	110 · 4 · 1/2"	165 · 20	125 · 4 · 1/2"	50	165 · 20	125 · 4 · 5/8"	300	195 · 28	145 · 4 · 7/8"
60	250	150 · 16	120 · 4 · 1/2"	175 · 20	135 · 4 · 1/2"	60	175 · 22	135 · 8 · 5/8"	340	210 · 30	160 · 8 · 7/8"
70	290	160 · 16	130 · 4 · 1/2"	185 · 20	145 · 4 · 1/2"	70	185 · 22	145 · 8 · 5/8"	340	220 · 30	170 · 8 · 7/8"
80	310	190 · 18	150 · 4 · 5/8"	200 · 22	160 · 4 · 1/2"	80	200 · 24	160 · 8 · 5/8"	380	230 · 32	180 · 8 · 7/8"
90	330	200 · 18	160 · 4 · 5/8"	210 · 22	180 · 8 · 1/2"	90	225 · 24	180 · 8 · 3/4"	430	255 · 34	200 · 8 · 1"
100	350	210 · 18	170 · 4 · 5/8"	220 · 24	180 · 8 · 1/2"	100	235 · 24	190 · 8 · 3/4"	430	265 · 36	210 · 8 · 1"
125	400	240 · 20	200 · 8 · 5/8"	250 · 24	210 · 8 · 1/2"	125	270 · 26	220 · 8 · 7/8"	500	315 · 40	250 · 8 · 1 1/8"
150	480	265 · 20	225 · 8 · 5/8"	285 · 26	240 · 8 · 3/4"	150	300 · 28	250 · 8 · 7/8"	550	355 · 44	290 · 12 1 1/8"

*) L wie p_N 6 bis p_N 16.

Tabelle 3.42: Durchgangs- und Auslaufventile (Maße in mm)

d_N	Baulängen				Rohrgewinde R''		Schaft	Dichtung		Dmr.
Zoll	L	L_1	L_2	L_3	d	d_1	d_4	d_5	d_6	d_9
1/4"	52	52	60	45	1/4"	3/8"	6	11	20	7
3/8"	65	64	74	75	3/8"	1/2"	8	14	25	10
1/2"	65	64	77	90	1/2"	3/4"	8	17,5	29,5	13
3/4"	75	72	87	95	3/4"	1"	9	23	36	19
1"	90	85	105	105	1"	1 1/4"	10,5	29	44	25
1 1/4"	110	103	123	—	1 1/4"	1 1/2"	12,5	37	56	32
1 1/2"	120	118	145	—	1 1/2"	1 3/4"	12,5	42,5	64	38

3.6. Keilriemen

Die günstigste *Umfangsgeschwindigkeit* beträgt 20···25 m/s. Dabei bestehen gute Zentrifugalspannung und praktisch schlupffreier Lauf. Höhere Umfangsgeschwindigkeiten verkürzen die Lebensdauer. Für die Umfangsgeschwindigkeit v in m/s gilt bei n_1 in Umdr./min für das treibende und n_2 in Umdr./min für das getriebene Rad sowie d_m in mm für den Durchmesser des kleineren Rades und D_m in mm für den Durchmesser des großen Rades (Bild 3.39):

$$v = \frac{d_m\, n_1}{19\,100} = \frac{D_m\, n_2}{19\,100} \text{ in m/s}; \quad \frac{\pi}{60 \cdot 1000} = \frac{1}{19\,100}.$$

Der *Umschlingungswinkel* β beträgt angenähert für $\beta = 110$ bis 180°

$$\beta = 180° - 60° \frac{D_m - d_m}{a}.$$

Für kleinere Winkel eignet sich besser die genauere Beziehung

$$\cos \frac{\beta}{2} = \frac{D_m - d_m}{2a}.$$

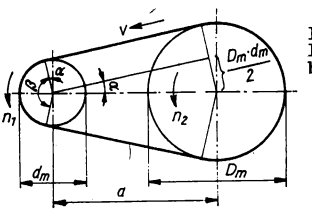


Bild 3.39. Bezeichnungen beim Keilriementrieb

Empfehlenswerter *Achsabstand* (nach TGL 6554 Bl. 4):

$$a = D_m + 3c.$$

Die *wirkliche Riemenleistung* $P_e = \frac{P\, c_1\, c_2}{c_3}$ in PS.

Tabelle 3.43 enthält den Beiwert c_1, Tabelle 3.44 den Beiwert c_2 bei kurzzeitiger Überbeanspruchung im Verhältnis zur normalen Beanspruchung.

Tabelle 3.43: Beiwert c_1 für Umschlingungswinkel $\beta < 180°$

β in °	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70
c_1	1	0,98	0,95	0,92	0,89	0,86	0,82	0,78	0,73	0,68	0,63	0,58

Tabelle 3.44: Beiwert c_2 bei kurzzeitiger Überbeanspruchung

Kurzzeitige Überbeanspruchung in %	0	25	50	100	150
c_2	1	1,1	1,2	1,4	1,6

Tabelle 3.45: Gebräuchliche Leistungswerte P für endlose Riemen aus Gummi mit Gewebe (nach TGL 6554 Bl. 4)

Keilriemenbreite	Kleinstmaß für d_m	Leistung P in PS bei Riemengeschwindigkeit v in m/s (1 PS = 0,736 kW)														
mm	mm	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
5	22	0,024	0,047	0,068	0,086	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,08	0,05	—	—	—	—
6	32	0,05	0,10	0,15	0,19	0,22	0,25	0,26	0,27	0,26	0,24	0,21	0,15	0,08	—	—
8	45	0,10	0,19	0,28	0,36	0,43	0,48	0,52	0,55	0,56	0,54	0,49	0,42	0,30	0,18	—
10	63	0,19	0,37	0,55	0,72	0,87	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	—
13	90	0,37	0,74	1,1	1,4	1,7	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7	2,7	2,6	2,5	2,3	2,0
17	125	0,7	1,3	1,9	2,5	3,1	3,6	4,0	4,3	4,6	4,8	4,8	4,7	4,5	4,1	3,6
20	180	1,0	1,9	2,8	3,7	4,5	5,2	5,8	6,3	6,7	6,9	7,0	6,8	6,5	6,0	5,1
(22)	212	1,1	2,3	3,4	4,4	5,3	6,1	7,0	7,5	8,0	8,2	8,3	8,2	7,8	7,1	6,2
25	250	1,5	3,0	4,4	5,7	6,9	8,0	9,0	9,8	10,4	10,7	10,9	10,3	10,1	9,3	8,0
32	355	2,4	4,7	7,0	9,2	11,1	12,8	14,4	15,7	16,6	17,1	17,3	17,0	16,1	14,8	13,0
40	500	3,7	7,4	11	14	17	20	22	24	26	27	27	26	25	23	20
50	710	6	12	18	23	28	32	36	39	42	43	44	43	41	37	32

Tabelle 3.46: Keilriemenbreite und kleinster zulässiger Scheibendurchmesser

Breite b in mm	5	8	10	13	17	20	22	25	32	40	50
kleinster d_m in mm	22	45	63	90	125	180	212	250	355	500	710

Mittlere Riemenlänge l_m:

Genaue Formel, besonders für $\beta < 140°$:

$$l_m = \frac{d_m + D_m}{2}\pi + 2a\sin\frac{\beta}{2} + \frac{\pi\alpha}{90}\frac{D_m - d_m}{2},$$

angenäherte Formel, brauchbar für $\beta = 140° \cdots 180°$:

$$l_m = \frac{d_m + D_m}{2}\pi + 2a + \left(\frac{D_m - d_m}{4a}\right)^2,$$

wobei $\alpha = 90° - \frac{\beta}{2}$ ist.

Bei Unterschreitung des kleinsten zulässigen Scheibendurchmessers d_m berechnet man den c_2-Beiwert:

$$c_2 = \frac{\text{gewählter Scheibendurchmesser}}{\text{zul. kleinster Scheibendurchmesser}}.$$

In Tabelle 3.45 gilt Leistung P bei Umschlingungswinkel $\beta = 180°$ und Nichtunterschreitung der Kleinstmaße des Scheibendurchmessers d_m.

In Tabelle 3.46 sind Keilriemenbreite b und kleinster zulässiger Scheibendurchmesser d_m zusammengestellt.

Die zul. Abweichung für die Innenlänge beträgt + 0,5 % bzw. — 1 %. Einzelne fehlerhaft gewordene Keilriemen mehrrilliger Antriebe werden nicht einzeln, sondern satzweise ausgewechselt. Die Ist-Innenlängentoleranz soll dabei untereinander höchstens 0,25 % erreichen.
Tabelle 3.47 enthält *Keilriemenabmessungen* (Bild 3.40), Bild 3.41 *Maßbezeichnungen* an ein- und mehrrilligen Keilriemenscheiben.

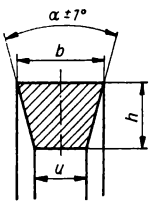


Bild 3.40. Keilriemenabmessungen

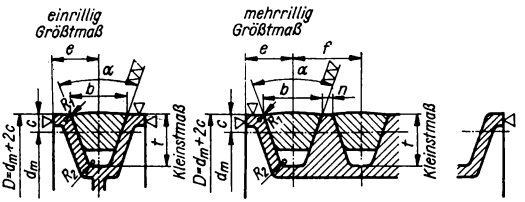


Bild 3.41. Maßbezeichnungen an ein- und mehrrilligen Keilriemenscheiben

Tabelle 3.47: Keilriemenabmessungen (nach TGL 6554 Bl. 1)

b	5	8	10	13	17	20	22	25
h	3	5	6	8	11	12,5	14	16
u	3	4,6	5,9	7,5	9,4	11,4	12,4	14
Masse je m kg ≈	0,02	0,04	0,08	0,12	0,20	0,30	0,36	0,42
Innenlänge								
300	×	—	—	—	—	—	—	—
315	×	—	—	—	—	—	—	—
335	—	×	—	—	—	—	—	—
375	—	×	—	—	—	—	—	—
400	—	—	×	—	—	—	—	—
425	—	×	×	—	—	—	—	—
450	—	×	×	—	—	—	—	—
475	—	×	×	—	—	—	—	—
500	—	—	×	—	—	—	—	—
530	—	—	×	—	—	—	—	—
560	—	×	×	×	—	—	—	—
600	—	—	×	×	—	—	—	—
630	—	×	×	×	—	—	—	—
670	—	×	×	×	—	—	—	—
710	—	×	×	×	—	—	—	—
750	—	—	×	×	—	—	—	—
800	—	×	×	×	×	—	—	—
850	—	—	×	×	×	—	—	—
900	—	—	×	×	×	—	—	—
950	—	—	×	×	×	—	—	—
1000	—	—	×	×	×	—	—	—
1060	—	—	×	×	×	—	—	—
1120	—	—	×	×	×	×	—	—
1180	—	—	×	×	×	×	—	—
1250	—	×	×	×	×	×	—	—
1320	—	—	×	×	×	×	×	—
1400	—	—	×	×	×	×	×	—
1500	—	—	×	×	×	×	×	—
1600	—	—	×	×	×	×	×	×
1700	—	—	×	×	×	×	×	×
1800	—	—	×	×	×	×	×	×
1900	—	—	×	×	×	×	×	×
2000	—	—	×	×	×	×	×	×

b	10	13	17	20	22	25	32	40	50
h	6	8	11	12,5	14	16	20	25	32
u	5,9	7,5	9,4	11,4	12,4	14	18,3	22,8	28
Masse je m kg ≈	0,08	0,12	0,20	0,30	0,36	0,42	0,69	0,95	1,58
Innenlänge									
2120	×	×	×	×	×	×	—	—	—
2240	×	×	×	×	×	×	×	—	—
2360	×	×	×	×	×	×	×	—	—
2500	×	×	×	×	×	×	×	—	—
2650	×	×	×	×	×	×	×	—	—
2800	×	×	×	×	×	×	×	—	—
3000	—	×	×	×	×	×	×	—	—
3150	—	×	×	×	×	×	×	×	—
3350	—	×	×	×	×	×	×	×	—
3550	—	×	×	×	×	×	×	×	—
3750	—	×	×	×	×	×	×	×	—
4000	—	×	×	×	×	×	×	×	—
4250	—	—	×	×	×	×	×	×	—
4500	—	—	×	×	×	×	×	×	—
4750	—	—	×	×	×	×	×	×	—
5000	—	—	×	×	×	×	×	×	—
5300	—	—	×	×	×	×	×	×	×
5600	—	—	×	×	×	×	×	×	×
6000	—	—	×	×	×	×	×	×	×
6300	—	—	×	×	×	×	×	×	×
6700	—	—	—	—	—	×	×	×	×
7100	—	—	—	—	—	×	×	×	×
7500	—	—	—	—	—	×	×	×	×
8000	—	—	—	—	—	×	×	×	×
8500	—	—	—	—	—	×	×	×	×
9000	—	—	—	—	—	×	×	×	×
9500	—	—	—	—	—	×	×	×	×
10000	—	—	—	—	—	×	×	×	×
11200	—	—	—	—	—	×	×	×	×
12500	—	—	—	—	—	×	×	×	×
14000	—	—	—	—	—	×	×	×	×
16000	—	—	—	—	—	—	×	×	×
18000	—	—	—	—	—	—	×	×	×

4. Elektrik, Elektronik

4.1. Schaltungen

In Bild 4.1 sind Schaltungen mit *Ausschaltern*, in Bild 4.2 Schaltungen mit *Serienschaltern*, in Bild 4.3 Schaltungen mit *Wechselschaltern*, in Bild 4.4 Schaltungen mit *Treppenschaltern* angegeben.

4.2. Lichttechnik

Beleuchtungsanlagen

Leuchten für Leuchtstofflampen (Bild 4.5) werden als Allgemeinbeleuchtung von Geschäftsräumen, Werkstätten, Gaststätten und Schaufenstern verwendet, in Wohnungen als Ankleidespiegelbeleuchtung und für Sonderzwecke.
Tabelle 4.1 gibt die *Mindestleistungsgrößen* der Lampen an, Tabelle 4.2 *Beleuchtungsstärken* für Schaufenster, Bild 4.6 zeigt die *Lichtverteilung*.

Tabelle 4.1: Mindestleistung der Lampen in W

Raum	Allgemein- Beleuchtung*)		Platz-	
	G	L	G	L
Küche	100	40	40	25
Wohnzimmer	100	40	75	25
Schlafzimmer	75	25	40	16
Bad	60	16	—	—
Flur, Treppe, Keller	25	16	—	—

*) G Glühlampe, L Leuchtstofflampe.

Tabelle 4.2: Beleuchtungsstärken für Schaufenster

Schaufenster-dekoration	Dunkle Straße (3 lx)	Helle Straße (10 lx)
helle Dekoration	300 lx	600 lx
dunkle Dekoration	600 lx	1000 lx*)
wechselnde Dekoration	600 lx**)	1000 lx**)

*) In Sonderfällen bis 2000 lx.
**) Lampen zur Anpassung in Gruppen unterteilt.

Ausführungsbeispiele

Heime (Beleuchtungsstärken in lx):
Allgemeinbeleuchtung Küche 90; Wohnzimmer 80; Schlafzimmer 45; Bad 50; Flur, Keller und Treppe 20; als Decken- oder Wandleuchten; in Küche, Bad, Keller abwaschbare Keramikleuchten, im Keller mit Schutzkorb.
Platzbeleuchtung Küche 250; zum Lesen 240; zum Nähen 400; Bett und Spiegel 40; als Tisch-, Steh-, Spiegel-, Bett- oder Sonderleuchten.

Hotels: Lange Flure Leuchtstoffeckleuchten oder Lichtbänder.

Speisesaal: Trübglas-Wandleuchten mit 40-W-Leuchtstofflampen (120 lx). – Tischleuchten mit 25-W-Glühlampen.

Schreib- und Lesezimmer: Leuchtbänder mit 40-W-Leuchtstofflampen. Tischleuchten an den Schreib- und Leseplätzen mit 60-W-Glühlampen. Küche, Zimmer, Bad wie vor unter Heime.

Krankenhäuser: Krankenzimmer, Küche, Bad, Treppe, Keller, wie bei Heime. Lange Flure wie bei Hotels. Tagesraum wie bei Schreibzimmer. Operationszimmer: Glühlampen, Mattglasleuchten außerhalb des Raumes über Glaskuppel. Matter blendungsfreier Raumanstrich. Kleine Scheinwerfer als Platzbeleuchtung.

Schulen: Allgemeinbeleuchtung der Klassenzimmer durch Leuchtröhrenbänder über den Fenstern oder seitlich der Fenster (bei breiten Klassenzimmern zusätzliches Eckleuchtenband oder Breitstrahler mit Glühlampen über den Bänken). Leichte Reinigungsmöglichkeit beachten. Beleuchtungsstärken: Lehrerpult und Tafel 180 lx; Schülerplätze 120 lx; Zeichensäle 200 lx; Treppen 30 lx.

Hörsäle: Leuchtbänder (auch über Zwischendecken) oder abgeschirmte Spiegelleuchten (120 lx) (über Experimentiertischen 200 lx). Kleine Schrägstrahler an Dozentenpult und Tafel. Kleine abgeschirmte Platzleuchten an den Hörerplätzen (zwangsläufig einschaltbar bei Verdunklung). Mensa 80 lx über den Tischen.

Büroräume: Leuchtbänder an Wänden und Decken oder Spiegelleuchten mit oberem Teillichtauslaß (90 lx). Gelenkleuchten an den Schreibtischen (60 W).

Versammlungsräume, Konferenzzimmer: Spiegel-Rasterleuchten ($\gamma \geqq 45°$) mit oberem Teillichtauslaß über dem Tisch 180 lx. Schrägstrahler für Rednerpult (60 W). Allgemeinbeleuchtung des Zuhörerraumes (mindestens 40 lx).

Turnhallen: Glühlampen-Tiefstrahler, innen versilbert mit 200-W-Lampen (40···80 lx) oder Raster-Leuchtstofflampen 40 W (80···120 lx), auch gemischt. Bei Anordnung über Zwischendecken doppelte Lampenzahl. Gute Reinigungsmöglichkeit beachten.

Industrie: Übliche Größen der Leuchtstofflampen 40 und 65 W. In hohen Hallen Mischlicht aus Quecksilberdampf- und Glühlampen oder Hochdruck-Quecksilberdampf-Leuchtstofflampen bis 1000 W.
Leuchten für Glüh-, Misch- und Quecksilberdampflampen, Tiefstrahler mit oberem Teillichtauslaß oder lichtdurchlässigen Reflektoren zur oberen Raumaufhellung. Leuchten für Leuchtstofflampen aus Kunststoff mit Aluminium-Reflektoren. Tiefer hängende Leuchtbänder (z. B. über Fließbändern) Rasterabblendung. Zur Einschränkung der Lichtverluste durch Verstauben Durchlüftungskanäle (Schlitze) im oberen Leuchtenteil.
Aufhängung der Leuchtbänder an ⊔-förmigen Stahlblech-Tragschienen, die zur Unterbringung der Zuleitungen dienen (s. Bild 4.5).
In Montagehallen Leuchten auch an den Laufkranträgern aufhängen. Zugänglichkeit hoch aufgehängter Leuchten durch feste oder fahrbare Laufstege oder Seilwinden mit Leitungskupplungen. Platzbeleuchtung an Maschinen durch Gelenkleuchten.
Im Freien Tiefstrahler oder Scheinwerfer, siehe auch »Grundsätze für Beleuchtungsanlagen in Kompaktbauten« von der Deutschen Bauakademie.

4.3. Spannungen für elektrische Anlagen, Stromstärken, Leistungen, Nennströme

Die genannten Größen sind in den Tabellen 4.3···4.6 zusammengestellt.

Für Gleichstrom ist $I\ (\text{in A}) = \dfrac{P\ (\text{in kW})\ 1000}{U\ (\text{in V})}$.

Für Drehstrom ist $I\ (\text{in A}) = \dfrac{P\ (\text{in kW})\ 1000}{U\ (\text{in V})\ 1{,}73\ \cos\varphi}$.

Zu Tabelle 4.5:

Bei kleineren oder größeren Leistungen und Stromstärken ist der n-mal größere bzw. der n-mal kleinere Wert aufzusuchen und dann das Ergebnis durch n zu teilen bzw. mit n zu multiplizieren.

Beispiele: 1. Bei 220 V Gleichstrom und 4 kW Belastung fließen in jeder Leitung 18,2 A.

2. Bei 250 V Drehstrom und 4 kW Belastung fließen bei $\cos\varphi = 0{,}8$ in jeder Leitung 13,1 A.

3. Bei 10000 V (20 × 500 V) Drehstrom und 400 kW (100 × 4 kW) Belastung fließen bei $\cos\varphi = 0{,}8$ in jeder Leitung

$$\frac{5{,}75 \cdot 100}{20} = 28{,}75 \text{ A}.$$

4. Bei 380 V Drehstrom und $\cos\varphi = 1$ zeigt der Strommesser 3 A. Für den Tabellenwert 3,04 A beträgt die Belastung 2 kW.
5. Das Wattmeter zeigt bei Drehstrom 10 kW, der Strommesser 44 A, der Spannungsmesser 220 V. Der Leistungsfaktor $\cos\varphi$ beträgt dann 0,6.

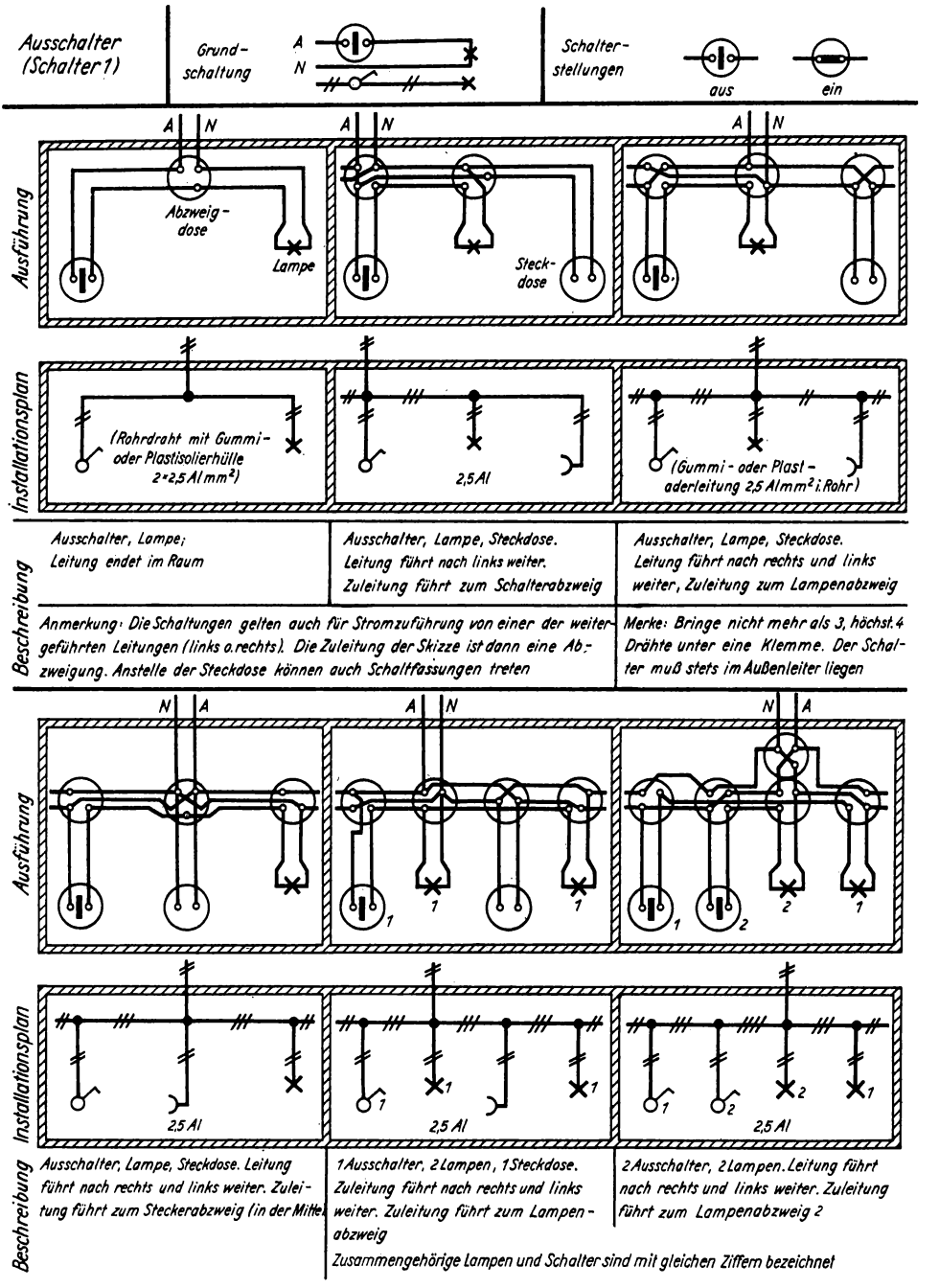


Bild 4.1. Schaltungen mit Ausschaltern
(A Außenleiter, geht von der Stromquelle zum Schalter, der Steckdose oder Schaltfassung, führt Spannung gegen Erde; N Neutraler Leiter, Rückleiter vom Stromverbraucher zum Netz)
Anmerkung: Schalter und Schaltfassungen müssen stets am Außenleiter liegen.

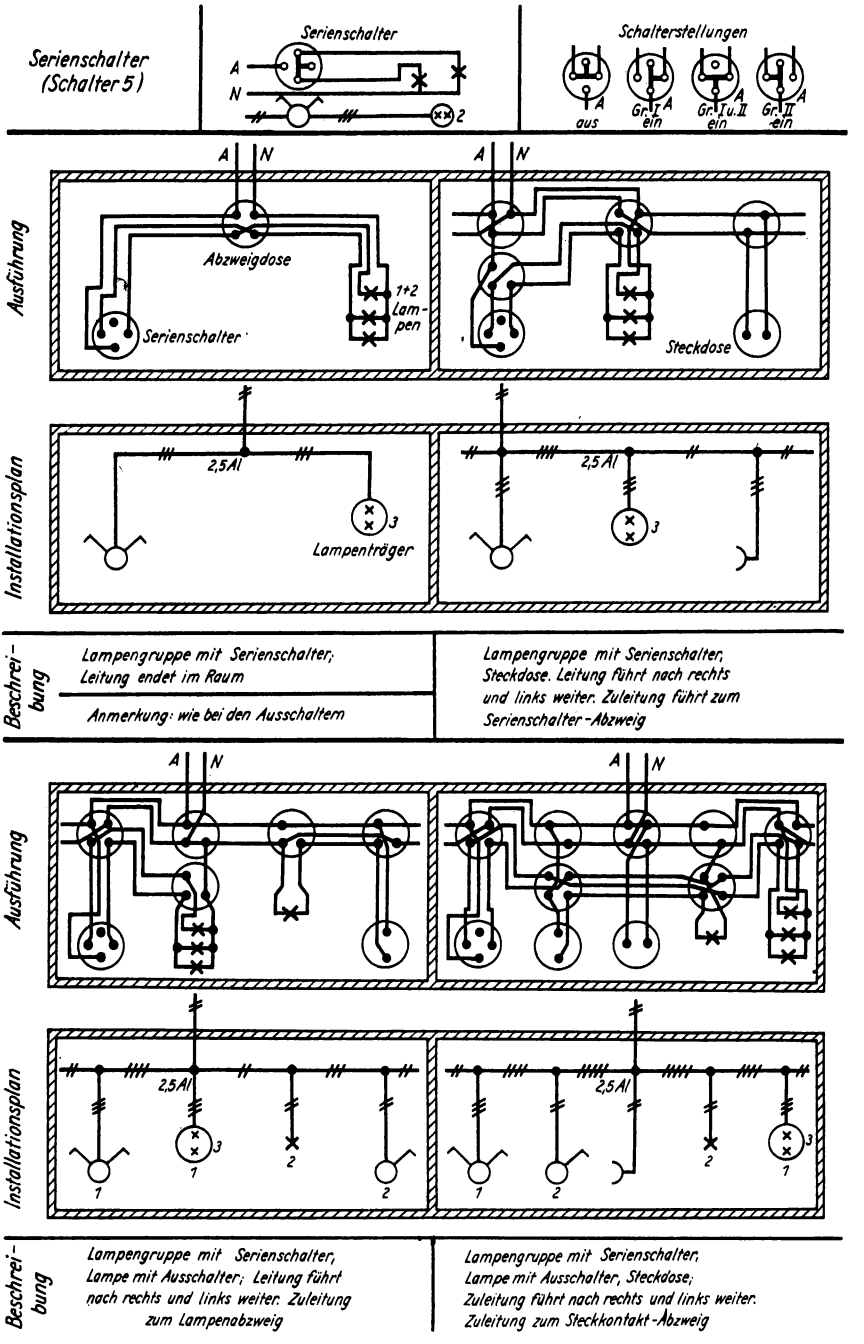


Bild 4.2. Schaltungen mit Serienschaltern
(A Außenleiter, geht von der Stromquelle zum Schalter, der Steckdose oder Schaltfassung, führt Spannung gegen Erde; N Neutraler Leiter, Rückleiter vom Stromverbraucher zum Netz)
Anmerkung: Schalter und Schaltfassungen müssen stets am Außenleiter liegen.

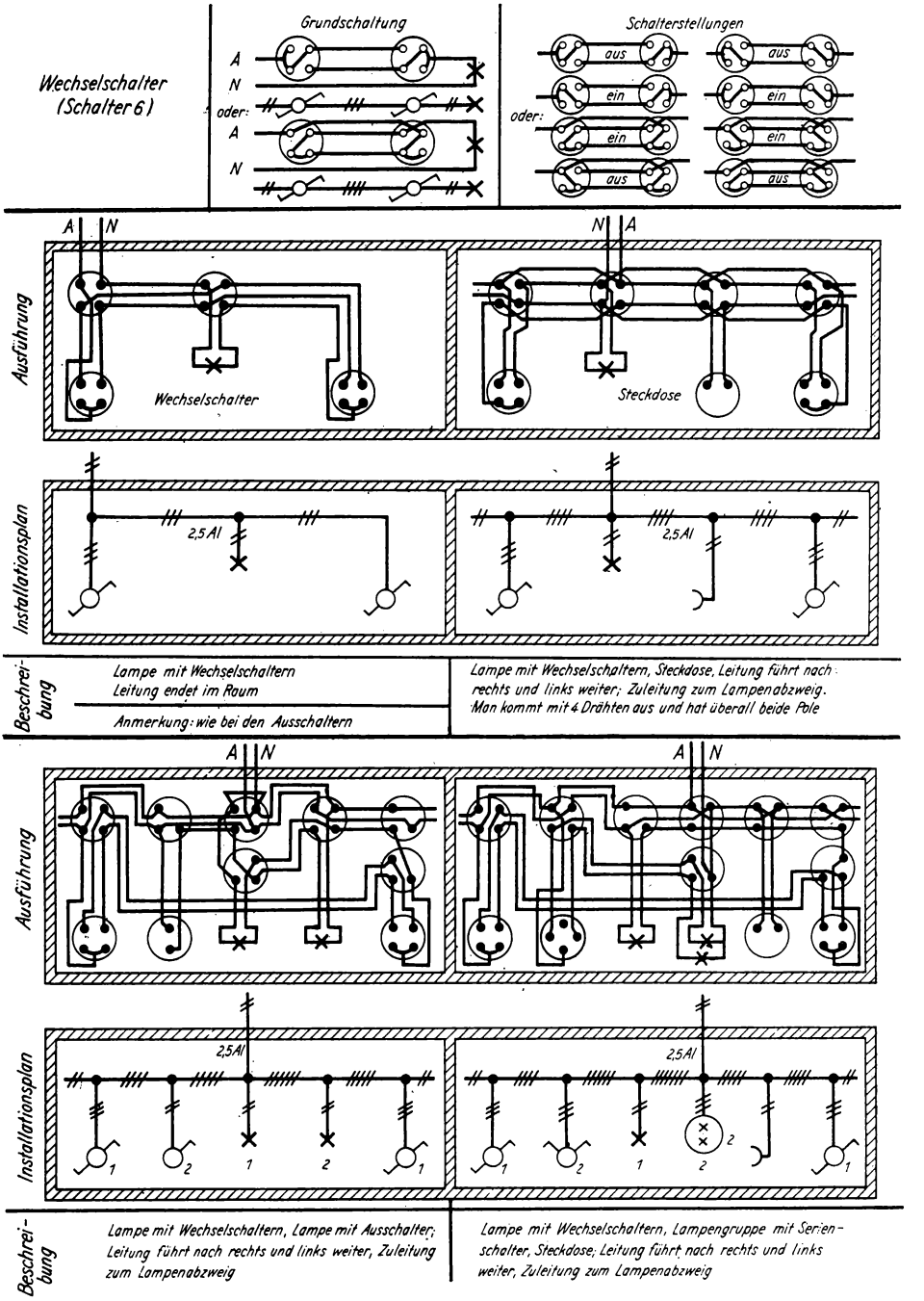


Bild 4.3. Schaltungen mit Wechselschaltern
A Außenleiter, geht von der Stromquelle zum Schalter, der Steckdose oder Schaltfassung, führt Spannung gegen Erde;
N Neutraler Leiter, Rückleiter vom Stromverbraucher zum Netz)

Anmerkung: Schalter und Schaltfassungen müssen stets am Außenleiter liegen.

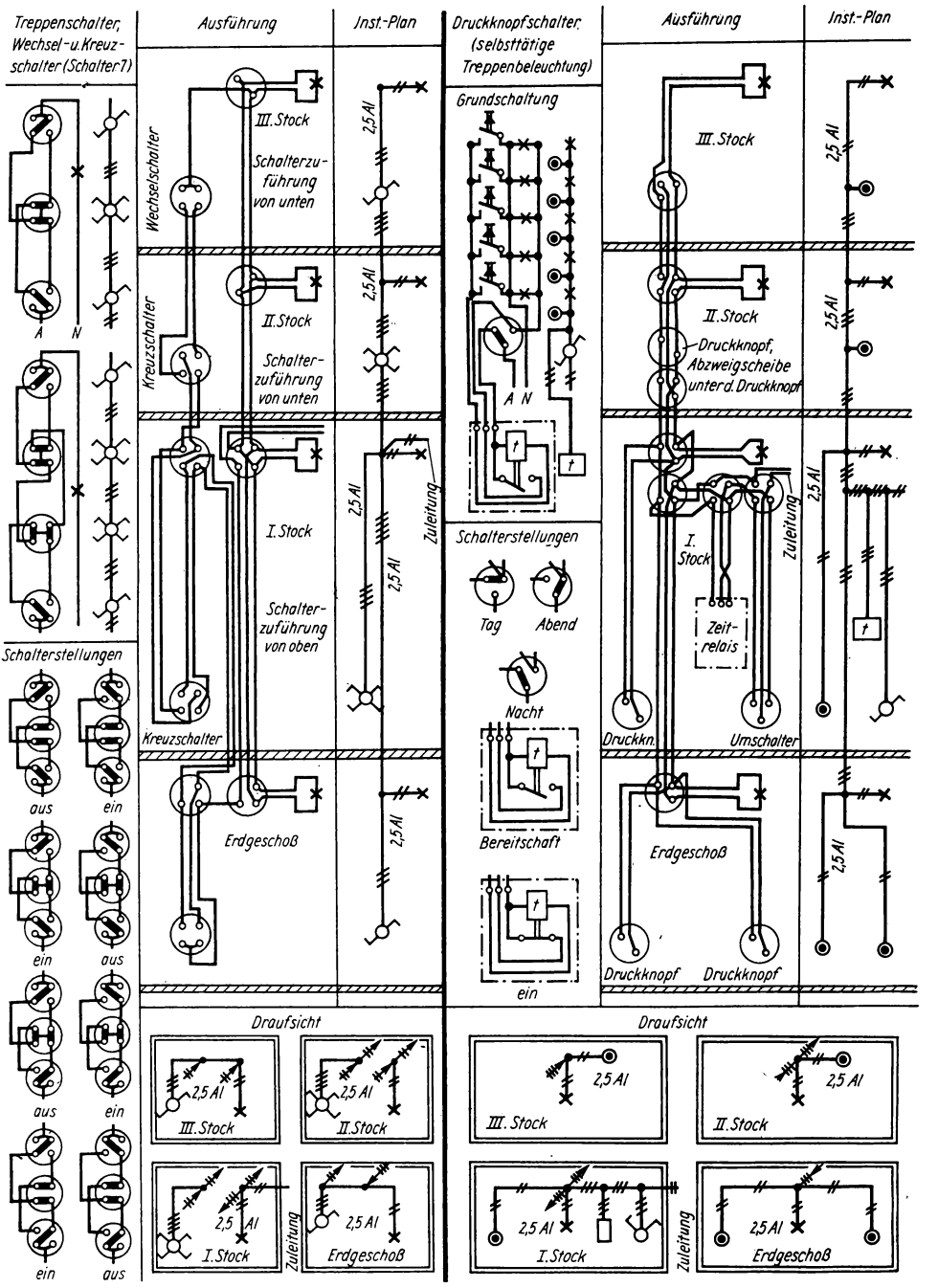
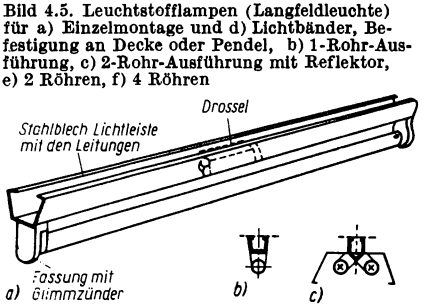


Bild 4.4. Schaltungen mit Treppenschaltern
(A Außenleiter, geht von der Stromquelle zum Schalter, der Steckdose oder Schaltfassung, führt Spannung gegen Erde; N Neutraler Leiter, Rückleiter vom Stromverbraucher zum Netz)

Anmerkung: Schalter und Schaltfassungen müssen stets am Außenleiter liegen.



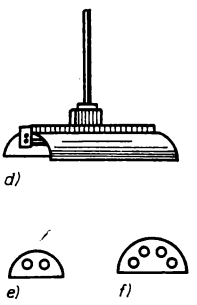


Bild 4.5. Leuchtstofflampen (Langfeldleuchte) für a) Einzelmontage und d) Lichtbänder, Befestigung an Decke oder Pendel, b) 1-Rohr-Ausführung, c) 2-Rohr-Ausführung mit Reflektor, e) 2 Röhren, f) 4 Röhren

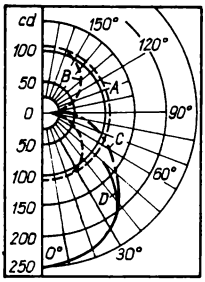


Bild 4.6. Lichtverteilung für 1000 lm
A nackte Lampe quer, B nackte Lampe längs, C Leuchte quer, D Leuchte längs zur Lampenachse

Tabelle 4.3: Spannungen für elektrische Anlagen

1 ··· 100 V	> 100 V
a) Als *Nennspannung* einer Anlage oder ihrer Teile bei Spannungen zwischen 1 und 100 V gilt *die* Spannung, für die die zugehörigen Stromverbraucher bestimmt sind. Bei Anlagen, deren Stromverbraucher aus einer Reihe von Einzelteilen, wie Magneten, Widerständen, Relais usw., zusammengesetzt sind, kann sich die Nennspannung auch auf die Gesamtheit der einzelnen Apparate beziehen, die ein abgeschlossenes System zusammengehöriger Teile bilden. Die Spannung am Stromerzeuger ist stets um den äußeren Spannungsabfall in den Leitungen und um den Betrag etwaiger Spannungsschwankungen oder gegebenenfalls Spannungsregelung größer als die Nennspannung. So ist es z. B. üblich, Klingeltransformatoren als Stromerzeuger für 3, 5 und 8 V herzustellen, Spannungen, die um den äußeren Spannungsabfall von 1 . . . 2 V größer sind als die genormten Nennspannungen der zugehörigen Stromverbraucher. Bei Anlagen für Fernmeldung, Eisenbahnsicherung und ähnliche Zwecke, die mit stark veränderlicher Spannung arbeiten, kann im Einzelfall von den standardisierten Nennspannungen abgewichen werden. Es ist zweckmäßig, die Stromverbraucher auf eine standardisierte Nennspannung und eine zusätzliche Spannungsregelung zu beziehen. Die Nennspannung von Stromverbrauchern, die aus Akkus gespeist werden, ist gleich der Nennspannung des Akkus oder der Batterie. Als Nennspannung einer Bleiakkuzelle sind 2 V, einer Stahlakkuzelle 1,2 V festgelegt. Stromverbraucher, die bis zur völligen Entladung der Batterie arbeiten sollen, müssen auch bei der niedrigsten Entladespannung ihren Zweck voll erfüllen.	a) Die Spannung irgendeines Teiles der elektrischen Anlage kann sich sowohl zeitlich als auch örtlich ändern. Im allgemeinen wird sie um einen Mittelwert schwanken. Als *Betriebsspannung* wird *die* Spannung bezeichnet, die in leitend zusammenhängenden Netzteilen an den Klemmen der Stromverbraucher im Mittel zeitlich und örtlich vorhanden ist. Als Stromverbraucher gelten außer Lampen, Motoren usw. auch Primärwicklungen von Transformatoren. Als *Nennspannung* wird *die* Spannung von Maschinen, Transformatoren, Apparaten, Leitungen, Geräten usw. bezeichnet, für die sie bemessen, gebaut und benannt sind. Die den Zahlenwerten von c) entsprechenden Nennspannungen von Maschinen, Apparaten, Leitungen usw. heißen *standardisierte Nennspannungen.* Bei Maschinen, Transformatoren, Apparaten und Geräten, die Wicklungen oder Widerstände enthalten, deren Windungszahl oder Widerstandswert einerseits, die Isolation andererseits nach verschiedenen Spannungen bemessen sind, wird als *Nennspannung* die Spannung bezeichnet, nach der die Spannung führende Wicklung oder der Spannung führende Widerstand bemessen ist, als *Reihenspannung* die standardisierte Spannung, nach der die Isolation bemessen ist.
b) Als *standardisierte Werte für Gleich- und Wechselstrom* gelten: für alle Gebiete die Werte der Vorzugsreihe 2, 4, 6. 12, 24, 40, 60, 80 V, für die verschiedenen Fachgebiete auch die Werte der Reihen in Tabelle 4.4.	b) In Drehstromnetzen wird der Mittelwert der Spannungen zwischen den 3 Leitern (Außenleitern) *Spannung* des Drehstromnetzes genannt (früher »Netzspannung«, »verkettete Spannung«, »Dreieckspannung«). Der Mittelwert der Spannungen zwischen je einem Leiter und dem Sternpunkt des Drehstromnetzes wird *Strangspannung* genannt (früher »Phasenspannung« »Spannung je Pol«).
c) Die Zahlenwerte der standardisierten Nennspannungen von b) gelten auch für solche Anlagen, deren Nennspannung nach a) um einen gewissen Betrag von den genormten Zahlenwerten abweicht. Über die Größe der zahlenmäßigen Abweichung lassen sich allgemeine Angaben nicht machen, jedoch soll sie nur in der Größenordnung von Einern bis wenigen Zehnern von Prozenten liegen.	c) *Nennspannungen und Reihenspannungen* von 100 V *bis* 380 kV (nach TGL 17872). Diese Nennspannungen sind stets anzuwenden, wenn nicht zwingende technische Gründe dagegensprechen. *Gleichstrom:* 110[3]), *220, 440, 600,* 750, 800 V; 1,2, 1,5, 2,4, 3 kV. *Wechsel- und Drehstrom* 50 Hz[1]): 100[2]), 125[4]), *220*[4]), *380,* 500 V. 3, 5, 6, *10,* 15, *20,* 25, *30,* 60, *110, 220, 380* kV. *Einphasenwechselstrom* 16⅔ Hz: 100[2]), 200, 220, 1000 V. 6, *15,* 60, *110,* 220 kV. *Reihenspannungen: Gleichstrom* 110, 250, 440, 600 V; 1,2, 1,5, 3 kV; desgl. *Wechsel- und Drehstrom* 50 Hz[1]): 125, 250, 380, 500, 750[5]), 1000 V. 1,5[6]), 2[5]), 3, 6[6]), 10, 15[7]), 20, 30, 45[8]), 60, 110[9]), 150[8/9]), 220[9]), 300[10]), 380[10]) kV *Einphasenwechselstrom* 16⅔ Hz: 250, 1000 V; 6, 20, 60, 110, 220 kV. Die kursivgedruckten Werte sind für Neuanlagen, Umstellungen und umfangreiche Erweiterungen zu bevorzugen. Zulässige Abweichungen s. einschlägige Bestimmungen u. a. für Maschinen, Transformatoren, Kondensatoren und Schaltgeräte.
	d) Wenn die Abweichungen von den Spannungswerten nach c) nicht mehr betragen als + 10 % auf der Erzeugerseite, ± 5 % auf der Verbraucherseite der Leitungsanlage, so kann normal gefertigtes elektrisches Material ohne weiteres verwendet werden. Maschinen und Transformatoren vertragen entweder Spannungsschwankungen von 0 ··· 10 % als Erzeuger oder von ± 5 % als Verbraucher; Glühlampen vertragen die Abweichungen um ± 5 % nur vorübergehend.
	e) Die sekundäre Nennspannung von Spannungswandlern ist 100 V, wenn die primäre Nennspannung einen unter c) stehenden Wert hat.

[1]) Auch bei abweichenden Frequenzen. [2]) Nur für Spannungswandler. [3]) Außenleiterspannung oder Spannung zwischen Außen- und Mittelleiter. [4]) Leiter- (Dreieck-) oder Strangspannung. [5]) Nur für Kabel, Leitungen und Sicherungen. [6]) Für gekapselte Anlagen. [7]) Für Freileitungsisolatoren. [8]) Nur für Ausfuhr. [9]) *Auch* für Netze mit starr geerdetem Sternpunkt. [10]) *Nur* für Netze mit starr geerdetem Sternpunkt.

Tabelle 4.4: Nennspannungen unter 100 V (nach TGL 17872)

Anwendungsgebiet	Nennspannung in V															
Vorzugsreihe	—	2	—	—	4	6	—	12	—	24*)	40	—	60	—	80	—
Beleuchtungsanlagen, gespeist aus Trockenelementen	1,5	—	2,5	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
dgl. aus Akkumulatoren, Generatoren und Transformatoren	—		2,5	—	4	6	8	12	—	24	40	—	60	—	80	—
Stromverbraucher, gespeist aus Klingeltransformatoren	—	2	—	—	4	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
elektrisches Spielzeug	—	2	—	—	4	6	—	—	20	24	—	—	—	—	—	—
gewerbliche Kleinmotoren	—	—	—	—	—	—	—	12	—	24	40	—	60	—	—	—
Elektrokarren, -wagen und Flurfördermittel	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24	40	—	—	—	80	—
Grubenlokomotiven	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60	72	80	96
Elektrowärmegeräte	—	—	—	—	—	—	—	12	—	24	40	—		—	—	—
elektromedizinische Geräte	—	2	2,5	3,5	4	6	—	12	—	—	—	—	—	—	—	—
Fernmelde- und Fernsteuerungsanlagen	1,5	2	—	—	4	6	—	12	20	24	40	48	60	—	80	—
Schutz- und Regelanlagen	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24	—	—	60	—	—	—

*) Als Dreiphasenwechselspannungen bei 50 Hz auch $24\ V \cdot \sqrt{3} \approx 42\ V$.

Tabelle 4.5: Stromstärke I bei Leistung P

P	Gleichstrom U in V				Drehstrom U in V 125			220			380			500		
					cos φ			cos φ			cos φ			cos φ		
kW	110	220	440	600	1,0	0,8	0,6	1,0	0,8	0,6	1,0	0,8	0,6	1,0	0,8	0,6
Stromstärke I in A																
0,1	0,91	0,455	0,228	0,17	0,462	0,578	0,77	0,262	0,328	0,438	0,152	0,19	0,254	0,116	0,144	0,193
1,0	9,1	4,55	2,28	1,67	4,62	5,78	7,7	2,62	3,28	4,38	1,52	1,9	2,54	1,16	1,44	1,93
1,2	10,9	5,45	2,72	2,0	5,55	6,94	9,25	3,14	3,92	5,25	1,82	2,28	3,04	1,39	1,73	2,32
1,4	12,7	6,35	3,18	2,33	6,47	8,09	10,79	3,66	4,6	6,10	2,12	2,66	3,54	1,62	2,02	2,7
1,6	14,5	7,3	3,64	2,7	7,40	9,25	12,31	4,2	5,25	7,0	2,44	3,04	4,1	1,85	2,3	3,1
1,8	16,4	8,2	4,1	3,0	8,32	10,4	13,86	4,7	5,9	7,85	2,74	3,42	4,6	2,08	2,6	3,5
2,0	18,2	9,1	4,55	3,3	9,24	11,56	15,4	5,25	6,55	8,8	3,04	3,8	5,1	2,32	2,88	3,86
2,2	20,0	10,0	5,0	3,7	10,16	12,7	16,9	5,75	7,2	9,6	3,34	4,2	5,6	2,54	3,16	4,2
2,4	21,8	10,9	5,45	4,0	11,10	13,9	18,45	6,3	7,85	10,5	3,64	4,55	6,1	2,78	3,46	4,6
2,6	23,6	11,8	5,9	4,3	12,00	15,00	20,00	6,8	8,5	11,3	3,96	4,95	6,6	3,0	3,74	5,0
2,8	25,4	12,7	6,35	4,7	12,90	16,20	21,59	7,35	9,15	12,3	4,25	5,3	7,1	3,24	4,05	5,4
3,0	27,2	13,6	6,8	5,0	13,86	17,34	23,1	7,85	9,8	13,1	4,55	5,7	7,6	3,46	4,3	5,8
3,2	29,0	14,5	7,25	5,3	14,80	18,50	24,61	8,4	10,5	14,0	4,85	6,1	8,1	3,7	4,6	6,2
3,4	31,0	15,5	7,7	5,7	15,70	19,62	26,20	8,9	11,1	14,8	5,15	6,45	8,6	3,92	4,9	6,5
3,6	32,8	16,4	8,2	6,0	16,60	20,80	27,72	9,45	11,8	15,8	5,45	6,85	9,1	4,15	5,2	6,9
3,8	34,6	17,3	8,65	6,3	17,55	22,00	29,20	9,95	12,4	16,6	5,8	7,2	9,7	4,4	5,45	7,3
4,0	36,4	18,2	9,1	6,7	18,48	23,12	30,80	10,5	13,1	17,5	6,1	7,6	10,2	4,6	5,75	7,7
4,5	41,0	20,5	10,2	7,5	20,80	26,00	34,60	11,8	14,7	19,7	6,85	8,55	11,4	5,2	6,5	8,7
5,0	45,5	22,8	11,4	8,3	23,10	28,90	38,5	13,1	16,4	21,9	7,6	9,5	12,7	5,8	7,2	9,7
5,5	50,0	25,0	12,5	9,2	25,40	31,80	42,35	14,4	18,0	24,0	8,35	10,5	13,9	6,35	7,9	10,6
6,0	54,5	27,2	13,6	10,0	27,72	34,68	46,20	15,7	19,6	26,2	9,1	11,4	15,2	6,95	8,65	11,6
7,0	63,5	31,8	15,9	11,7	32,34	40,46	53,90	18,3	23,0	30,5	10,6	13,3	17,7	8,1	10,1	13,5
8,0	72,5	36,3	18,1	13,3	36,96	46,24	61,60	21,0	26,2	35,0	12,2	15,2	20,4	9,25	11,5	15,4
9,0	82,0	41,0	20,5	15,0	41,58	52,02	69,30	23,6	29,4	39,3	13,7	17,1	22,8	10,4	13,0	17,3
10,0	91,0	45,5	22,8	16,7	46,2	57,8	77,00	26,2	32,8	43,8	15,2	19,0	25,4	11,6	14,4	19,3
100	910	455	228	167	462	578	770	262	328	438	152	190	254	116	144	193

Tabelle 4.6: Nennströme in A (nach TGL 11128)

0,1	0,3	1	—	10	31,5	100	—	1000	3150	10000
0,12	0,4	1,25	4	—	40	125	400	1250	4000	
0,16	0,5	1,6	5	16	—	160	—	1600	5000	
0,2	0,6	2	6,3	—	63	200	630	2000	6300	
0,25	0,8	2,5	—	25	80	250	—	2500	8000	

Zu Tabelle 4.6:
Nennströme kleiner als 0,1 A sind nach der dezimalgeometrischen Grundreihe R 10 und Nennströme größer als 10000 A sind nach der dezimalgeometrischen Grundreihe R 20 zu wählen.
Standard TGL 11128 *gilt* für elektrische Erzeugnisse, die nach Nennströmen bemessen und benannt werden. Er *gilt nicht* für elektrische Erzeugnisse, für die in anderen Standards abweichende Nennströme festgelegt sind.

Begriff: Nennstrom ist der Strom, nach dem ein elektrisches Betriebsmittel bemessen und benannt wird und nach dem es die geforderten Bedingungen erfüllen muß..

4.4. Elektronik

4.4.1. Aufbau elektronischer Geräte

Elektronische Geräte bestehen zum großen Teil aus standardisierten *Baugruppen*, die jeweils eine bestimmte Funktion erfüllen und vielseitig einsetzbar sind. Je nach Umfang und Kompliziertheit der zu lösenden Aufgabe sind die Baugruppen als gedruckte *Leiterplatten*, *Steckkarten* oder *Steckbausteine* (Bild 4.7) in Gestellrahmen, Schränken oder transportablen Gehäusen standardisierter Abmessungen eingesetzt und mit den erforderlichen *Bedien-*, *Eingabe-* und *Anzeigeelementen* verbunden.
Die verschiedenen Baugruppen sind aus *Grundschaltelementen* (Widerstände, Kondensatoren, Spulen) und *passiven* (z. B. Dioden) sowie *aktiven*, d. h. verstärkenden *Bauelementen* (z. B. Transistoren) zusammengesetzt, die auf Leiterplatten gesteckt und verlötet werden (Bild 4.8).
Bei Baugruppen, die in großer Stückzahl benötigt werden (z. B. logische Grundverknüpfungen in EDVA), druckt man die Schalt- und Bauelemente auf *dünne Plättchen (Dünnfilmtechnik)* oder ordnet sie in *Halbleiterkristallen* an *(integrierte Schaltkreise, Mikroelektronik)* (Bild 4.9).

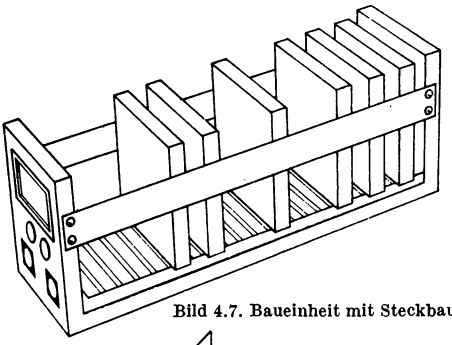


Bild 4.7. Baueinheit mit Steckbausteinen

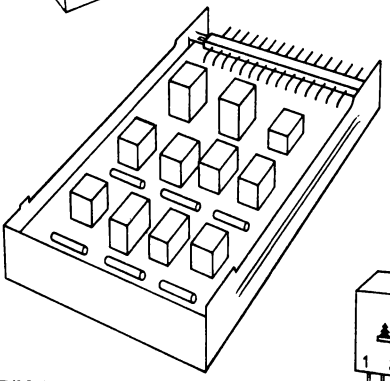


Bild 4.8.
Leiterplatten-Steckbaustein

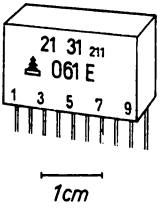


Bild 4.9. KME 3-Schaltkreis

4.4.2. Standardisierte Schaltzeichen und Symbole

Tabelle 4.7 enthält die Zusammenstellung.

Tabelle 4.7: Standardisierte Schaltzeichen und Symbole

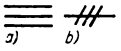
Bild	Benennung
Strom- und Spannungsarten (TGL 16006)	
	Gleichspannung, Gleichstrom (allgemein)
	Wechselspannung, Wechselstrom (allgemein)
	Gleich- oder Wechselspannung bzw. -strom
	Wechselstrom im Bereich der Tonfrequenz
	Wechselstrom im Bereich der Hochfrequenz
Leitungen und Leitungsverbindungen (TGL 16007)	
	Leitung oder Kabel, allgemein
	Leitung mit drei Leitern, Darstellung wahlweise: a) ausführlich, b) vereinfacht
	Kreuzung von Leitungen ohne elektrische Verbindung
	Abzweigung von 2 Leitern
	Koaxialkabel

Tabelle 4.7 (Fortsetzung)

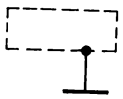
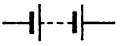
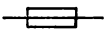
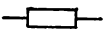
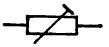
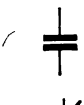
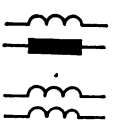
Bild	Benennung
	Abschirmung mit Masseverbindung
	Erdverbindung
sonstige allgemeine Schaltzeichen (TGL 16012, 16013, 16026)	
	galvanisches Element, Akkumulator
	Batterie, bestehend aus galvanischen oder Akkumulatorelementen
	Sicherung, allgemein
	Feinsicherung
	Strommesser
	Spannungsmesser
Grundschaltelemente (TGL 16008, 16009, 16010)	
	Widerstand, allgemein
	Widerstand, stetig verstellbar
	Widerstand, einstellbar
	nichtlinearer, spannungsabhängiger Widerstand (Varistor)
	Kondensator, allgemein
	verstellbarer Kondensator, Drehkondensator
	einstellbarer Kondensator, Trimmer
	Elektrolytkondensator, gepolt
	Spule, allgemein (Darstellung wahlweise, jedoch in einem Plan einheitliches Symbol verwenden)
	Transformator, Übertrager, Wandler (Darstellung wahlweise)

Tabelle 4.7 (Fortsetzung)

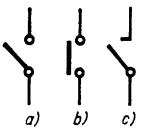
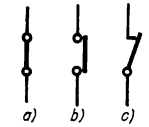
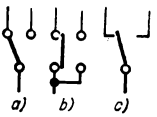
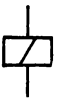
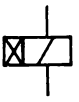
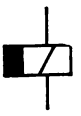
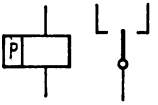
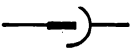
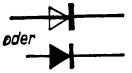
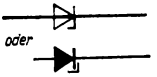
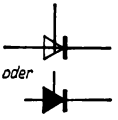
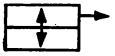
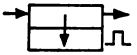
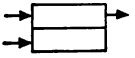
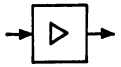
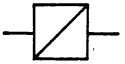
Bild	Benennung
Schaltgerätetechnik (TGL 16020)	
	Schließer
	Öffner
	Umschalter a) allgemein, b) Starkstrom, c) Schwachstrom
	Handbetätigung mit selbsttätigem Rückgang in Pfeilrichtung
	Nockenantrieb
	elektrisches Triebsystem eines Relais, Schützes oder Auslösers
	Wicklung mit Anzugverzögerung
	Wicklung mit Abfallverzögerung
	polarisiertes Relais mit Ruhelage in Mittelstellung
	Steckverbindung (Stecker – Buchse)
Halbleiterbauelemente (TGL 16016)	
	Gleichrichter, Diode
	Spannungsbegrenzerdiode (Z-Diode)
	pnp-Transistor

Tabelle 4.7 (Fortsetzung)

Bild	Benennung
	npn-Transistor
	gesteuerter Gleichrichter (Thyristor)
Binäre Speicher- und Zeitschaltungen (TGL 14091)	
	astabile Kippstufe (Multivibrator)
	monostabile Kippstufe (Dauer der Ausgangsimpulse 5 s)
	bistabile Kippstufe (Flip-Flop-Stufe)
	Ferritkernspeicher
	vierstelliger Impulszähler
Bauglieder für analoge Signalverarbeitung (TGL 14091)	
	Verstärker, allgemein
	Wandler, allgemein

4.1.8. Grundschaltelemente

Ohmsche Widerstände

Aufbau: Trägerkörper aus Isoliermaterial mit leitender Oberflächenschicht oder Metalldrahtwicklung mit Anschlüssen für den Einbau in Schaltungen.

Bild 4.10 zeigt das *Schaltzeichen*, Bild 4.11 die *Arten der Widerstände*. In den Bildern 4.12 und 4.13 ist die *Fertigung* von Widerständen dargestellt.
Tabelle 4.8 enthält den *internationalen Farbcode*.



Bild 4.10

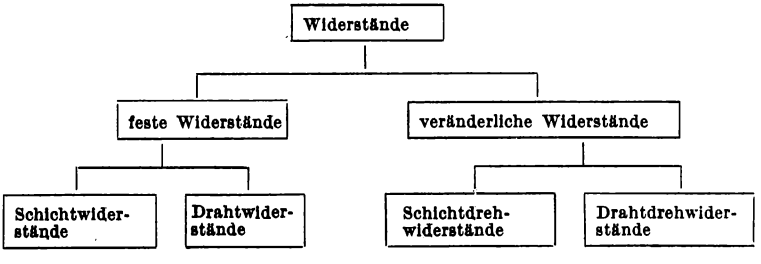
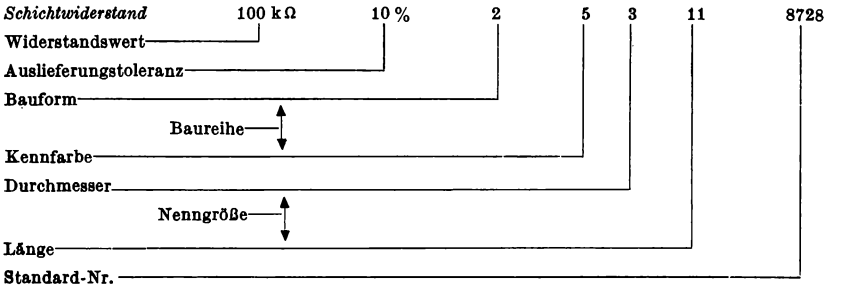


Bild 4.11. Arten der Widerstände

Kennzeichnung der Widerstände

(s. a. Bilder 4.14 und 4.15)



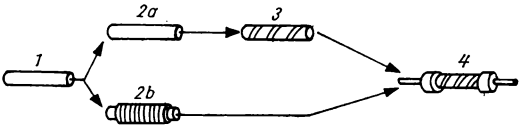


Bild 4.12. Fertigung eines Widerstandes
1 Tragkörper, z. B. Keramik, hohl oder massiv, 2 Widerstandsschicht, 2a im Vakuum aufdampfen, 2b Bewickeln mit Draht, 3 Erhöhung des Widerstandswertes; Einschleifen einer Wendel, 4 Oberflächenschutz, z. B. Lackieren, und Beschriften; Anschlüsse, z. B. Kappen, anbringen

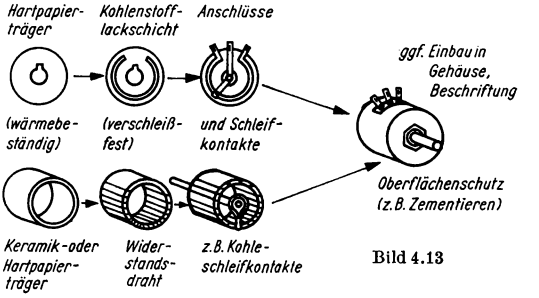


Bild 4.13

Bild 4.14.

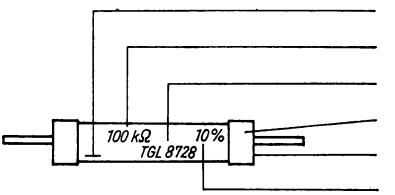


Bild 4.15.

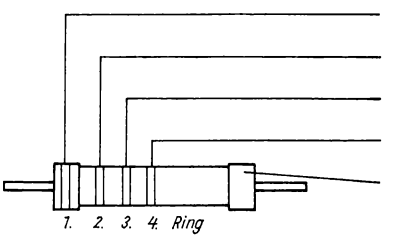


Tabelle 4.8: Internationaler Farbcode

Farbe	Kennfarbe 2. Ring und 1. Ring	3. Ring	4. Ring
Silber	—	10^{-2}	± 10 %
Gold	—	10^{-1}	± 5 %
Schwarz	—	10^{0}	—
Braun	1	10^{1}	± 1 %
Rot	2	10^{2}	± 2 %
Orange	3	10^{3}	—
Gelb	4	10^{4}	—
Grün	5	10^{5}	—
Blau	6	10^{6}	—
Violett	7	10^{7}	—
Grau	8	10^{8}	—
Weiß	9	10^{9}	—

Kondensatoren (Bild 4.16)

Aufbau (Bild 4.17): Zwei durch Dielektrikum (Nichtleiter) voneinander elektrisch isolierte Metallplatten, -schichten oder -folien mit Anschlüssen für den Einbau in elektrische Schaltungen.

Eigenschaften: Speicherung von Ladungsträgern q bei Anlegen einer Gleichspannung u (Bild 4.18). $q = Cu$, wobei q Augenblickswert der elektrischen Ladung in As; u Augenblickswert der elektrischen Spannung in V.
Begrenzung des Stromflusses I in A durch den Blindwiderstand

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \text{ in } \Omega$$

bei Anlegen einer Wechselspannung u in V (Bild 4.19).



Bild 4.16

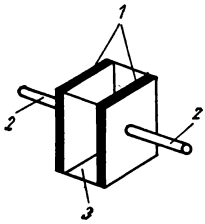


Bild 4.17.
Kondensatoraufbau
1 Metallbeläge,
2 Anschluß,
3 Dielektrikum

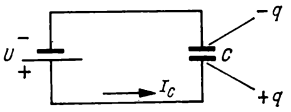


Bild 4.18. Kondensator an Gleichstrom

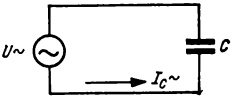


Bild 4.19. Kondensator an Wechselstrom

$I = U/X_C$, wobei $\omega = 2\pi f$ Kreisfrequenz; C Kapazität (lat. Speichervermögen),

$$C = \varepsilon \frac{A}{l},$$

wobei l Plattenabstand, Dicke des Dielektrikums; ε Dielektrizitätskonstante, $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$, $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{A s}}{\text{V m}}$ (Naturkonstante Vakuum); ε_r relative Dielektrizitätskonstante des betreffenden Stoffes. Maßeinheit 1 Farad

$$1\ \text{F} = \frac{1\ \text{As}}{\text{V}} = \frac{1\ \text{C}}{\text{V}} = \frac{1\ \text{Coulomb}}{\text{Volt}}.$$

Bild 4.20 zeigt die *Arten der Kondensatoren*.

MP-Kondensatoren (Metall-Papier)

Vorteile: Kleinere Abmessungen, da nur sehr dünne Metallschicht aufgedampft wird. Selbstheilende Kondensatoren, d. h., bei Spannungsdurchschlag verdampft Metallbelag an der Durchschlagstelle und isoliert Fehlstelle.

Elektrolytkondensatoren

Vorteile: Infolge sehr dünner Oxidschicht als Dielektrikum große Kapazitätswerte bei kleinen Abmessungen möglich.
Nachteile: Nur für Gleichstrom, Polarität beachten, ein Reststrom fließt, Kapazitätsänderung durch Alterung.

Keramische Kleinkondensatoren (Bild 4.21)

In Rohr- oder Scheibenform (drehbare Scheiben als Trimmer), geeignet bis zu höchsten Frequenzen mit sehr guten elektrischen Eigenschaften.

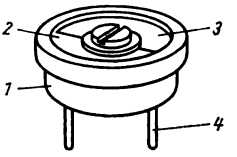


Bild 4.21. Trimmer
1 Stator
2 Rotor mit Schraubenziehereinstellung,
3 eingebrannter Silberbelag,
4 Lötanschlüsse

Kennzeichnung der Kondensatoren

(s. a. Bilder 4.22 und 4.23)

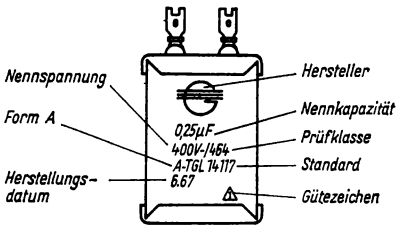


Bild 4.22. Papierkondensator

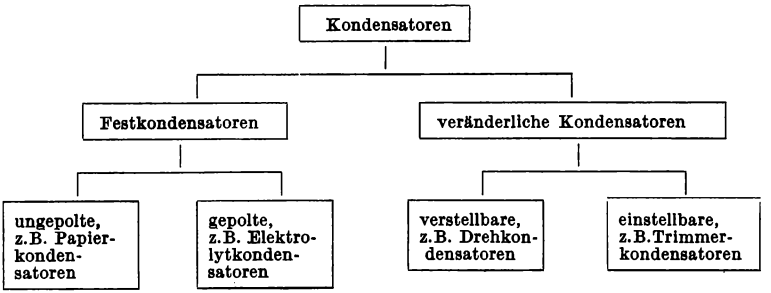


Bild 4.20.
Arten der Kondensatoren

Papierkondensator A 0,25 / 250 — 464 TGL 14117
Bauform
Nennkapazität in µF
Nennspannung in V
Klimaprüfklasse
Standard-Nr.

Elektrolytkondensator 20 / 350 — 665 TGL 5151
Nennkapazität in µF
Nenngleichspannung in V
Klimaprüfklasse
Standard-Nr.

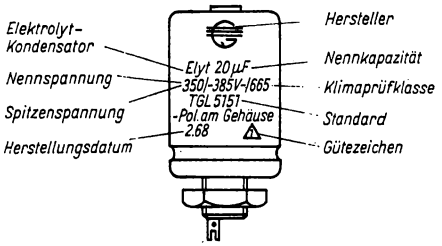


Bild 4.23. Elektrolytkondensator

Spulen (Bild 4.24)

Aufbau: Drahtwicklungen, entweder freitragend oder auf Spulenkörper gewickelt mit Anschlüssen bzw. Anzapfungen für den Einbau in Schaltungen. Verbesserung der magnetischen Eigenschaften durch ferromagnetische Kerne möglich.

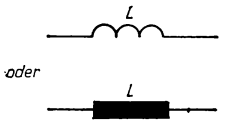


Bild 4.24

Eigenschaften: Erzeugung eines Magnetfeldes, das sich beim Ausschalten des Stromes zu erhalten versucht (Speicherwirkung elektromagnetischer Energie). Kenngröße ist die Induktivität L, Maßeinheit Henry, $1\ \mathrm{H} = \frac{1\ \mathrm{Vs}}{\mathrm{A}}$; ähnlich Kapazität C beim Kondensator. Die entstehende magnetische Kraftwirkung (Magnetfluß Φ durch Spulenstrom i) kann bei gleichem Energieverbrauch durch ferromagnetische Stoffe (z. B. Eisenkern) erhöht werden (Bild 4.25).
Bei Anlegen einer Wechselspannung begrenzt die Spule als Blindwiderstand $X_L = \omega L = 2\pi f L$ in Ω den Strom $I = \frac{U}{X_L}$ (Bild 4.26). Liegt eine zweite Spule (Windungszahl N_2) im Induktionsfluß Φ der Spule N_1, die vom Wechselstrom I_1 durchflossen wird, so wird in der 2. Spule eine Spannung U_2 induziert (Bild 4.27). Bei Transformatoren wird die induktive Kopplung verbessert, wenn die Spulen auf einen gemeinsamen Spulenkörper mit geschlossenem Eisenkern gewickelt werden.

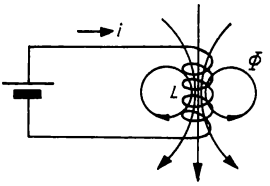


Bild 4.25. Magnetfeld der Spule

Bild 4.28 zeigt die *Arten der Spulen*, Bild 4.29 *Kernblechformen*, Bild 4.30 *Arten der Kraftmagnete*.

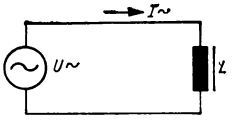


Bild 4.26. Strombegrenzung durch Blindwiderstand

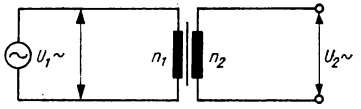


Bild 4.27

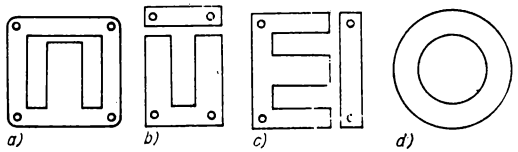
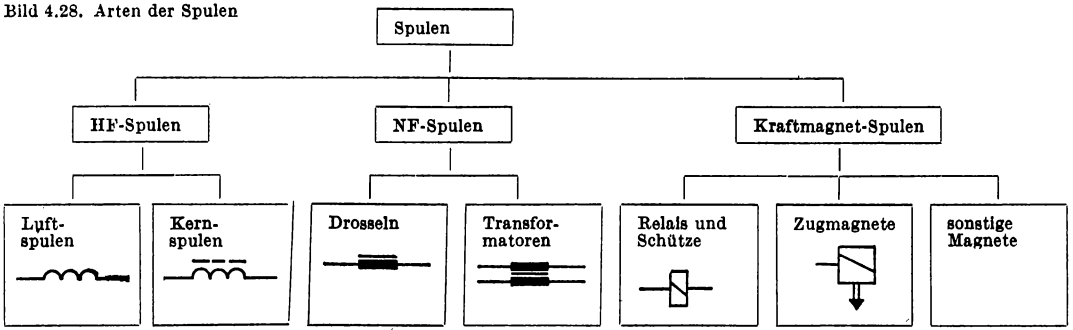


Bild 4.29. Hauptsächliche Kernblechformen
a) M-Schnitt, b) U/I-Schnitt, c) E/I-Schnitt, d) Ringkern

Bild 4.28. Arten der Spulen



Kennzeichnung der Spulen

Magnetspule 1800 — 12300 - 0,12 - Cu L EMB 2.03 110 Bv

Widerstand in Ω
Windungszahl
Drahtdurchmesser in mm
Drahtart (Kupferlackdraht)
Herstellerzeichen
Bauvorschrift-Nr.

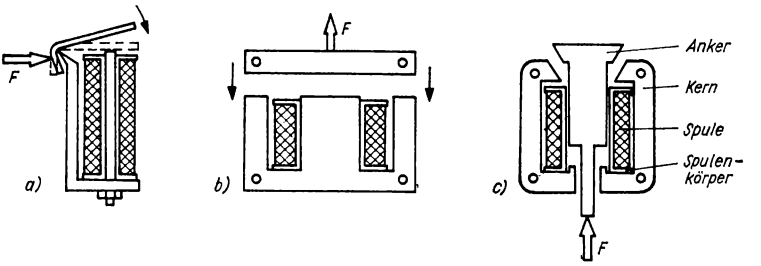


Bild 4.30. Arten der Kraftmagnete
a) Klappanker-Magnet (Relais),
b) Joch-Magnet (Zugmagnet),
c) Topf-Magnet (Stoßsteuermagnet)

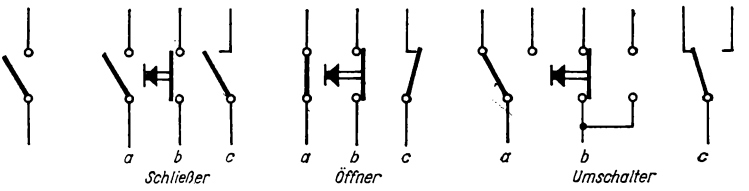


Bild 4.31. Schaltersymbole
a) allgemein, b) Taster, c) Relais

Schalter (Bild 4.31)

Aufbau: Metallische Schaltkontakte, die sich durch Schwenk-, Dreh- oder Hubbewegung gegenseitig elektrisch leitend berühren können.

Eigenschaften: Schließen oder Öffnen der Stromkreise durch Betätigung von Hand oder durch besondere Triebsysteme. Bild 4.32 zeigt die *Arten der Schalter*, Bild 4.33 die *Arten der Schaltkontakte*.

Relais (Bild 4.34)

Aufbau: Sehr unterschiedlich und von Eingangsgröße und Verwendungszweck abhängig. Häufigste Bauform besteht aus Spule mit Eisenkern und beweglichem Anker, der bei Einschalten des Stromflusses durch die Magnetkraft einen oder mehrere Kontaktsätze betätigt (Bild 4.35).

Eigenschaften: Verstärker oder Wandler mit meist 2- oder 3wertiger Signalgabe. Das Ausgangssignal wird bei Über- oder Unterschreiten des Schwellwertes x_e verändert (z. B. Ein-, Aus- oder Umschalten). Bild 4.36 zeigt die Arten der Relais.

Steckverbindungen (Bild 4.37)

Aufbau: Kontaktgebende Teile, z. B. Steckbuchsen und Steckerstifte, aus Metall mit den für die Halterung und Handhabung erforderlichen Isolierstoffteilen.

Bild 4.32. Schalterarten

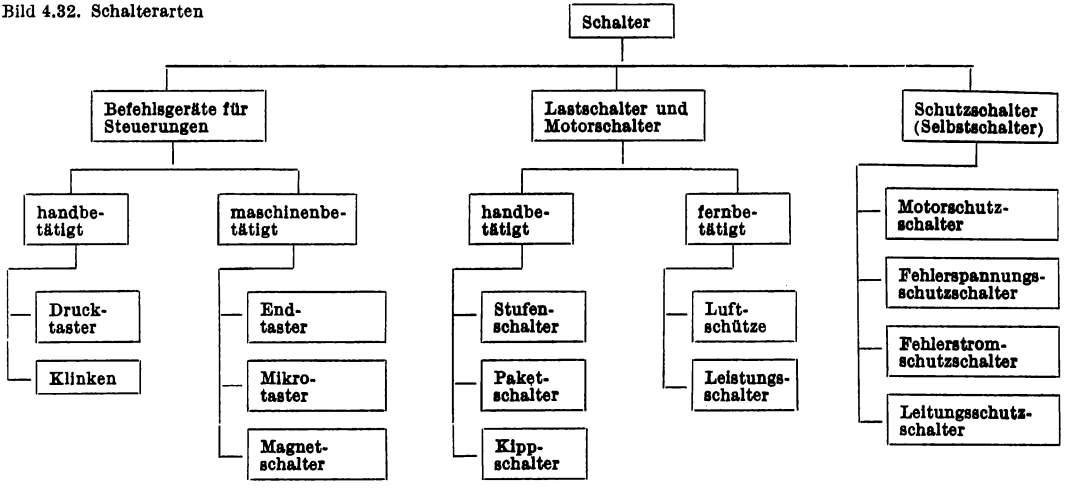
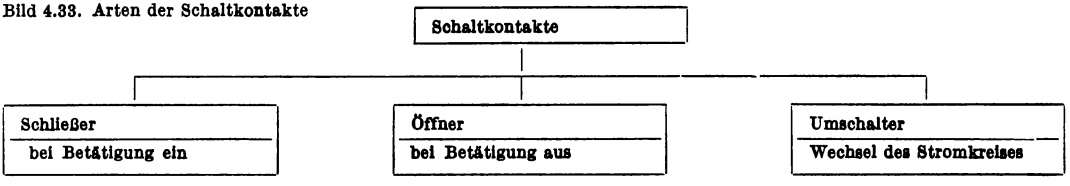


Bild 4.33. Arten der Schaltkontakte



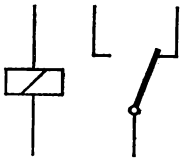


Bild 4.34. Relais, allgemein

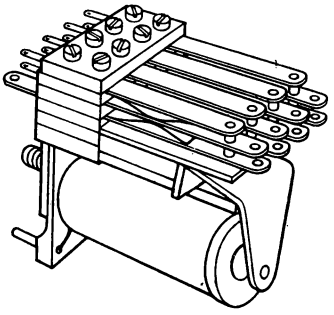


Bild 4.35.
Häufig eingebautes Relais

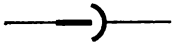


Bild 4.37

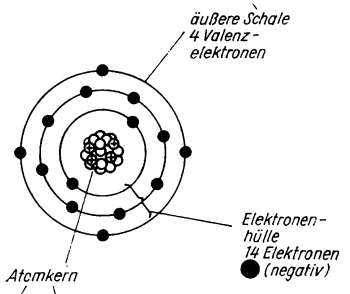


Bild 4.38.
Silizium-atomaufbau

Eigenschaften: Herstellung lösbarer elektrisch leitender Verbindungen, z. B. Verbindung von Kabeln untereinander und mit Geräten sowie von Einschüben und Bausteinen in Schaltschränken und Gestellrahmen.

4.4.4. Halbleiterbauelemente

4.4.4.1. Allgemeine Grundlagen

Prinzip der Stromleitung. Hauptsächlich verwendete Halbleitermaterialien sind Germanium (Ge), Ordnungszahl 32, und Silizium (Si), Ordnungszahl 14 (Bild 4.38).
Beide Atomarten haben in der äußeren Schale nur 4 von 8 möglichen Elektronen (Valenzelektronen). Sie bilden Kristallgitter, bei denen die Valenzelektronen benachbarter Atome untereinander ausgetauscht und gemeinsam zu je 8 Elektronen je Atomkern gebunden werden (Bild 4.39). Dadurch stehen keine freien Elektronen für die Stromleitung (wie bei Metallen) zur Verfügung. Reines Ge und Si sind deshalb schlechte Leiter.

Eigenleitung: Durch *Wärme-* oder *Lichteinwirkung* können Elektronen aus dem Atomgitter herausgelöst werden. Bei Gleichspannung gelangen Elektronen zum Pluspol (Anode), und die verbleibenden »Löcher« bewegen sich durch Auffüllen mit Elektronen von Nachbaratomen als »positive Ladungen« zum Minuspol (Katode) (Bild 4.40). Die Stromstärke ist von der Strahlung abhängig und sehr gering.

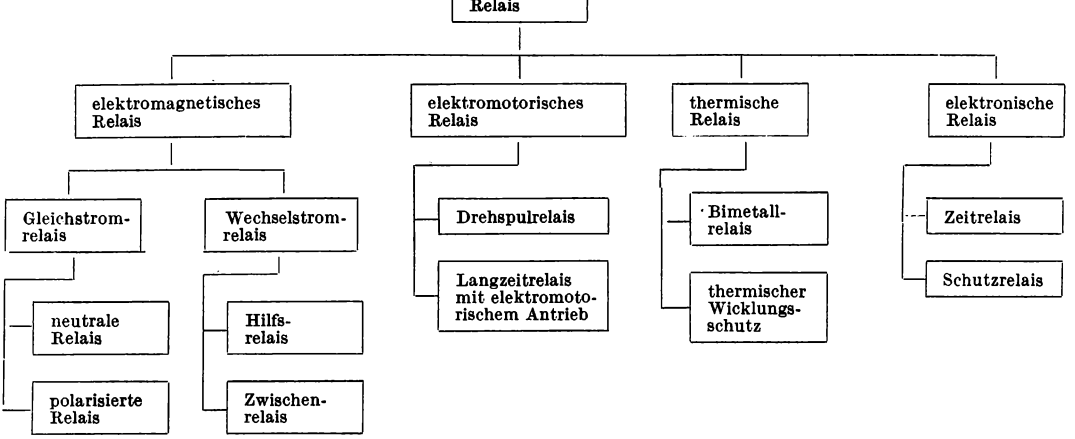
Störstellenleitung: Erhöhung der Leitfähigkeit erfolgt durch geringfügige *Verunreinigungen (Dotierungen)*. Dotierung mit *Donatoren* (Gebern, hier 5wertige Stoffe), z. B. Antimon (Sb), ergibt freie Elektronen im Kristallgitter und damit n-*Leitung* (negativ) (Bild 4.41). Dotierung mit *Akzeptoren* (Nehmern, hier 3wertige Stoffe), z. B. Indium (In), ergibt fehlende Elektronen, d. h. »Löcher«, bei denen die positive Kernladung überwiegt und damit p-*Leitung* (positiv) entsteht (Bild 4.42).

Grenz- oder Sperrschicht (Bild 4.43): Stoßen p- und n-leitende Materialien durch entsprechende technologische Verfahren direkt aneinander, so bildet sich zwischen den Teilbereichen des Gesamtkristalls eine sehr dünne Grenz- oder Sperrschicht, in der Diffusionsvorgänge auftreten. Die Löcher im Grenzbereich der p-Schicht werden durch Elektronen der n-Schicht aufgefüllt, und es entsteht eine *Potentialschwelle* (p-Schicht wird negativ, n-Schicht positiv geladen), die den weiteren Austausch von Ladungsträgern verhindert (Bild 4.44).

Bild 4.45 zeigt die *Arten der Halbleiterbauelemente.*

In Tabelle 4.9 sind die Halbleiterbauelemente zusammengestellt, in Tabelle 4.10 Anwendungsmöglichkeiten der Transistoren.

Bild 4.36. Relaisarten



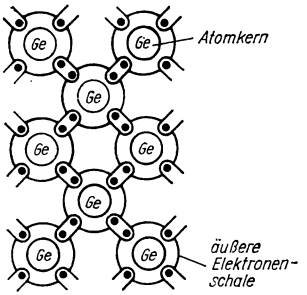


Bild 4.39.
Kristallgitter des Germaniums

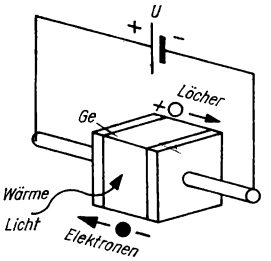


Bild 4.40.
Eigenleitung im Germanium

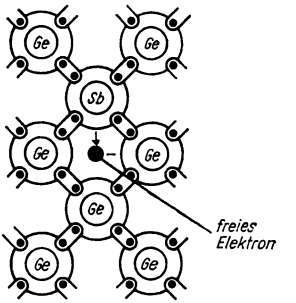


Bild 4.41. Störstellenleitung durch Antimon-Dotierung (n-Leitung)

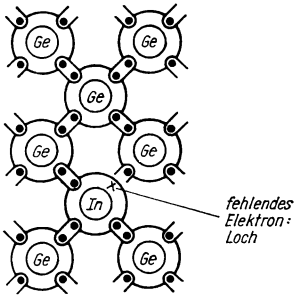


Bild 4.42. Störstellenleitung durch Indium-Dotierung (p-Leitung)

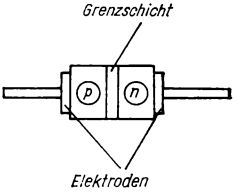


Bild 4.43.
Grenzschichthalbleiter

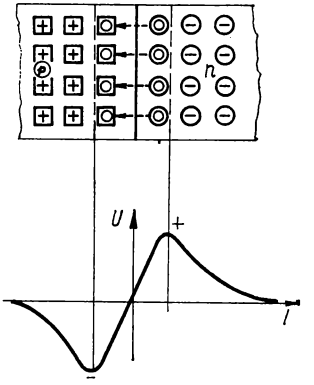


Bild 4.44. Potentialschwelle an der Grenzschicht

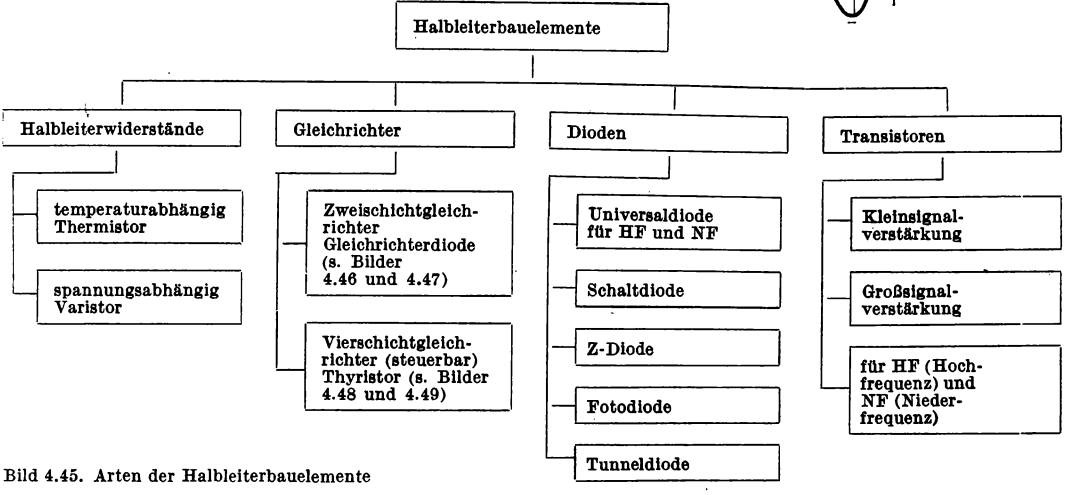


Bild 4.45. Arten der Halbleiterbauelemente

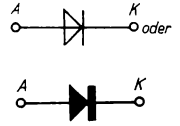


Bild 4.46. Schaltzeichen einer Gleichrichterdiode

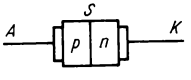


Bild 4.47.
Schichtaufbau einer Gleichrichterdiode

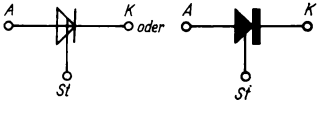


Bild 4.48. Schaltzeichen eines Thyristors

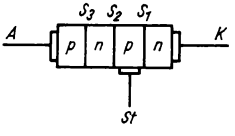


Bild 4.49. Schichtaufbau eines Thyristors

Tabelle 4.9: Übersicht über Halbleiterbauelemente

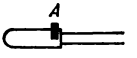
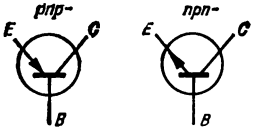
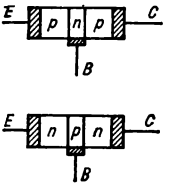
Aufbau	Eigenschaften und Anwendung
Halbleiterwiderstände	
stab-, scheiben- oder pillenförmige gesinterte Halbleiter aus Mehrstoffsystemen, deren Komponenten Oxide oder Karbide sind, mit geeigneter Kontaktierung und mit Anschlüssen für den Einbau in Schaltungen	Ausnutzung der starken Widerstandsänderung der Halbleitermaterialien in Abhängigkeit von äußeren Einflüssen, z. B. Temperatur (Thermistor) oder Spannung (Varistor); zur Begrenzung von Einschaltströmen, Kompensation der Temperaturabhängigkeit anderer Bauelemente, Stabilisierung von Spannungen, Messung von HF-Leistungen und von Temperaturen sowie zur Funkenlöschung an Schaltkontakten
Gleichrichter (Dioden)	
Germanium- oder Siliziumkristalle mit einer Sperrschicht; je nach Größe des Durchlaßstromes und der Verlustleistung mit Löt-, Klemm- oder Schraubanschlüssen; zur besseren Wärmeableitung auf Kühlbleche oder Kühlkörper (Kühlrippen) aufgeschraubt	In Abhängigkeit von der Polarität der angelegten Spannung ergeben sich 2 verschiedene Verhaltensweisen: *Durchlaßrichtung* (Pluspol an p-Bereich, Minuspol an n-Bereich): Die Potentialschwelle der Sperrschicht wird durch das äußere Potentialgefälle abgebaut, so daß eine Stromleitung möglich wird. *Sperrichtung* (Pluspol an n-Bereich): Die Potentialschwelle der Sperrschicht wird verstärkt, und es kann nahezu kein Strom fließen. Zur Gleichrichtung von Wechselspannungen in Verbindung mit Siebschaltungen zur Glättung der Restwelligkeit verwendet.
steuerbare Gleichrichter (Thyristoren)	
Germanium- oder Siliziumkristalle der Zonenfolge pnpn mit 3 Sperrschichten und zusätzlichem Steuerelektrodenanschluß	Bedingt durch die Reihenfolge der Sperrschichten kann zunächst kein Strom fließen. Durch Anlegen einer Steuerspannung an die Steuerelektrode wird der Übergang vom gesperrten zum »gezündeten« Zustand (großer Stromfluß) erreicht; geeignet für gesteuerte Gleichrichterschaltungen. Stromstärke ist in Abhängigkeit von der Steuerspannung beeinflußbar.
Halbleiterdioden	
Germanium- oder Siliziumkristalle mit pn-Sperrschicht in Allglas-, Plast- oder Metall-Keramik-Ausführung mit Draht-, Steck- oder Schraubanschlüssen	Wirkungsweise wie ungesteuerte Halbleitergleichrichter. Zur Modulation und Demodulation im Hoch- und Niederfrequenzgebiet, als kontaktlose Schalter, zur Herstellung logischer Grundverknüpfungen, als veränderliche Kapazität (im Sperrbereich) bzw. als strahlungsempfindlicher Meßfühler.
	 Diode in Allglasausführung
	 Fotodiode
Transistoren	
Germanium- oder Siliziumkristalle der Zonenfolge pnp oder npn. Die mittlere Schicht (Basis) ist sehr dünn (10 ··· 50 µm) Die Randschichten werden als Emitter und Kollektor bezeichnet. Die Kristalle sind durch Metall- oder Plastgehäuse geschützt. Für den Einbau in Schaltungen dienen 3 Drahtanschlüsse.	Beim Anlegen einer Spannung an die äußeren Elektroden (Emitter und Kollektor) kann zunächst kein Strom fließen, da eine Sperrschicht in Sperrichtung geschaltet ist. Durch kleine Basisstromänderung kann jedoch eine etwa proportionale, wesentlich größere Kollektorstromänderung erreicht werden. Dadurch ergibt sich eine Strom-, Spannungs- und Leistungsverstärkung. Anwendungsmöglichkeiten s. Tabelle 4.10.
	 Transistorschaltzeichen
	 Transistoraufbau

Tabelle 4.10: Anwendungsmöglichkeiten der Transistoren

Anwendung als	Wirkungsweise	Einsatzgebiete
Verstärker	Strom-, Spannungs- und Leistungsverstärkung	Gleichstrom, Nieder- und Hochfrequenz
Oszillator	Schwingungserzeugung durch Rückkopplungsschaltungen	Sinus- und Rechteckwellengeneratoren
Modulator	Ausnutzung der Nichtlinearität der Kennlinie	Frequenzmischung und -vervielfachung
Schalter	Beschränkung auf 2 Arbeitspunkte: »leitend«, »gesperrt«	schneller Schalter, z. B. in EDVA

4.4.4.2. Elektronische Schaltungen

Verstärker (Bild 4.50)

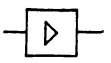


Bild 4.50

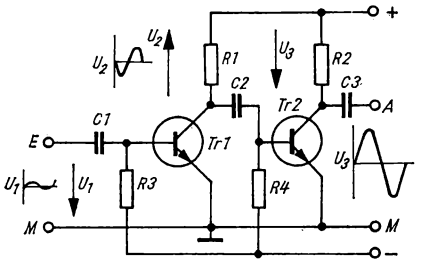


Bild 4.51. RC-Verstärker

Tabelle 4.11 zeigt die *Einteilung* der Verstärker.

Tabelle 4.11: Einteilung der Verstärker

Einteilung der Verstärker nach Stromart	Frequenzbereich	Aufbau
Gleichstromverstärker	Selektivverstärker	*RC*-Verstärker
Wechselstromverstärker	Breitbandverstärker	Gegentaktverstärker

Einfacher und raumsparender *Aufbau* wird beim *RC*-Verstärker durch Ein- und Auskopplung mit Hilfe von Kondensatoren erreicht (Bild 4.51). Eine kleine Eingangswechselspannung wird über einen Koppelkondensator C1 auf die Basis des Transistors Tr1 gegeben und steuert dessen Kollektorstrom. Der dadurch entstehende verstärkte Wechselspannungsabfall U_2 am Widerstand R1 wird über C2 auf den Transistor Tr2 gekoppelt und nochmals verstärkt über C3 ausgekoppelt.

Sind die *Verstärkungsfaktoren* der einzelnen Stufen

$V_1 = \frac{U_2}{U_1}$ und $V_2 = \frac{U_3}{U_2}$, so ergibt sich als *Gesamtverstärkung*

$V_g = \frac{U_3}{U_1} = \frac{U_3}{U_2} \cdot \frac{U_2}{U_1} = V_1 V_2$ (Bild 4.52).

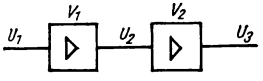
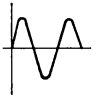
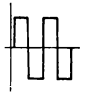
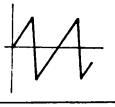


Bild 4.52. Gesamtverstärkung

Generatoren

Generatoren, auch Oszillatoren genannt, sind Schwingungserzeuger, ihr Aufbau erfolgt meist als Verstärker mit Rückkopplung. Tabelle 4.12 zeigt die Einteilung der Generatoren.

Tabelle 4.12: Einteilung der Generatoren nach Kurvenform der erzeugten Schwingung

Bezeichnung	Symbol	Kurvenform
Sinuswellengenerator		
Rechteckwellengenerator		
Sägezahngenerator		

Werden z. B. Ein- und Auskoppelkondensator eines zweistufigen *RC*-Verstärkers miteinander verbunden, wird ein selbständig schwingender (astabiler) Multivibrator erhalten, der eine Rechteckwellenspannung erzeugt (Bild 4.53). Sinuswellengeneratoren arbeiten häufig mit Schwingkreisen aus Spulen und Kondensatoren.

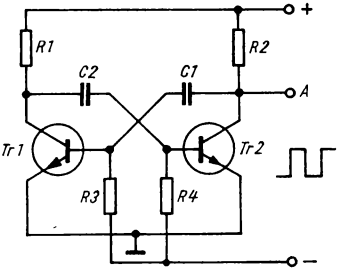
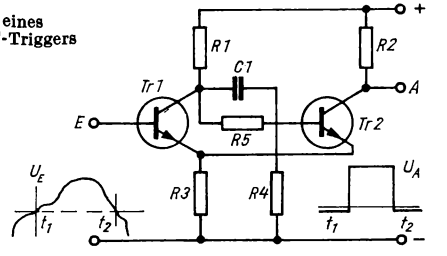


Bild 4.53. Schaltung eines astabilen Multivibrators

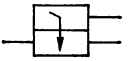
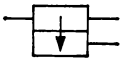
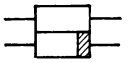
Bild 4.54. Schaltung eines SCHMITT-Triggers



Impulsformerstufen (Trigger)

Tabelle 4.13 gibt die Einteilung der Impulsformerstufen an, Bild 4.54 zeigt die Schaltung eines SCHMITT-Triggers.

Tabelle 4.13: Einteilung der Impulsformerstufen

Bezeichnung	Symbol	Wirkungsweise	Anwendung
SCHMITT-Trigger		Beim Überschreiten eines Schwellwertes der Eingangsspannung wird ein Impuls abgegeben, der so lange andauert, bis der Schwellwert wieder unterschritten wird.	Umwandlung beliebiger Kurvenform in Rechteckwellen
Univibrator oder monostabiler Multivibrator		Beim Überschreiten einer bestimmten Eingangsspannung wird ein einmaliger Impuls genau definierter Länge abgegeben.	Zeit- und Verzögerungsschaltungen
Flip-Flop oder bistabiler Multivibrator		Beim Auftreten eines Eingangsimpulses erfolgt Übergang von einer stabilen Lage in die zweite (z. B. von »AUS«- in »EIN«-Stellung) und beim nächstfolgenden Impuls wieder in die ursprüngliche Lage.	Speicher-, Zähl- und Frequenzteilerschaltungen

5. Technisches Zeichnen[1])

5.1. Blattgrößen

In Tabelle 5.1 sind die *Blattgrößen* zusammengestellt (Maßstäbe nach TGL 9727 Bl. 2).

5.2. Schräge Schrift für Zeichnungen (nach TGL 0-16); Linienarten und Liniengruppen

Bild 5.1 zeigt die schräge Schrift für Zeichnungen.

Nenngrößen h = 2 2,5 3 4 5 6 8 10 12 16 20 25 mm. Römische Zahlzeichen können auch ohne Köpfe und Füße geschrieben werden. Buchstabenabstand $^2/_7\ h$ oder weniger.
Kursive Eng- und Breitschriften sind weniger gebräuchlich. Zeilenabstand $^{11}/_7\ h$ nur bei fortlaufendem Text, sonst größer, Strichdicke $\approx {}^1/_7\ h$.

Farbe der Darstellung. Die Stammpausen sind in schwarzen Linien und in schwarzer Schrift auszuführen; sie müssen in

[1]) Dieser Abschnitt stützt sich im wesentlichen auf TGL 9727. Einen vollständigen Zeichenlehrgang enthält das im gleichen Verlag erschienene Buch: Technisches Zeichnen von Ing. HELMUT WINKLER (mit 625 Bildern).

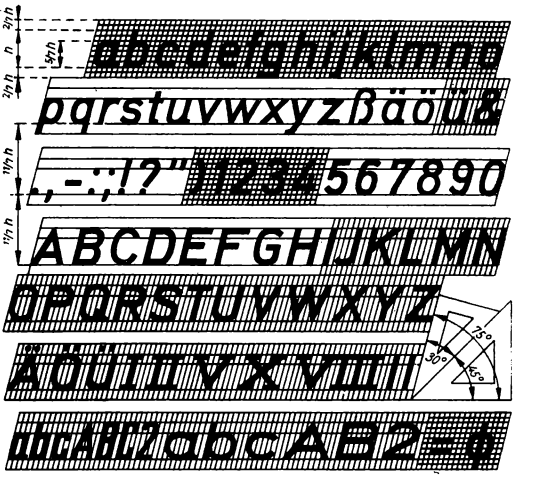


Bild 5.1. Schräge Schrift für Zeichnungen

Bild 5.2.
Linienarten und Liniengruppen

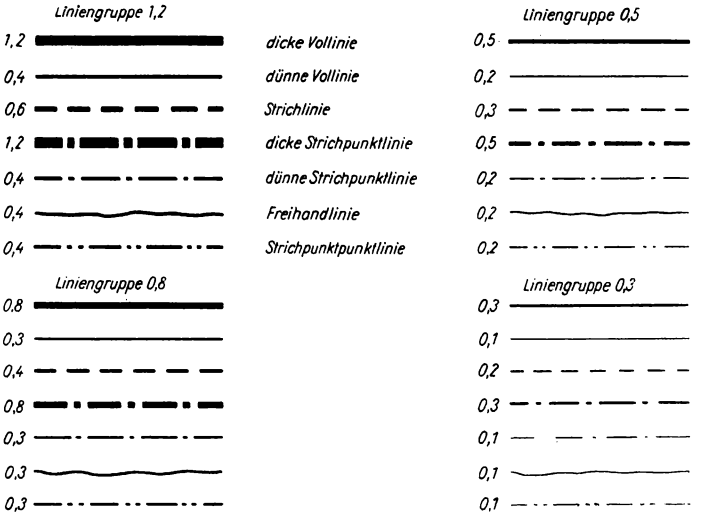


Tabelle 5.1: Blattgrößen

Zeichenblatt	Blattgrößen in mm						
	A 0	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6
beschnittene Zeichnung bzw. Lichtpause (Fertigblatt)	841 × 1189	594 × 841	420 × 594	297 × 420	210 × 297	148 × 210	105 × 148
Zeichenfläche	831 × 1179	584 × 831	410 × 584	287 × 410	200 × 287	138 × 200	95 × 138
unbeschnittenes Zeichenblatt (Kleinstmaß)	880 × 1230	625 × 880	450 × 625	330 × 450	240 × 330	165 × 240	120 × 165

In Standard TGL 9727 Bl. 2 sind lediglich die für alle Arten von technischen Zeichnungen, auch für gedruckte Maßskizzen und gedruckte Zeichnungen, vorzugsweise zu verwendenden Blattgrößen A 0 ··· A 6 und die Maßstäbe für Zeichnungen angegeben. Die Blätter aller Größen können in Hoch- und Querlagen verwendet werden. Die Zeichnungsvordrucke sind nach TGL 0-6771 auszuführen; in diesem Standard sind auch die Lage des Schriftfeldes und der Heftrand angegeben. Maßstäbe: 1:2,5 1:5 1:10 1:20 1:50 1:100 1:200 1:500 1:1000 für Verkleinerungen, 2:1 5:1 10:1 10n:1 (n ganze Zahl) für Vergrößerungen. Natürliche Größe M 1:1.

jeder Beziehung so vollständig sein, daß in den Vervielfältigungen (Blaupausen, Weißpausen, Drucken usw.) besondere Farben entbehrt werden können. Ausnahmen sind nur zur Angabe von Farbanstrichen und für Zeichnungen, die in einer Farbe nicht klar und übersichtlich wirken, zulässig.

Linien

In Bild 5.2 sind die für Zeichnungen zugelassenen *Linienarten* und die *Liniengruppen* festgelegt.

Auf einer Zeichnung ist die jeweils zweckmäßigste Liniengruppe bei allen vorkommenden sonstigen Darstellungen anzuwenden. Anzustreben ist die Anwendung der Liniengruppe mit den dicksten Linien, die nach Art, Größe und Zweck der Zeichnung möglich ist.

Die für die verschiedenen Linienarten jeweils vorgegebene Liniendicke (Zahlenangaben vor den Linienbeispielen) braucht nur angenähert eingehalten zu sein; das Verhältnis der Liniendicken für die verschiedenen Linienarten der jeweiligen Liniengruppe ist mit möglichst guter Annäherung einzuhalten, desgleichen bei Strichlinien und Strichpunktlinien das gezeigte Verhältnis Linienstück zu Zwischenraum.

5.3. Maßeintragung[1])

5.3.1. Allgemeines

Die Zeichnung enthält, je nach dem Zweck, für den sie bestimmt ist, die Maße des jeweiligen Endzustandes des dargestellten Teiles.

Zur Maßeintragung werden benutzt: Maßlinien, Maßhilfslinien, Maßpfeile, Maßzahlen.

Für das Eintragen der Maße sind vorwiegend folgende Gesichtspunkte maßgebend: Herstellung, Funktion und Prüfung des Teiles.

5.3.2. Maßlinien, Maßhilfslinien

Maßlinien dienen zur Angabe der Abmessungen. Die Maßlinien werden im allgemeinen rechtwinklig zwischen den Körperkanten (sichtbare Kanten des dargestellten Teiles) oder parallel zu der angegebenen Abmessung angeordnet (Bild 5.3). Maßlinien dürfen nicht unterbrochen werden. Sie gehören zu den dünnsten Linien einer Liniengruppe (s. TGL 9727 Bl. 1).

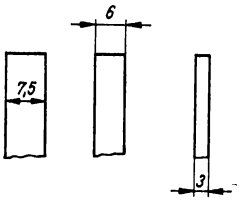


Bild 5.3

Mittellinien und Körperkanten dürfen nicht als Maßlinien benutzt werden. Die Maßlinien müssen mindestens 8 mm entfernt von den Körperkanten liegen; parallele Maßlinien müssen voneinander einen genügend großen und möglichst gleichmäßigen Abstand von mindestens 5 mm haben.

Bei *Bogen-* und bei *Winkelmaßen* ist die Maßlinie ein zum Mittelpunkt des Kreises oder zum Scheitelpunkt des Winkels konzentrisch liegender Kreisbogen (Bilder 5.4 und 5.5, s. a. Abschnitt 5.3.14). Sehnenmaße sind nach Bild 5.6 einzutragen.

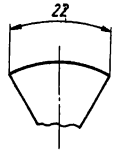


Bild 5.4

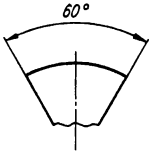


Bild 5.5

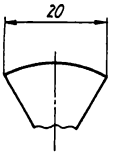
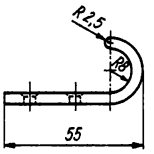


Bild 5.6

[1]) Vorwiegend für die Maßeintragung in Zeichnungen für den Maschinenbau gültig.



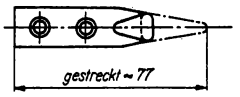


Bild 5.7

Maße, die nicht zwischen den Körperkanten eingetragen werden können, z. B. wenn dadurch die Übersicht leiden würde, werden mittels *Maßhilfslinien* herausgezogen (Bilder 5.7 und 5.9). Maßhilfslinien und Maßlinien müssen gleiche Dicke haben (s. TGL 9727 Bl. 1). Maßhilfslinien beginnen unmittelbar an den Körperkanten. Sie stehen im allgemeinen rechtwinklig zur Maßlinie und gehen 1 bis 2 mm über diese hinaus. Maßhilfslinien sollen sich mit anderen Linien und untereinander möglichst nicht schneiden. Mittellinien, Maßhilfslinien und Körperkanten dürfen für die Maßeintragung unterbrochen werden.

Die *Maßzahlen* sind *über die Maßlinien* zu setzen (s. Abschnitt 5.3.4).

Ist der Platz für das Eintragen der Maßzahlen zu gering, so dürfen die Maßlinien nach außen über die Maßhilfslinien herausgezogen werden. Bei herausgezogenen Maßlinien ist die Maßzahl zwischen die Maßpfeilspitzen (Bild 5.3) oder seitlich über die Maßlinie zu setzen (Maß 1 in Bild 5.14).

Bezugslinien sind zu *vermeiden*; ist das nicht möglich, z. B. bei Platzmangel, sind sie kurz zu halten, sie beginnen mit einem Punkt (Bilder 5.38 und 5.65).

Ist bei gebogenen Teilen die gestreckte Länge einzutragen, so ist die Maßeintragung nach Bild 5.7 vorzunehmen. Statt »gestreckte Länge« zu zeichnen, kann sie über dem Schriftfeld der Zeichnung angegeben werden.

Bei Ansichten oder Schnitten, die bis zur Symmetrielinie gezeichnet werden oder zur besseren Übersicht die Symmetrielinie überschreiten, sind die Maßlinien etwas über diese hinauszuziehen; es ist dann nur ein Maßpfeil zu zeichnen (Bild 5.8, s. a. Abschnitt 5.3.3). Bei großen symmetrischen Gegenständen und besonders bei einer Vielzahl von Durchmessermaßen dürfen die Maßlinien gekürzt werden (Bild 5.9).

Innerhalb der schraffierten Winkelfläche von 30° nach Bild 5.10 sollen Maßlinien in Richtung auf den Scheitelpunkt wegen der schlechten Lesbarkeit der Maßzahlen möglichst vermieden werden. Ein Fall, bei dem dies nicht möglich ist, wird durch Bild 5.11 veranschaulicht (s. a. Abschnitt 5.3.4).

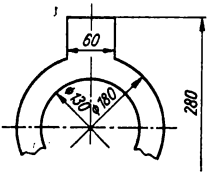


Bild 5.8.

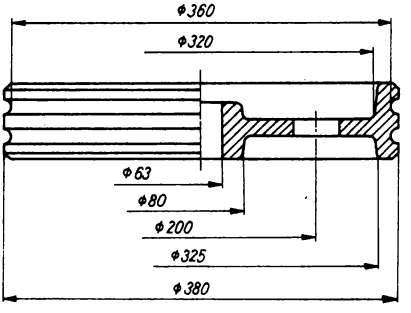


Bild 5.9.

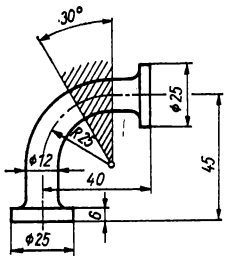


Bild 5.10.

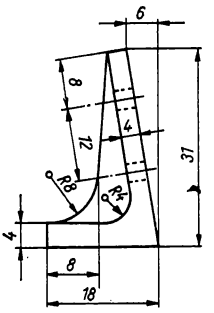


Bild 5.11.

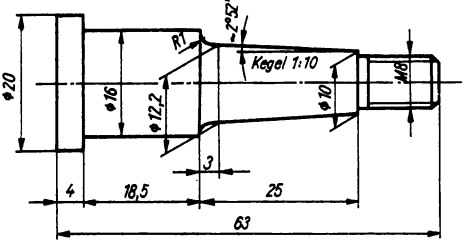


Bild 5.12.

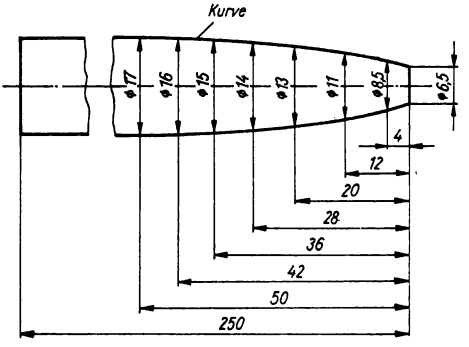


Bild 5.13.

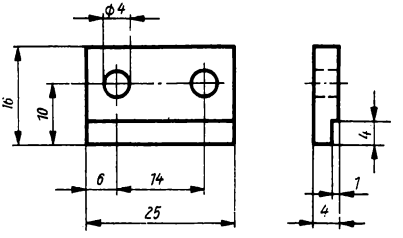
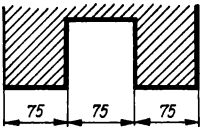


Bild 5.14.



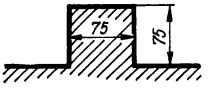


Bild 5.15.

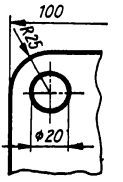


Bild 5.16.

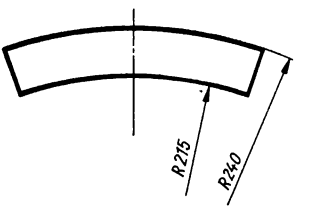


Bild 5.17.

Ausnahmsweise dürfen Maßhilfslinien unter Winkeln von etwa 60° zur Richtung der Maßlinie stehen (Bild 5.12), wenn dadurch die Maßeintragung deutlicher wird (s. a. Bild 5.53). Maße für Sonderformen sind, wie z. B. in Bild 5.13 dargestellt, einzutragen.

Mittellinien können als *Maßhilfslinien* benutzt werden. Außerhalb der Körperkanten sind sie dann als dünne Vollinien auszuziehen (Bilder 5.14 und 5.70). Maßhilfslinien und Mittellinien dürfen nicht von einer Ansicht nach der anderen durchgezogen und auch nicht für ein Maß aus verschiedenen Ansichten herausgezogen werden. (Ein Ausnahmefall ist in Bild 5.152 dargestellt.)

Sind in Zeichnungen für besondere Zwecke, z. B. in solchen für Druckzwecke, die Körperkanten oder *Umrisse* besonders *dick* ausgezogen, so sind die Maßhilfslinien bei Außenmaßen von der äußeren Kante und bei Innenmaßen (Bohrungen) von der inneren Kante der dicken Linie aus zu ziehen (Bilder 5.15 bis 5.17). Wird eine Maßlinie zwischen dick ausgezogenen Körperkanten eingetragen, so sind diese für die Maßpfeile auszusparen (Bild 5.15).

5.3.3. Maßpfeile

Die Enden der Maßlinien sind durch Maßpfeile zu kennzeichnen, deren Länge etwa der fünffachen Strichdicke der Körperkanten entspricht (Bild 5.18). Die Schenkel der Maßpfeile schließen einen Winkel von etwa 15° ein; der Zwischenraum ist in Tusche auszufüllen.

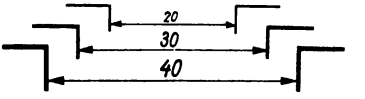


Bild 5.18.

Ist zwischen den Körperkanten oder Maßhilfslinien nicht genügend Platz für die Maßpfeile, dann sind diese nach Bild 5.3 einzutragen.

Ist für Maßpfeile kein Platz vorhanden, so können sie durch Punkte ersetzt werden (Bild 5.19).

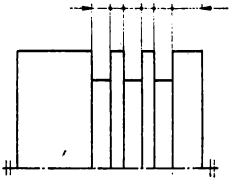


Bild 5.19.

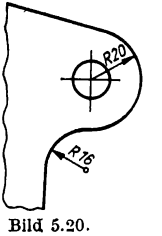


Bild 5.20.

Maßlinien für Halbmesser (Bild 5.20) und gekürzte Maßlinien für Durchmesser (Bild 5.9) erhalten nur einen Maßpfeil am Kreisbogen oder an seiner Projektion (s. Abschnitte 5.3.5 und 5.3.6).

5.3.4. Maßzahlen

Die Maßzahlen sind in schräger Schrift für Zeichnungen nach TGL 0-16 in Tusche zu schreiben. Die *Maßzahlen* sind *über die Maßlinien* zu setzen (Ausnahmen s. Bilder 5.79, 5.81,

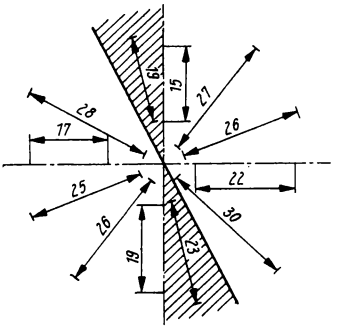


Bild 5.21.

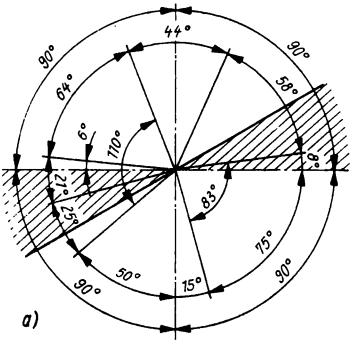
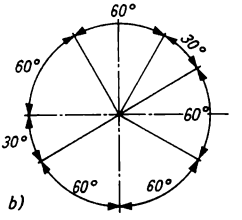


Bild 5.22.



5.139 und 5.141). Sie dürfen durch Linien nicht getrennt oder gekreuzt werden. Sie dürfen auch nicht auf Körperkanten, Mittellinien und auf Schnittpunkten von Linien stehen, möglichst auch nicht innerhalb der schraffierten Winkelflächen von 30° (Bilder 5.21 und 5.22a).

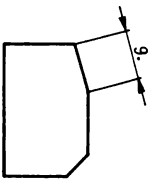
Die Stellung der Maßzahlen ist von der Maßlinienrichtung abhängig (Bilder 5.21 und 5.22a). Um das Ablesen der Maße zu erleichtern, sind die *Maßzahlen und Winkelangaben* einer Zeichnung so einzutragen, daß sie *von unten oder von rechts lesbar* sind, wenn die Zeichnung in ihrer Gebrauchslage (s. Abschnitt 5.3.11) gehalten wird. Sind Maße oder Winkelangaben in den in Bild 5.21 und Bild 5.22a schraffiert angedeuteten Flächen nicht zu vermeiden, so müssen sie von links her lesbar sein (Bilder 5.21, 5.22a und Maß 9 in Bild 5.23). Winkelangaben dürfen horizontal geschrieben werden, wenn das die Übersichtlichkeit erhöht (Bild 5.22b).

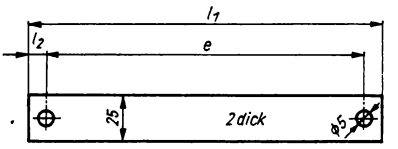
Die Maßzahlen sollen in Fertigungszeichnungen nicht kleiner als 3 mm sein; gleiche Größe innerhalb einer Darstellung ist anzustreben. Zusätze zur Maßzahl, z. B. »Kugel« (Bild 5.45), »Kleinstmaß« (Bild 5.143), sind etwas kleiner, aber nicht kleiner als 2 mm zu schreiben. Maßzahlen wie 6, 9, 66, 68, 86, 89, 98 und 99 erhalten hinter der Zahl einen Punkt, wenn infolge ihrer Stellung Verwechslungen möglich sind (Bild 5.23).

Maßzahlen und Winkelangaben, die wegen Platzmangels seitlich über der Maßlinie geschrieben oder durch Bezugslinien herausgezogen werden, müssen in der gleichen Lage eingetragen werden, die sie sonst über der Maßlinie hätten (Bilder 5.12 und 5.13). Winkelangaben dürfen auch im Bogen, entsprechend der Krümmung der Maßlinie, geschrieben werden (z. B. Bilder 5.50 und 5.51).

Alle Maßzahlen einer Zeichnung sind auf die gleiche Maßeinheit zu beziehen, z. B. mm. Wird hiervon abgewichen, so müssen hinter den betreffenden Maßzahlen die abweichenden Einheiten, z. B. µm, m, angegeben werden.

Bild 5.23.





Teil	l_1	l_2	e
1	70	5	60
2	100	5	90
3	200	10	180

Bild 5.24.

An Stelle von Maßzahlen können auch *Maßbuchstaben* benutzt werden; hierfür sind Kleinbuchstaben (schräge Schrift für Zeichnungen nach TGL 0-16) anzuwenden (Schriftgröße wie bei Maßzahlen). Die Zahlenwerte für die Buchstaben werden in einer Tabelle zusammengefaßt (Bild 5.24). Die Zeichnung und die Maße müssen hierbei klar und übersichtlich lesbar bleiben. Andernfalls sind die Teile einzeln zu zeichnen.

Maßzahlen für *nicht maßstäblich gezeichnete Abmessungen* müssen unterstrichen werden (z. B. Bild 5.25), jedoch nicht bei unterbrochen gezeichneten Teilen (Bild 5.26).

In *Zeichnungen mit vorgedruckten Darstellungen*, z. B. bei Schraubenfedern, brauchen die Maßzahlen der nicht maßstäblich dargestellten Abmessungen nicht unterstrichen zu werden. Im Zeichnungsschriftfeld ist dann in das Feld für die Maßstabsangabe ein waagerechter Strich zu setzen.

Maße, die z. B. vom Besteller auf Grund besonderer Vereinbarungen besonders geprüft werden, sind durch Einrahmen gemäß Bild 5.27 zu kennzeichnen (Strichdicke wie bei Maßlinie). In der Zeichnung ist über dem Schriftfeld beispielsweise zu vermerken:

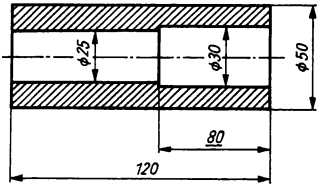


Bild 5.25.

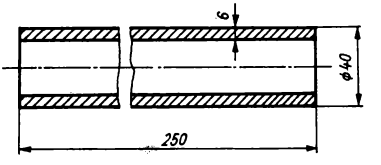


Bild 5.26.

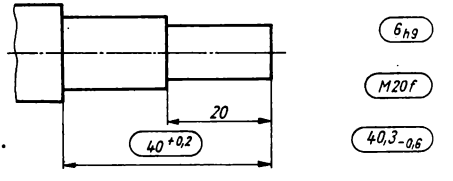


Bild 5.27.

»Die (▭) Maße werden vom Besteller besonders geprüft«. Kreise als Einrahmung sind unzulässig.

Werden in einer Zeichnung Maße eingetragen, die für die Bearbeitung (Formung) des Teiles nicht erforderlich sind, aus anderen Gründen (Messen, Funktion) aber Bedeutung haben, so können diese Maßzahlen zwischen ( ) gesetzt werden. In ( ) stehende Maße (Hilfsmaße) werden nicht toleriert (s. a. Maßkette Bild 5.75). In der Zeichnung ist dann über dem Schriftfeld der Vermerk einzutragen:

»Maßzahlen in ( ) gelten nicht für die Bearbeitung«.

Die Bemaßung z. B. einer Kurbelwelle, bei der neben den Maßen für die Bearbeitung (ausgehend von der Bezugsebene) die Maße für die Lagermitten eingetragen sind, wird nach Bild 5.28 vorgenommen (s. a. Bilder 5.51 und 5.52). Diese Maße haben hier für die Konstruktion und den Zusammenbau bzw. für das Prüfen Bedeutung.

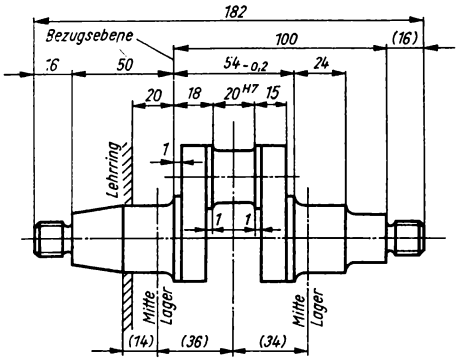


Bild 5.28.

5.3.5. Halbmesser

Halbmesser erhalten nur einen Maßpfeil am Kreisbogen. Bei Halbmessern wird der Mittelpunkt i. allg. durch ein Mittellinienkreuz, einen kleinen Kreis oder Punkt gekennzeichnet (Bilder 5.29 ... 5.34). Der Maßpfeil ist möglichst von innen, bei Platzmangel von außen (Bilder 5.30, 5.33, 5.34) an den Kreisbogen zu ziehen. Hierbei ist bei Mittelpunktskennzeichnung die Maßlinie bis zum Mittelpunkt durchzuziehen. Die Maßzahlen sind, wie in Abschnitt 5.3.4 angegeben, einzutragen.

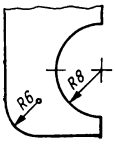


Bild 5.29.

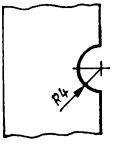


Bild 5.30.



Bild 5.31.

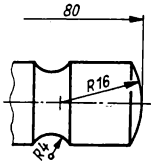


Bild 5.32.

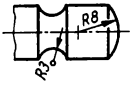


Bild 5.33

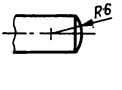


Bild 5.34.

Vor die Maßzahl ist in jedem Falle ein »R« zu setzen.
Liegt bei großen Halbmessern der Mittelpunkt außerhalb der Zeichenfläche oder in einer anderen Ansicht, oder wird die Darstellung zu unübersichtlich, so ist der Halbmesser gekürzt zu zeichnen (Bild 5.35).

Muß für große Halbmesser die Lage des Mittelpunktes bemaßt werden, so kann aus Platzgründen nach Bild 5.36 verfahren werden. Hierbei muß der am Kreisbogen liegende Maßlinienteil in seiner Verlängerung auf den geometrischen Mittelpunkt gerichtet sein; die Abknickung ist rechtwinklig zu zeichnen.

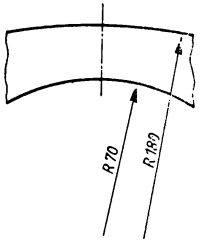


Bild 5.35.

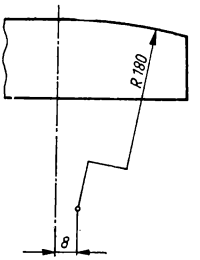


Bild 5.36.

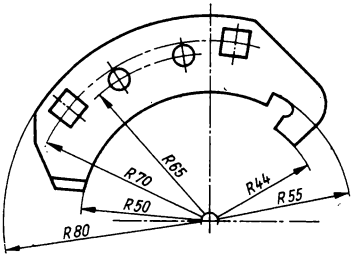


Bild 5.37.

Sind Halbmesser in größerer Anzahl anzuordnen, so brauchen sie nicht bis zum Mittelpunkt, sondern nur bis zu einem um den Mittelpunkt gezeichneten kleinen Hilfskreisbogen gezogen zu werden (Bild 5.37).

5.3.6. Durchmesserzeichen

Das Durchmesserzeichen »∅« kennzeichnet die Kreisform; *es ist für jedes Durchmessermaß anzuwenden und wird vor die Maßzahl gesetzt.*
Beim Durchmesserzeichen ist der Kreisdurchmesser gleich $^5/_7$ der Maßzahlgröße, der Kreismittelpunkt liegt etwa in der Mitte der Maßzahlhöhe. Der gerade, unter ≈ 75° zur Waagerechten geneigte Strich geht durch den Kreismittelpunkt. Strichdicke ist gleich der der Maßzahlen (Bilder 5.38 und 5.39).

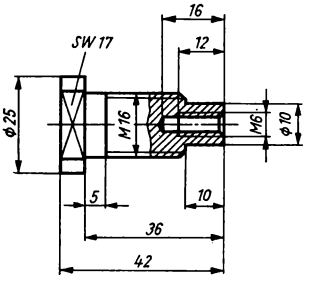


Bild 5.38.

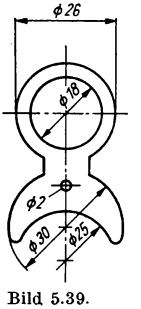


Bild 5.39.

5.3.7. Quadratzeichen und Diagonalkreuz

Das Quadratzeichen □ kennzeichnet die quadratische Form (Bilder 5.40 und 5.41), wenn diese aus der Ansicht, in der das Quadratmaß steht, nicht ersichtlich ist.
Beim Quadratzeichen ist die Größe des Quadrats gleich $^5/_7$ der Maßzahlgröße; die Strichdicke ist gleich der der Maßzahlen. *Das Quadratzeichen ist vor die Maßzahl zu setzen,* die Mitte des Quadrats liegt etwa in der Mitte der Maßzahlhöhe.

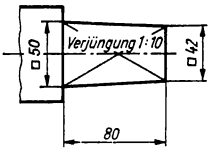


Bild 5.40.

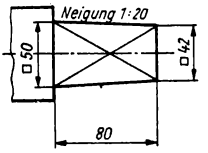


Bild 5.41.

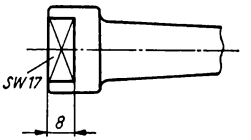


Bild 5.42.

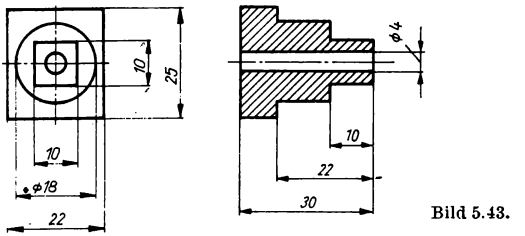


Bild 5.43.

Das Diagonalkreuz (Strichdicke gleich der der Maßlinie) kennzeichnet ebene vierseitige Flächen. Wenn Seitenansicht oder Draufsicht fehlen (Bilder 5.38, 5.40 . . . 5.42), muß das Diagonalkreuz angewendet werden; es ist aber auch bei Vorhandensein zweier Ansichten zulässig.
Zu bevorzugen ist die Darstellung, bei der die Maße der Quadratform in einer Ansicht für zwei aneinanderstoßende Quadratseiten eingetragen sind (Bild 5.43). Bei standardisierten Schlüsselweiten, bei denen die Form aus der Benennung hervorgeht, genügt die einmalige Angabe der Seitenlänge bzw. Schlüsselweite (Bilder 5.38 und 5.42).

5.3.8. Kugel

Bei Kugelformen ist dem Durchmesser- oder Halbmesserzeichen das Wort »Kugel« voranzustellen (Bilder 5.44 und 5.45). Schriftgrößen s. Abschnitt 5.3.4. Bei der Bemaßung von Linsenkuppen, z. B. bei Schrauben- und Stangenenden, fällt die Angabe »Kugel« weg (Bild 5.44).

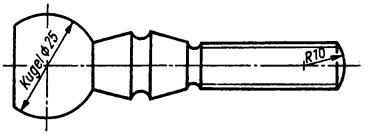


Bild 5.44.

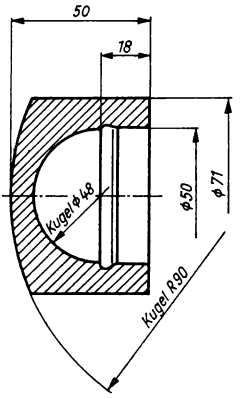


Bild 5.45.

5.3.9. Kegel, Verjüngung, Neigung

Die Grundlagen für die Angabe von Kegel, Verjüngung und Neigung sind in Übereinstimmung mit TGL 10600 in Bild 5.46 zusammenhängend dargestellt.
Die Angabe von Kegel oder Verjüngung, z. B. »Kegel 1 : 20« (Bild 5.50), »Verjüngung 1 : 10« (Bild 5.47), ist parallel zur Mittellinie, die Angabe der Neigung, z. B. »Neigung 1 : 20« (Bild 5.48), »Neigung 12 %« (Bild 5.49), dagegen parallel zur Mantellinie einzutragen.

Der Neigungswinkel $\frac{\alpha}{2}$ (halber Kegelwinkel) ist anzugeben, um das Einstellen der Bearbeitungsmaschine zu ermöglichen (Bild 5.50).

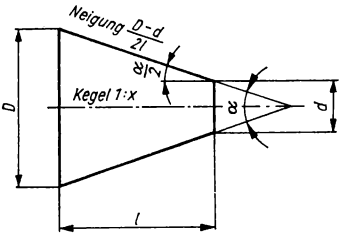


Bild 5.46.

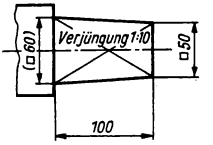


Bild 5.47.

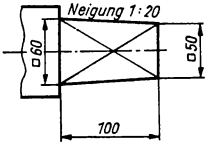


Bild 5.48.



Bild 5.49.

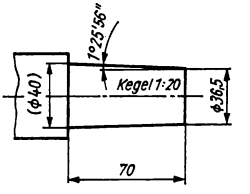


Bild 5.50.

In vielen Fällen muß bei der Bemaßung eines Kegels das Prüfverfahren, das bei der Herstellung des Werkstückes angewendet wird, berücksichtigt werden. Beim Außenkegel wird der Lehrring strichpunktiert angedeutet und der Abstand seines Größt-Durchmessers von einer funktionswichtigen Bezugsebene aus angegeben und toleriert (Bild 5.51).

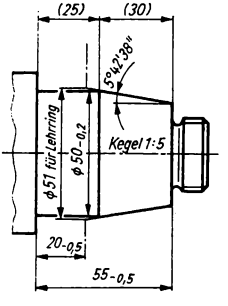


Bild 5.51.

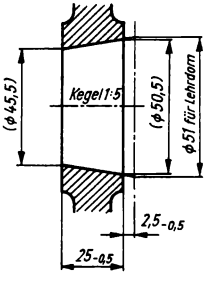


Bild 5.52.

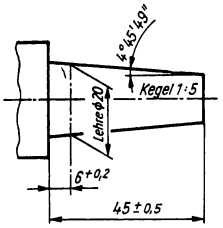


Bild 5.53.



Bild 5.54.

Beim Innenkegel wird der Lehrdorn strichpunktiert angedeutet und der Abstand seines Größt-Durchmessers von einer funktionswichtigen Bezugsebene aus angegeben und toleriert (Bild 5.52).
Soll der Nennkegeldurchmesser eine bestimmte Lage zu einer Bezugsebene haben, aber nicht mit einer Kante des Werkstückes zusammenfallen, so ist der Nennkegeldurchmesser als Lehrdurchmesser einzutragen. Sein Abstand von der Bezugsebene ist zu tolerieren (Bild 5.53). Bei Doppelkegel ist nach Bild 5.54 zu verfahren.

5.3.10. Nuten

Nuten für Paßfedern und Keile in zylindrischen Wellen und Bohrungen werden nach den Bildern 5.55 und 5.56 bemaßt. In vielen Fällen wird je ein Maß genügen, und zwar bei der Welle die Nut-Tiefe und bei der Bohrung die Summe aus Bohrungsdurchmesser und Nut-Tiefe.
Für Keilnuten ist die Richtung der Neigung, die der Anzugsrichtung des Keiles entspricht, durch einen Pfeil anzugeben (Bild 5.56).
In der Draufsicht bei Nuten (auch Langlöchern) genügt die Eintragung der Länge und Breite (Bild 5.57).
Läuft der Nutgrund parallel zu einer geneigten Mantellinie, so ist die Tiefe nach Bild 5.58 zu bemaßen.

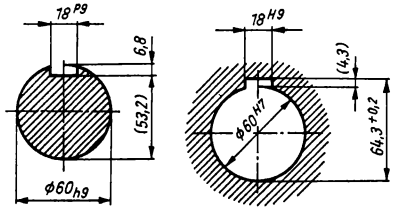


Bild 5.55. a) b)

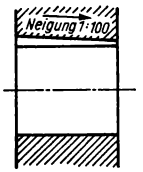
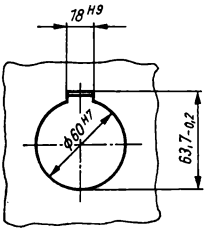


Bild 5.56.



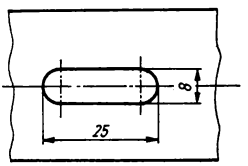


Bild 5.57.

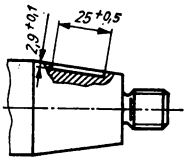


Bild 5.58.

Der Nutgrund ist nach Bild 5.59 zu bemaßen, wenn er bei einer kegeligen Nabenbohrung parallel zur geneigten Mantellinie verläuft.
Läuft der Nutgrund parallel zur Kegelachse, so ist bei kegeligen Wellenenden der Nutgrund bevorzugt von der Mantelfläche des in nächster Entfernung liegenden Zylinders aus zu bemaßen, wobei die (gegebenenfalls) grobe Toleranz des Zylinderdurchmessers zu berücksichtigen ist. Andernfalls ist der Nutgrund von der Mittellinie aus zu bemaßen. Eine Bemaßung des Nutgrundes von der Kegel-Mantellinie aus ist zu vermeiden, damit die Tiefe der Nut unabhängig vom Kegeldurchmesser festgelegt wird (Bilder 5.60a und 5.60b).
Bei kegeligen Nabenbohrungen ist der Nutgrund von der zylindrisch vorgebohrten Nabe aus zu bemaßen, sofern diese Bohrung am Werkstück erhalten bleibt. Andernfalls ist der Nutgrund von der Mittellinie aus zu bemaßen (Bilder 5.61a und 5.61b).

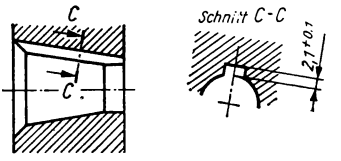


Bild 5.59.

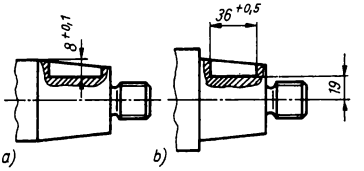


Bild 5.60. a) b)

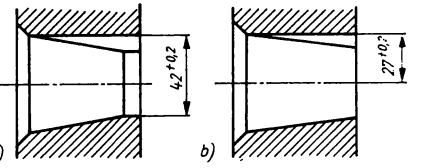


Bild 5.61. a) b)

5.3.11. Anordnung und Auswahl der Maße

Wird die Zeichnung in ihrer Gebrauchslage (vorwiegend die Fertigungslage des Dargestellten) gehalten, so müssen die Maßzahlen usw. von unten und von rechts lesbar sein (Bilder 5.62 . . . 5.64).

Bei *hochgestellten Querformaten* ist das Schriftbild rechts oben (Bild 5.63).

Bei *Hochformaten*, z. B. Größe A 4, bei denen der Gegenstand in der Querlage des Blattes dargestellt ist, müssen in dieser Gebrauchslage der Zeichnung alle Maße von unten und von rechts lesbar sein (Bild 5.64).

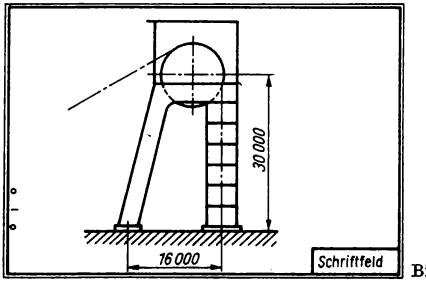


Bild 5.62.

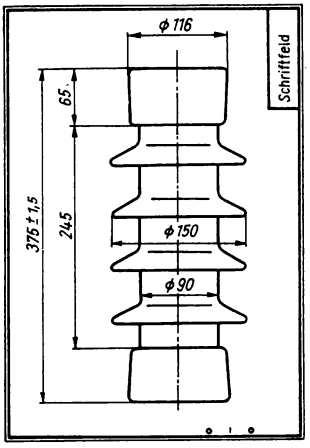


Bild 5.63.

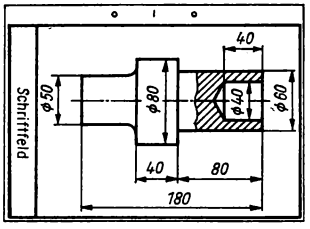


Bild 5.64.

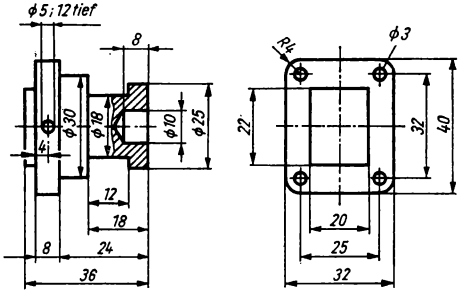


Bild 5.65.

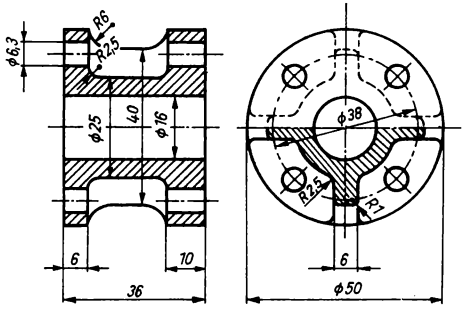


Bild 5.66.

Bei Angebotszeichnungen, Maßblättern und dergleichen, die vorwiegend intern in Heften eingeordnet gebraucht werden, kann von diesen Regeln abgewichen werden.

Jede Maßzahl ist nur einmal einzutragen, und zwar in die Ansicht, welche über die Form des Gegenstandes an der Maßstelle den klarsten Aufschluß gibt (Bilder 5.65 und 5.66). Maße, die sich bei der Fertigung von selbst ergeben, z. B. bei Durchdringungen, werden nicht eingetragen. Maße dürfen die Darstellung nicht undeutlich machen. *Doppelte Maßangabe (Überbestimmung) ist zu vermeiden* (Ausnahmen s. Abschnitte 5.3.9 und 5.3.13).

Die Bemaßung ist an Vollinien (d. h. an sichtbaren Kanten und Umrissen der Darstellung) vorzunehmen. Das Ansetzen von Maß- und Maßhilfslinien an Strichlinien (unsichtbare Kanten) ist zu vermeiden. Nur in begründeten Ausnahmefällen sind Abweichungen zulässig. (Die Bohrung ∅ 10 in Bild 5.65 ist deshalb als Beispiel im Ausbruch bemaßt worden.)

Die Bemaßung gelochter Bleche kann unter Berücksichtigung der Fertigungsart von einer Bezugsebene aus vorgenommen werden (Bilder 5.67 und 5.68). Die Bemaßung der Löcher ist in den Bildern 5.67 und 5.68 auf die Ebenen links und oben, in Bild 5.69 auf die Mittellinien des linken oberen Loches bezogen.

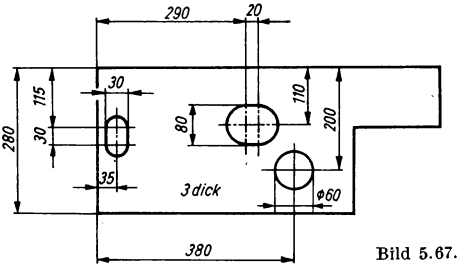


Bild 5.67.

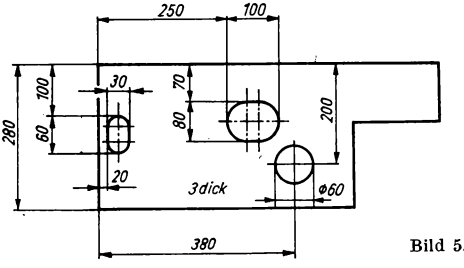


Bild 5.68.

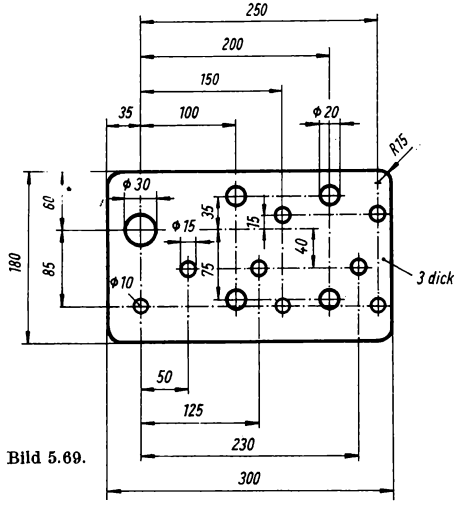


Bild 5.69.

Die Blechdicke kann in der Blechfläche (Bilder 5.67 und 5.68) oder bei Platzmangel neben der Darstellung (Bild 5.69) angegeben werden.
Bei dicht übereinanderliegenden Maßlinien sollen die Maßzahlen versetzt angeordnet werden, um eine bessere Übersicht zu erreichen (Bild 5.69).

Beispiele für die *Angabe funktionsbedingter Maße:*

In Bild 5.70 ist die Bemaßung von verschiedenen Bezugsebenen aus vorgenommen.
In Bild 5.71 ist die Höhe 8 des Ansatzes von besonderer Bedeutung.
Bei Drehteilen mit Linsenkuppen (Bild 5.32) ist, je nach Funktion, die Kuppe in das Längenmaß einbezogen oder nicht. Dies gilt nicht für Gewindeenden, z. B. Bilder 5.92 bis 5.94.
Bild 5.72 zeigt eine von den Bildern 5.71 und 5.76 abweichende vereinfachte Bemaßung einer Fase, die aber nur für Fasen von 45° zulässig ist.
Kleine Formen oder Formen, die sich in ihren Dimensionen wenig unterscheiden, sind in einer »Einzelheit« zu bemaßen (Bild 5.73).

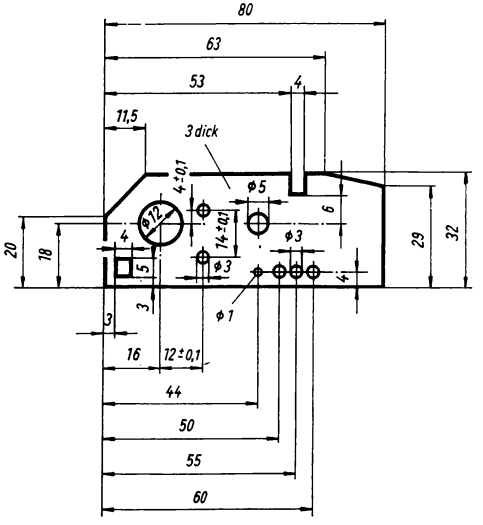


Bild 5.70.

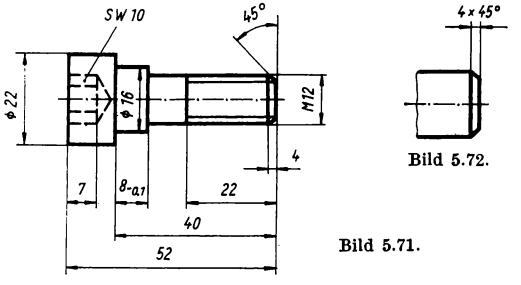


Bild 5.71.

Bild 5.72.

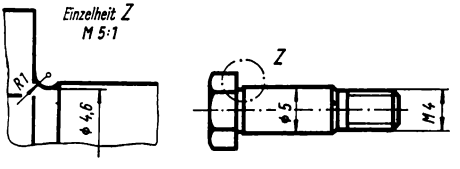


Bild 5.73.

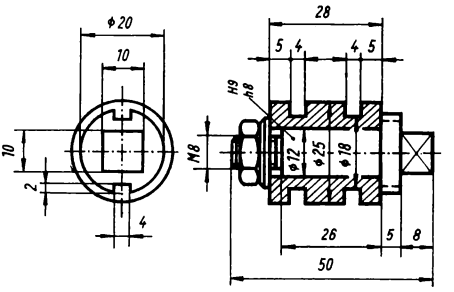


Bild 5.74.

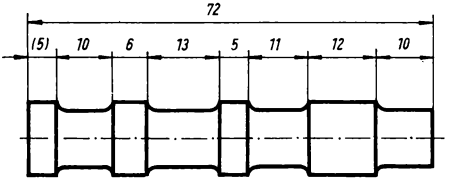


Bild 5.75.

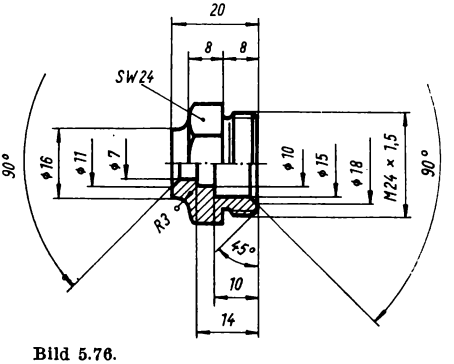


Bild 5.76.

In Darstellungen zusammengesetzter Erzeugnisse werden für Standardteile, soweit diese ausführlich gezeichnet werden, keine Maße oder nur Hauptmaße angegeben.
Sind entgegen der Gepflogenheit, Teile einzeln zu zeichnen mehrere zusammengehörende Teile ineinandergezeichnet, so dürfen aneinandergereihte Maße (Maßketten) sich nur auf ein und dasselbe Teil beziehen (Bild 5.74). Zur Maßeintragung bei ∅ 12 s. Erläuterungen zu Bild 5.151.
Geschlossene Maßketten sind zu vermeiden (Ausnahme: Kreisteilungen nach Bild 5.81). Ist die Aufteilung einer Länge durch eine Maßkette nicht zu umgehen, so muß aus Rücksicht auf die Summe der zulässigen werkstattüblichen Abweichungen eine Abmessung unbemaßt bleiben (Bild 5.76) oder statt dessen das entsprechende Maß in ( ) gesetzt werden (Bild 5.75).
Für die inneren und äußeren Längenabmessungen sind die Maße voneinander getrennt anzuordnen (Bild 5.76).

5.3.12. Lochteilungen

Bei gleicher Lochteilung können längere Maßketten vereinfacht werden (Bild 5.77).
Werkstücke mit vielen gleichen Teilungen und gleichen Lochdurchmessern können nach Bild 5.78 vereinfacht bemaßt werden.
Sind z. B. im Austauschbau nur kleine Abweichungen für Lochabstände zulässig, so können die Maße von einer Bezugsebene aus angeordnet werden (Bild 5.79). Der Ausgang der Bemaßung wird durch einen Punkt und die Maßzahl 0 (Null) gekennzeichnet.

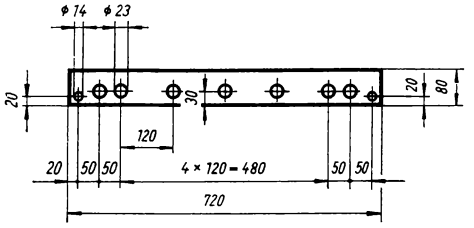


Bild 5.77.

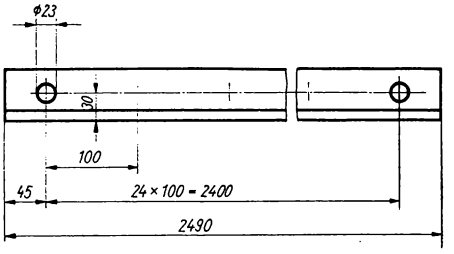


Bild 5.78.

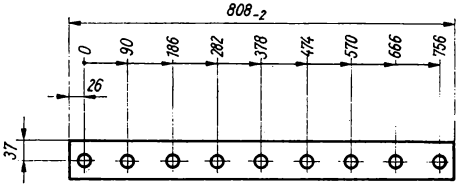


Bild 5.79.

5.3.13. Kreisteilungen

Bei Gradteilungen, wie sie z. B. im Schaltgerätebau für Schaltwalzen anzugeben sind, werden entsprechend Bild 5.79, von einer Bezugsebene ausgehend, geschlossene Maßketten (Bild 5.80) und aneinandergereihte Maße (Bild 5.81) benutzt. Bei aneinandergereihten Maßen wird der Ausgang der Bemaßung durch einen Punkt und die Maßzahl 0 (Null) gekennzeichnet (Bild 5.81).

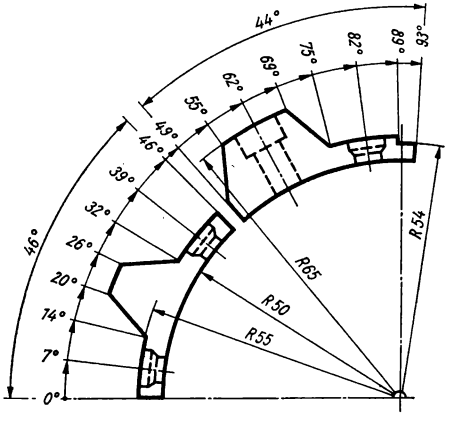


Bild 5.80.

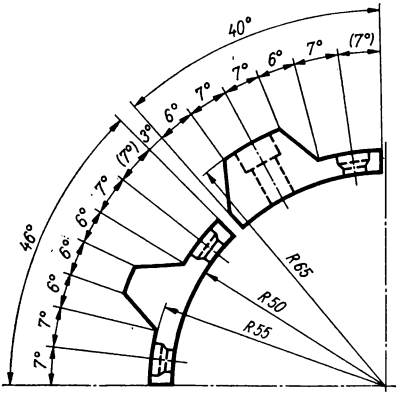


Bild 5.81.

5.3.14. Bogenmaße

Bei der Eintragung von Maßen für Bogen mit einem Zentriwinkel $\leqq 90°$ werden die Maßhilfslinien parallel zu den Winkelhalbierenden herausgezogen und dazwischen die betreffenden Maßlinien als Bogen gezeichnet (Bild 5.82). Über die Maßzahl kann ein Bogenstrich gesetzt werden.
Bei Bogen mit Zentriwinkel $> 90°$ werden Maßlinienbogen vom Mittelpunkt des Bogens aus eingetragen; über die Maßzahl ist ein Bogenstrich zu setzen (Bilder 5.83 und 5.84). Diese Art der Maßangabe wird vielfach bei gebogenen Rohren angewendet, um die gestreckte Länge ermitteln zu können, aber auch, um im Bogen auszuschneidende Bleche zu bemaßen.
Im Bedarfsfalle wird die Linie, für die das Maß gilt, mit Bezugshaken versehen (Bild 5.83).

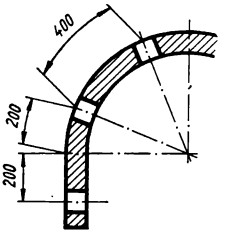


Bild 5.82.

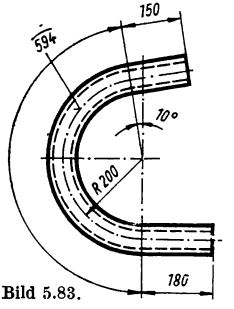


Bild 5.83.

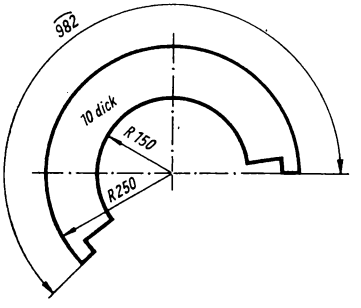


Bild 5.84.

5.3.15. Gleichheitszeichen bei symmetrischen Körpern

Zur Sicherung der *Mittigkeitslage* mit werkstattüblicher Genauigkeit innerhalb *grob tolerierter Breiten* und in ähnlichen Fällen, z. B. bei gewalztem Flachstahl in Stahlbaukonstruktionen, kann das Gleichheitszeichen wie in Bild 5.85 verwendet werden.
Ebenso kann verfahren werden bei grob tolerierten Lochabständen rechteckig angeordneter Löcher, wenn es darauf ankommt, daß die Löcher trotz grob tolerierter Abstände »auf Umschlag passend« ausgemittelt sind (Bild 5.86).

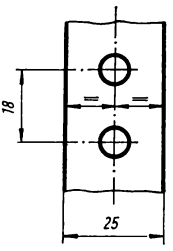


Bild 5.85.

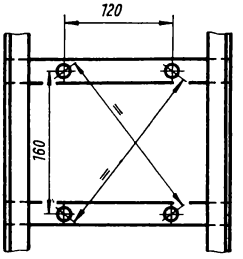


Bild 5.86.

5.3.16. Gewinde

Für standardisierte Gewinde sind abgekürzte Bezeichnungen nach TGL 0-202 anzuwenden (Bilder 5.87 . . . 5.90). Zu beachten ist, daß Linksgewinde durch den Zusatz »links« zum Kurzzeichen gekennzeichnet werden. Das Fertigungsverfahren kann angegeben werden, es ist dem Kurzzeichen anzufügen (s. Bilder 5.107 und 5.113).
Sonst gleiche *Rechts-* und *Linksgewinde an demselben Teil* werden nach Bild 5.91 zusätzlich mit »rechts« bzw. »links« hinter den abgekürzten Bezeichnungen gekennzeichnet.
Gewindeenden sind wie Schraubenenden so zu bemaßen, daß die Kuppe innerhalb der Gewindelänge liegt (Bilder 5.92 bis 5.94). Werkstattübliche Fasen bis auf den Kerndurchmesser werden im Regelfall nicht bemaßt.

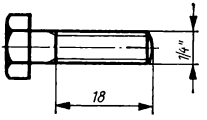


Bild 5.87.

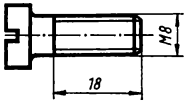


Bild 5.88.

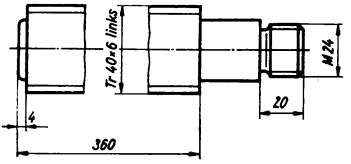


Bild 5.89.

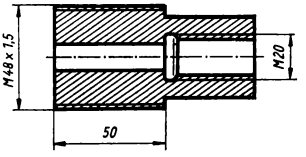


Bild 5.90.

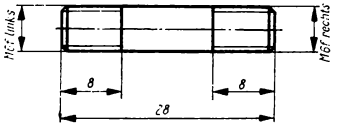


Bild 5.91.

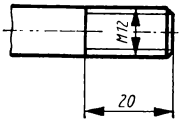


Bild 5.92.

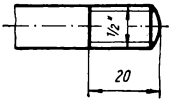


Bild 5.93.

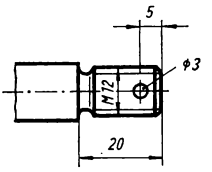


Bild 5.94.

Gewindesenkungen werden im allgemeinen nicht gezeichnet oder bemaßt, da in der Fertigung die Gewindelöcher meist entgratet und bis auf den Gewindeaußendurchmesser ausgesenkt werden. Für größere Senkungen sind Senkwinkel und Senktiefe (Bild 5.95) oder Senkwinkel und Senkdurchmesser (Bild 5.96) anzugeben.
Bemaßung von Gewinderillen nach TGL 0-76 (Bilder 5.97 bis 5.99).

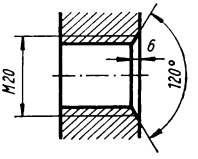


Bild 5.95.

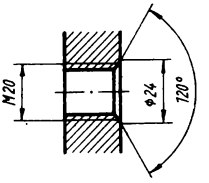


Bild 5.96.

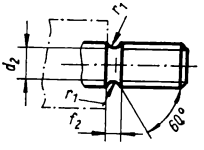


Bild 5.97. Gewinderille für geschnittenes Außengewinde

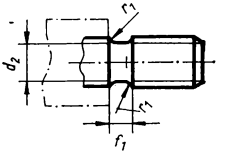


Bild 5.98. Gewinderille für gewalztes Außengewinde

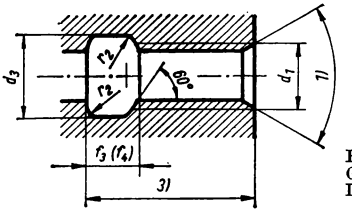


Bild 5.99. Gewinderille für Innengewinde

Gewindelängen, Gewindeauslauf nach TGL 0-76. Grundsätzlich ist zu beachten, daß die Längenangaben für Außen- und Innengewinde stets für die *nutzbare Gewindelänge* gelten.
Der *Gewindeauslauf* wird auf der Zeichnung im allgemeinen nicht angegeben.
Der *Gewindeauslauf* liegt außerhalb des in der Zeichnung eingetragenen Gewindelängenmaßes, d. h. außerhalb der dicken Abschlußlinie (Bilder 5.100 . . . 5.103). Er ist nur dann zu zeichnen und zu bemaßen (Bild 5.102), wenn es in besonderen Fällen notwendig ist.
Bei *Stiftschrauben* rechnet der Gewindeauslauf des Einschraubendes mit zur nutzbaren Gewindelänge; somit ist das Ende des Gewindeauslaufs auch die Begrenzung des Gewindes (Bild 5.102).

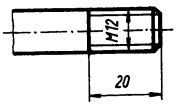


Bild 5.100.

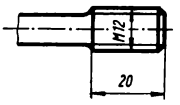


Bild 5.101.

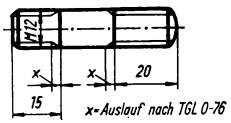


Bild 5.102.

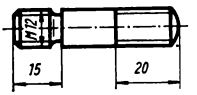


Bild 5.103.

Bei Stiftschrauben mit Rille ist die Bemaßung nach Bild 5.103 vorzunehmen.

Gewindesacklöcher für geschnittene Gewinde werden im allgemeinen nach Bild 5.104 dargestellt und bemaßt, d. h., die Kernlochtiefe wird angegeben und die nutzbare Gewindelänge ohne Auslauf eingetragen. In besonderen Fällen kann auch der Auslauf angegeben werden (Bild 5.105).

Gewindesacklöcher mit eingeschraubtem Gewindebolzen werden meist auch ohne Gewindeauslauf dargestellt und bemaßt (Bild 5.106).

Gewindesacklöcher für gepreßte Gewinde sind nach Bild 5.107 darzustellen und zu bemaßen.

In *Kleindarstellungen von Muttergewinden* richtet sich die Bemaßung nach der Größe, in der der Gewinde-Außendurchmesser gezeichnet ist. Ist seine zeichnerische Darstellung > 5 mm, so ist nach den Bildern 5.108 und 5.109 zu bemaßen, ist sie $\leqq 5$ mm, so ist die Bemaßung nach den Bildern 5.110 bis 5.112 vorzunehmen.

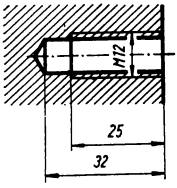


Bild 5.104.

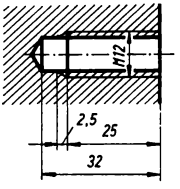


Bild 5.105.

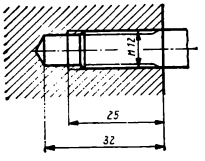


Bild 5.106.

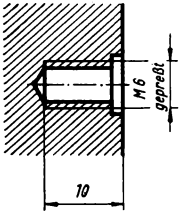


Bild 5.107.

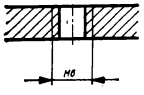


Bild 5.108.

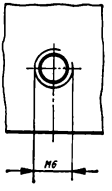


Bild 5.109.

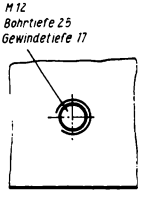


Bild 5.110.

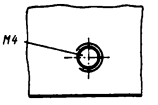


Bild 5.111.

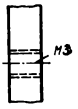


Bild 5.112.

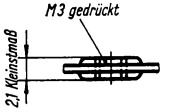


Bild 5.113.

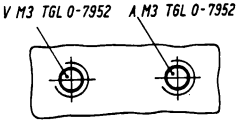


Bild 5.114.

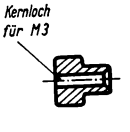


Bild 5.115.

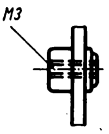


Bild 5.116.

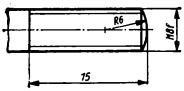


Bild 5.117.

Gedrückte Gewinde sind nach Bild 5.113 zu bemaßen. Der Gewindebezeichnung muß »gedrückt« hinzugefügt werden.

Blechdurchzug mit Gewinde ist nach Bild 5.114 zu bemaßen. Das Maß für die Höhe ist mit der Fertigung (Werkstatt) zu klären.

Ist es notwendig, für Gewinde nur das *Kernloch* vorzusehen, z. B. wenn das Gewinde erst nach dem Einnieten einer Buchse geschnitten wird, so wird in der Zeichnung dieses Teiles nur das Kernloch nach Bild 5.115 angegeben. Das Gewinde wird in der Zusammenstellungszeichnung dieser Teile nach Bild 5.116 angegeben.

Die Toleranzkurzzeichen f und g (fein und grob) nach TGL 7907 Bl. 32 sind nach den Bildern 5.91 und 5.117 hinter die Maßzahlen des Gewindes auf gleicher Höhe und in gleicher Größe wie die Maßzahlen zu schreiben. Das Toleranzkurzzeichen m (mittel) wird gemäß TGL 7907 Bl. 3···10 nicht eingetragen.

5.3.17. Toleranzen und Passungen

Müssen aus zwingenden Gründen die Abmaße für Durchmesser und Längenmaße durch Zahlen statt ISA-Kurzzeichen angegeben werden, dann ist dem Bedarf entsprechend nach den Bildern 5.118 . . . 5.123 zu verfahren.

Die Abmaße sind hinter der Maßzahl einzutragen. Dem Nennmaß werden beide Abmaße hinzugefügt, es wird also das

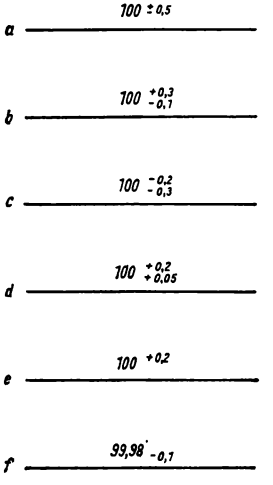


Bild 5.118.

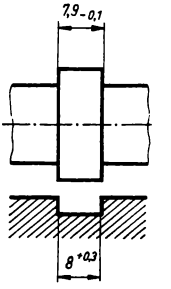


Bild 5.119.

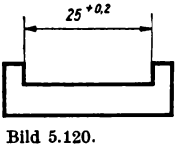


Bild 5.120.

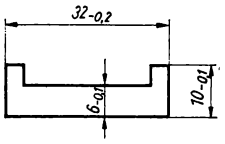


Bild 5.121.

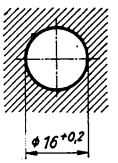


Bild 5.122.

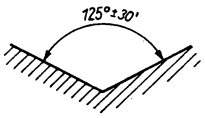


Bild 5.123.

Toleranzfeld angegeben. Das *Abmaß* 0 (Null) wird jedoch nicht eingetragen. Das obere Abmaß ist ohne Rücksicht auf das Vorzeichen höher, das untere Abmaß tiefer hinter die Maßzahl zu setzen; Schriftgröße etwa 0,7 der Maßzahlhöhe, jedoch nicht kleiner als 2 mm. Bei gleichem oberem und unterem Abmaß steht das Abmaß nur einmal mit beiden Vorzeichen hinter der Maßzahl (Bild 5.118a).
Bei *Absatzmaßen* sind die Vorzeichen (+ oder —) der Abmaße abhängig von der zuerst fertigzustellenden Bezugsebene (Wortangabe in Zeichnungen nur, wenn erforderlich, z. B. Bild 5.128). Die Bezugsebene ist entsprechend der Funktion zu wählen (Bilder 5.126 . . . 5.128).
Eingetragen werden Abmaße für Winkelmaße nach den Bildern 5.123 . . . 5.125, Absatzmaße nach den Bildern 5.126 bis 5.128, Lochmittenabstände und Teilungen nach den Bildern 5.129 . . . 5.138.

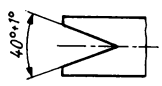


Bild 5.124.

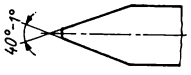


Bild 5.125.

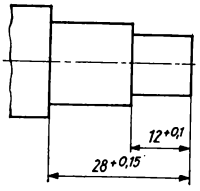


Bild 5.126.

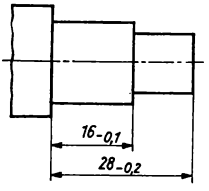


Bild 5.127.

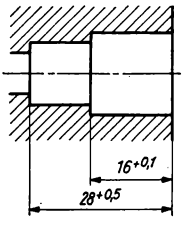


Bild 5.128.

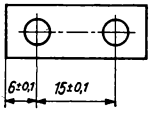


Bild 5.129.

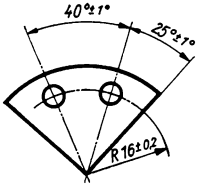


Bild 5.130.

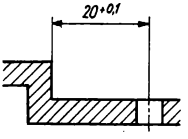


Bild 5.131.

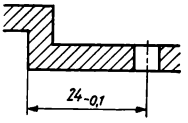


Bild 5.132.

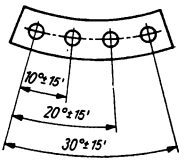


Bild 5.133.

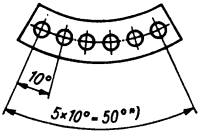


Bild 5.134.

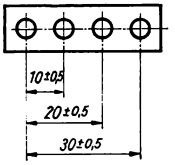


Bild 5.135.

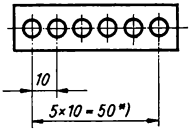


Bild 5.136.

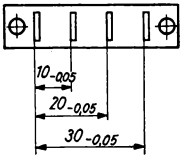


Bild 5.137.

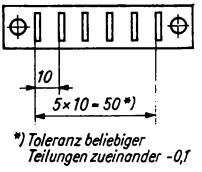


Bild 5.138.

Die Toleranz für die Mittenentfernung mehrerer Löcher sowie für den Abstand der Lochmitte von einer Ebene liegt im allgemeinen nach ± (Bilder 5.129 und 5.130). Ist aus Funktionsgründen der Abstand einer Kante oder Ebene von der Lochmitte aus zu bestimmen, so gilt die Lochmitte als Bezugsebene (s. Absatzmaße Bilder 5.131 und 5.132).
Mehrere aufeinanderfolgende Mittenabstände können verschiedenartig bemaßt werden. Zu beachten ist, daß sich die Toleranzen je nach der Bemaßung verschiedenartig auswirken. Bei Bemaßung von Abstand zu Abstand (Maßkette) summieren sich die Toleranzen. Summentoleranzen lassen sich vermeiden, wenn die Abstände von der ersten Lochmitte aus bemaßt werden (Bilder 5.133 und 5.135). Bei einer größeren Anzahl von Teilungen kann nach den Bildern 5.134 und 5.136 bemaßt werden.
Teilungen für eckige Löcher werden von Lochkante zu Lochkante bemaßt (Bilder 5.137 und 5.138).
Bei *zusammengebaut gezeichneten Teilen* ist das Maß mit der Toleranz für das Außenteil (Innenmaß) über dem Maß mit der Toleranz für das Innenteil (Außenmaß) anzuordnen (Bilder 5.139 bis 5.141). Die Zuordnung der Maße ist durch Wortangabe, z. B. »Bohrung«, »Welle«, »Teil . . .« oder durch

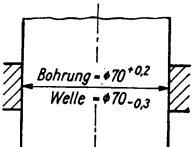


Bild 5.139.

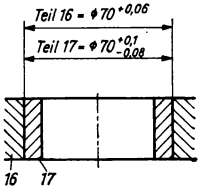


Bild 5.140.

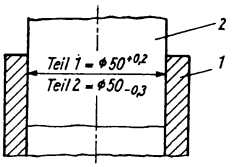


Bild 5.141.

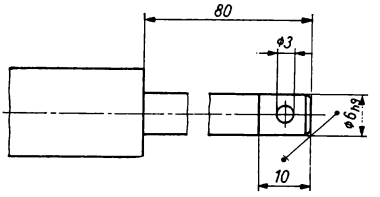


Bild 5.142.

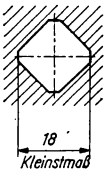


Bild 5.143.

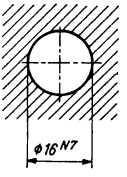


Bild 5.144.

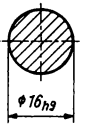


Bild 5.145.

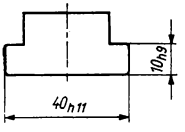


Bild 5.116.

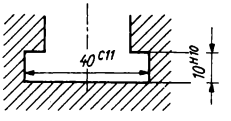
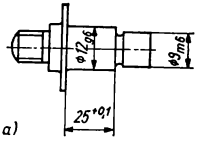


Bild 5.147.



a)

Bild 5.148.

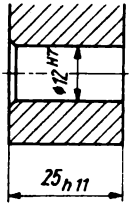


Bild 5.149.

die Zeichnungs-Nummer zu kennzeichnen. Ist bei ineinandergesteckt gezeichneten Teilen für jedes Teil nur ein Abmaß einzutragen, weil das andere Abmaß gleich 0 (Null) ist, so ist nur eine Maßlinie erforderlich (Bilder 5.139 und 5.141). Wenn es die Deutlichkeit der Zeichnung erfordert, sind Bezugslinien oder zwei Maßlinien (Bild 5.140) vorzusehen.

Braucht eine Toleranz nicht in der ganzen bemaßten Länge eingehalten zu werden, dann ist die Toleranzangabe nach Bild 5.142 zu begrenzen.

Ist bei Maßen nur eine Begrenzung notwendig, so sind die Maßzahlen mit den Zusätzen *Größtmaß* oder *Kleinstmaß* zu versehen (Bild 5.143). Hierbei ist zu beachten, daß die Bezeichnung des Nennmaßes als »Größtmaß« oder »Kleinstmaß« zur Voraussetzung hat, daß die in der Fertigung möglichen Maßschwankungen funktionsmäßig nicht stören. Die Bezeichnungen »Größtmaß« und »Kleinstmaß« sind deshalb dann anzuwenden, wenn in der Fertigung mit größeren Maßschwankungen zu rechnen ist, die sich aus Funktionsgründen jedoch nur nach einer Richtung auswirken dürfen.

Maße, von denen abgewichen werden darf, soweit die Gebrauchsfähigkeit des Erzeugnisses nicht leidet, erhalten das Zeichen ≈; z. B. ≈ 50; sie heißen Ungefährmaße.

ISA-Kurzzeichen sind bei Außen- und Innenmaßen (Bilder 5.144 . . . 5.150) anzuwenden, wenn ihre Abmaße dem ISA-Toleranzsystem entsprechen. Bei Absatzmaßen und bei Lochmittenabständen dürfen keine Kurzzeichen angewendet werden. Kurzzeichen sind hinter die Maßzahl zu schreiben, und zwar sind die Großbuchstaben und Zahlen für Innenmaße höher und die Kleinbuchstaben und Zahlen für Außenmaße tiefer als die Maßzahl einzutragen. Im übrigen gilt sinngemäß das, was über das Eintragen der Abmaße gesagt worden ist.

Sind bei zusammengebaut gezeichneten Teilen Kurzzeichen für Innen- und Außenmaße gleichzeitig vorgesehen (Bild 5.151), so werden die Angaben für die Innenmaße *über* denen für die Außenmaße angeordnet.

Sollen neben den Kurzzeichen auch die zugehörigen Abmaße auf einer Zeichnung angegeben werden, so werden die Abmaße in ( ) dem Kurzzeichen hinzugefügt,

z. B. 300 F 8 $\binom{+0{,}137}{+0{,}056}$,

oder in einer besonderen Übersetzungstafel in der Nähe des Zeichnungsschriftfeldes oder im Zeichnungsfeld angegeben.

Soll ein Teil einem anderen zuerst gefertigten mit vorgeschriebener Paßtoleranz angepaßt werden, so kann z. B. nach Bild 5.152 verfahren werden.

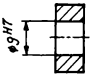


Bild 5.150.

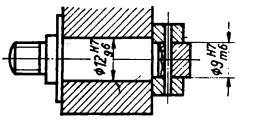


Bild 5.151.

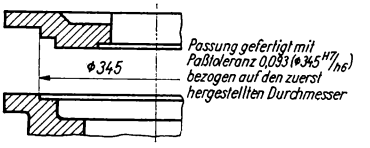


Bild 5.152.

5.3.18. Laufende Nummern der Teile

Die Teile sind immer durch Zahlen (laufende Nummern) und nicht durch Buchstaben zu bezeichnen. Laufende Nummern (Lfd. Nr.) werden etwa doppelt so groß wie Maßzahlen, jedoch nicht kleiner als 5 mm (nach TGL 0-16), neben oder in das Bild des Teiles (ohne Umrandung) gesetzt. Wenn es der Aufbau der Stückliste zuläßt, empfiehlt es sich, sie im Uhrzeigersinne anzuordnen. *Bezugslinien* sind möglichst geradlinig und so zu führen, daß sie nicht mit Körperkanten oder anderen benachbarten Linien verwechselt werden können (Bild 5.153). Das im Teil liegende Ende der Bezugslinie ist mit einem Punkt zu versehen.

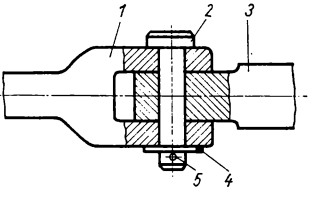


Bild 5.153.

5.4. Schrauben- und Zahnraddarstellungen

Die Bilder 5.154 . . . 5.157 enthalten Beispiele der Darstellung von Schrauben.

Zur Übertragung von Kräften und Drehbewegungen werden Zahnräder benutzt. In Bild 5.158 sind die Bezeichnungen, die zur Bestimmung der Formen notwendig sind, dargestellt.

Zur Bestimmung der Zahnräder ist der Modul $m = \frac{1}{\pi}$ notwendig. Wie die Formel zeigt, ist der Modul das Verhältnis der Teilung zu π. Die Modulreihe ist im derzeitig gültigen Standard festgelegt (s. S. 82).

Die Zahnformen für Stirn- und Kegelräder sind ebenfalls in den Standards festgelegt. In der Mehrzahl wird im Maschinenbau die Evolventenverzahnung benutzt. Das Zahnstangenprofil als Bezugsprofil zeigt Bild 5.159. Die Flanken sind Gerade (Evolventenverzahnung), der Eingriffswinkel $\alpha = 20°$ (= halber Flankenwinkel) und die gemeinsame Zahnhöhe $h = 2\,m$.

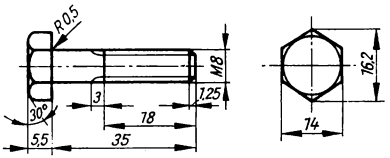


Bild 5.154. Bemaßte Sechskantschraube

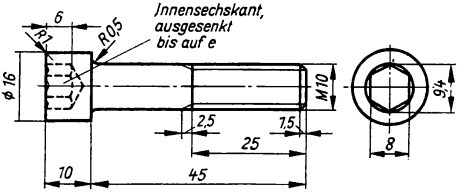


Bild 5.155. Bemaßte Zylinderschraube mit Innensechskant

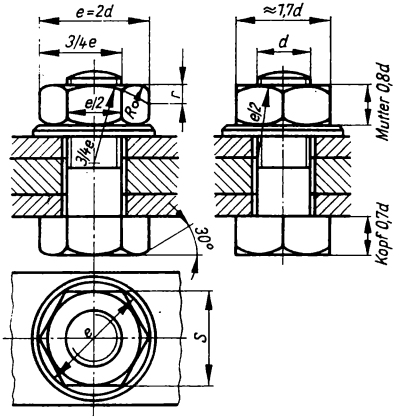


Bild 5.156.
Vollständige Darstellung der Schraube mit Mutter

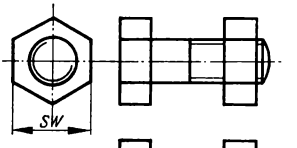
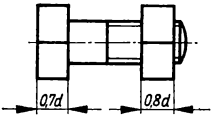


Bild 5.157. Vereinfachte Darstellung der Schraube



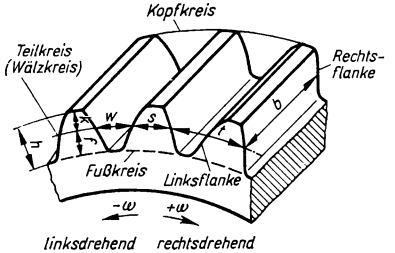


Bild 5.158. Bezeichnungen am Zahnrad
d_k Kopfkreis, d_0 Teilkreis, d_f Fußkreis, b Zahnbreite, h Zahnhöhe, s Zahndicke, w Zahnweite, k Kopfhöhe, f Fußhöhe, t Teilung

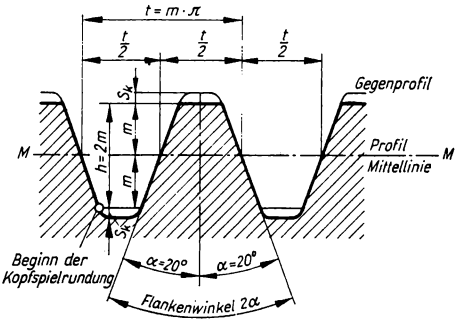


Bild 5.159. Zahnform für Stirn- und Kegelräder

Kopfspiel $S_k = 0{,}1\,m \cdots 0{,}3\,m$ (je nach Herstellungsverfahren). Da die bildliche Darstellung von Zahnrädern (Evolventenkurven usw.) recht zeitraubend ist, benutzt man hier in jedem Falle vereinfachte Darstellungen oder Sinnbilder. Der Kopfkreis wird als dicke Vollinie, der Teilkreis als Strichpunktlinie und der Fußkreis als gestrichelte Linie gezeichnet, Tabelle 5.2 (s. S. 136) zeigt vereinfachte Darstellungen und Sinnbilder nach Standard für Zahnräder.
Für Kettenräder gelten ähnliche Sinnbilder, ebenso für Sperr- und Schalträder, nur daß einige Ketten- und Sperrzähne angedeutet werden müssen (Bild 5.160). Bei der Berechnung und Darstellung ist es notwendig, die hierfür bestimmten Standards hinzuzuziehen.
Die Bilder 5.161 und 5.162 enthalten Stirnraddarstellungen.

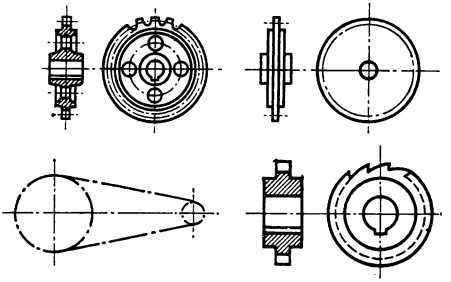


Bild 5.160. Sinnbilder für Ketten- und Sperräder

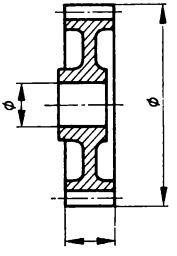


Bild 5.161.
Stirnrad, geradverzahnt

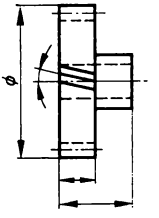
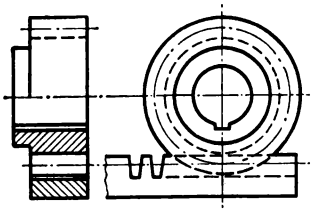
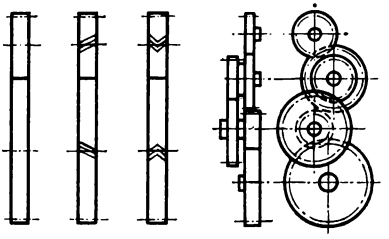
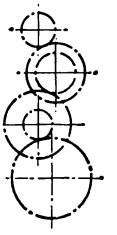
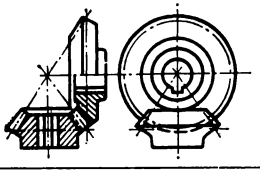
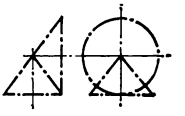
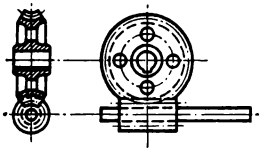
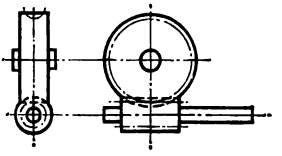
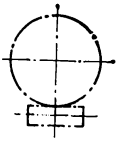
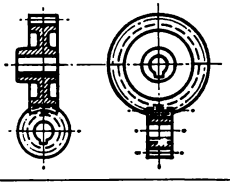
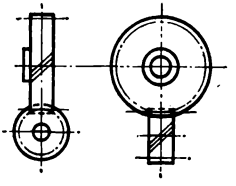
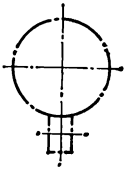


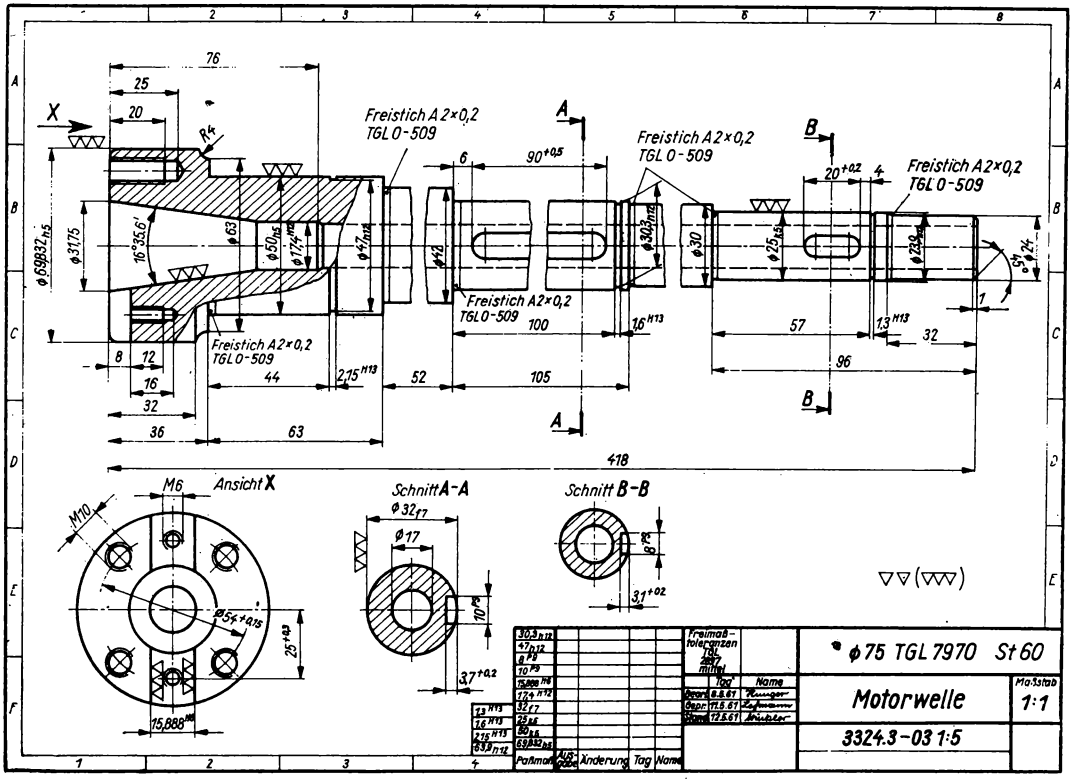
Bild 5.162.
Stirnrad, schrägverzahnt

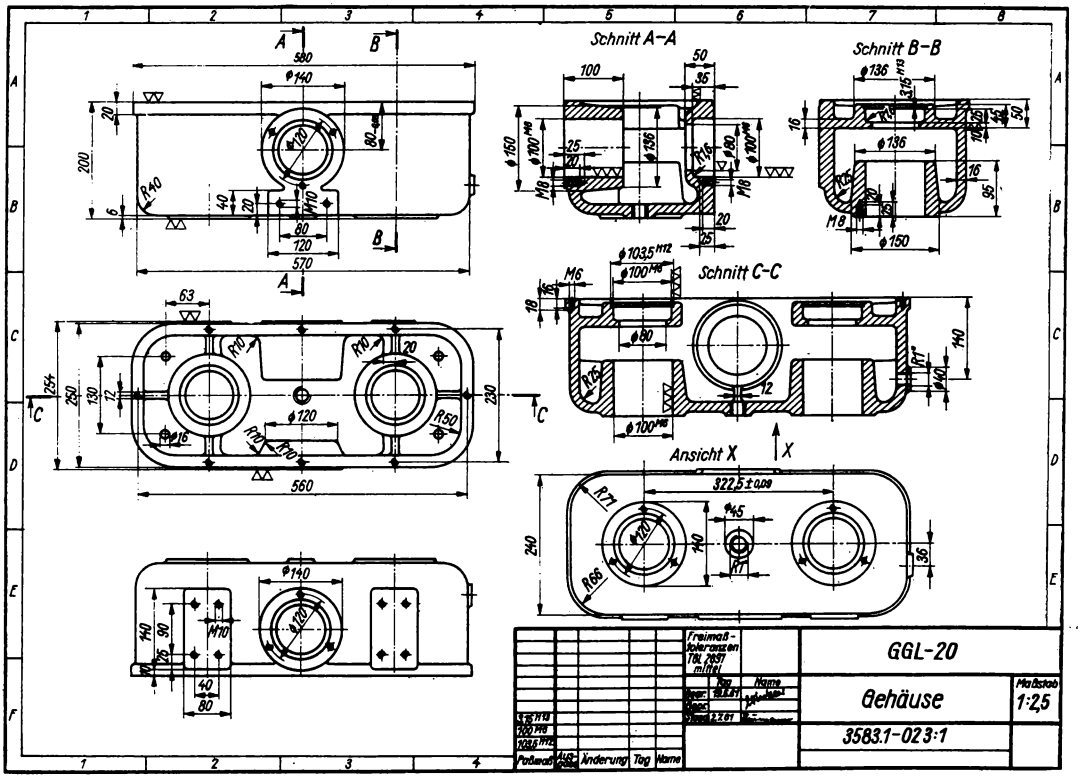
5.5. Beispiele zum technischen Zeichnen

Die Bilder auf S. 137 enthalten Beispiele aus der Praxis.

Tabelle 5.2: Vereinfachte Darstellungen und Sinnbilder (nach Standard für Zahnräder)

Darstellung	Vereinfachte Darstellung	Sinnbild
Stirnräder 		
Kegelräder 		
Schnecke, Schneckenrad 		
Schraubenräder 		


Freistich A 2×0,2 TGL 0-509
Ansicht X
Schnitt A-A
Schnitt B-B
M6
M10
418
105
100
57
96
63
36
44
52
32
16
12
8
2,15 H13
1,5 H13
1
Freimaß-Toleranzen TGL 2607 mittel
Maßstab 1:1
Motorwelle
3324.3-03 1:5
ϕ 75 TGL 7970 St 60


Schnitt A-A
Schnitt B-B
Schnitt C-C
Ansicht X
570
560
322,5 ± 0,09
Freimaß-Toleranzen TGL 2607 mittel
Maßstab 1:2,5
Gehäuse
GGL-20
3583.1-023:1

6. Elektronische Datenverarbeitung

6.1. Bedeutung der elektronischen Datenverarbeitung

6.1.1. Allgemeines

Die *elektronische Datenverarbeitung* (EDV) ist die Gesamtheit der organisatorischen, mathematischen, programm- und gerätetechnischen *Verfahren zum Erfassen, Verknüpfen und Darstellen von Datenfolgen* mit vorwiegend elektronischen Mitteln.
Das Hauptziel der Anwendung der EDV ist es, die gesellschaftliche Arbeit insgesamt und die geistigen Tätigkeiten im besonderen zu rationalisieren, die Qualität der Planung und Leitung gesellschaftlicher Prozesse zu erhöhen und damit das Nationaleinkommen zu steigern.
Die komplexe sozialistische Automatisierung erstreckt sich sowohl auf die Bearbeitungsprozesse als auch auf deren Vorbereitung und Leitung sowie auf die Steuerung des Ablaufs der Produktion.
Die Grundlage zur Lösung dieser Aufgabe sind *elektronische Datenverarbeitungsanlagen* und *Prozeßrechner*.

6.1.2. Organisationsformen der elektronischen Datenverarbeitung

In Tabelle 6.1 sind die Organisationsformen der partiellen und der integrierten Datenverarbeitung einander gegenübergestellt.

Tabelle 6.1: Organisationsformen der Datenverarbeitung

Partielle Datenverarbeitung	Integrierte Datenverarbeitung
Erschließung der Teilgebiete des Leitungs- und Planungsprozesses einer Institution unabhängig voneinander	Zusammenstellung der Teilaufgaben als Teil eines in sich abgestimmten Gesamtsystems
keine wechselseitige Nutzung einmal ermittelter Daten und Datenträger mit anderen EDV-Projekten	wechselseitige Nutzung der Zwischen- und Endberechnungen
Mehrfacherfassung und Mehrfachspeicherung der Daten	einmalige Erfassung gleicher Daten und Bereitstellung über Speicher für andere Aufgabengebiete
Vermehrung der Anzahl der Arbeitsgänge durch Nichtweiterverwenden der Teilergebnisse	Senkung der Anzahl benötigter Datenträger und EDV-Arbeitsgänge
verhältnismäßig niedriger Projektierungsaufwand wegen fehlender Koordinierung	verhältnismäßig hoher Projektierungsaufwand
verhältnismäßig einfache Einführung der Teilprojekte in die Praxis infolge der begrenzten Auswirkung auf das jeweilige Aufgabengebiet	komplizierte Überleitung des integrierten Gesamtprojektes infolge seiner komplexen Auswirkung
kleiner Zeitgewinn, da nur Entscheidungen zu Teilen des Reproduktionsprozesses (ständige Weiterentwicklung der Produktion) getroffen werden	höhere Organisationsform der EDV; Erhöhung der Reaktionsfähigkeit des Gesamtsystems und des Wirkungsgrades der Leitung

Datenverarbeitungssysteme, die alle Phasen eines betrieblichen Reproduktionsprozesses umfassen, die gegenseitige Verflechtung berücksichtigen und die Informationsverarbeitung vorwiegend automatisch durchführen, bezeichnet man als *Systeme der automatisierten Informationsverarbeitung.*

Teilbereiche derartiger Datenverarbeitungssysteme sind u. a.
Forschung und Entwicklung,
Konstruktion,
Projektierung und Technologie,
Information und Dokumentation,
automatisierte Produktionssteuerung.

Zur Realisierung werden Datenverarbeitungsanlagen unterschiedlicher Größe, Gerätezusammenstellung und Arbeitsweise eingesetzt. Für die »*Automatisierte Produktionssteuerung*« wird dazu der *Prozeßrechner* benutzt.

Die wesentlichen *Merkmale eines Prozeßrechners* sind:
Überwachung, Optimierung und Steuerung von Prozessen, genau, schnell und sicher,
schritthaltende Aufnahme und Verarbeitung der Informationen vom Prozeß und sofortige Ableitung von Steuerinformationen (sog. Echtzeitverarbeitung),
Gewährleistung ständigen umfassenden Überblicks über den Prozeß,
direkte Rückwirkung auf den Prozeß,
Wegfall von Primärdatenträgern.

6.1.3. Anwendungskomplexe

Eine Auswahl von Anwendungskomplexen ist in Tabelle 6.2 enthalten.

Tabelle 6.2: Anwendungskomplexe

Fachgebiet	Anwendung
Ökonomie	Optimierungsrechnung, Netzwerkberechnung, ökonomische Modelle
Forschung und Entwicklung	Forschungsplanung, Analysen- und Meßtechnik
Produktionsvorbereitung	automatisierte Projektierung, automatisierte Konstruktion, Unterlagenherstellung
Produktion	Produktionsplanung, automatisierte Produktionssteuerung
Materialwirtschaft	Planung und Verteilung, Lagerhaltung, Abrechnung, Transport
Absatz und Marktforschung, Finanzen und Banken	Geldbilanzen, automatisierte Kontenführung
Lehr- und Lernprozesse	Wissenskontrolle, Aus- und Weiterbildungsprozesse
Information und Dokumentation	Speicherung und Bereitstellung, Aufbereitung, Dokumentation, Recherche (Ermittlung)
Handel	Rationalisierung der Abrechnung, kurzfristige Bedarfsforschung
Medizin	Diagnose, Patientenüberwachung
staatliche Leitung und Planung	volkswirtschaftliche Gesamtprozesse, Verflechtungsbilanzen, strategische Entscheidungsvorbereitung

6.2. Grundlagen der elektronischen Datenverarbeitung

6.2.1. Informationsdarstellung

Informationen sind Mitteilungen über Gegenstände, Erscheinungen und Prozesse der objektiven Realität bzw. Darstellungen von ihnen. *Daten* sind durch allgemeingültige und vereinbarte Zeichen (Symbole) erfaßte Darstellungen von Gegenständen, Prozessen und Erscheinungen, die in Zeichenfolgen sinnvoll zusammengefaßt sind.
Das *Zeichen* ist das kleinste, nicht weiter teilbare Datenelement eines gegebenen Zeichenvorrats. Es gibt *numerische Zeichen* (z. B. Ziffern) und *Alpha-Zeichen* (z. B. Buchstaben). Der Zeichenvorrat ist die Gesamtheit aller unterschiedlichen Zeichen eines bestimmten Systems zur Informationsdarstellung.

Beispiel: »Zahlenangaben im Dezimalsystem«
Zahlzeichen: Ziffer 0, . . ., 9,
Datenelement »Zeichen«: Ziffer,
Zeichenvorrat: Gesamtheit aller Darstellungselemente (10 unterschiedliche Ziffern);

Datenarten:
numerische Daten (Zahlenangaben),
alphamerische Daten (Textangaben),
alphanumerische Daten (gemischte Angaben);

Dateneinheiten:
Zeichen,
Wort: Folge von Zeichen mit einer bestimmten Länge,
Datensatz: Folge von Wörtern,
Datengruppe: Folge von Datensätzen,
Datenblock: Folge von Datengruppen.

Kleinste *Einheit zur Darstellung von Zeichen* ist das *Bit*. Es kann die zwei Informationen O und L darstellen. Damit ist das Bit die einzelne Stelle einer binären Darstellung. Mehrere Bits werden zu einem Wort zusammengefaßt.

Beispiele von Datenfolgen (schematisch):
Zahlwörter (konstante Wortlänge von 10 Zeichen)

06	0000453280	07	0268354211	08	0000000012
↑ Zeichen		Adresse		Wort	

Datensatz (Satz aus numerischen, alphanumerischen und alphamerischen Wörtern mit variabler Wortlänge; Wort- bzw. Satzbegrenzung durch Marken)

↑ Satzmarke	3107 Artikel-Nr.	Sechskantschrauben Bezeichnung	↑ Wortmarke	M 3 Art	↑ Wortmarke	625 Menge	kg Einheit	↑ Satzmarke

Tabelle 6.3: Zuordnung zwischen Binärzeichenkombinationen und Dezimalziffern (Normalverschlüsselung)

Dezimalziffer	Dualer Stellenwert 8	4	2	1
0	O	O	O	O
1	O	O	O	L
2	O	O	L	O
3	O	O	L	L
4	O	L	O	O
5	O	L	O	L
6	O	L	L	O
7	O	L	L	L
8	L	O	O	O
9	L	O	O	L

Tetraten = Kombination von vier Binärzahlen

6.2.2. Mathematische Grundlagen

6.2.2.1. Zahlendarstellung

Für die Informationsverarbeitung innerhalb einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage ist das verwendete *Zahlensystem* von Bedeutung.
Eine *Zahl* ist eine Kombination von Ziffern, wobei sich der Wert der Zahl aus einer Verknüpfungsvorschrift für die einzelnen Ziffern ergibt.
Unter einem *Zahlensystem* versteht man eine bestimmte Art der Darstellung von Zahlen.
Das *Dezimalsystem* ist ein Stellenwertsystem, dessen Basis die Zahl 10 ist. Der tatsächliche Wert jeder Ziffer ergibt sich durch die Multiplikation des Ziffernwertes mit dem entsprechenden Stellenwert. Dieser Stellenwert ist eine Potenz der Basis 10.

Beispiel: Dezimalzahl 1975

Ziffernwert	1	9	7	5
Stellenwert	10^3	10^2	10^1	10^0
	$= 1000$	$= 100$	$= 10$	$= 1$
Zahlenwert	$1 \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^2 + 7 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0 = 1975$			

Technische Darstellung der Dezimalzahlen u. a. durch Zählwerk mit nebeneinander angeordneten Ziffernrädern, die entsprechend den Dezimalziffern 0, 1, . . ., 9 je zehn verschiedene Stellungen einnehmen können.
Das *Dualsystem* ist ein Stellenwertsystem, dessen Basis die Zahl 2 ist. Es werden nur die beiden Ziffern *(Binärzeichen)* 0 und 1 benötigt, wobei zur Unterscheidung gegenüber dem Dezimalsystem die Ziffer 1 im Dualsystem mit L bezeichnet wird und die Null durch O.
Dualzahlen werden durch Folgen von Binärzeichen dargestellt. Der Wert jeder Dualzahl ergibt sich durch Multiplikation des jeweiligen Ziffernwertes mit dem entsprechenden Stellenwert der Dualziffer und anschließender Addition dieser Produkte. Die Stellenwerte sind Potenzen der Basis 2 (Einer, Zweier, Vierer, Achter usw.).

Beispiel: Dualzahl 9

Ziffernwert:	L	O	O	L
Stellenwert	2^3	2^2	2^1	2^0
	$= 8$	$= 4$	$= 2$	$= 1$
Zahlenwert	$L \cdot 8 + O \cdot 4 + O \cdot 2 + L \cdot 1 = 8 + 1 = 9$			

Technische Darstellung der Dualzahlen
Das Dualsystem ist die ideale Grundlage für die digitale Zahlendarstellung als Basis einer digitalen Informationsverarbeitung durch technische Gebilde mit zwei physikalischen Zuständen, z. B. Relais, Elektronenröhren und Transistoren im Schalterbetrieb durch »Aus« ≙ O und »Ein« ≙ L (Tabelle 6.3).

Die notwendige Umwandlung von einem Stellenwertsystem in ein anderes *(Konvertierung)* wird innerhalb der EDVA maschinell durchgeführt, um außerhalb der Maschine mit dem geläufigen Dezimalsystem arbeiten zu können.
Rein duale Darstellung (Zuordnung einer Dualzahl zur Dezimalzahl als Ganzes):

z. B. $89 = 2^6 + 25 = 2^6 + 2^4 + 9 = 2^6 + 2^4 + 2^3 + 1$
$= L \cdot 2^6 + O \cdot 2^5 + L \cdot 2^4 + L \cdot 2^3 + O \cdot 2^2 + O \cdot 2^1 + L \cdot 2^0$
$=$ LOLLOOL.

Dezimal-duale Darstellung (ziffernweise Verschlüsselung der Dezimalzahl): unter Verwendung der Normalverschlüsselung. z. B. 89 = LOOO LOOL.

6.2.2.2. Arithmetische Operationen

Alle arithmetischen Operationen lassen sich in Folgen von *Grundoperationen* auflösen. Die wichtigsten Grundoperationen sind Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division. Auf ihnen beruht die Arbeitsweise jedes Rechenwerkes eine. EDVA.
In der Regel können alle Grundoperationen auf Addition, Komplementbildung (Ergänzung bis zu einer vorgegebenen Größe) und Stellenverschiebung zurückgeführt werden. Die Grundoperationen werden im Dualsystem nach den gleichen Regeln wie im Dezimalsystem ausgeführt (s. Tabelle 6.4).

6.2.2.3. Logische Operationen

Zur Durchführung der Rechenoperationen und zur Steuerung des Arbeitsablaufes in Rechenanlagen werden sog. logische Bauelemente benutzt. Diese verwirklichen logische Grundoperationen. Das theoretische Fundament für die digitalen Rechenanlagen bildet die *Algebra einer zweiwertigen Logik*, in der nur zwei Elemente, »wahr« und »nicht wahr«, »ja« und »nein«, »L« und »O«, unterschieden werden. Die wichtigsten

logischen Operationen (am Beispiel von zwei Variablen) sind in Tabelle 6.5 enthalten.
Eine zusammengesetzte logische Schaltung zur Addition von zwei Dualzahlen gleichen Stellenwertes ohne Berücksichtigung des Übertrags heißt *Halbadder* (Bild 6.1).

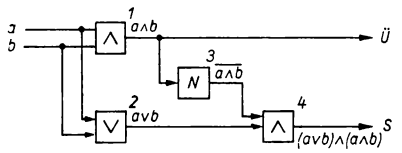


Bild 6.1. Halbadder

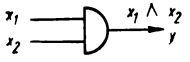
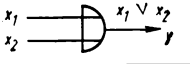
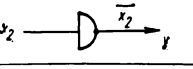
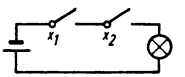
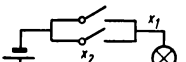
Für die einzelnen logischen Elemente in Bild 6.1 gilt:

Zustände der einzelnen logischen Elemente am Eingang		am Ausgang			
a	*b*	1	2	3	4
O	O	O	O	L	O
L	O	O	L	L	L
O	L	O	L	L	L
L	L	L	L	O	O
		↓ Übertrag (Ü)			↓ Summe (S)

Tabelle 6.4: Grundregeln der binären Grundoperationen

Operation	Grundregel		Beispiel		
Addition	O + O = O O + L = L L + O = L L + L = O	Übertrag L	23 + 11 34	LOLLL + OLOLL LLLLL LOOOLO $= 2^5 + 2^1 = 34$	Übertrag
Subtraktion	O — O = O L — O = L O — L = L L — L = O	Mangel L	34 — 11 23	LOOOLO — OOLOLL LLLLLL OLOLLL $= 2^4 + 2^2 + 2^1 + 2^0 = 23$	Mangelübertrag
Multiplikation	O · O = O O · L = O L · O = O L · L = L		13 · 5 65	LLOL · LOL LLOL OOOO LLOL LOOOOOL $= 2^6 + 2^0 = 65$	

Tabelle 6.5: Logikglieder

Bezeichnung		Konjunktion »und«	Disjunktion »oder«	Negation »nicht«
Eingangsvariable		Ausgangsvariable		
x_1	x_2	$y = f(x_1, x_2)$	$y = f(x_1, x_2)$	$y = f(x_2)$
O	O	O	O	L
O	L	O	L	O
L	O	O	L	L
L	L	L	L	O
		Ausgangsgröße hat nur dann den Wert L, wenn *alle* Eingangsgrößen den Wert L haben	Ausgangsgröße hat den Wert L, wenn *wenigstens eine* der Eingangsgrößen den Wert L hat	Ausgangsgröße entspricht *immer* dem Gegenteil der Eingangsgröße
symbolische Schreibweise		$y = x_1 \wedge x_2$	$y = x_1 \vee x_2$	$y = \bar{x}_2$ (sprich x quer)
Schaltungskurzzeichen (∧ ≙ »und« ∨ ≙ »oder«)				
Schaltermodell »O« ≙ offen »L« ≙ geschlossen		 Reihenschaltung	 Parallelschaltung	

Zu Tabelle 6.5: Zustand L ≙ — 7 ··· — 12 V, Zustand O ≙ 0 ··· — 1 V.

6.3. Datenerfassung und Datenaufbereitung

6.3.1. Datenbereitstellung

Die Verarbeitung der Daten in einer EDVA setzt die Bereitstellung der Eingangsdaten voraus. *Datenbereitstellung* ist die Entnahme der für die Verarbeitung benötigten Daten aus den zugrunde liegenden technischen oder ökonomischen Vorgängen und Erscheinungen und deren verarbeitungsgerechte Bereitstellung in der EDVA. Beispiele enthält Tabelle 6.6.

Tabelle 6.6: Elemente der Datenbereitstellung

Element	Beispiel
Aufzeichnung der Daten	Beschriften eines Beleges
Erfassung der Daten	Lochen einer Lochkarte
Übermitteln der Daten	manueller Transport oder Datenfernübertragung
Eingabe der Daten in die Anlage	

Das Ergebnis der Datenverarbeitungsprozesse hängt von der *Qualität der Eingangsdaten* ab. Diese Qualität wird bestimmt durch Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität und Beständigkeit der Daten. Daraus ergibt sich die hohe Verantwortung aller Werktätigen, die an der Bereitstellung der Daten in irgendeiner Form, insbesondere im Leitungs- und Planungsprozeß, beteiligt sind.

6.3.2. Datenerfassung

Die *Datenerfassung* ist die Umwandlung von Daten oder anderen Informationen in maschinenlesbare und auswertbare Form mit Hilfe der Datenerfassungsgeräte. Verfahren der Datenerfassung enthält Tabelle 6.7.

6.3.3. Datenträger

Datenträger sind Mittel zum Festhalten von alphanumerischen Daten. Sie dienen als *Datenspeicher* für eine spätere Auswertung und als Organisationsmittel für die Leitung und Planung betrieblicher Abläufe (Bild 6.2).

6.3.4. Verschlüsselung (Codierung)

Für die Eingabe der Informationen in eine EDVA sind Datenträger erforderlich, die die einzugebenden Informationen in maschinenlesbarer verschlüsselter (codierter) Form enthalten. Beim *Codieren* erfolgt die Verschlüsselung der Informationen nach einem bestimmten *Code*, der die Gesamtheit an Regeln erfaßt, nach denen der Informationsinhalt einem bestimmten Zeichenvorrat zugeordnet wird. Beim *Binärcode* müssen alle Daten mit Hilfe der beiden Zeichen O und L codiert werden.

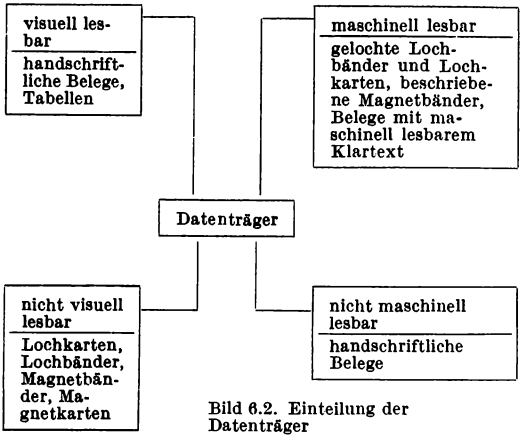


Bild 6.2. Einteilung der Datenträger

Eine EDVA ist auf ein spezielles, vom Hersteller der Anlage festgelegtes *Codierungssystem* (Maschinencode) abgestimmt und kann i. allg. nur dieses verarbeiten.
Der Code für die EDVA ROBOTRON 300 enthält 64 Zeichen, und zwar die zehn Ziffern 0 ··· 9, die 26 Buchstaben des Alphabets und weitere festgelegte Symbole (Tabelle 6.8 und Bild 6.3).

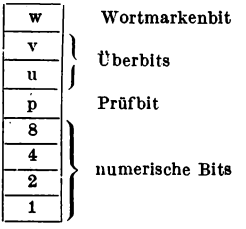


Bild 6.3. Zeichenaufbau bei der EDVA ROBOTRON 300

Als Datenträger sind *Lochkarte* und *Lochstreifen* gegenwärtig am meisten verbreitet. Die Codierung umfaßt hier die Zuordnung von Zeichen zu Lochkombinationen. Entsprechend der internen Darstellung eines Zeichens in der EDVA R 300 wird für die Verschlüsselung auf dem Lochstreifen ein 8-Kanal-Codierungssystem verwendet. Ein Zeichen wird jeweils quer zur Längsrichtung des Streifens dargestellt (Bild 6.4).

Tabelle 6.7: Verfahren der Datenerfassung (DE)

Direkte Datenerfassung		Indirekte Datenerfassung	
direkte Kopplung zwischen DE-Geräten und der EDVA		zeitliche und örtliche Trennung der DE-Geräte und der EDVA	
Zuführung der Daten ohne einen Träger für maschinenlesbare Daten		Zuführung der Daten über einen Träger für maschinenlesbare Daten	
mechanisiert	automatisiert	mechanisiert	automatisiert
manuelle Eingabe direkt in EDVA, unmittelbare Korrespondenz mit Anlage	automatische Abnahme der Daten vom Prozeß (Echtzeitverarbeitung)	manuelles Übertragen der Daten von den Belegen in die DE-Geräte; Speicherung in Datenträgern	automatische Aufnahme der Daten aus dem Prozeß und Eingabe in DE-Geräte; Bereitstellung der Datenträger
Tastatur, Bildschirmgeräte mit Lichtstift, Mikrophon		maschinelles Einlesen der Daten in die EDVA	maschinelles Einlesen der Daten in die EDVA
mittlerer manueller Aufwand	geringer manueller Aufwand; geringe Fehlerwahrscheinlichkeit	hoher manueller Aufwand; erhebliche Fehlermöglichkeit	begrenzter manueller Aufwand; Kontrollfunktion des Menschen
Platzbuchungssysteme u. ä.	Prozeßsteuerungssystem zur unmittelbaren Steuerung und Regelung des Prozesses	gegenwärtig am häufigsten benutztes Verfahren (für 80 bis 90 % aller erfaßten Daten)	Datenverarbeitungssysteme mit Stapelverarbeitung

Im Rahmen des EDV-Systems der EDVA R 300 wird die 80spaltige Lochkarte mit 12 Zeilen benutzt. Den zu verschlüsselnden Zeichen werden bestimmte Lochungen (rechteckige Ausstanzungen) in einer Spalte zugeordnet (Bild 6.4).

Kenngrößen der Datenträger sind in Tabelle 6.9 dargestellt.

Tabelle 6.8: Zeichendarstellung und interne Darstellung des Alphabetes in der EDVA ROBOTRON 300 *)*

Numerischer Teil	Überbits OO	OL	LO	LL
OOOO	0	+	—	,
OOOL	1	A	J	/
OOLO	2	B	K	S
OOLL	3	C	L	T
OLOO	4	D	M	U
OLOL	5	E	N	V
OLLO	6	F	O	W
OLLL	7	G	P	X
LOOO	8	H	Q	Y
LOOL	9	I	R	Z
LOLO	□	~	≈	≋
LOLL	#	.	)	⑤
LLOO	(	;	*	%
LLOL	:	!	=	⑤
LLLO	⑤	⑤	<	>
LLLL	]	'	?	[

*) ⑤ spezielle Steuerzeichen für Magnetbandbetrieb, □ Leerzeichen, # Nummer, ~ Satzkennzeichen, ≈ Gruppenkennzeichen, ≋ Wortkennzeichen.

6.4. Aufbau und Arbeitsweise von elektronischen Datenverarbeitungsanlagen

6.4.1. Anforderungen und Grundfunktionen

Anforderungen an EDVA sind in Tabelle 6.10 zusammengestellt.

Tabelle 6.10: Allgemeine Anforderungen an EDVA

Wissenschaftlich-technische Berechnungen	Ökonomische Berechnungen
geringe Menge von Eingangswerten	große Menge von Eingangswerten
umfangreiche Rechengänge	verhältnismäßig einfache, kurze Rechenoperationen und logische Entscheidungen
geringe Menge von Ausgangsdaten	große Menge von Ausgangsdaten
leistungsfähiges Rechenwerk	verhältnismäßig einfaches, schnelles Rechenwerk
ohne besondere Anforderungen an die Ein- und Ausgabeeinrichtungen	hohe Anforderungen an die Ein- und Ausgabeeinrichtungen und die Speicher

Typische Anforderungen an eine EDVA

Anlagen, die eine solche Systemstruktur haben, daß sie außer Zahlen auch nichtnumerische Informationen verarbeiten können, bezeichnet man als *elektronische Datenverarbeitungsanlagen*. Dabei steht bei den meisten Aufgaben nicht die

Tabelle 6.9: Datenträger

Kenngröße	Lochkarte	Lochstreifen	Magnetband	Magnetkarte
Darstellung der Daten	Folge zweiwertiger Zustände in Form von Lochkombinationen	Lochkombinationen quer zum Streifen, »gelocht« ≙ L »nicht gelocht« ≙ O	lokale Magnetisierung in Form von zwei entgegengesetzten Zuständen	lokale Magnetisierung (≙ Lochung auf Lochkarte)
Prinzip des maschinellen Lesens vom Datenträger	a) elektromechanisch b) elektromagnetisch c) fotoelektrisch	a) elektromagnetisch b) fotoelektrisch	elektromagnetisch	elektromagnetisch
Eingabegeschwindigkeit (maximal)	a) 5000···20000 Karten/h b) 500 Karten/h c) 1000 Zeichen/s	a) 100···300 Zeichen/s b) 1000 Zeichen/s	20000···300000 Zeichen/s	100000 ··· 150000 Zeichen/s
Datenaufnahme	einmalig	einmalig	beliebig oft	beliebig oft
Speicherkapazität (maximal)	80 Zeichen	4 Zeichen/cm Streifen	300 Zeichen/cm Band	21700 Zeichen/Karte
Transporteignung	schlecht	sehr gut	gut	gut
Material	Spezialkarton	pergamentartiges Papier bzw. Kunststoff	Kunststoffband mit ferromagnetischer Schicht	Kunststoff mit magnetischer Schicht
Dicke		0,085 mm	Band: 0,045 mm Schicht: 0,011 mm	
Breite	82,5 mm	17,5···25,4 mm	1/2 Zoll	8 cm
Länge	187,5 mm	300 m/Spule	750 m/Spule	35 cm
Geschwindigkeiten			Bandgeschwindigkeit: 1,52···1,90 m/s	Übertragungsgeschwindigkeit: 100000 Zeichen/s
Informationsdichte			22 bzw. 33 bit/mm	10 bit/mm
besondere Anwendung	häufig verwendeter Datenträger; zentrale Datenerfassung (am Ort der Eingabe in die EDVA)	dezentrale Datenerfassung (am Ort der Entnahme der Daten aus dem Prozeß)	externes Speichermedium für Ein- und Ausgabe umfangreicher Datenmengen	externes Speichermedium

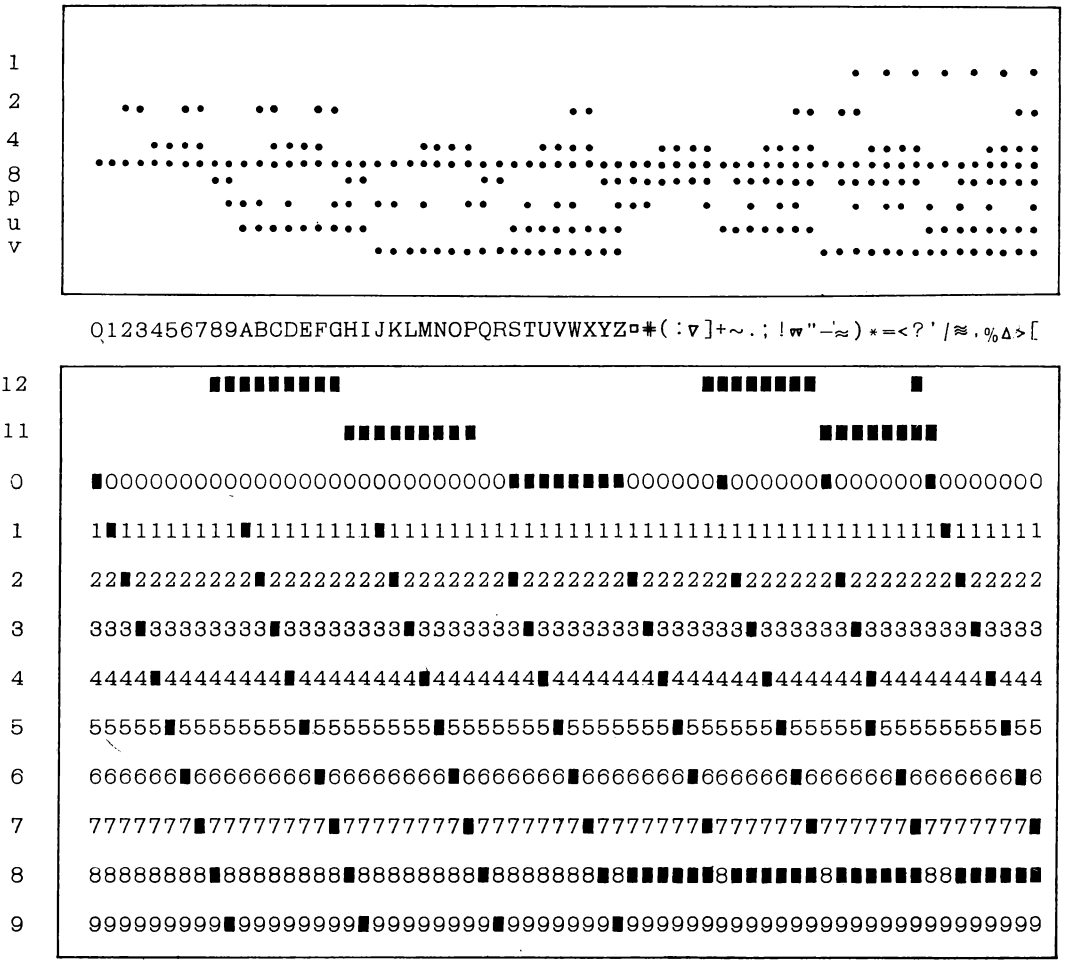


Bild 6.4. Code für Lochstreifen und Lochkarte der EDVA ROBOTRON 300 (beim Magnetband erfolgt die Codierung im Prinzip wie beim Lochstreifen)

arithmetische Rechnung im Vordergrund, sondern die Verarbeitung (d. h. Aufnahme, Speicherung, Sortieren und Ausgabe) einer großen Anzahl von Daten. Folgende *Anforderungen* müssen erfüllt werden:

hohe Geschwindigkeit der Eingabegeräte,
große Speichermöglichkeiten mit kurzer Zugriffzeit,
große Rechengeschwindigkeiten,
schnelle Ausgabegeräte,
weitgehende Programmierhilfen,
Ein- und Ausgabekanäle für Datenfernübertragung.

Die Grundfunktionen von EDVA sind in Tabelle 6.11 dargestellt. Die Bilder 6.5 und 6.6 zeigen Datenflußpläne.

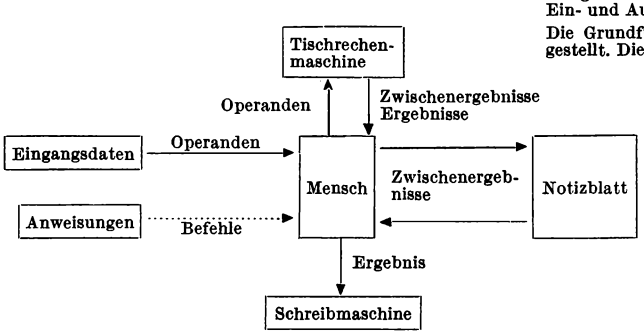


Bild 6.5. Schematische Darstellung des manuellen bzw. maschinellen Informationsverarbeitungs-Prozesses
— Daten; --- Anweisungen

Bild 6.6. Blockschaltbild einer EDVA und des Informationsflusses (Arbeitsschema des automatischen IV-Prozesses)
— Daten; --- Anweisungen (Befehle);
— Steuer-und Meldesignale

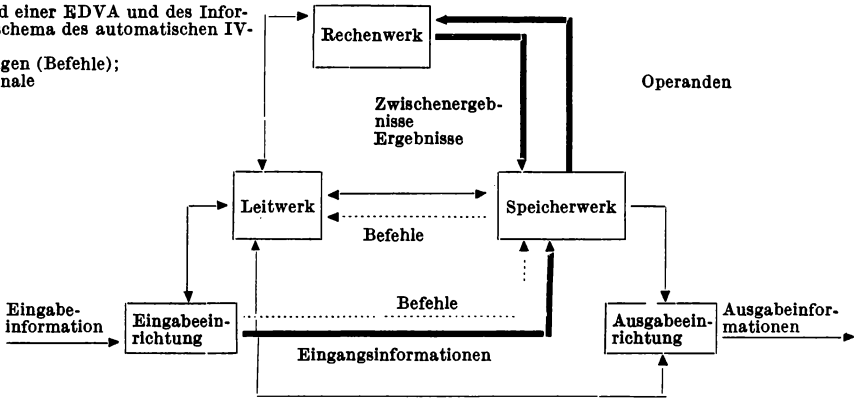


Tabelle 6.11: Grundfunktionen der maschinellen und elektronischen Datenverarbeitung

Manuelle bzw. maschinelle Informationsverarbeitung			Struktur einer programmgesteuerten Rechenanlage		
Aufgabe	Einrichtung	Grundfunktion	Baueinheit	Aufgabe	Einrichtung
Eingabe der Zahlenwerte in die Rechenmaschine	Tastatur der Rechenmaschine	Eingabe	Eingabewerk	Verbindung von der Außenwelt zur Maschine, Aufnahme von Anweisungen und Zahlenwerten	elektrische Schreibmaschine, Lochkartenleser, Lochstreifenleser, Magnetbandgerät
Aufbewahren von Anfangsdaten, Zwischenergebnissen und Endergebnissen	Notizblatt, kurzzeitig auch Rechenmaschine	Speichern	Speicherwerk	Aufnahme und Aufbewahren von Zahlen und Befehlen bis auf Abruf	interne (Haupt-) Speicher: Kernspeicher, Halbleiterspeicher
Durchführung der Rechenoperationen	Rechenmaschine	Rechnen	Rechenwerk	Durchführung der vom Programm vorgeschriebenen arithmetischen und logischen Operationen	Netzwerk aus logischen Schaltungen und Registern
Anzeige oder Ausgabe von Zwischen- und Endergebnissen	Rechenmaschine, Schreibmaschine	Ausgabe	Ausgabewerk	ausgangsseitige Verbindung zur Außenwelt, Ausgabe in maschinenlesbarer Form bzw. Klarschrift	Lochkartenstanzer, Lochstreifenstanzer, Schreibmaschine, Schnelldrucker
Auslösung von Rechenoperationen entsprechend vorgegebener Anweisung	Anweisung und durch den Menschen	Steuern	Steuer-(Leit-)werk	automatische Steuerung des gesamten Verarbeitungsprozesses entsprechend dem Programm innerhalb der Rechenanlage und der peripheren Geräte	Netzwerk aus logischen Schaltungen
Übertragung von Informationen (Daten)	durch den Menschen	Übertragen			

6.4.2. Prinzip der Programmsteuerung

Die Arbeitsweise einer EDVA beruht auf dem Prinzip der *Programmsteuerung*. Den Ablauf der Rechenoperation innerhalb der Anlage steuert ein vorgegebenes Programm, das vor der Bearbeitung der Aufgabe in die Rechenanlage eingegeben und dort gespeichert wird. Das *Programm* ist die zur Lösung einer Aufgabe notwendige Folge von Anweisungen, die jeweils einer von der EDVA ausführbaren Grundoperation entsprechen.
Die einzelnen Verarbeitungsschritte (Einzelanweisungen) für die Rechenanlage sind die Befehle. Jeder *Befehl* ist eine eindeutige Anweisung für eine Rechenoperation. Er wird durch ein Befehlswort dargestellt.
Die *Befehlsliste* ist die Gesamtheit aller Befehle, über die eine EDVA verfügt.

Schematischer Aufbau eines Befehlswortes

Operationsteil	Adressenteil
Art der durchzuführenden Operation	Adresse des zu verarbeitenden Operanden

Beispiel: Programmoperation mit 3 Adressen
Aufgabe: $c = ab$

Speicherplatzbelegung:	Größe	Platz (Adresse)
	a	200
	b	201
	c	202

Programm für Multiplikation: s. Tabelle 6.12

Tabelle 6.12: Befehlsfolge für c = ab

Nr.	Operation	Adresse	Bedeutung
100	TV	200	Transport vom Hauptspeicher
101	M	201	Multiplikation mit
102	TN	202	Transport nach Hauptspeicher
103	AD1	202	Ausgabe über Drucker 1

Befehls- und Operationsarten sind in Tabelle 6.13 zusammengestellt.

Tabelle 6.13: Befehlsarten und Operationsarten

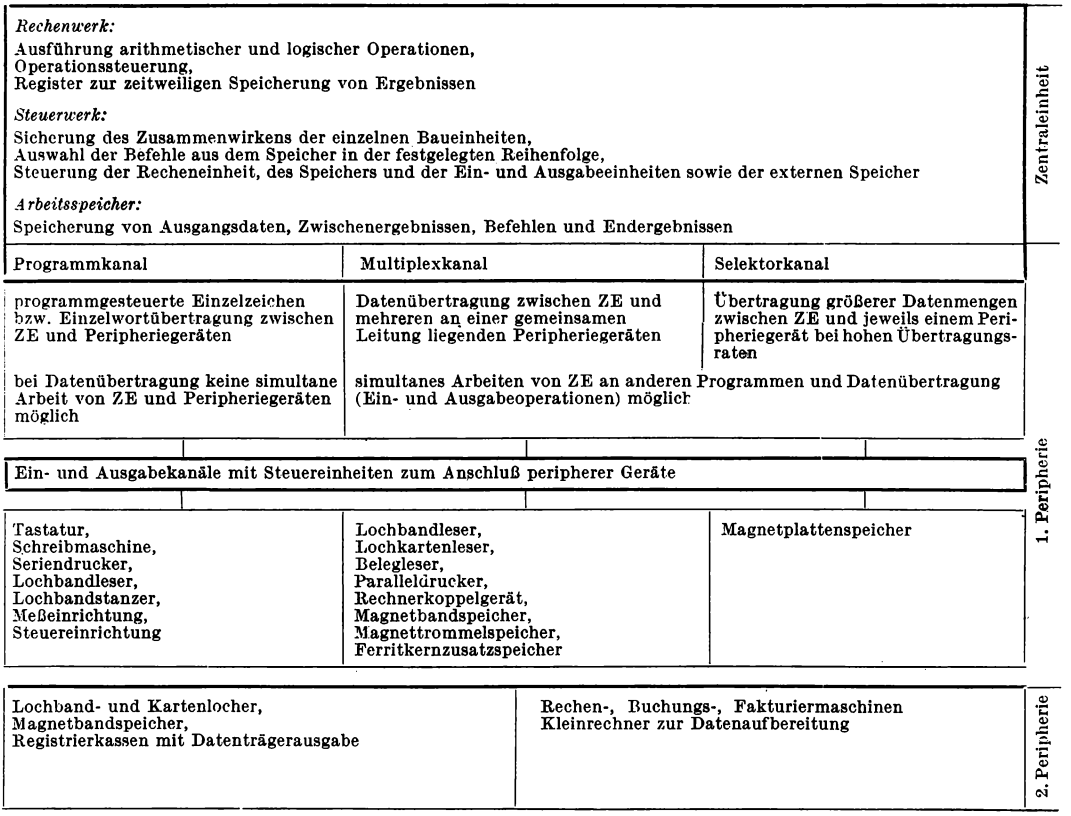
Befehlsart	Beispiel	Operationsart
Transportbefehl	Eingabebefehle, Ausgabebefehle, interne Transportbefehle	Übertragung von Informationen
Verarbeitungsbefehl	Rechenbefehle, logische Befehle, Verschiebungsbefehle, Rundungsbefehle	Verknüpfung von Informationen
Steuerbefehl	Sprungbefehle, Startbefehle, Stoppbefehle	Arbeitsablaufsteuerung

Durch den Aufbau des Befehlswortes, die Abarbeitung der Befehle in der Reihenfolge ihrer Speicherung und die Möglichkeit der Unterbrechung dieser Reihenfolge durch Sprünge zu jedem beliebigen Befehl ist gesichert, daß die logisch notwendige *Reihenfolge der Arbeitsschritte* zur Lösung der Aufgabe eingehalten wird.
Die unmittelbare Ankopplung eines *Prozeßrechners* an den jeweiligen Prozeß (Meßwertüberwachung, automatisierte Prozeßsteuerung) bedingt im Gegensatz zu einer EDVA eine *spezifische Programmgestaltung*. Im *Normalbetrieb* erfolgt die Abarbeitung der unterschiedlichen Programmteile zu fest vorgegebenen Zeitpunkten und die Bereitstellung von Meßwerten mit Zeitangaben.
Für die *Beseitigung kritischer Prozeßzustände* (Störungen, Überschreitung der Grenzwerte, Havarien) sind Unterbrechungseinrichtungen vorgesehen (verbunden mit einem System der Vorrangsteuerung für den Fall des Auftretens mehrerer Unterbrechungsursachen), die die Abarbeitung eines entsprechenden Programms veranlassen, um die Beherrschung des Prozesses zu sichern.

6.4.3. Aufbau einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage (EDVA)

Das Gerätesystem einer EDVA wird in die Zentraleinheit und in die Geräte der Peripherie (Umgebung) unterteilt.
Der *Zentraleinheit* (ZE) obliegt die Verarbeitung der Daten. Sie führt arithmetische und logische Operationen aus und steuert den Zeitablauf für den internen und externen Datentransport nach vorgegebenen Programmen.
Die *peripheren Geräte* dienen der Erfassung, Übertragung, Speicherung, Ein- und Ausgabe der Daten und Programme.

Bild 6.7. Aufbau moderner Digitalrechner



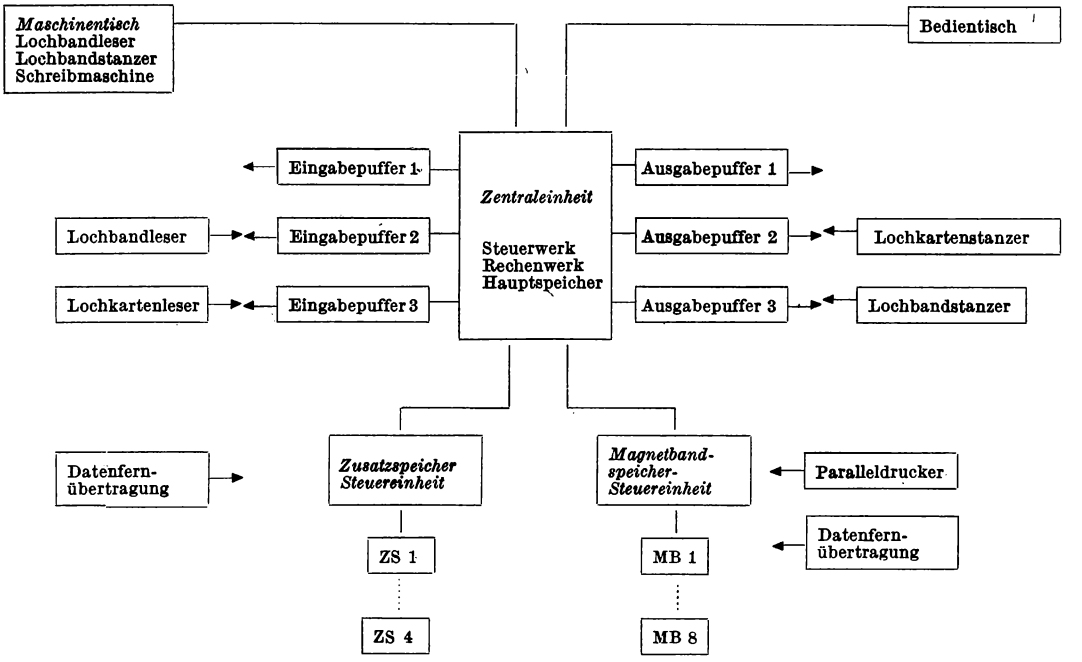


Bild 6.8. Blockschaltbild der EDVA ROBOTRON 300

Tabelle 6.15: Technische Daten der EDVA ROBOTRON 300

Zentraleinheit				
Taktfrequenz		100 kHz	Zeichendarstellung	8 bit/Zeichen
Zykluszeit		10 µs	Datenwortlänge	variabel
Zugriffzeit		3 µs	Befehlswortlänge	6 bit
Operationszeiten in ms bei	Fest-	Gleit-	Arbeitsspeicher	Ferritkern
10stelligen Operanden bzw.	Komma		Speicherkapazität	10000 oder 40000 alphanumerische Zeichen
20stelligem Dividend	0,23	0,73		
	1,46	1,91		
	4,06	7,10	Anzahl der Grundbefehle	40
Ein- und Ausgabegeräte				
Paralleldrucker			*Lochkarten-Lese-Stanz-Einheit*	
Druckgeschwindigkeit	400 Zeilen/min		Stellenkapazität	80 Spalten
			Arbeitsgeschwindigkeit	300 Karten/min lesen oder stanzen
Druckbreite	156 Zeichen/Zeile			
Anzahl der Zeichen	57		Anzahl der Bahnen	2
Magnetbandspeicher			*Maschinentisch*	
Übertragungsfrequenz	33⅓ kHz		Schreibmaschine:	
Bandlänge	750 m		Eingabe max.	10 Zeichen/s
Bandbreite	½"		Ausgabe	10 Zeichen/s
Bandgeschwindigkeit	1,5 m/s		Lochbandleser	20 oder 300 Zeichen/s
Start-Stopp-Zeit	≈ 5 ms			
Zeichendichte	22 Zeichen/mm		Lochbandstanzer	20 Zeichen/s
Anzahl der Spuren,	8			
davon für Informationsdarstellung	7			
Zusatzspeicher				
Trommelspeicher			*Ferritkernspeicher*	
Kapazität	10000 Worte zu je 10 Zeichen		Kapazität	10000 Zeichen
Ausstattung	max. 4			

Tabelle 6.14: Unterteilung der peripheren Geräte

Geräteart	Kennzeichen	Aufgabe
Geräte der 1. Peripherie	über Datenkanäle direkt mit der Zentraleinheit verbunden und von dieser gesteuert	Datenein- und -ausgabe, externe Speicherung
Geräte der 2. Peripherie	nur über maschinell auswertbare, transportable Datenträger mit der Zentraleinheit verbunden	Datenerfassung, Datenaufbereitung

Sie wandeln die unterschiedlichen Signale der äußeren Systeme bzw. Prozesse in die interne Signalstruktur der Zentraleinheit um.
Die Geräte der Peripherie werden nach ihrer Stellung im Datenfluß unterteilt (Tabelle 6.14).

Bild 6.7 verdeutlicht den *Aufbau* moderner Digitalrechner.

6.4.4. Elektronische Datenverarbeitungsanlage ROBOTRON 300

Die EDVA ROBOTRON 300 ist die erste in der DDR entwickelte und produzierte mittlere elektronische Datenverarbeitungsanlage für ökonomische und technisch-wissenschaftliche Aufgaben. Die wichtigsten *Daten* sind in Tabelle 6.15 enthalten, der *Aufbau* geht aus Bild 6.8 hervor.

6.4.5. Die EDVA ES 1040

Das EDV-System ES 1040 ist ein universelles Datenverarbeitungssystem für den kommerziellen und wissenschaftlich-technischen Anwendungsbereich. Es umfaßt die EDVA ES 1040, die zum Einsatz notwendigen Betriebssysteme und eine Vielfalt von vorgefertigten problemorientierten Systemunterlagen.
Die EDVA ES 1040 besteht aus der Zentraleinheit ES 2040 und einer Reihe von peripheren Geräten (s. Tabelle 6.16 und Bild 6.9 auf S. 148). Sie wird im Rahmen der internationalen Arbeitsteilung als EDVA im »Einheitlichen System der elektronischen Rechentechnik« (ESER) der sozialistischen Länder in der DDR produziert.

Tabelle 6.16: Technische Daten der EDVA ES1040 (Auswahl)*)

Zentraleinheit		
Taktzyklus	450 ns	
Operationen/s	380000	
Hauptspeicher	Ferritkern	
Kapazität	256, 512, 1024 KBytes	
Zykluszeit	1350 ns	
Zugriffszeit	450 ns	
Befehlszeiten	Fest-komma in µs	Gleit-
Addition	1,4	2,5
Multiplikation	8,2	13,1
Division	13,8	18,1
Befehlssystem	143 Befehle	
Steuerung	Folge- und Mikroprogrammsteuerung	
Kanaleinrichtungen		
Selektorkanäle	6 Stck.	
Geschwindigkeit	300···1300 kBytes/s	
anschließbare Gerätesteuereinheiten/Selektorkanal	max. 10	
Multiplexkanäle	1 Stck.	
Geschwindigkeit (Multiplexbetrieb)	20···25 kBytes/s	
Geschwindigkeit (Stoßbetrieb)	180···720 kBytes/s	
anschließbare Gerätesteuereinheiten	max. 10	

Tabelle 6.16 (Fortsetzung)

Ein- und Ausgabegeräte	
Abfrageeinheit (Schreibmaschine)	
Geschwindigkeit	10 Zeichen/s
Lochbandstation	
Lesegeschwindigkeit	1000 Zeichen/s
Stanzgeschwindigkeit	100 Zeichen/s
Paralleldrucker	
Druckleistung (normal)	600, 900 Zeilen/min
Druckleistung (nur numerisch)	1200, 1800 Zeilen/min
Magnetbandspeicher	
Bandgeschwindigkeit	1,524 m/s
Bandlänge	750 m
Bandbreite	1/2"
Aufzeichnungsdichte	32 bit/mm
Übertragungsgeschwindigkeit	12, 48 kBytes/s
Wechselplattenspeicher	
Plattenstapel/WPS	1 Stck.
Drehzahl	2400 min^{-1}
Positionierzeit	30···130 ms
mittlere Zugriffszeit	12,5 ms
maximale Übertragungsgeschwindigkeit	156 kBytes/s
Platten/Stapel	6 Stck.
Speicherkapazität/Stapel	7,25 MBytes
Plattendurchmesser	380 mm

*) K = 2^{10} = 1024; k = 10^3 = 1000; M = 10^6; 1 Byte = 8 Informationsbit + 1 Prüfbit (ermöglicht die Darstellung eines Zeichens oder zweier Ziffern).

6.5. Vorbereitung von Datenverarbeitungsaufgaben

Da ein Rechenautomat an arithmetischen Operationen nur die vier Grundrechenarten ausführen kann, muß jede Aufgabe auf solche einfachen Operationen zurückgeführt werden. Tabelle 6.17 gibt einen Überblick über die *Arbeitsstufen zur Vorbereitung der Datenverarbeitungsaufgaben.*

Die *Problemstellung* umfaßt die textliche Darstellung der zu lösenden Aufgabe. Bei der *mathematischen Modellierung* erfolgt die Abbildung des verbal (in Worten) formulierten Problems durch eine mathematische Struktur (Formel, Gleichungssystem, Netzplandarstellung u. a.). Unter einem *Algorithmus* versteht man ein eindeutig bestimmtes Verfahren zur schrittweisen Lösung einer Klasse von Aufgaben.

6.5.1. Flußtechnik

6.5.1.1. Datenflußplan

Der *Datenflußplan* ist eine graphische Darstellung der beim Ablauf einer Datenverarbeitungsaufgabe auftretenden Elemente (Datenträger, Arbeitsgänge, Datenflüsse u. a.) zur Veranschaulichung der vielfältigen Zusammenhänge. Die Ablaufelemente werden durch Sinnbilder mit vereinbarter Bedeutung vertreten. Es werden keine Einzelheiten des Ablaufs in den Arbeitsgängen angegeben. Jedem Arbeitsgang entspricht in der Regel ein in sich abgeschlossenes Programm.

6.5.1.2. Programmablaufplan und Sinnbilder

Der *Programmablaufplan* veranschaulicht den inneren Ablauf der Operationen in einem Arbeitsgang (Programm). Er enthält im wesentlichen Sinnbilder für Operationen und Programmlinien (Tabelle 6.18, s. S. 149).
Der Programmablaufplan stellt eine *Verbindung zwischen dem mathematischen Verfahren und dem Maschinenprogramm* dar.
Anschließend erfolgt die Umwandlung der in ihm enthaltenen Anweisungen in *Maschinenbefehle (Programmierung).*

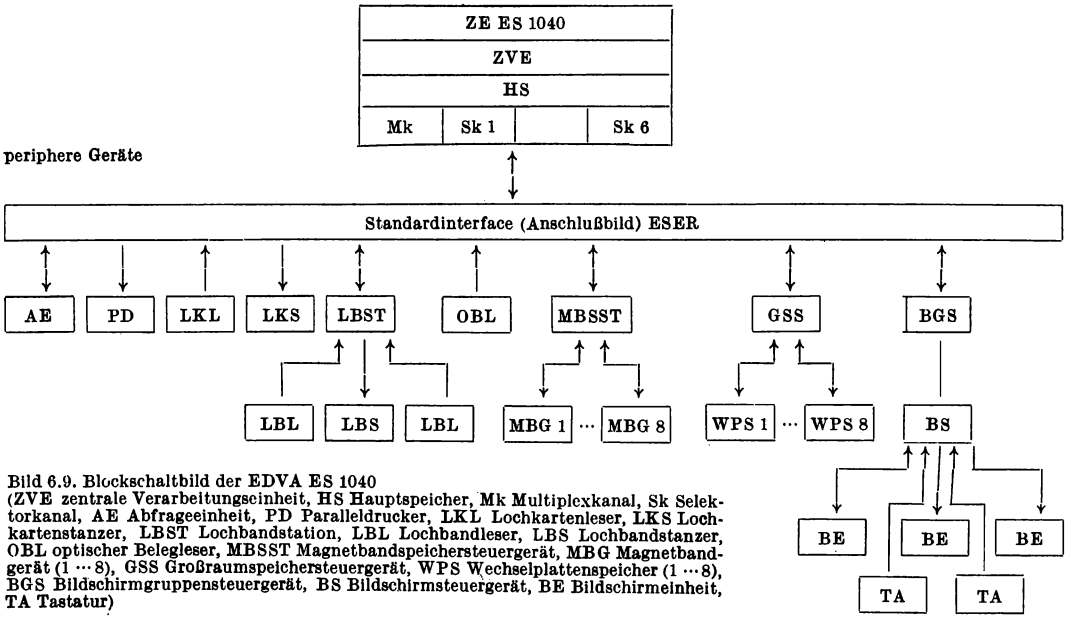


Bild 6.9. Blockschaltbild der EDVA ES 1040
(ZVE zentrale Verarbeitungseinheit, HS Hauptspeicher, Mk Multiplexkanal, Sk Selektorkanal, AE Abfrageeinheit, PD Paralleldrucker, LKL Lochkartenleser, LKS Lochkartenstanzer, LBST Lochbandstation, LBL Lochbandleser, LBS Lochbandstanzer, OBL optischer Belegleser, MBSST Magnetbandspeichersteuergerät, MBG Magnetbandgerät (1 ··· 8), GSS Großraumspeichersteuergerät, WPS Wechselplattenspeicher (1 ··· 8), BGS Bildschirmgruppensteuergerät, BS Bildschirmsteuergerät, BE Bildschirmeinheit, TA Tastatur)

Tabelle 6.17: Arbeitsstufen zur Vorbereitung der Datenverarbeitungsaufgaben

Hauptarbeitsstufe	Arbeitsstufen		
Problemanalyse	Formulierung der Problemstellung	mathematische Modellierung	Ausarbeiten der Algorithmen
Programmierung	Programmablaufplanung	Programmaufstellung	Programmtestung
Nutzrechnung	Vorbereitung der Eingangsdaten	Lösung der Aufgaben mit der EDVA	Auswertung der Ergebnisse

6.5.2. Elemente der Programmierung

Eine elektronische Datenverarbeitungsanlage nimmt nur Befehle in der *Sprache der binären Logik* in Empfang. Deshalb ist die *Übersetzung von der Umgangssprache in die Maschinensprache* erforderlich.

6.5.2.1. Programmierung

Ein *Programm* für eine programmgesteuerte Rechenanlage ist die Arbeitsvorschrift, die die eindeutige und geordnete Zusammenstellung aller Befehle für die Lösung einer Aufgabe enthält. Unter *Programmierung* versteht man das Übertragen einer Problemlösung, dargestellt als *Programmablaufplan*, in die *Maschinensprache* oder in eine maschinell verarbeitete *Programmiersprache*. Die direkte Programmierung in die Maschinensprache erfordert einen hohen Aufwand und ist mit einer großen Fehlerwahrscheinlichkeit verbunden. Zur Vereinfachung der Programmierung sind folgende *Stufen* entwickelt worden:

universelle Nutzung von *Unterprogrammen* in Form von sog. Programmbibliotheken für spezielle Anlagentypen,
Einführung *symbolischer Programmiersprachen* (maschinenorientiert),
Entwicklung *problemorientierter Programmiersprachen* (maschinenunabhängig)

6.5.2.2. Programmiersprachen

Eine Programmiersprache ist eine künstliche Sprache, die einen definierten (begrenzten) Satz von Symbolen und Regeln enthält und zur Formulierung der Programme dient. Außer der Maschinensprache muß jede andere Sprache vor der Verarbeitung in der EDVA übersetzt werden. In Tabelle 6.19 werden einige häufig benutzte Programmiersprachen genannt.

Tabelle 6.19: Programmiersprachen

Art der Sprache	Bezeichnung	Anwendung
maschinenorientiert	MOPS	z. B. ROBOTRON 300,
problemorientiert	FORTRAN ALGOL COBOL PL/1	technisch-wissenschaftliche Aufgaben, wirtschaftliche Aufgaben

Die Maschinensprache enthält die Mannigfaltigkeit der verfügbaren Befehle einer EDVA (Maschinenbefehle). Sie ist also maschinenabhängig. Tabelle 6.20 enthält *Merkmale der Programmiersprachen*, Tabelle 6.21 *Vor- und Nachteile problemorientierter Programmiersprachen.*

Tabelle 6.20: Merkmale der Programmiersprachen

Merkmal	Maschinensprache	Maschinenorientierte Sprache	Problemorientierte Sprache
Zerlegen in Einzelbefehle	ja	ja	nein
Speicherplan	ja	nein	nein
Angabe der Adresse im Befehl durch	Nummer der Speicherzelle	Namen	entfällt
Numerierung der Befehle	ja	nein	nein
Übersetzungsprogramm	nein	ja	ja

Tabelle 6.18: Sinnbilder für Datenfluß- und Programmablaufpläne (nach TGL 22451)

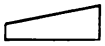
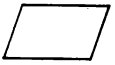
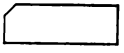
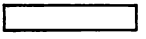
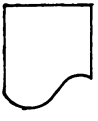
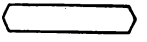
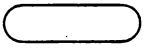
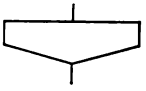
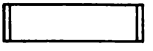
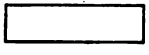
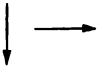
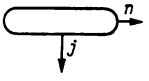
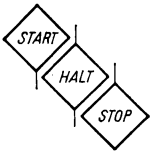
Symbol	Bedeutung	Symbol	Bedeutung
zu Datenflußplänen			
	Eingeben, Ausgeben, allgemein		Speicher, allgemein
	Eingeben von Hand (Tastatur)		Magnettrommelspeicher
	Datenträger, allgemein		Magnetplattenspeicher
	Lochkarte		Kernspeicher
	Lochstreifen		Verarbeiten, allgemein
	Magnetband		maschinelles Rechnen
	Tabelle, Druckliste (maschinell beschriftet)		Tätigkeit des Menschen
	Flußlinien		Verzweigen, Vergleichen, Kontrollieren
	Konnektoren (für Unterbrechung und Fortsetzung von Flußlinien)		
zu Programmablaufplänen			
	Ein- und Ausgabe-operation		Unterprogramm
	Operation, allgemein		Programmlinie
	Verzweigen des Programms (Vergleichs-operation); Kennzeichnen der Wege nach dem Verzweigen durch j (ja), n (nein)		Programm-anfang und -ende, Halt für Zwischen-aufenthalt

Tabelle 6.21: Vorteile und Nachteile problemorientierter Programmiersprachen

Vorteil	Nachteil
einfache und rationelle Programmierung, weitgehende Entlastung des Menschen von Routinearbeiten	umfangreiche Übersetzungsprogramme notwendig, längere Rechenzeiten und höherer Speicherplatzbedarf als bei den in Maschinensprache geschriebenen Programmen

Übersetzungsprogramme dienen zur Übertragung der symbolisch codierten Informationen in die Maschinensprache.
Assembler sind Übersetzer einer maschinenorientierten Sprache in die Maschinensprache.
Compiler sind Übersetzer einer problemorientierten Sprache in die Maschinensprache.

6.5.3. Systemunterlagen

Die grundlegenden Bestandteile eines Datenverarbeitungssystems sind

a) Gerätetechnik,
b) Systemunterlagen (s. Tabelle 6.22).

Tabelle 6.22: Systemunterlagen

Systemunterlage	Anwendung
maschinenorientierte Systemunterlagen (Programme für die Bedienung und Nutzung der EDVA und die Realisierung komplexer Arbeitsabläufe in der Anlage), Betriebssystem	
zentrale Steuerprogramme u. a.	automatische Steuerung des Übergangs zwischen nacheinander auszuführenden Verarbeitungsprogrammen, automatische Steuerung zwischen simultan abzuarbeitenden Programmen, Verwalten und Bearbeiten der Datenbänke, Teilnehmerrechnersystem
Systemprogramme u. a.	nur in Verbindung mit dem zentralen Steuerprogramm, Programme zur Informationsübertragung zwischen den Eingabe- bzw. Ausgabegeräten, Standardprogramme für das Arbeiten mit den externen Speichern, Wartungsprogramme für Fehlerdiagnostik
Sprachumwandler	Assembler, Compiler

Tabelle 6.22 (Fortsetzung)

Systemunterlage	Anwendung
problemorientierte Systemunterlagen (anwendungsbezogen)	
mathematische Programme u. a.	für elementare Funktionen, für die Lösung von Gleichungssystemen, für das Lösen von Differentialgleichungen
ökonomische Programme	lineare Optimierung, Netzwerktechnik, Transportoptimierung
Bausteine für EDV-Systeme	Losgrößenbestimmung, Kapazitätsbestimmung, Nettolohnberechnung
Typenprodukte für integrierte Datenverarbeitungssysteme	vollständige organisatorische und programmtechnische Unterlagen

6.6. Das Einheitliche System der elektronischen Rechentechnik (ESER)

Zum Komplex der technischen Mittel des ESER gehören sieben Modelle, die in sozialistischer Gemeinschaftsarbeit durch die Länder des ESER-Abkommens arbeitsteilig entwickelt wurden und produziert werden. Das Gerätesystem der ESER-Familie besteht aus einer nach Größe und Leistungsfähigkeit abgestuften Reihe von Zentraleinheiten und einem abgestimmten Sortiment peripherer Geräte. In Tabelle 6.23 wird eine Übersicht über die ESER-Modelle gegeben. Charakteristische Merkmale des Einheitssystems sind

einheitliche konstruktive und technologische Grundkonzeption, Verwendung von integrierten Schaltkreisen,

unterschiedliche, abgestufte Leistungsparameter der Zentraleinheit und Peripherie,

unterschiedlicher Ausrüstungsgrad der EDVA je nach Leistung der Zentraleinheit und Anwendungsgebiet,

Anschlußmöglichkeit der gleichen peripheren Geräte an alle Zentraleinheiten auf Grundlage eines Standard-Interface (-Anschlußbild) und Einsatz selbständig arbeitender Kanaleinrichtungen.

Programmkompatibilität für alle Modelle (außer ES 1010),

Standardbefehlsliste für

einheitliches Betriebssystem zur kompatiblen Anwendung für die verschiedenen Modelle,

problemorientierte Programmsysteme.

Tabelle 6.23: Übersicht über die wichtigsten ESER-Modelle und die EDVA ROBOTRON 21)* (Stand: Oktober 1973)

Größe	ES 1010	ES 1020	ES 1030	ES 1040	ES 1050	ROBOTRON 21
Operationen/s	10000	20000	100000	380000	500000	20000
*Hauptspeicher*kapazität	8, 16,	64, 128,	128, 256,	256, 512,	128, 256,	64
in KBytes	32, 64	256	512	1024	512, 1024	
Zykluszeit in µs	0,8	2	2	1,35	0,6···1	0,87
Zugriffszeit in µs	0,44	1	0,80	0,45	0,4···0,6	0,52
Selektorkanäle						
Anzahl	1	2	3	6	6	1
Übertragungsgeschwindigkeit in kBytes/s	50···250	250	700	300···1300	1300	400
Multiplexkanal						
Anzahl der Subkanäle	4	48···128	128, 256	128, 256	192 + 4	128
Übertragungsgeschwindigkeit (Multiplexbetrieb) in kBytes	40···100	10···16	40	20···25	100···450	13···20
Übertragungsgeschwindigkeit (Stoßbetrieb) in kBytes	40···300	100	200···300	180···720	≈ 1000	250···400

*) Das ESER enthält außerdem die EDVA ES 1021 und ES 1060. Die EDVA ROBOTRON 21 gehört nicht zur Reihe der ESER-Modelle, ist jedoch zum ESER kompatibel.

7. Automatisierung

7.1. Kybernetik

7.1.1. Begriffsbestimmung

Die theoretische Grundlage zur *Automatisierung* der Produktionsprozesse und aller anderen dynamischen Vorgänge ist die *Kybernetik* (griech.: Steuermannskunst). Diese Wissenschaft widmet sich der Erforschung jener Gesetzmäßigkeiten, nach denen selbstregulierende, selbstorganisierende, selbstreproduzierende Systeme funktionieren. Die Kybernetik ist eine umfassende Wissenschaft der belebten und unbelebten Natur sowie der technischen Nutzung und gliedert sich in verschiedene Teilgebiete.

7.1.2. Arbeitsgebiete der Kybernetik

Bild 7.1 zeigt die Einteilung der Kybernetik, Tabelle 7.1 Aspekte der Kybernetik.

System und Element

Ein System ist (in der Kybernetik) die Gesamtheit von *Elementen*, die durch Relationen verknüpft sind. Die Elemente eines Gesamtsystems können ihrerseits Systeme sein.
Die Systemelemente sind *aktive* Elemente. Sie empfangen nur über bestimmte *Eingangskanäle* konkrete Größen von anderen Elementen und können nur über bestimmte *Ausgangskanäle* konkrete Größen an andere Elemente abgeben (Bild 7.2).
Konkrete Größen können z. B. sein: elektrische, hydraulische, pneumatische Größen (Spannung, Strom, Druck usw.).

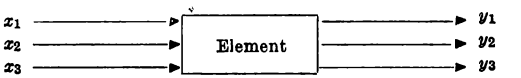


Bild 7.2. Element mit je 3 Eingangs- (x) und Ausgangsgrößen (y)

Ein aktives Element besitzt eine seinem inneren Aufbau entsprechende Funktion. Sie kann als mathematische oder logische Funktion, aber auch graphisch dargestellt oder verbal beschrieben werden.
Elemente lassen sich miteinander koppeln (gilt auch für Systeme).

Tabelle 7.1: Übersicht über Aspekte der Kybernetik

Aspekt	Beispiele
Systemaspekt	Funktion der Elemente, Struktur des Systems, Art der Eingangs- und Ausgangsgrößen, Verhaltensweise des Systems, Zielfunktion des Systems usw.
Informationsaspekt	allgemein: qualitative, quantitative und zeitliche Informationsbeziehungen innerhalb des Systems und zu seiner Umwelt speziell: Erzeugung von Information, Informationsträger, Codierung und Decodierung, Übertragung und Speicherung von Informationen
Regelaspekt	Art der Steuerung und der Regelung des Systems, Zeitverhalten des Systems, Art der Rückkopplung, Stabilitätsbedingungen des Systems usw.
Spielaspekt	Konfliktsituationen zwischen konkurrierenden Systemen, Bestimmung der optimalen Verhaltensweise für das eigene System, um den Konflikt mit anderen Systemen vorteilhaft vorauszuentscheiden
Algorithmenaspekt	lückenlose geschlossene Beschreibung der inneren Vorgänge im System und zu seiner Umwelt, Aufstellung von Regeln für den Prozeßablauf im System in einzelnen Schritten, Beschreibung mittels künstlicher Sprachen

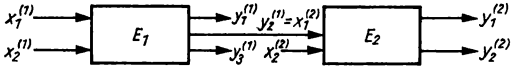
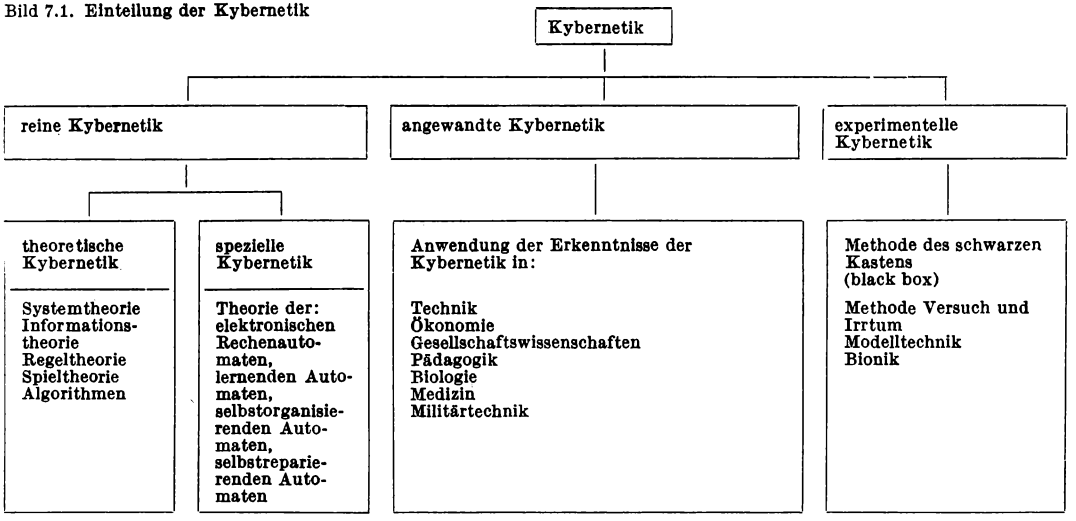


Bild 7.3. Reihenkopplung zweier Elemente

Reihenkopplung: Mindestens eine Ausgangsgröße des Elementes E_1 muß mit einer Eingangsgröße des Elementes E_2 verbunden werden (Bild 7.3).
Rückkopplung: a) mindestens eine Ausgangsgröße von E muß mit einer Eingangsgröße von E_2 verbunden sein (Gesetz der Reihenkopplung),
b) mindestens eine Ausgangsgröße von E_2 muß mit einer Eingangsgröße von E_1 verbunden werden (Bild 7.4).

Bild 7.1. Einteilung der Kybernetik



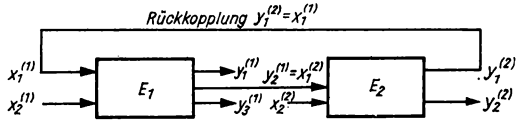


Bild 7.4. Reihenkopplung mit Rückkopplung

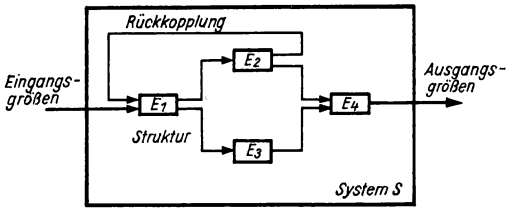


Bild 7.5. Struktur eines Elements durch seine Kopplungen

Ein System besitzt eine *Struktur*. Darunter werden die Kopplungen der Systemelemente untereinander verstanden (Bild 7.5).
Ein System besitzt eine Verhaltensweise, die durch die Funktion der Elemente und die Struktur festgelegt ist. Ändert sich die Funktion eines Elementes (Austausch von Elementen) oder wird die Struktur geändert, dann ändert sich die Verhaltensweise des Systems.
Mehrere Systeme können zu einem größeren System mit neuer Verhaltensweise zusammengesetzt werden.
Ein System empfängt aus der Umwelt konkrete Größen (von anderen Systemen) und gibt an die Umwelt konkrete Größen (an andere Systeme) ab.
Zwischen Systemen finden *Austauschprozesse* statt. Austauschbar sind: *Energie, Stoff, Information.*

Zuverlässigkeit eines Elementes

R_E ist die *Wahrscheinlichkeit*, daß das zur Zeit t_1 in Betrieb genommene Element zur Zeit t_2 noch funktionstüchtig ist. *Lebensdauer* ist die Zeit vom Betriebszustand $t = 0$ bis zum Ausfall. Über sie können nur Wahrscheinlichkeitsangaben gemacht werden. Die genaue Lebensdauer eines Elementes ist erst nach seinem Ausfall bekannt.

Zuverlässigkeit eines Systems

Voraussetzung für die Berechnung der Zuverlässigkeit eines Systems sind Zuverlässigkeitsangaben über seine Elemente. Ein System kann nur so zuverlässig sein, wie das schwächste Element es zuläßt (Schwachstellenforschung).
Die *Zuverlässigkeit* R_S eines Systems ist die Wahrscheinlichkeit, daß das System während einer festgelegten Zeit nicht ausfällt.
Die *Unzuverlässigkeit* F_S eines Systems ist die Wahrscheinlichkeit, daß das System während einer festgelegten Zeit ausfällt.

$$R_S = 1 - F_S, \qquad F_S = 1 - R_S.$$

Zuverlässigkeit R_{SR} eines Systems in Reihe gekoppelter Elemente

$$R_{SR} = \prod_{i=1}^{i=p} R_{E_i} = R_{E_1} \cdot R_{E_2} \cdot R_{E_3} \cdots R_{E_p},$$

wobei p Anzahl der Elemente ist.
Die Zuverlässigkeit eines Systems in Reihe gekoppelter Elemente nimmt mit der Anzahl der Elemente ab und ist immer kleiner als die Zuverlässigkeit des schwächsten Elementes (Bild 7.6).

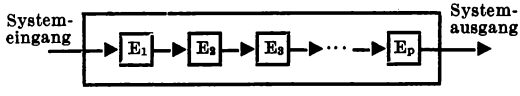


Bild 7.6. System reihengekoppelter Elemente

Beispiel: $p = 4$; $R_{E1} = 0{,}95$; $R_{E2} = 0{,}99$; $R_{E3} = 0{,}96$; $R_{E4} = 0{,}9$;
$R_{SR} = 0{,}95 \cdot 0{,}99 \cdot 0{,}96 \cdot 0{,}9 = \underline{0{,}813}$.
Unter Verwendung der *mittleren Zuverlässigkeit* R_{Em} für alle Systemelemente ergibt sich
$R_{SR} = R_{Em}^p$.
In Tabelle 7.2 sind Beispiele für die Zuverlässigkeit R_{SR} zusammengestellt.

Tabelle 7.2: Zuverlässigkeit R_{SR} bei unterschiedlicher Anzahl von Elementen

Anzahl p der Systemelemente	Mittlere Zuverlässigkeit R_{Em} der Elemente	Zuverlässigkeit R_{SR} des Systems
10		0,9
100	0,99	0,4
1000		0,00004
500		0,6
1000	0,999	0,4

Zuverlässigkeit R_{SP} eines Systems parallel gekoppelter Elemente

$$R_{SP} = 1 - \prod_{j=1}^{w} F_{E_j} = 1 - \prod_{j=1}^{w} [1 - R_{E_j}]$$
$$= 1 - [(1 - R_{E1})(1 - R_{E2})(1 - R_{E3}) \cdots (1 - R_{Ew})],$$

wobei w Anzahl der parallel gekoppelten Elemente ist.
Die Zuverlässigkeit eines Systems parallel gekoppelter Elemente nimmt mit der Anzahl der Elemente zu und ist immer größer als die des stärksten Elementes (Bild 7.7).

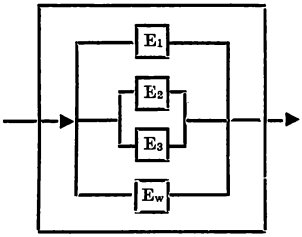


Bild 7.7. System parallel gekoppelter Elemente

Beispiel: $w = 4$; $R_{E1} = R_{E2} = R_{E3} = R_{E4} = 0{,}95$;
$R_{SP} = 1 - (1 - 0{,}95)(1 - 0{,}95)(1 - 0{,}95)(1 - 0{,}95)$
$= 1 - (0{,}05 \cdot 0{,}05 \cdot 0{,}05 \cdot 0{,}05)$
$= 1 - 0{,}000\,006\,25 = \underline{0{,}99}$.

7.1.3. Technische Kybernetik

Die technische Kybernetik untersucht nur dynamische technische Systeme. Unter Anwendung der von ihr aufgedeckten Gesetzmäßigkeiten werden durch den Ingenieur Analogiemodelle für die Automatisierung einzelner Maschinen und ganzer Produktionsprozesse entwickelt.
Für die Automatisierung der industriellen Produktion bedeutet das: Der Mensch beobachtet nur den selbsttätigen Ablauf der Fertigung, die mittels automatisch arbeitender Maschinen, Greif-, Spann-, Transporteinrichtungen usw. vor sich geht. Das erfordert zahlreiche zusätzliche Einrichtungen zum Steuern, Regeln und Kontrollieren, um viele bisherigen Tätigkeiten der Werktätigen zu ersetzen, z. B. Messen, Wählen der Vorschübe, Drehzahlen usw., Beobachtung der Werkstückbearbeitung, Korrekturen der Maschineneinstellung, Ein- und Ausspannen, Ablegen und Weiterleiten der Werkstücke durch automatisch wirkende Einrichtungen.
Die weitgehende Herauslösung des Menschen aus dem unmittelbaren Produktionsprozeß ermöglicht große Steigerungen der Arbeitsproduktivität, da die einzelnen Taktzeiten nicht mehr die begrenzten zeitlichen Bewegungsrhythmen des Menschen berücksichtigen müssen und die hier frei gewordenen Produktionsarbeiter mit anderen Aufgaben betraut werden können.

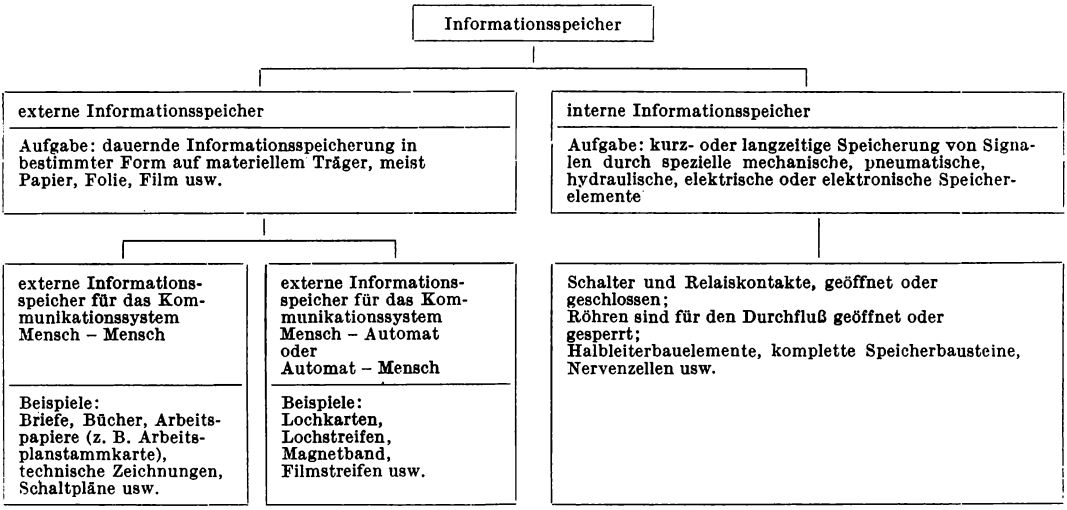


Bild 7.8. Einteilung der Informationsspeicher

Die vielen Einzeloperationen der Fertigung erfordern zahlreiche Schaltbefehle, die durch Informationen ausgelöst werden. Es werden *natürliche* und *künstliche informationelle Systeme* (IS) unterschieden. Natürliche IS sind z. B. die Menschen, die durch Sprechen, Schreiben, Flaggensignale, Blinkzeichen o. a. Mitteilungen austauschen, die für den Empfänger Informationen enthalten können. Zwischen künstlichen IS werden nur Informationen gewechselt, was als *Kommunikation* bezeichnet wird. Dazu gehören die Fähigkeiten, Information zu erzeugen (Informationsquelle), umzuformen, zu speichern und zu übertragen. Die Informationen des Senders werden vom Empfänger gespeichert, oder dieser wird zur sofortigen zielgerichteten Reaktion (Steuerbefehl) veranlaßt.

Tabelle 7.3 (s. S. 154 f.) enthält eine Systemübersicht.

Informationsspeicherung

Eine Eigenschaft natürlicher IS (z. B. des Menschen) ist die von deren innerer Struktur abhängige Lernfähigkeit, d. h. die Fähigkeit, im Gedächtnis Informationen zu speichern. Künstliche IS können ebenfalls Informationen speichern, wenn sie mindestens zwei verschiedene Zustände (z. B. ein – aus, flip – flop, O – L) einzunehmen vermögen. Bild 7.8 zeigt die Einteilung der Informationsspeicher.

Die *Informationsübertragung* erfordert geeignete Träger, die man als *Signale* bezeichnet. Hierfür eignen sich physikalisch-energetische Vorgänge, z. B. Strom, Spannung, Licht- und Schallwellen, Magnetisierungen, mechanischer Druck, mechanische Verschiebungen. Übertragungskanäle für kanalgerechte Signale sind z. B. Drähte, Kabel, Rohrleitungen, Lichtstrahlen, Wellenbänder, Nerven usw.

7.1.4. Methoden der Kybernetik

Da die Kybernetik aus der Wechselwirkung zwischen Theorie und Praxis hervorging, sind auch ihre Arbeitsmethoden diesen Beziehungen angepaßt. Die wichtigsten Methoden sind nachstehend beschrieben.

a) Die *Black-box-Methode* (black box = schwarzer Kasten, gemeint ist ein Gegenstand mit noch unbekannten Eigenschaften) ist ein Erkenntnisverfahren zur Untersuchung der Eigenschaften von Systemen, insbesondere ihrer Funktionen, Strukturen, Kompliziertheiten und Komplexitäten. Zu diesem Zweck werden verschiedene, dem System entsprechende natürliche Stimuli, d. h. physikalische oder technische Größen, wie Stromstärke, Spannung, wechselnde Frequenzen usw., eingegeben (input) und die Ausgangsreaktionen (output) beobachtet (Bild 7.9).

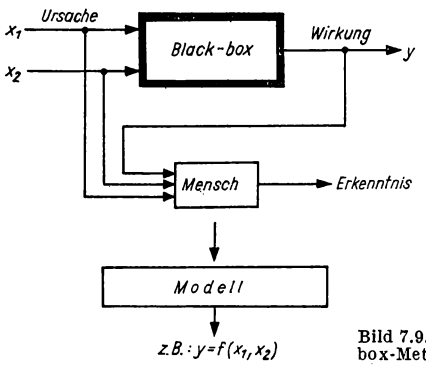


Bild 7.9. Black-box-Methode

Durch Variation (Veränderung) der Eingangsgrößen x und Registrierung (Festhalten, Aufschreiben) der Ausgangsgrößen y wird versucht, Hypothesen über die Art der »black box« aufzustellen.

Beispiel: Systematische Fehlersuche bei unerwartetem Stillstand des Kraftfahrzeugmotors.

b) Die *Modellmethode* ist ein Verfahren, das durch Modellkonstruktionen zur Gewinnung von Kenntnissen beiträgt und auch mit Ersatz (Austausch) von Funktionen arbeitet.

Beispiel: Künstliche Organe ersetzen natürliche, funktionsgestörte.

c) Die *Trial-error-Methode* (Versuch-Irrtum-Methode) gilt als fundamentale Methode der Erkenntnis.

Beispiele: Kleinkinderfahrungen, daß der Ofen heiß ist und die Tischkante hart. Arbeitsschutzbestimmungen schützen vor gefährlichen Irrtümern!

7.2. Steuern und Regeln

7.2.1. Einführung

Die BMSR-Technik (Betriebsmeß-, Steuerungs- und Regelungstechnik) umfaßt die Projektierung, Entwicklung, Fertigung und den Einsatz der Meß-, Steuerungs- und Regelungsgeräte sowie ganzer Anlagen, die für den automatischen Ab-

Tabelle 7.3: Reale und abstrakte Systeme

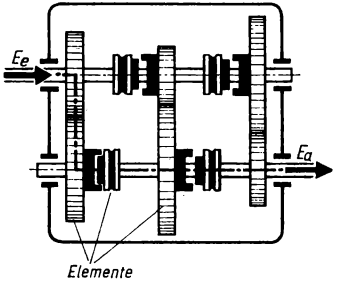
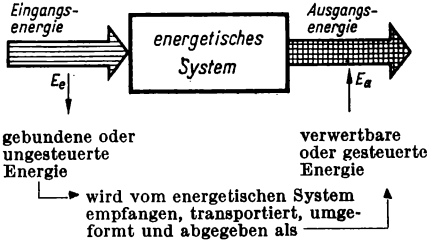
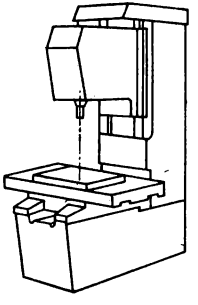
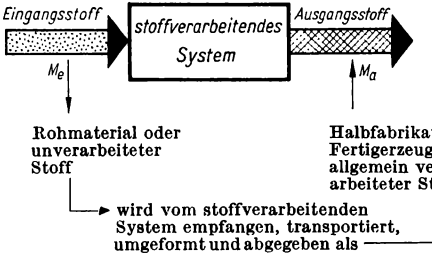
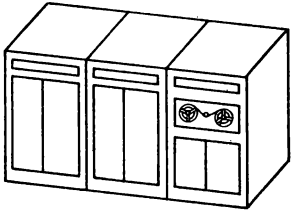
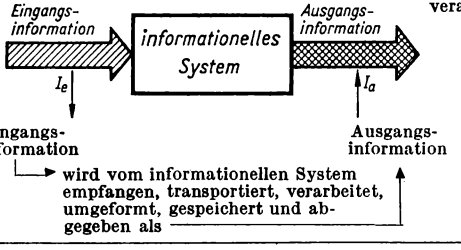
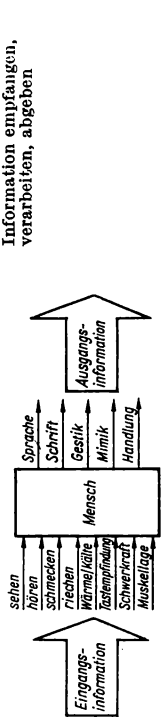
Bezeichnung		Reales System	Abstraktes System	Hauptaufgabe
nichtinformationelles System (NIS)	energetisches System	Getriebe 		Energie empfangen, verarbeiten, abgeben
	stoffverarbeitendes System	Werkzeugmaschine 		Stoff empfangen, verarbeiten, abgeben
informationelles System (IS)	künstliches informationelles System	elektronische Datenverarbeitungsanlage (EDVA) 		Information empfangen, verarbeiten, abgeben

Tabelle 7.3 (Fortsetzung)

Bezeichnung	Reales System	Abstraktes System	Hauptaufgabe
informationelles System (IS)	natürliches informationelles System	Der Mensch kann nur über bestimmte Eingangskanäle Information empfangen, verarbeiten, speichern und über bestimmte Ausgangskanäle Information an die Umwelt abgeben. 	Information empfangen, verarbeiten, abgeben

lauf und die Kontrolle von Prozessen in allen Bereichen der materiellen Produktion geeignet sind. Anwendungsbeispiele enthält Tabelle 7.4.

Tabelle 7.4: Anwendungsgebiete der BMSR-Technik

Prozeß	Anwendungsgebiet
energetische Prozesse	Entwicklung, Konstruktion und Produktion der Geräte für Steuerungs- und Regelungsanlagen komplexer energetischer Prozesse in der gesamten Energiewirtschaft
Fertigungsprozesse	Entwicklung, Konstruktion und Produktion der Steuerungs- und Regelungsanlagen für Be- und Verarbeitungsmaschinen in der metallverarbeitenden Industrie
verfahrenstechnische Prozesse	Entwicklung, Konstruktion und Produktion der Geräte für Steuerungs- und Regelungsanlagen verfahrenstechnischer Prozesse in der Chemie, Metallurgie, Kohleindustrie usw.

Steuern und *Regeln* sind technische Vorgänge in Systemen, bei denen die Werte physikalischer oder technischer Größen in beabsichtigter Weise gesetzmäßig beeinflußt werden. Tabelle 7.5 enthält verschiedene Betrachtungsweisen für Steuerungen und Regelungen.

Tabelle 7.5: Betrachtungsweisen für Steuerungen und Regelungen

Art	Erläuterung
funktionelle Betrachtungsweise	Die Zusammenhänge zwischen Ein- und Ausgang werden unabhängig vom gerätetechnischen oder verfahrenstechnischen Aufbau beschrieben. Die funktionelle Darstellung zeigt der *Signalflußplan* (Bild 7.10), zusammengesetzt aus *Übertragungsgliedern*, die durch *Signalleitungen* miteinander verbunden sind.
gerätetechnische Betrachtungsweise	Die verwendeten Geräte, Bauglieder und sonstigen Anlagen werden nach den in ihnen wirkenden physikalischen und technischen Gesetzmäßigkeiten und Größen sowie nach ihrer Aufgabe innerhalb des Steuerungs- oder Regelungsvorgangs beschrieben. Die gerätetechnische Darstellung zeigt der *Baugliedplan* (Bild 7.11), zusammengesetzt aus *Baugliedern*, die durch *Übertragungsleitungen* miteinander verbunden sind.

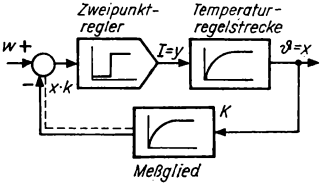


Bild 7.10.
Signalflußplan eines Zweipunktreglers

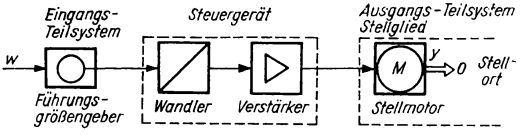


Bild 7.11. Mögliche Bauglieder einer Steuereinrichtung (Baugliedplan)

Übertragungsglieder (s. a. Abschnitt 7.1.3)

Meß-, Steuer-, Regel- und Recheneinrichtungen sind informationelle Systeme, die aus Elementen, den Übertragungsgliedern, zusammengesetzt sind.
Die Übertragung der Information von Glied zu Glied erfolgt durch Signale in den Signalleitungen (Übertragungskanäle). Die Signalverarbeitung geschieht in den Übertragungsgliedern. Jedem Übertragungsglied wird mindestens ein Signal, das *Eingangssignal* (x_e), zugeführt, und von jedem Übertragungsglied wird mindestens ein Signal, das *Ausgangssignal* (x_a), abgegeben (Bild 7.12).

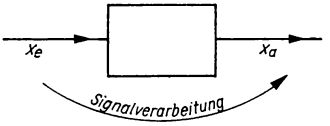


Bild 7.12. Informationsübertragung

Übertragungsglieder sind stets rückwirkungsfrei. Eine Wirkung des Ausgangssignals auf das Eingangssignal ist ausgeschlossen. Meist ist das Ausgangssignal eines Gliedes gleichzeitig Eingangssignal für das nächstfolgende Glied.
Der Weg, auf dem Signale weitergeleitet und verarbeitet werden, heißt *Signalflußweg*, *Wirkungsweg* oder *Wirkrichtung*.
Signalisierte Größen in Einrichtungen der BMSR-Technik sind z. B. Meßgrößen, Führungsgrößen, Regelabweichungen, Stellgrößen, Störgrößen. Tabelle 7.6 enthält Eingangs- und Ausgangsgrößen.

Tabelle 7.6: Eingangs- und Ausgangsgrößen in Übertragungsgliedern

Eingangsgröße	Übertragungsglied	Ausgangsgröße
Temperatur	Thermoelement	Thermospannung
Steuerspannung	Elektromotor	Drehzahl, Drehmoment, Drehwinkel
Signaldruck 0,2···1 kp/cm²	Membranventil	Durchfluß oder Hub
Heizenergie	Raum als Temperaturregelstrecke	Temperatur
Stellgröße y	Regelstrecke, allgemein	Regelgröße x
Regelgröße x	Regeleinrichtung, allgemein	Stellgröße y

Übertragungsglieder werden in Signalflußplänen symbolisch dargestellt (Tabelle 7.7). Bild 7.13 zeigt Symbole für Signalleitungen, Bild 7.14 die Einteilung der Übertragungsglieder.

Übertragungseigenschaften von Gliedern

Das *statische Verhalten* eines Übertragungsgliedes mit einem Eingangssignal und einem Ausgangssignal ist die Abhängigkeit zwischen Eingangs- und Ausgangsgröße im Ruhezustand

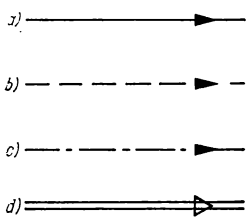
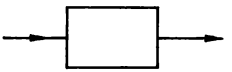
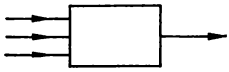
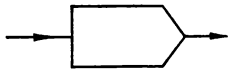
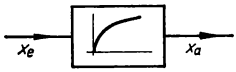
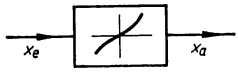
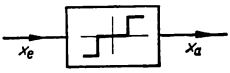


Bild 7.13. Signalleitungen
a) elektrisch,
b) pneumatisch,
c) hydraulisch,
d) mechanisch

Tabelle 7.7: Symbole für Übertragungsglieder (nach TGL 14091)

Kennzeichen	Benennung
	lineares Glied mit einem Eingangssignal
	lineares Glied mit mehreren Eingangssignalen
	nichtlineares Glied, z. B. mit einem Eingangssignal
	lineares Glied mit eingetragener Übergangsfunktion
	lineares Glied mit eingetragener statischer Kennlinie
	Dreipunktglied mit eingetragener Kennlinie

(eingeschwungener Zustand) und wird durch *statische Kennlinien* gekennzeichnet. Sie sollten möglichst Geraden sein. Gekrümmte Kennlinien können Geraden angenähert werden oder lassen sich durch Ausschnittsvergrößerung linearisieren (Bild 7.21). Für die vollständige Beschreibung eines Übertragungsgliedes ist das statische Verhalten nicht ausreichend.
Das *dynamische Verhalten* (Zeitverhalten) in Steuer- und Regelanlagen ist die zeitliche Abhängigkeit zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen. Darunter versteht man das Verhalten der Ausgangsgröße $x_a(t)$ nach dem Einschalten einer bestimmten Testfunktion $x_e(t)$ am Eingang. Als Testfunktion wird häufig die *Sprungfunktion* verwendet (Bild 7.22); sie ist der zeitliche Verlauf der Ausgangsgröße nach einer sprungförmigen Änderung der Eingangsgröße und ein wichtiges Hilfsmittel zur Beurteilung der Übertragungsglieder.
Ist die statische Kennlinie eine Gerade oder wird sie einer Geraden angenähert, so kann ein Übertragungsglied allein nach seinem Zeitverhalten eingeordnet werden. Grundformen der Übertragungsglieder sind in Tabelle 7.8 zusammengestellt.

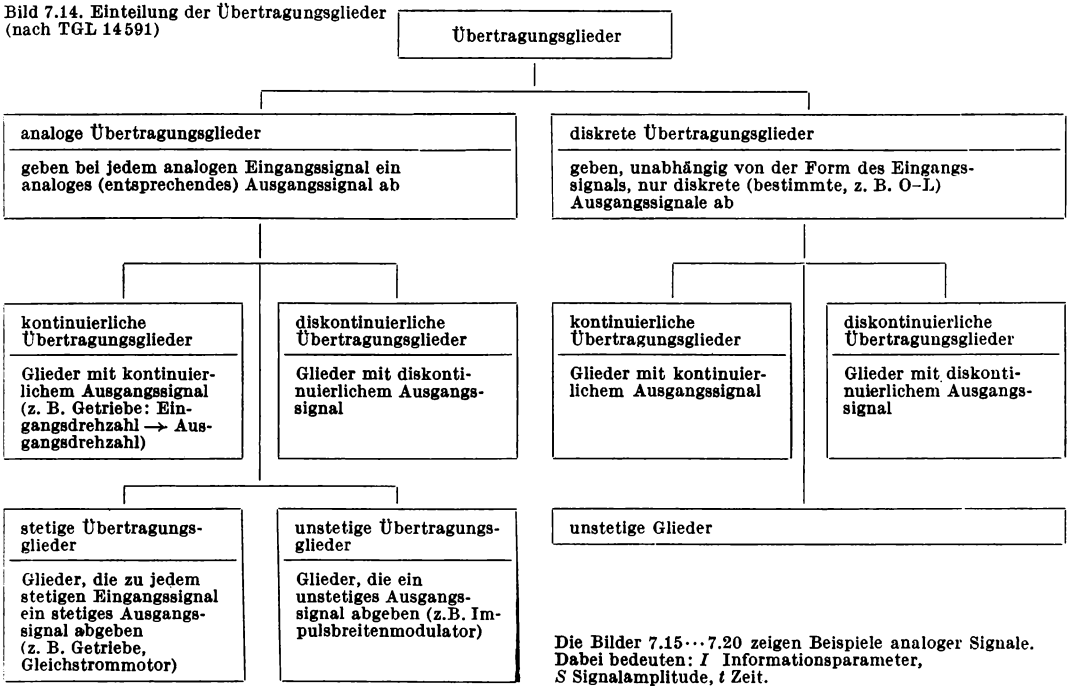
Aufbau der Wirkungswege, Signalflußplan

Die einzelnen Übertragungsglieder einer Steuerung oder Regelung werden durch *Blöcke* symbolisiert. Zur näheren Kennzeichnung des Übertragungsverhaltens werden in die Blöcke statische oder dynamische Kennlinien eingetragen.
Die Signalflußwege werden durch *Signallinien* und die Richtung des Signalflußweges wird durch *Pfeile* gekennzeichnet.
Die symbolische Darstellung einer Steuerung oder Regelung durch Blöcke und Signallinien wird *Signalflußplan* genannt.
Punkte des Signalflußweges, an denen eine besondere Signalverarbeitung durchgeführt wird, werden im Signalflußplan durch *Symbole* (nach TGL 14591) gekennzeichnet (Tabelle 7.9).
Tabelle 7.10 enthält Grundschaltungen der Übertragungsglieder.

Bauglieder und Baugliedplan

Ein Gerät, eine Gerätegruppe oder ein Geräteteil wird dann als *Bauglied* bezeichnet, wenn seine Stellung und Funktion in einer Steuer- oder Regelanlage im Vordergrund der Betrachtung stehen.
In TGL 14091 sind die Symbole und Kennzeichen für Bauglieder der Steuerungs- und Regelungstechnik zusammengestellt (s. Tabelle 7.11).

Bild 7.14. Einteilung der Übertragungsglieder (nach TGL 14591)



Die Bilder 7.15···7.20 zeigen Beispiele analoger Signale. Dabei bedeuten: I Informationsparameter, S Signalamplitude, t Zeit.

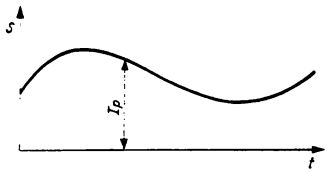


Bild 7.15. Kontinuierlich analoges Signal

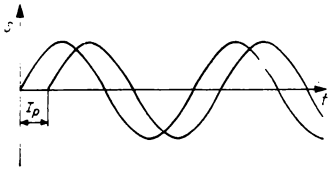


Bild 7.16. Kontinuierlich analoges Signal, phasenmoduliert

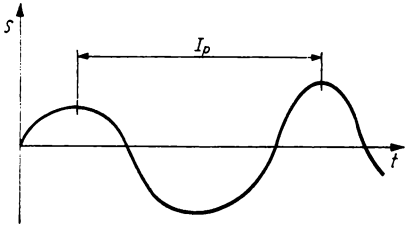


Bild 7.17. Kontinuierlich analoges Signal, frequenzmoduliert

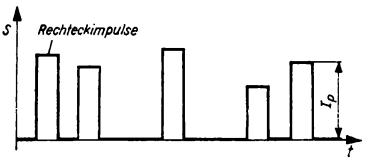


Bild 7.18. Diskontinuierlich analoges Signal

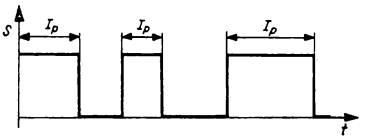


Bild 7.19. Diskontinuierlich analoges Signal

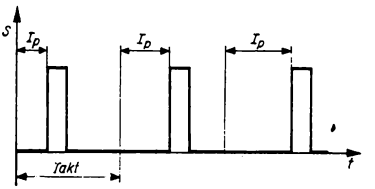


Bild 7.20. Diskontinuierlich analoges Signal

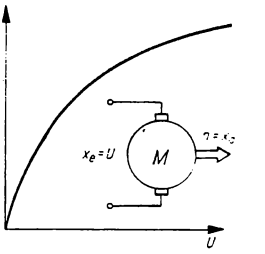


Bild 7.21. Statische Kennlinie

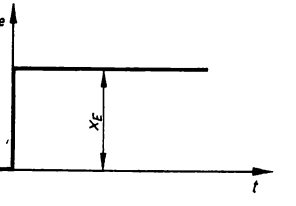


Bild 7.22. Sprungfunktion

Tabelle 7.8: Grundformen von Übertragungsgliedern

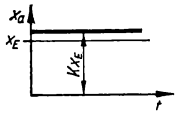
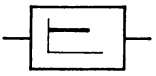
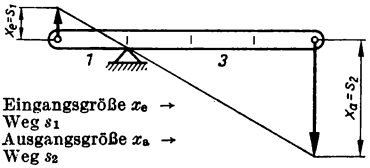
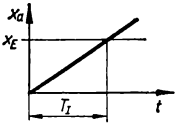
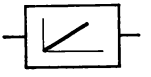
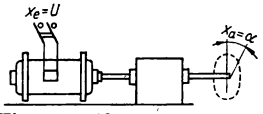
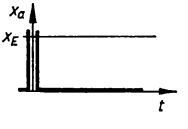
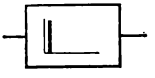
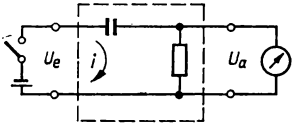
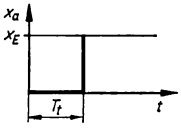
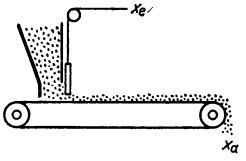
Verhalten der Ausgangsgröße	Sprungantwort	Symbol (nach TGL 14591)	Beispiel	Bemerkung
Glieder mit proportionalem Verhalten, verzögerungsfrei P_0-Verhalten			Hebel  Eingangsgröße x_e → Weg s_1 Ausgangsgröße x_a → Weg s_2	Ein Übertragungsglied mit proportionalem Verhalten ist dadurch gekennzeichnet, daß jeder Eingangsgröße eine Ausgangsgröße zugeordnet ist, die u. U. erst nach einer bestimmten Zeit erreicht wird. $x_a = Kx_E$; K Proportionalitätsfaktor
Glieder mit integralem Verhalten, verzögerungsfrei I_0-Verhalten			Motor  Eingangsgröße x_e → Steuerspannung U Ausgangsgröße x_a → Drehwinkel α der Welle	Das integrale Verhalten ist dadurch gekennzeichnet, daß die Geschwindigkeit der Ausgangsgröße von der Eingangsgröße abhängt. Bei sprungförmiger Änderung der Eingangsgröße ändert sich die Ausgangsgröße ständig. $v_a = K_I x_e$
Glieder mit Differentialverhalten, verzögerungsfrei D_0-Verhalten			*RC*-Glied  Eingangsgröße x_e → Spannung U_e Ausgangsgröße x_a → Spannung U_a	Das Differentialverhalten ist dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangsgröße von der Geschwindigkeit der Eingangsgröße abhängt. Einmalige sprungförmige Änderung am Eingang ergibt am Ausgang eine Nadelspitze. $x_a = K_D v_e$
Glieder mit Totzeitverhalten, verzögerungsfrei T_t			Förderband 	Totzeit T_t ist die Zeit, die vergeht, bis die Ausgangsgröße auf eine Änderung der Eingangsgröße reagiert; unerwünschte Zeit

Tabelle 7.9: Spezielle Symbole für Signalflußpläne

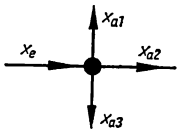
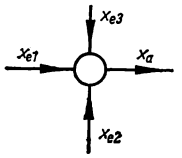
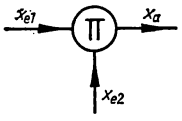
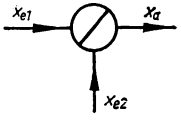
Benennung	Symbol	Bemerkung
Verzweigungsstelle für maximal 3 Signale $x_e = x_{a1} = x_{a2} = x_{a3}$		Verzweigungsstellen für mehr als 3 Signale sind als Kombination mehrerer Verzweigungsstellen zu zeichnen.
Mischstelle (Addition oder Subtraktion) für maximal 3 Signale $x_a = x_{e1} + x_{e2} + x_{e3}$		Mischstellen. Bei Subtraktion ist das Minuszeichen in Wirkungsrichtung rechts vom Pfeil anzubringen.
Multiplikationsstelle für maximal 3 Signale $x_a = x_{e1}x_{e2}$		
Divisionsstelle $x_a = \frac{x_{e1}}{x_{e2}}$		Quotient und Divisor liegen auf der gleichen Seite der Durchmesserlinie.

Tabelle 7.10: Grundschaltungen der Übertragungsglieder

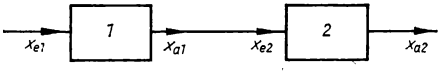
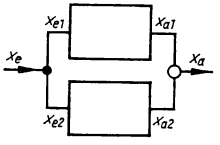
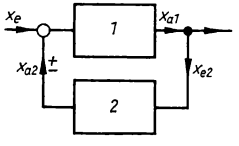
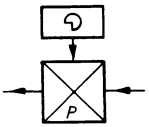
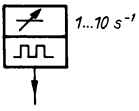
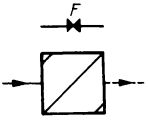
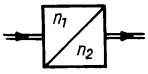
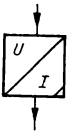
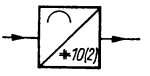
Benennung	Schaltung	Bemerkung
Reihenschaltung zweier Übertragungsglieder $x_{a1} = x_{e2}$		Das Ausgangssignal des ersten Gliedes wird dem zweiten Glied als Eingangssignal zugeleitet.
Parallelschaltung zweier Übertragungsglieder $x_{e1} = x_{e2}$ $x_a = x_{a1} + x_{a2}$		Bei der Parallelschaltung zweier Übertragungsglieder wird jedem der beiden Glieder das gleiche Eingangssignal zugeleitet. Das Ausgangssignal ergibt sich durch Addition der Ausgangssignale der beiden Glieder.
Rückführschaltung zweier Übertragungsglieder		Bei der Rückführschaltung zweier Glieder wird die Differenz oder die Summe von Eingangs- und Rückführsignal dem Vorwärtszweig (1) zugeleitet. Das Ausgangssignal des Vorwärtsgliedes erzeugt über den Rückführzweig (2) das Rückführsignal. Im Falle der Differenzbildung spricht man von negativer Rückführung (Gegenkopplung) und im Falle der Summenbildung von positiver Rückführung (Mitkopplung).

Tabelle 7.11: Symbole und Kennzeichen für Bauglieder (nach TGL 14091; Auszug)

Benennung	Symbol	Bemerkung	Beispiel
Geber für Führungsgrößen, Programmgeber			
Sollwertgeber, handbetätigt		Handeinsteller, Handsteuergerät	Sollwertgeber, handbetätigt, mit normiertem Ausgangssignal 
Geber mit Programmierung nach Zeitplan		—	P-Regler mit getrenntem Sollwertgeber mit Programmierung nach einem Zeitplan 
Geber mit Programmierung nach einer Führungsgröße		—	—
Geber mit Programmierung nach Zeitplan und Führungsgröße		—	—
Taktgeber, wahlweise mit Angabe der Taktfrequenz			Taktgeber mit Handeinstellung der Taktfrequenz im Bereich 1···10 Imp/s 
*Wandler *), Glieder mit einem Eingangs- und Ausgangssignal*			
Wandler, allgemein		—	elektropneumatischer Wandler (Umformer) mit Kraftkompensation und normierten Eingangs- und Ausgangsgrößen 
Eingabefeld des Wandlers		In die Eingabe- und Ausgabefelder können die Bezeichnungen der Eingangs- und Ausgangsgrößen eingetragen werden.	Getriebe (Drehzahl oder Drehmomentenwandler) mit konstantem Übersetzungsverhältnis 
Ausgabefeld des Wandlers			

*) **Aufgabe: Anpassung der Signale an das folgende Glied einer Steuerung oder Regelung.**

Tabelle 7.11 (Fortsetzung)

Benennung	Symbol	Bemerkung	Beispiel
Einteilung der Wandler			
Verstärker	Umformer	Umsetzer	Spannungs-Stromwandler (Umformer) mit normierter Ausgangsgröße
Eingangs- und Ausgangssignal haben gleichen Träger und gleichen Informationsparameter I_p, Leistungsverstärkung	Eingangs- und Ausgangssignal analog, verschiedene Träger und Informationsparameter möglich	Eingangs- oder/und Ausgangssignal digital	
			Analog-Digitalwandler (Umsetzer) mit dezimal-binärem Ausgang
			

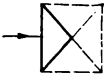
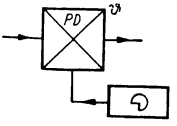
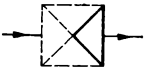
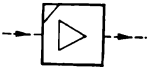
Benennung	Symbol	Bemerkung, Beispiel
Regler		
Regler, allgemein		pneumatischer PD-Regler mit getrenntem Sollwertgeber, Programmierung nach Zeitplan (Zeitplanregelung), eingesetzt als Temperaturregler
Eingangsfeld des Reglers zur Kennzeichnung der Eingangsgröße		
Feld zur Kennzeichnung des Zeitverhaltens		
Ausgangsfeld des Reglers zur Kennzeichnung der Ausgangsgröße		
Feld zur Kennzeichnung des eingebauten Sollwertgebers		
Regler mit Angabe der Regelgröße (Aufgabengröße), z. B. Temperaturregler		
Verstärker		
Verstärker, allgemein (Dreieckspitze in Verstärkerrichtung)		pneumatischer Verstärker mit normiertem Eingangssignal
		
Verstärker mit Zweipunktverhalten (Schaltverstärker)		

Tabelle 7.11 (Fortsetzung)

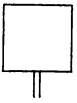
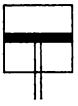
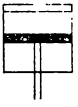
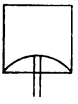
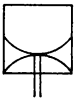
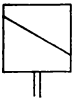
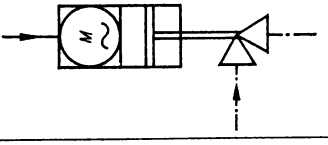
Benennung	Symbol	Bemerkung, Beispiel
Stellantriebe		
Stellantrieb, allgemein, ohne selbsttätigen Rückgang		Die mechanische Verbindung mit dem Stellglied wird durch eine Doppellinie dargestellt; bilden Stellantrieb und Stellglied eine bauliche Einheit, so ist statt der Doppellinie eine dick ausgezogene einfache Linie zu zeichnen.
Kolbenantrieb		
Kolbenantrieb mit Positioner		
Membranantrieb, einseitig wirkend		
Membranantrieb, beiderseitig wirkend		
Magnetantrieb		Aussteuerung mit O/L-Signal
elektromotorischer Stellantrieb (Wechsel- oder Drehstrom)		
elektromotorischer Stellantrieb (Schrittmotor)		spezielle Stellantriebe s. TGL 16019
Stellglieder		
Absperrorgan für Rohre, allgemein, insbesondere gerade Ausführung		elektrohydraulischer Stellantrieb mit Absperrorgan in Eckausführung, bestehend aus Elektromotor, Pumpe und Kolbensystem
Absperrorgan für Rohre, Eckausführung		

Tabelle 7.11 (Fortsetzung)

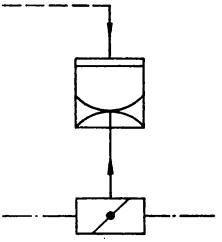
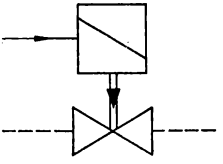
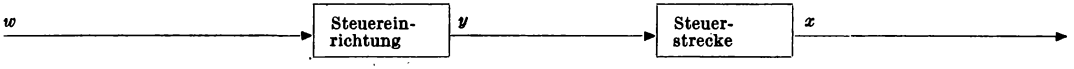
Benennung	Symbol	Bemerkung, Beispiel
Absperrorgan für Rohre, Wechselausführung		weitere spezielle Darlegungen in TGL 12900
Regelklappe		Betätigung eines Regelschiebers durch pneumatischen Membranantrieb mit Positioner, bei Druckluftausfall öffnend 
		Betätigung eines Absperrorgans durch magnetischen Stellantrieb; bei Ausfall der Hilfsenergie schließend 

Tabelle 7.12: Teilsysteme einer Steuerung



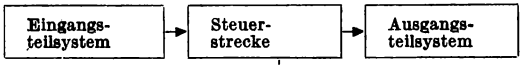
Steuereinrichtung

Zusammenfassende Benennung für alle Glieder im Wirkungsweg, die zur aufgabengemäßen Beeinflussung der Strecke über das Stellglied dienen. In der Steuereinrichtung werden die zur Beeinflussung der Steuerstrecke erforderlichen Signale gebildet.

Eingangsgröße der Steuereinrichtung ist die *Führungsgröße w.*

Ausgangsgröße der Steuereinrichtung ist die *Stellgröße y.*

Teilsysteme der Steuereinrichtung



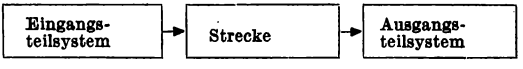
Steuerstrecke

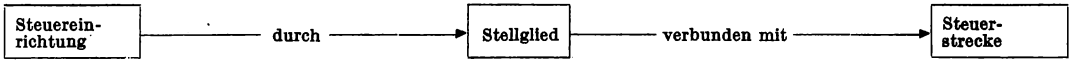
Zusammenfassende Benennung für denjenigen Teil des Wirkungsweges, dem die aufgabengemäß zu beeinflussenden Glieder angehören. Die Beeinflussung des Energie- oder Massenstroms der Steuerstrecke erfolgt durch das Stellglied. Der Antrieb des Stellglieds gehört zur Steuereinrichtung.

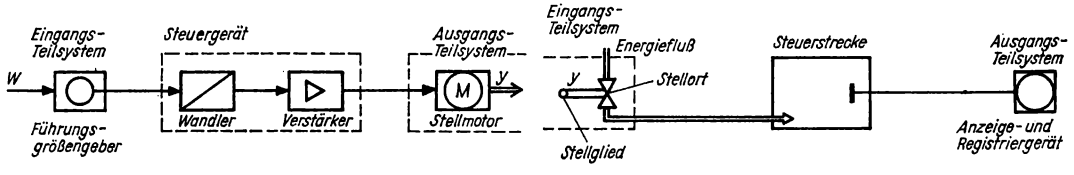
Eingangsgröße der Steuerstrecke sind die Stellgröße *y* und solche Störgrößen, die auf die Strecke einwirken.

Ausgangsgröße der Steuerstrecke ist die gesteuerte Größe (und gegebenenfalls gewisse Hilfsgrößen).

Teilsysteme der Steuerstrecke







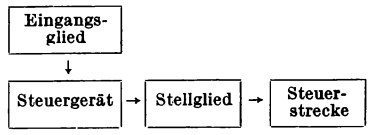
7.2.2. Steuerungstechnik

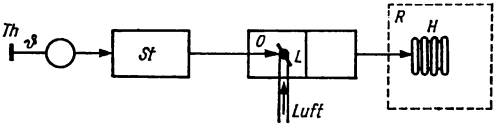
Steuern ist ein Vorgang in einem abgegrenzten System, wobei eine oder mehrere Eingangsgrößen wegen der dem abgegrenzten System eigenen Gesetzmäßigkeiten auf die Ausgangsgrößen in beabsichtigter Weise einwirken.
Der Wirkungsweg der Steuerung ist nicht wie bei der Regelung fortlaufend geschlossen.

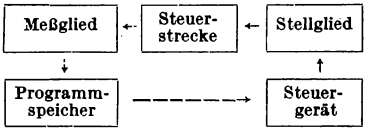
Die einzelnen Elemente wirken nur auf die in der Wirkrichtung folgenden Elemente.
Der Wirkungsweg der Steuerung heißt *Steuerkette*. Das Ausgangssignal heißt *gesteuerte Größe*.
In Tabelle 7.12 (s. S. 163) sind die Teilsysteme einer Steuerung zusammengestellt, Tabelle 7.13 enthält die Einteilung der Steuerungen.

Tabelle 7.13: Einteilung der Steuerungen

Unterteilung nach	Steuerart	Bemerkung	Beispiel
Besonderheiten der Eingangsgrößen	Führungs- oder Folgesteuerung	Alle Steuerungen, bei denen sich die Führungsgröße laufend ändert, wodurch sich laufende Änderungen der Ausgangsgrößen ergeben. Die gesteuerte Größe wird durch die Führungsgröße (w) bestimmt.	Steuerung einer Zentralheizung nach der Außentemperatur: Das Thermometer Th mißt im Freien die Temperatur ϑ und leitet das Signal zur Steuereinrichtung St. Diese betätigt die Luftklappe L am Ofen O, der die Heizkörper im Raum R speist. Die Außentemperatur (Führungsgröße) steuert die Zimmertemperatur.
	Speichersteuerung	Sie ist eine spezielle Führungssteuerung. Wird die Führungsgröße ausgeschaltet, bleibt die augenblicklich erreichte Ausgangsgröße so lange erhalten, bis eine neue Führungsgröße vorgegeben wird. Der Speicher im Steuergerät wird gelöscht. Die Ausgangsgröße nimmt eine Ausgangslage oder eine in Abhängigkeit von der Führungsgröße zugeordnete Stellung ein.	
	Programmsteuerung	Die Veränderung der Stellgröße erfolgt durch ein Programm, das in einem getrennten Gerät (Programmspeicher) gespeichert ist. Programmsteuerungen werden unterteilt in: Ablaufsteuerungen, Zeitplansteuerungen, Wegplansteuerungen.	
	Ablaufsteuerung	Alle Steuerungen, bei denen durch eine einmalige Änderung der Führungsgröße ein Steuervorgang ausgelöst wird, der nach einer fest eingebauten Gesetzmäßigkeit abläuft. Die gesteuerte Größe ist von dem Ablauf bestimmter Größen der Steuerung selbst und von einem Programm (deshalb auch Programmsteuerung) abhängig. Das Programm gibt an, wie die Ausgangsgrößen des Programmgebers von den erfaßten Größen der Steuerung abhängen. Das Programm ist auf analogen oder digitalen Programmspeichern gespeichert.	Steuerung einer Befeuchtungsanlage: Sie besteht aus der Förderpumpe, zwei Behältern und einem Magnetventil. Wird P eingeschaltet, so wird das Magnetventil geschlossen. Behälter B wird gefüllt. Der Schwimmer Sch betätigt einen Endlagenschalter, P wird ausgeschaltet und das Magnetventil geöffnet. Eine vorgeschriebene Wassermenge wird freigegeben. Der Steuerbefehl »Drücken des Schalters S« wird einmal gegeben. Er löst einen in der Anlage eingebauten Ablauf aus.







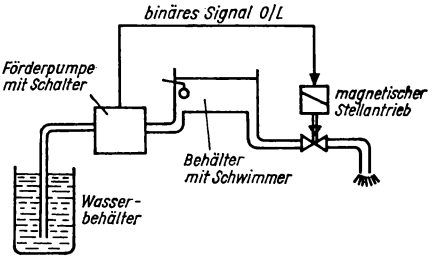
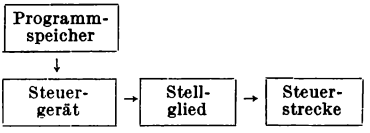
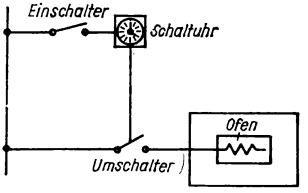


Tabelle 7.13 (Fortsetzung)

Unterteilung nach	Steuerart	Bemerkung	Beispiel
Besonderheiten der Eingangsgrößen	Zeitplansteuerung	Die Führungsgröße ist eine Funktion der Zeit. Die gesteuerte Größe ist durch einen Zeitplan bestimmt. Die Steuereinrichtung besitzt einen Zeitplangeber (Programmgeber), der den Zeitplan speichert und ablaufen läßt. Der Zeitplangeber wird durch ein Auslösesignal gestartet. 	Steuerung eines Nachtspeicherofens durch elektrische Schaltuhr: An der Uhr werden die Einschalt- und die Ausschaltzeit für den Ofen eingestellt. Die Steuerung ist immer einsatzbereit. Es ist kein Auslösesignal erforderlich. 
	Wegplansteuerung	Die Führungsgröße ist eine Funktion eines Weges. Für die Auslösung des Steuersignals ist ein Wegprogramm vorgegeben.	

Unterteilung nach	Steuerart	Bemerkungen, Beispiel
der Hilfsenergie	mechanische, elektrische, hydraulische, pneumatische Steuerungen	Elektrische Steuerungen überwiegen. Nichtelektrische Steuerungen werden vor allem für explosionsgefährdete Anlagen verwendet.
der gesteuerten Größe	Temperatur-, Druck-, Drehzahl-, Mengen-, Spannungssteuerungen usw.	
der Signalverarbeitung	analoge, digitale, stetige, unstetige Steuerung	Unstetige Steuerungen werden sehr oft eingesetzt, stetige Steuerungen dagegen selten. Digitale Steuerungen werden unter bestimmten Bedingungen als numerische Steuerungen bezeichnet.
der Steuerentfernung	Vor-Ort-Steuerung, Nahsteuerung, Fernsteuerung	
der Betätigung	nichtselbsttätige Steuerung (Handsteuerung)	Steuerung, bei der die Aufgabe mindestens eines Gliedes des Wirkungsweges vom Menschen übernommen wird
	selbsttätige Steuerung (automatische Steuerung)	Alle Vorgänge in der Steuerung werden selbsttätig durch Geräte ausgeführt. Selbsttätig heißt eine Steuerung auch dann, wenn sie durch ein von Hand ausgelöstes Signal eingeleitet wird und danach automatisch abläuft.

7.2.3. Regelungstechnik

Nach TGL 14591 versteht man unter *Regeln* bzw. einer Regelung einen technischen Vorgang in einem abgegrenzten System, bei dem eine technische oder physikalische Größe – die zu regelnde Größe (Regelgröße x) – fortlaufend erfaßt und durch Vergleich ihres Signals mit dem Signal einer anderen Größe (Führungsgröße w) im Sinne einer Angleichung an deren Signal beeinflußt wird.
Charakteristisch für das Regeln ist, daß sich der Wirkungsablauf in einem geschlossenen Kreis, *dem Regelkreis*, vollzieht, der nur in einer Richtung durchlaufen werden kann.

Beim Regeln müssen nacheinander folgende Aufgaben erfüllt werden:

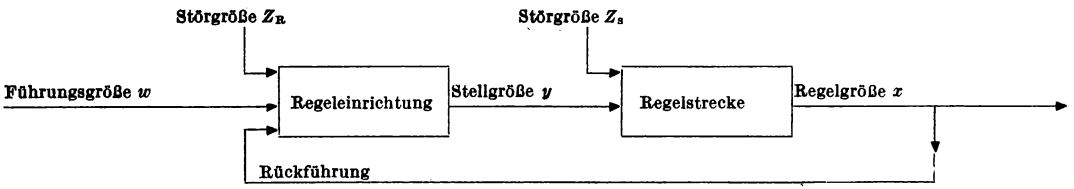
Messen (gemessen wird die zu regelnde Größe x), *Vergleichen*, *Verstärken* (nicht in jedem Fall), *Erzeugen des Zeitverhaltens* und *Stellen*.

Eine Größe, die sich nicht messen läßt, kann man auch nicht unmittelbar regeln.
Regelung ist gegenüber Steuerung immer dann erforderlich, wenn *Störgrößenänderungen* auftreten.
Die Güte einer Regelung hängt nicht nur von der *Regeleinrichtung*, sondern auch von der *Regelstrecke* ab.
In Tabelle 7.14 sind die Teilsysteme einer Regelung zusammengestellt, Tabelle 7.15 enthält die Einteilung der Regelungen.

Regler

Der Regler hat die Aufgabe, die Regelabweichung x_w als Eingangssignal nach einem ihm eigenen Zeitverhalten zu einem Ausgangssignal, der Stellgröße y, zu verarbeiten.
Bestandteil des Reglers ist ein Vergleicher (Mischstelle), der die Differenz zwischen Führungsgröße w und Regelgröße x bildet (Bild 7.23).
Bild 7.24 zeigt die Einteilung der Regler.

Tabelle 7.14: Teilsysteme einer Regelung



Regeleinrichtung	Regelstrecke
Zusammenfassende Benennung **für alle Glieder im Wirkungsweg, die zur aufgabengemäßen Beeinflussung der Regelstrecke über das Stellglied dienen. In der Regeleinrichtung werden die zur Beeinflussung der Regelstrecke erforderlichen Signale gebildet.**	**Zusammenfassende Benennung** **für denjenigen Teil des Wirkungsweges, dem die aufgabengemäß zu beeinflussenden Glieder angehören. Die Beeinflussung des Energie- und Massenstromes der Regelstrecke erfolgt durch das Stellglied. Der Antrieb des Stellgliedes gehört zur Regeleinrichtung.**
Eingangsgrößen der Regeleinrichtung sind die Führungsgröße w, die Regelgröße x und solche Störgrößen Z_R, die an der Regeleinrichtung angreifen.	Eingangsgrößen der Regelstrecke sind die Stellgröße y und solche Störgrößen Z_S, die an der Strecke angreifen.
Ausgangsgröße der Regeleinrichtung ist die Stellgröße y.	Ausgangsgröße der Regelstrecke ist die Regelgröße x.
Teilsysteme der Regeleinrichtung	***Teilsysteme der Regelstrecke***
Eingangsteilsystem → Regler → Ausgangsteilsystem	**Eingangsteilsystem → Regelstrecke → Ausgangsteilsystem**
Regeleinrichtung — durch → Stellglied — verbunden mit → Regelstrecke	

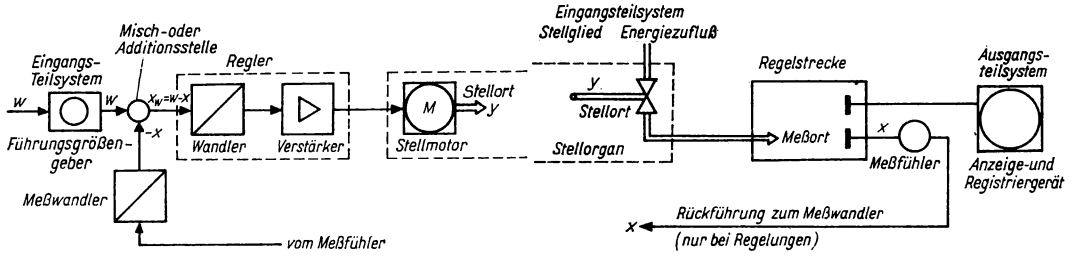
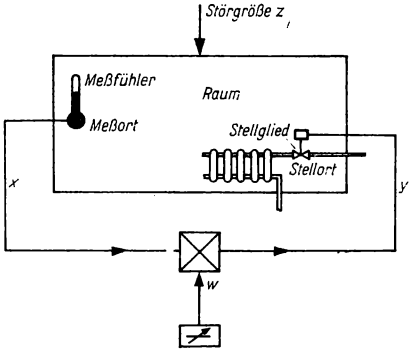


Tabelle 7.15: Einteilung der Regelungen *)

Unterteilung nach	Steuerart	Bemerkung	Beispiel
Veränderlichkeit der Führungsgröße	Festwertregelung	Alle Regelungen, bei denen die Führungsgröße w ein konstanter einstellbarer Sollwert ist. Die zu regelnde Größe x wird durch eine konstante Führungsgröße bestimmt. 	Konstanthaltung der Temperatur in einem Raum: Die zu regelnde Größe, die Raumtemperatur, wird ständig gemessen. Das Signal der Regelgröße x wird gemeinsam mit einer einstellbaren Führungsgröße w (Sollwert) dem Regler zugeleitet. Er ermittelt die Regelabweichung $x_w = w - x$, die als Stellgröße y, meist verstärkt, einem Stellmotor zugeleitet wird (s. nebenstehendes Bild).
	Führungsregelung	Alle Regelungen, bei denen die Führungsgröße w einer Funktion von einer oder mehreren Größen entspricht (außer der Zeit). Die Regelgröße x wird durch eine veränderliche Führungsgröße bestimmt.	Drehzahlregelung der Antriebsmotoren für die Maschinentische einer Werkzeugmaschine
	Zeitplanregelung	Alle Regelungen, bei denen die Führungsgröße eine Funktion der Zeit ist. Die Regelgröße x wird durch ein Programm bestimmt, welches die zeitlich veränderliche Führungsgröße speichert. *Analoge Speicher:* Kurvenscheiben, Kurventrommeln usw. *Digitale Speicher:* Lochkarte, Lochstreifen usw.	zeitabhängige Temperaturregelung

*) Weitere Unterteilung wie bei Steuerungen (s. Tabelle 7.13).

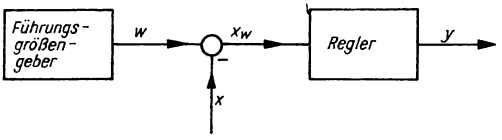


Bild 7.23. Vergleicher

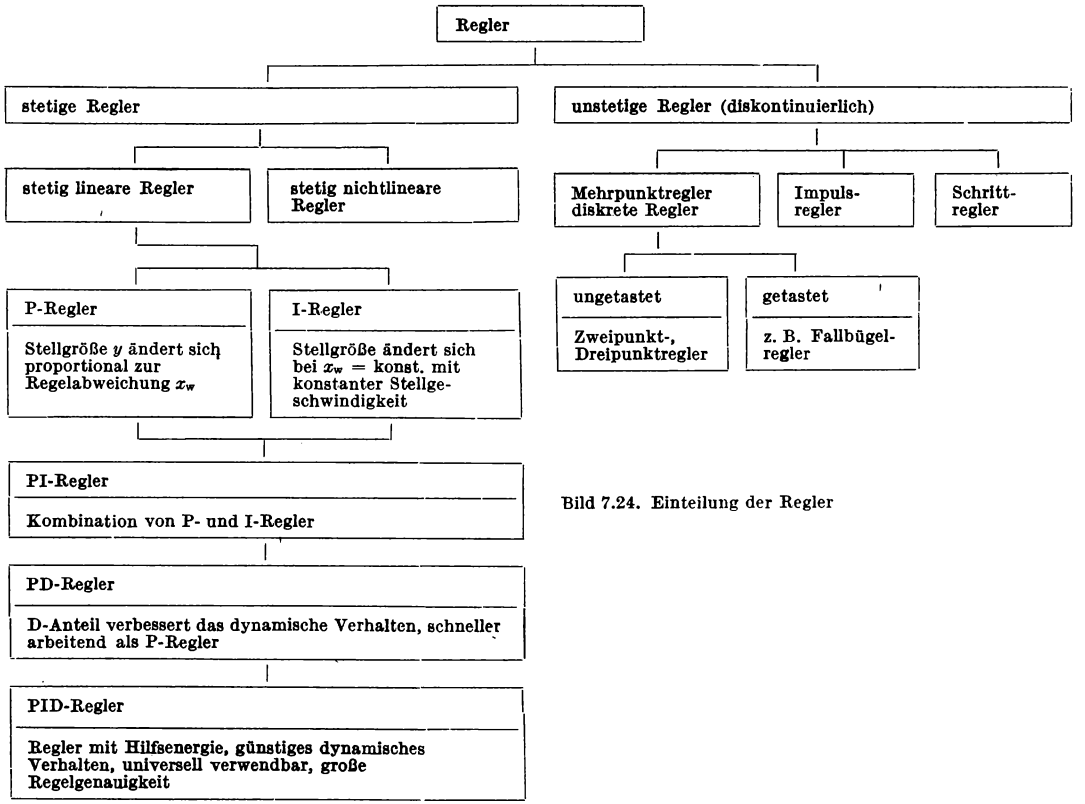


Bild 7.24. Einteilung der Regler

Stetig lineare Regler sowie Mehrpunktregler sind am häufigsten anzutreffen.

7.2.4. System Ursamat

Durch die fortschreitende Automatisierung erhöht sich ständig der Bedarf an Automatisierungsmitteln. Außer Einzelgeräten werden Bausteinsysteme benötigt, die bei weitgehender Standardisierung und Typisierung vielseitig kombinierbar und austauschbar sind sowie wirtschaftliche Serienfertigung gestatten.
Im Rahmen des RGW wurden einheitliche Signal- und Konstruktionsparameter vereinbart und das „Universelle internationale System für die automatische Überwachung, Regelung und Steuerung" (URS) geschaffen. In der DDR wurde die nationale Variante, das universelle *System Ursamat*, entwickelt.
Die Teilsysteme von Ursamat sind gekennzeichnet durch einheitliche Funktionsbedingungen, Festlegungen für Schutzarten und den bausteinmäßigen Aufbau Modul 20 (Bild 7.25).

7.2.5. Einheitssignale

In Tabelle 7.16 sind die Einheitssignale zusammengestellt.

7.2.6. Steuerungen mit spezieller Aufgabenstellung

Abschaltkreise

Eine *spezielle Ablaufsteuerung* ist der *Abschaltkreis*. Da nur eine einmalige Rückführung vorliegt, ist der Wirkungsweg nicht laufend geschlossen. Demzufolge gehören Abschaltkreise zu den Steuerungen. Sie werden sehr häufig verwendet, um einen Vorgang in Abhängigkeit von vorgegebenen Bedingungen ein- bzw. auszuschalten. Baut man in einen Regelkreis ein Speicherglied ein, dann erhält man einen Abschaltkreis (OPPELT). Die Speicherzelle wird durch einen Startimpuls gefüllt und setzt das Glied mit I-Verhalten in Tätigkeit. Beim Erreichen des voreingestellten Sollwertes wird durch ein Zweipunktglied ein Abschaltsignal an das Speicherglied gemeldet. Der Vorgang wird abgeschaltet.
Da Abschaltkreise zu den Steuerungen gehören, können Störgrößen (z. B. Lagerspiel, Temperatureinfluß, Massenträgheit der Bauelemente) nicht beherrscht werden.

Beispiele für Abschaltkreise enthält Tabelle 7.17.

Die Vergleicher eines Abschaltkreises werden häufig aus digitalen Schaltkreisen aufgebaut, deren Aufgabe es ist, Soll- und Istwert nach logischen Bedingungen zu vergleichen und dann ein Abschaltsignal zu geben, wenn Soll = Ist.
Beispiel: Die Bewegung des Maschinentisches einer lochstreifengesteuerten Werkzeugmaschine wird durch ein Auslösesignal eingeschaltet. Die Bewegung wird dann gestoppt, wenn der auf dem Lochstreifen gespeicherte Sollwert x_s dem gemeldeten Istwert x_i (Lage des Maschinentisches) entspricht (Bild 7.26). Der Soll-Ist-Vergleich erfolgt in einem binären Vergleicher, dem folgendes Gesetz zugrunde liegt:
Wenn $x_s \neq x_i$, dann soll das Ausgangssignal y_A des Vergleichers den Wert L annehmen. y_A = L bewirkt: Antriebsmotor eingeschaltet. Wenn $x_s = x_i$, dann soll das Ausgangssignal y_A des Vergleichers den Wert O annehmen. y_A = O bewirkt: Antriebsmotor stopp!

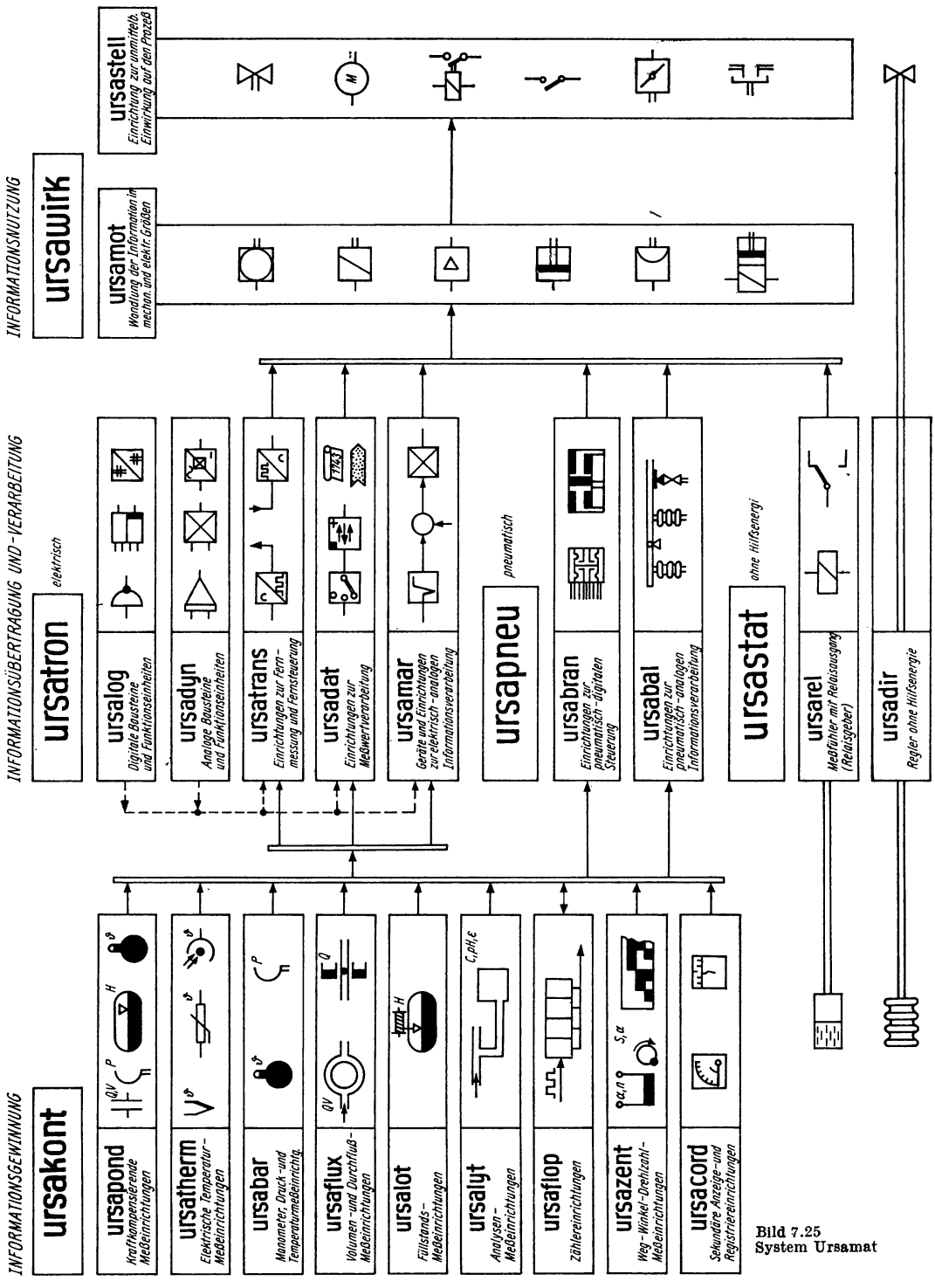
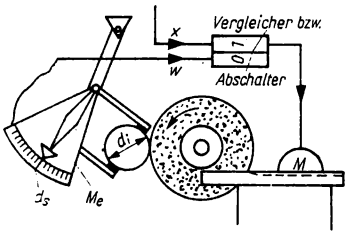
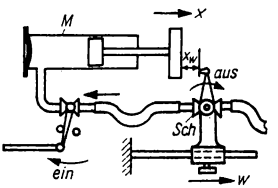
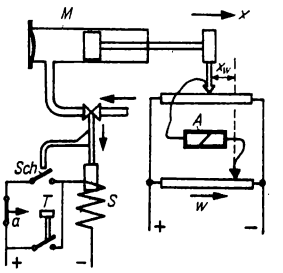


Bild 7.25
System Ursamat

Tabelle 7.16: Einheitssignale

Bezeichnung	Signalart	Signalträger	Informationsparameter I_p	Einheitsbereiche	Bemerkung
elektrisch analoge Einheitssignale					
elektrisch analoges Einheitssignal	kontinuierlich oder diskontinuierlich	Gleichstrom	Amplitude	unipolares Signal: Änderungsbereich von $I_p = 0 \cdots 5$ mA bipolares Signal: -5 mA $\cdots 0 \cdots +5$ mA Eingangswiderstand für Gleichstromsignaleingang $\leqq 500\ \Omega$ Belastungswiderstand am Gleichstromausgang $\leqq 2$ kΩ differentieller Innenwiderstand der Signalquelle $\geqq \frac{200\ \text{k}\Omega}{\text{Fehlerquelle}}$	Das Stromsignal wird vorwiegend bei Fernübertragung, bei Verbindung zwischen Meßumformer und Regler oder Regler und Leistungsverstärker und bei Umformern (elektrisch-pneumatisch) angewendet. Für jeden Ausgangskreis (mindestens 3 Geräte) ist Fernübertragung bis 10 km gewährleistet.
		Gleichspannung		unipolares Signal: I_p-Änderung: $0 \cdots 10$ V bipolares Signal: -10 V $\cdots 0$ V $\cdots +10$ V Eingangswiderstand für Gleichspannungssignaleingang $\geqq 10$ kΩ, Belastungswiderstand am Gleichspannungsausgang $\geqq 2$ kΩ, differentieller Innenwiderstand der Signalquelle $\geqq 200\ \Omega \cdot$ Fehlerklasse	Verwendung bei interner Informationsverarbeitung; geringe Entfernung, kleine Leistung. Die Belastbarkeit jedes Ausgangskreises mit mindestens 4 nachgeschalteten Geräten ist gewährleistet.
elektrisch diskrete Einheitssignale					
binäres Einheitssignal	kontinuierlich oder diskontinuierlich binär	Gleich- oder Wechselspannung	Amplitude	zugelassene Werte: L-Signal 12 V, O-Signal 0 V Nennwert bevorzugt für kontaktlose Elemente L-Signal -7 V $\cdots -12$ V O-Signal 0 V $\cdots -1$ V Nennbereich und Polarität bei Verwendung von p n p-Transistoren L-Signal $+7{,}5$ V $\cdots +12$ V O-Signal 0 V $\cdots +0{,}5$ V Nennbereich und Polarität bei Verwendung von n p n-Transistoren L-Signal 48 V, O-Signal 0 V Nennwert bevorzugt für Kontaktschaltungen	Für die Informationsübertragung von funktionell selbständigen Einheiten des Systems Ursamat sind die speziellen Festlegungen für binäre, impulsförmige, codierte Signale zu beachten.
impulsförmiges Einheitssignal	Es gelten die Festlegungen für binäre Einheitssignale.				Impulsform, Frequenz, Impulsdauer, Impulspause, Übertragungszeiten s. TGL 22500.
codiertes Einheitssignal	binäres oder impulsförmiges Signal		Code	zugelassene Codes: Dualcode, Dezimal-Dualcode mit Wertigkeit 8 – 4 – 2 – 1, 1-aus-10-Code	Die Übertragung und Verarbeitung codierter Signale kann parallel, seriell oder seriell-parallel erfolgen.
Impulsfolge	impulsförmiges Signal, s. impulsförmiges Einheitssignal		Anzahl der Impulse		
pneumatisch analoge und diskrete Einheitssignale					
pneumatisch analoges Einheitssignal				0,2 $\cdots$ 1,0 kp/cm²	gilt für den mit pneumatischer Hilfsenergie arbeitenden Zweig
pneumatisch diskretes Einheitssignal	kontinuierlich binär	Luftdruck		O-Signal $(0 \cdots 0{,}2)p_a$ L-Signal $(0{,}8 \cdots 1{,}0)p_a$ mit $p_a = 1{,}4$ kp/cm² (Überdruck)	s. auch TGL 22500

Tabelle 7.17: Abschaltkreise

Schleifen einer Welle auf vorgegebenen Durchmesser d_s	Steuerung einer Längsbewegung durch einen Abschaltkreis	
	Mechanische Ausführung	Elektrische Ausführung
		
Meßgerät M_e mißt Wellendurchmesser d_i (Istwert), Abschaltkreis schaltet Vorschubmotor M für Zustellbewegung der Schleifscheibe ab, wenn $d_s = d_i$.	Die Kolbenbewegung wird durch Abschalten der Luftzufuhr stillgesetzt.	
	Sch Schalter, M Motor	S Schütz, M Motor, A Amperemeter, Sch Schalter, a Öffner

Signalflußbild (für alle Ausführungsbeispiele)

Sp Speicher, M Motor, Sch Schaltungsglied

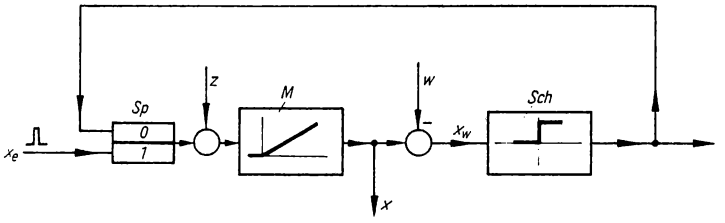


Bild 7.26. »Ein-Aus« einer lochkartengesteuerten Werkzeugmaschine

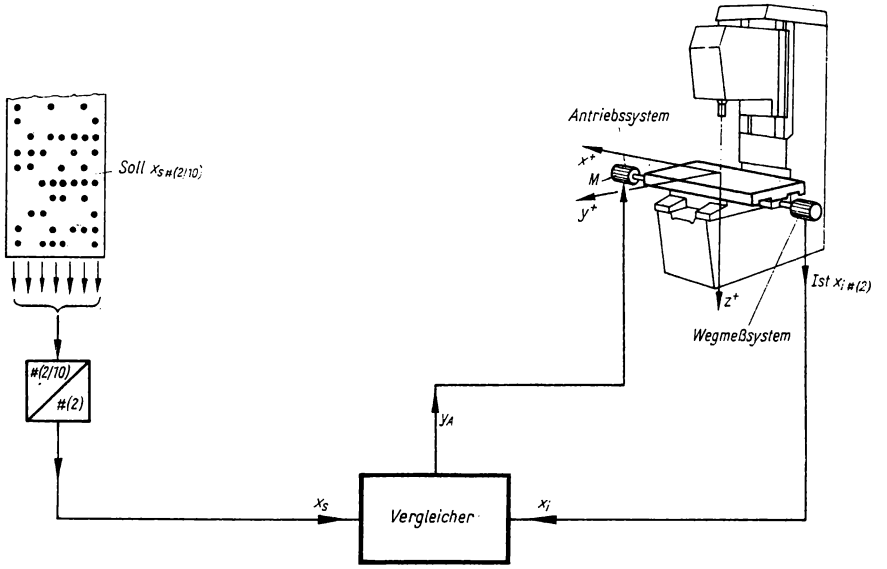
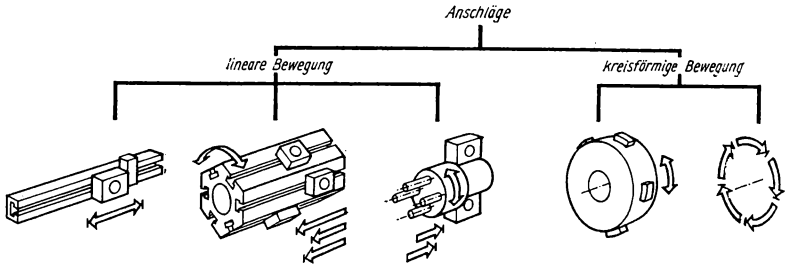


Bild 7.27. Anschlagspeicher



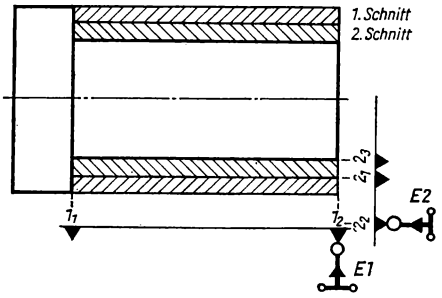


Bild 7.28. Programmgesteuerte Bolzenherstellung

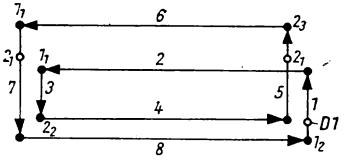


Bild 7.29. Schaltbild für Nockensteuerung

Anschlagsteuerung

Sie ist die einfachste und älteste Art, Stellglieder an Be- und Verarbeitungsmaschinen, besonders an Werkzeugmaschinen, zu betätigen. Auf Leisten, Scheiben oder Trommeln sind einstellbare Anschläge befestigt. Die Anschlagspeicher (Programmspeicher) ermöglichen es, geradlinige oder kreisförmige Bewegungsabläufe in ihrem Weg zu begrenzen (Bild 7.27). Die Anschläge schlagen mechanische, elektrische Schalter oder hydraulische Ventile an, wodurch Stellglieder (Motor, Kupplung usw.) ein-, aus- oder umgeschaltet werden.

Nockensteuerung

Es werden Nocken als analoge Speicher für Arbeitsinformationen verwendet, die gegenüber Anschlägen nicht anschlagen, sondern auf mechanische, elektrische, elektronische, pneumatische oder hydraulische Übertragungselemente auffahren. Durch das Auffahren auf ein Übertragungsglied wird ein *Steuervorgang* ausgelöst. Nocken werden auf Leisten (Kreuzschienenverteiler), Scheiben oder Trommeln einstellbar befestigt. Da mehrere Nocken hintereinander angeordnet werden können, ist es möglich, einen ganzen Bewegungszyklus mit einer begrenzten Anzahl von Schaltvorgängen zu programmieren und zu speichern. Die Nocken betätigen Übertragungsglieder (Endschalter, Taststifte und Rollen, Relais, Schrittschaltwerke, Magnetschalter, hydraulische Ventile usw.). Die Übertragungsglieder leiten das Signal zu Stellgliedern weiter, dort erfolgt das Ein-, Aus- oder Umschalten der Motoren (elektrische, hydraulische Antriebs- und Stellmotoren).
Die Nocken werden mit Hilfe von Meßuhren voreingestellt. Für Feineinstellungen sind die Nocken mit Stellschrauben und Skalen ausgerüstet (Schaltgenauigkeit bis $^1/_{100}$ mm).
Nockensteuerungen finden bei den verschiedensten Arten von Werkzeugmaschinen auch dann Anwendung, wenn die Arbeitsinformationen auf Programmsteckfelder oder Lochkarten gespeichert werden.

Beispiel: Herstellung eines Bolzens auf einer programmsteckergesteuerten Drehmaschine (VEB Großdrehmaschinenbau »8. Mai«, Karl-Marx-Stadt) (Bilder 7.28 und 7.29).
Das Setzen der Nocken 1_1, 1_2 (Längsbewegung) und 2_1, 2_2, 2_3 (Planbewegung) ist von dem *Programmablauf* abhängig (Bild 7.30) und wird von der Zeichnung abgeleitet. Die Nocken betätigen Übertragungsglieder (Endschalter E_1, E_2), welche wiederum Impulse an Schrittschaltwerke weiterleiten, so daß folgender *Programmablauf* (nach Betätigen des Druckknopfes D1, Bild 7.29) garantiert ist:

1. Planbewegung innen;
2. Vorschubbewegung längs nach links;
3. Planbewegung nach außen;
4. Eilgangbewegung längs nach rechts;
5. Planbewegung nach innen;
6. Vorschubbewegung längs nach links;
7. Planbewegung nach außen;
8. Eilgangbewegung längs nach rechts.

Kurvensteuerung

Es werden Scheiben- oder Trommelkurven als analoge Speicher für Arbeitsinformationen (speziell Weginformationen) verwendet (Bild 7.31).
Durch die Übertragung der gespeicherten Information über ein Übertragungselement (Rolle, Stift usw.) auf einen Übertragungsmechanismus (Gestänge, Hebel, Steuerwelle, Kupplung, Zahngetriebe, Verriegelungselemente usw.) wird der Steuervorgang ausgelöst, und die Stellglieder werden betätigt (Bild 7.32).
Die Kurvenscheiben werden in Abhängigkeit von der Werkstückform angefertigt. Je nach Beschaffenheit des Werkstückes müssen verschiedene Scheiben- bzw. Trommelkurven hergestellt werden (Bild 7.33). Sie sind deshalb typische Speicher für die Massenfertigung auf Ein- oder Mehrspindelautomaten. Bei programmgesteuerten Revolverdrehautomaten können z. B. durch Kurvenscheiben gesteuert werden:
Spannzange: Spannen und Lösen des Werkstückes,
Drehspindel: Ein- und Ausschalten der Geschwindigkeit, Umschalten der Drehrichtung,
Maschinentisch: Schalten der Vorschubgeschwindigkeit,
Revolverkopf: Schwenken usw.
Tabelle 7.18 enthält *Beispiele* für kurvengesteuerte Mechanismen.

Nachformsteuerung

Zur Speicherung der Arbeitsinformationen werden *analoge Formspeicher (Tastspeicher)* verwendet. Sie sind ein Modell für die Form des herzustellenden Werkstücks, z. B. Schablonen, Formschienen, Meisterstücke (Prototypen). Die Formspeicher werden durch Fühler abgetastet. Der *Fühler* als Übertragungselement steuert durch Übertragungsmechanismen die Werkzeugbewegung in zwei oder drei Koordinaten (2- oder 3-Koordinaten-Nachformsteuerung).
Beispiele für Nachformsteuerungen sind in den Bildern 7.34, 7.35 und 7.36[1]) dargestellt.

Meßsteuerung

Um zu vermeiden, daß bei der Fertigung eines Werkstücks Ausschuß durch Werkzeugabnutzung entsteht oder durch andere Ursachen Maschinenschäden eintreten, ist man bei den immer komplizierter werdenden technologischen Prozessen bestrebt, vor, während oder/und nach Ablauf des Prozesses durch Messen *Prüfinformationen* zu gewinnen. Von

[1]) Siehe Automatisierung spanabhebender Werkzeugmaschinen. Berufsschullehrbuch. VEB Verlag Technik, Berlin 1967.

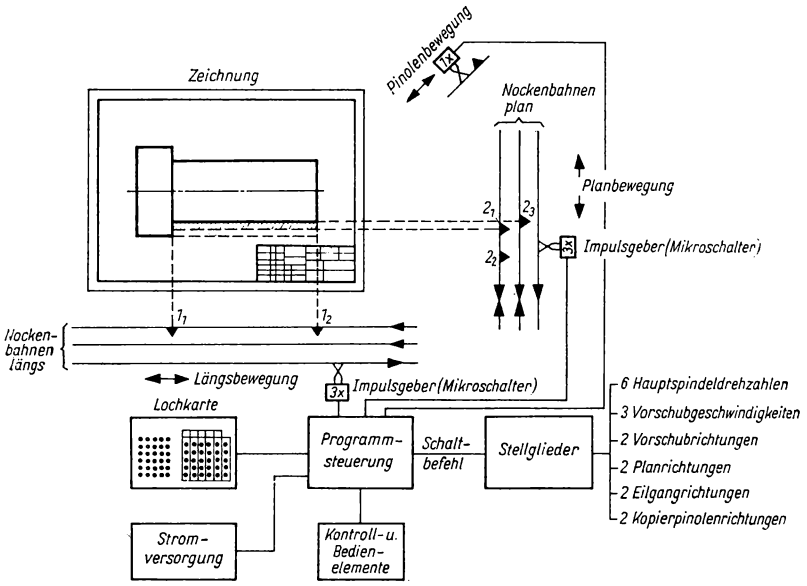


Bild 7.30. Programmablauf für die Bolzenherstellung

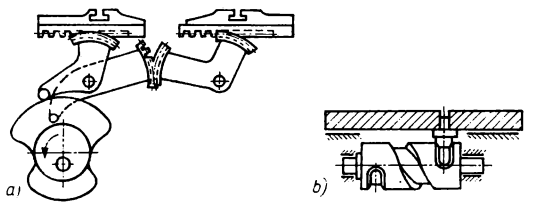


Bild 7.31. Kurvensteuerung
a) Scheibenkurve, b) Trommelkurve

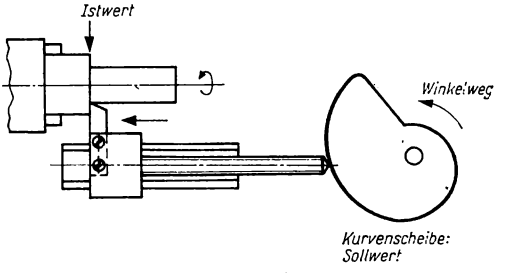


Bild 7.32. Ablauf einer Kurvenscheibensteuerung (Umsetzung einer drehenden in eine geradlinige Bewegung)

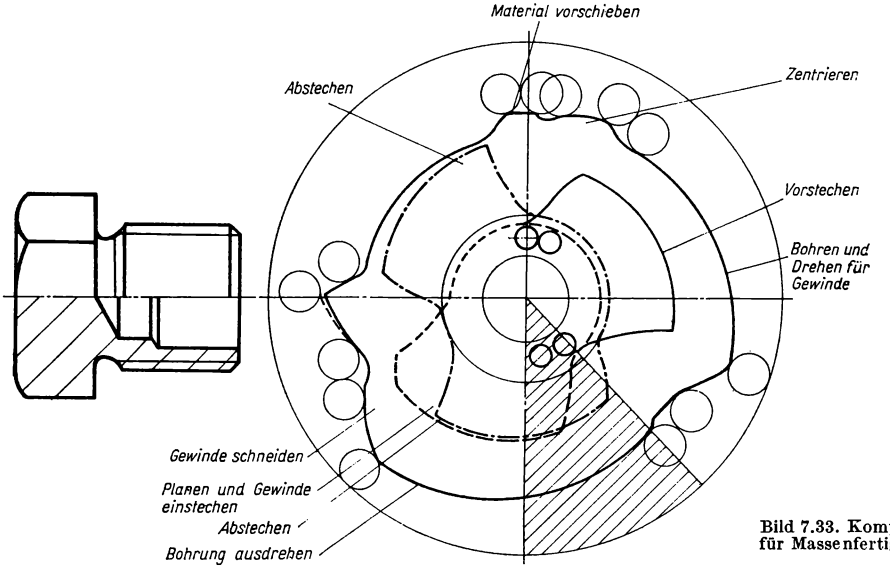
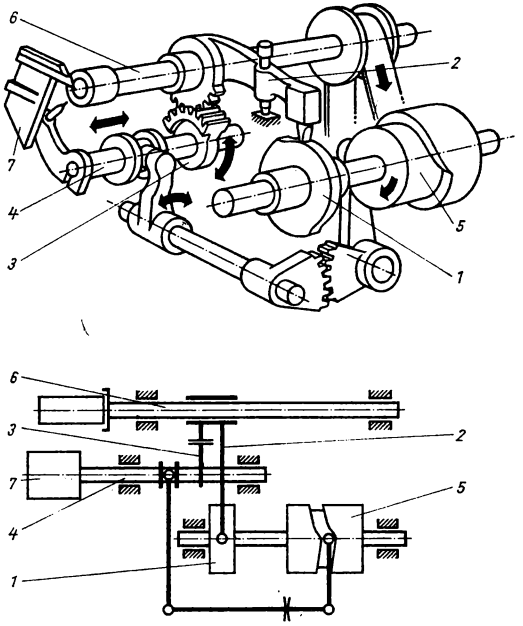
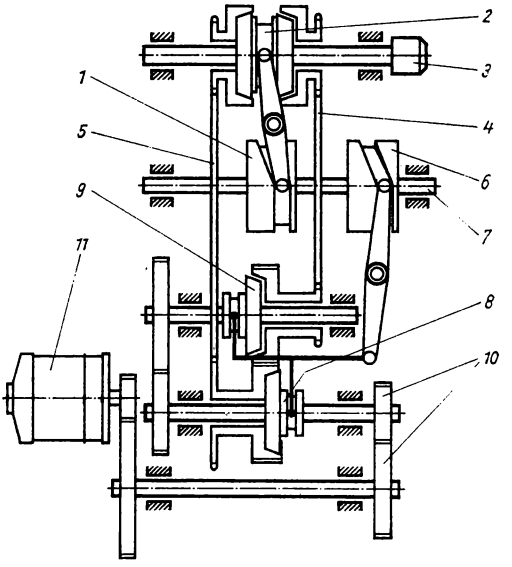


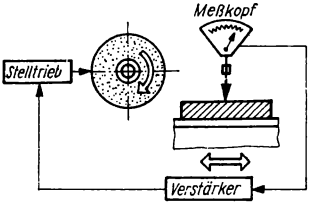
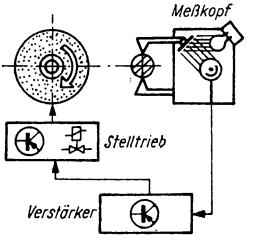
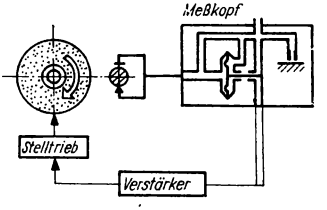
Bild 7.33. Komplizierte Kurvenform für Massenfertigung

*Tabelle 7.18: Beispiele für kurvengesteuerte Mechanismen *)*

Steuerung des Supports für Längs- und Plandrehen eines Revolverdrehautomaten	Steuerung des Arbeitsspindelantriebs eines Revolverdrehautomaten
Planvorschub wird durch Scheibenkurve und Längsvorschub durch Trommelkurve gesteuert.	Links- oder Rechtslauf der Spindel sowie zwei Übersetzungsstufen des Wechselrädergetriebes werden durch Kurven gesteuert.
	
1 Scheibenkurve für Vorschub, 2 Hebel mit Stößel, 3 Zahnsegment, 4 Supportstange, 5 Trommelkurve für Längsvorschub, 6 Arbeitsspindel mit Spannvorrichtung und Werkstück, 7 Support mit Werkzeug	1 Kurve zur Steuerung der Bewegungsrichtung der Arbeitsspindel, 2 Kupplung, 3 Arbeitsspindel, 4 Kette für Linkslauf der Arbeitsspindel, 5 Kette für Rechtslauf, 6 Kurve zur Steuerung der Übersetzungsstufen des Rädergetriebes (direkte Steuerung der Kupplungen 8 und 9), 7 Hilfssteuerwelle, 8 Kupplung für große Drehzahl, 9 Kupplung für kleine Drehzahl, 10 Wechselräder, 11 Antriebsmotor

*) Siehe SCHAUMJAN, G. A.: Automaten, 2. Aufl. VEB Verlag Technik, Berlin 1961.

*Tabelle 7.19: Ausführungsformen von Meßsteuerungen *)*

Meßsteuerung elektromechanisch	fotoelektrisch-mechanisch	pneumatisch-elektrisch
		

*) Automatisierung spanabhebender Werkzeugmaschinen. Berufsschullehrbuch. VEB Verlag Technik, Berlin 1967

besonderer Bedeutung ist das automatische Messen während des Prozeßablaufs. Verwendet man diese Prüfinformationen zur Steuerung des Prozesses, bezeichnet man das als *Meßsteuerung*. Gemessen werden können z. B.: Lage des Werkstücks, Zustand des Werkstücks, Abmessungen des Werkstücks oder Werkzeugs. In Abhängigkeit vom Meßergebnis wird entweder das Werkzeug eingestellt oder die Maschine abgeschaltet. Meßsteuerungen arbeiten in den meisten Fällen mit einem Regelkreis oder im einfacheren Fall mit einem Abschaltkreis.

Meßsteuerung wird vor allem an Hochgenauigkeitsmaschinen (z. B. Schleifmaschinen) für die Fein- und Feinstbearbeitung eingebaut. Tabelle 7.19 enthält *Ausführungsformen* von Meßsteuerungen, Tabelle 7.20 *Geräte* für Meßsteuerungen.

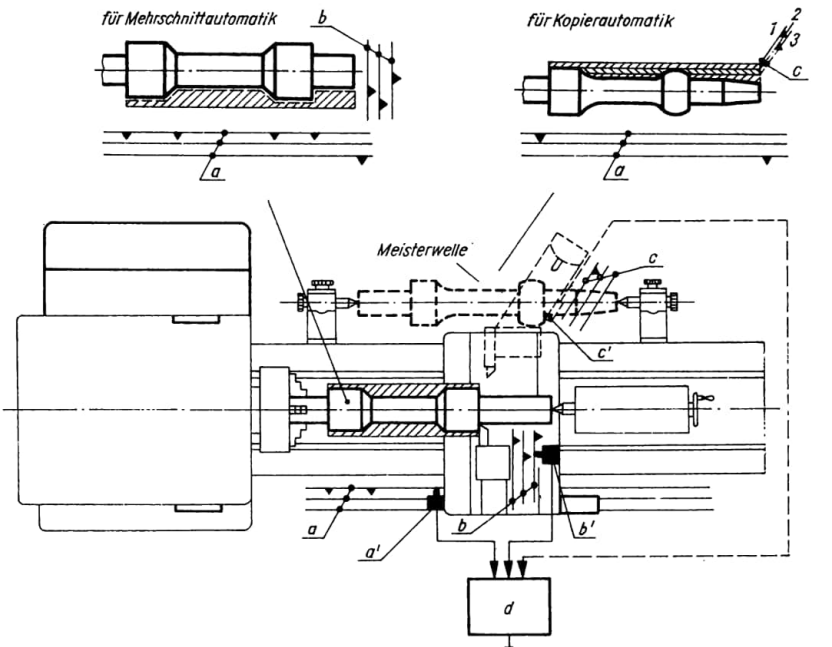


Bild 7.34. Aufbau und Informationsfluß einer programmgesteuerten Drehmaschine (Programmstecker- oder Lochkartensteuerung) mit Kopiereinrichtung (VEB Großdrehmaschinenbau »8. Mai«, Karl-Marx-Stadt)
a Nockenbahnen mit Nocken für Längsbewegung; a', b', c' Impulsgeber (Mikroschalter); b Nockenbahnen mit Nocken für Planbewegung; c Spantiefentrommel für Kopieren; d Zählsystem; e Programmspeicher; f Programmsteuerung; g Stellglieder; h Kontroll- und Bedienelemente

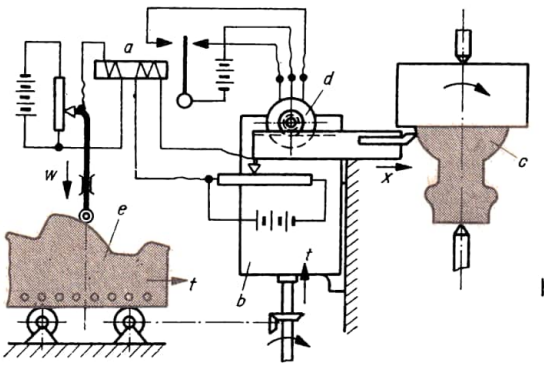


Bild 7.35. Aufbau und Wirkungsweise einer elektromechanischen Nachformsteuerung für eine Drehmaschine
a Relais; b Maschinentisch; c Werkstück; d Stellmotor; e Formspeicher; w Führungsgröße; x Regelgröße

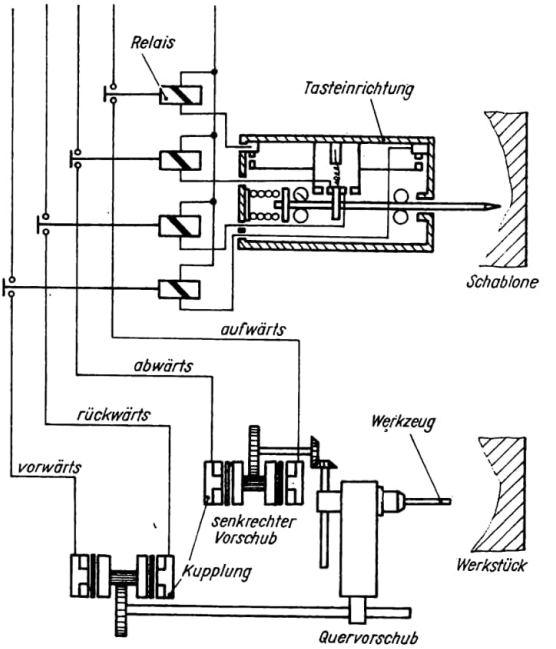


Bild 7.36. Steuerung der Stellglieder durch Taststift bei einer elektromechanischen Nachformsteuerung

Tabelle 7.20: Geräte für Meßsteuerungen

Geräte zur Kontrolle vor der Bearbeitung	während der Bearbeitung	nach der Bearbeitung
Aufgabe: Sie wirken vorbeugend und kontrollieren Werkzeuge, Halbfabrikate oder Ausgangsmaterial auf Fehler. Einsatz vor allem in automatischen Fertigungsstraßen.	Aufgabe: Die Geräte kontrollieren die Werkstücke während der Bearbeitung auf der Maschine. Sie werden sowohl auf Einzelmaschinen als auch auf Fertigungsstraßen eingesetzt. Besonders geeignet beim Schleifen von Wellen, Bohrungen und Ebenen.	Aufgabe: Prüfung auf Einhaltung vorgeschriebener Grenzmaße für ein Werkstück. Sie sind mit Impulszählern ausgerüstet, die z. B. nach dreimaliger Überschreitung der Grenzmaße einen Steuerimpuls abgeben, der einen Steuervorgang auslöst.

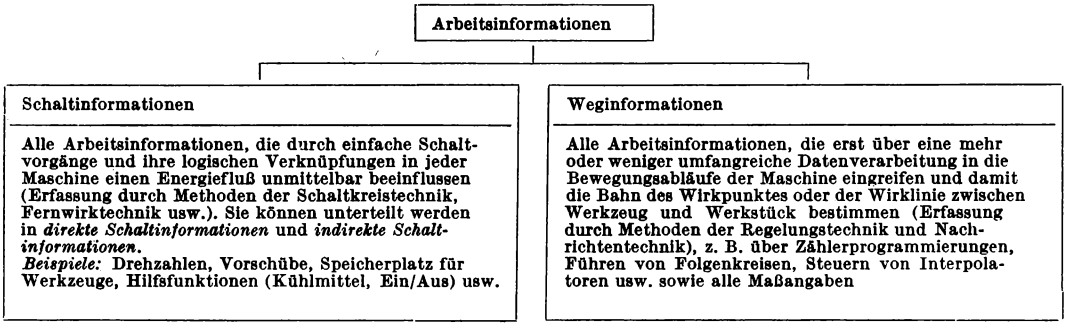


Bild 7.37. Einteilung der Arbeitsinformationen

7.2.7. Numerisch gesteuerte Maschinen

Die Bezeichnung *numerisch gesteuerte Maschine* ist dem Englischen entnommen: numerical control machine. Unter Verwendung der Anfangsbuchstaben ist abgekürzt die Bezeichnung NCM üblich. Gleichbedeutende Bezeichungen: zahlengesteuerte oder lochstreifengesteuerte Maschinen.
Numerische Steuerung ist eine allgemeine Bezeichnung für Steuerungen, bei denen die Befehle (Arbeitsinformationen) durch Ziffern ausgedrückt werden.
Bild 7.37 zeigt die Einteilung der Arbeitsinformationen.

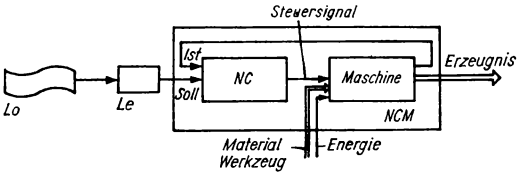


Bild 7.38. Schema einer *NC*-Werkzeugmaschine

Bild 7.38 zeigt das *Schema einer NC-Werkzeugmaschine:*

Der *Lochstreifen* Lo speichert sämtliche Arbeitsinformationen, die zur automatischen Herstellung eines Werkstückes notwendig sind. Im *Lesegerät* Le werden die maschinenlesbaren Lochkombinationen maschinell in elektrische Signale (Impulse) umgesetzt. Die *numerische Steuerung* NC empfängt Signale (Soll- und Ist-Information), speichert und verarbeitet sie nach logischen Gesetzen (Entschlüsseln, Umsetzen, Rechnen, Vergleichen) und gibt Steuersignale x für die NC-Maschine ab.

Eigenschaften der NCM

1. Die NCM ist ein wirkungsvolles Rationalisierungs- und Automatisierungsmittel für die Mittel- bis Kleinserienfertigung.
2. Sie kann in den produktionsvorbereitenden Abteilungen (Konstruktion) auch als NC-Zeichenautomat oder NC-Meßautomat eingesetzt werden.
3. Eine NCM ist eine Datenverarbeitungsanlage mit
a) externer Speicherung der Arbeitsinformationen in maschinenlesbarer codierter Form auf einem Lochstreifen,
b) maschineller Informationsübertragung in großen Mengen, mit hoher Geschwindigkeit, gegebenenfalls über große Entfernungen (Datenfernübertragung) und
c) maschineller Speicherung einschließlich Verarbeitung der Informationen durch die elektronische Steuerung (NC).
4. Eine NCM kann direkt oder indirekt durch eine EDVA gesteuert werden und besteht aus drei Teilsystemen: Steuerung (NC), Wegmeßsystem, Maschine (z. B. Werkzeugmaschine).
5. Beim Einsatz der NCM verlagert sich die Verantwortung für die Fertigungsqualität in die Fertigungsvorbereitung.

Äußere und innere Datenverarbeitung

Die äußere Datenverarbeitung umfaßt den Bereich von der technischen Zeichnung bis zum geprüften Informationsträger. Für alle dazwischenliegenden Aufgaben zeichnet der *Programmierer* (Technologe) verantwortlich. Er erhält von den Abteilungen Konstruktion und Technologie die notwendigen Unterlagen und hat dafür zu sorgen, daß alle Arbeitsinformationen mit Hilfe der Programmiervorschriften in ein Programm umgesetzt werden. Die Tätigkeit bezeichnet man als *Programmieren*. Eine Hilfskraft stellt bei der manuellen Programmierung nach dem Programm auf einem Codiergerät den Lochstreifen her. Bei der maschinellen Programmierung wird dieser als letztes Glied der *äußeren Datenverarbeitung* durch die EDVA hergestellt.
Die *maschinelle Verarbeitung* der auf dem Lochstreifen gespeicherten Arbeitsinformationen bezeichnet man im weitesten Sinn als *innere Datenverarbeitung*. Sie wird in der numerischen Steuerung ausgeführt. Es handelt sich in der Hauptsache um elektronische Schaltkreise, welche nach logischen Gesetzen die vom Lesegerät ankommenden Arbeitsinformationen als Signale verarbeiten (Bild 7.39).

Bild 7.40 gibt einen Überblick über die *Einteilung numerisch gesteuerter Maschinen.*

Äußere Datenverarbeitung: Bereich des Programmierers, der Fertigungsvorbereitung und des Codierers

Lochstreifen: Bindeglied zwischen äußerer und innerer Datenverarbeitung

Innere Datenverarbeitung: automatische Informationsverarbeitung in elektronischer Steuerung (NC)

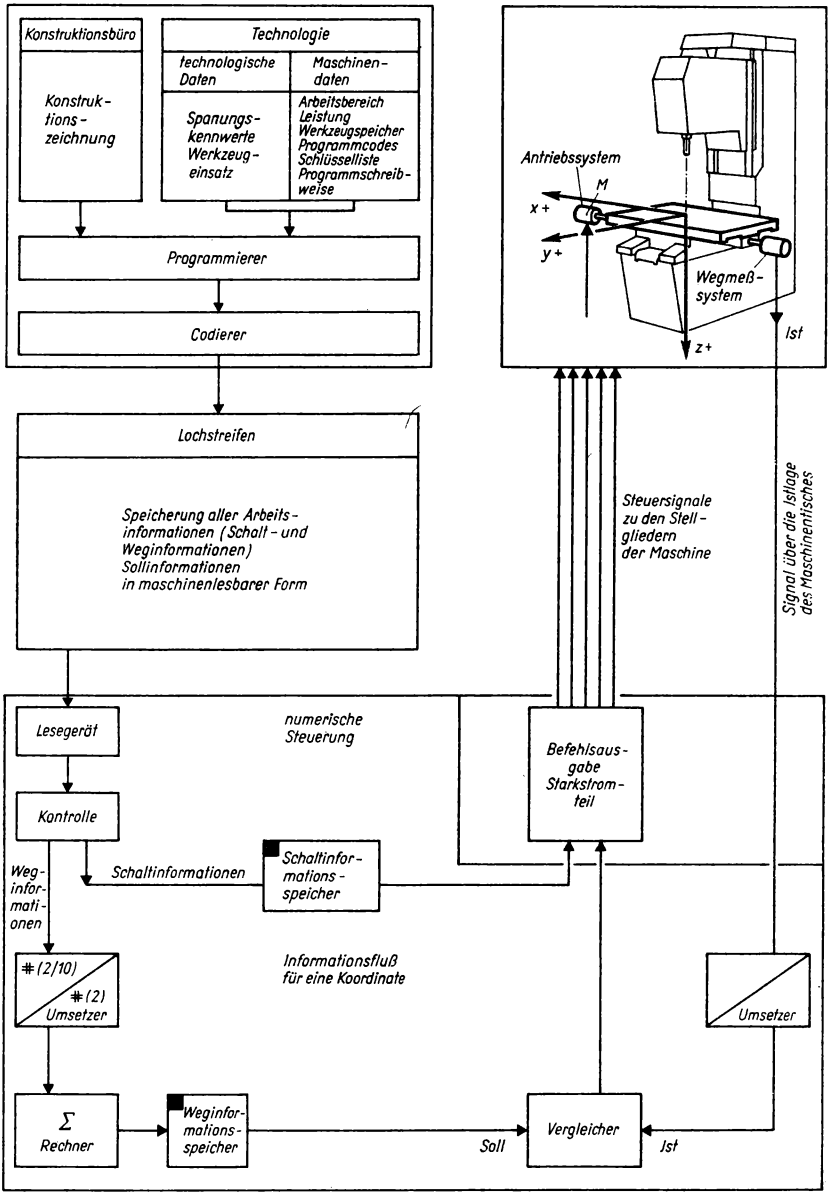


Bild 7.39. NCM-System

Numerisch gesteuerte Maschinen

ohne funktionellen Zusammenhang

mit funktionellem Zusammenhang

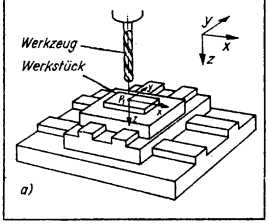
Bewegungen in den Koordinatenrichtungen x, y gleichzeitig, anschließend z

Bewegungen in den Koordinatenrichtungen x, y, z nacheinander

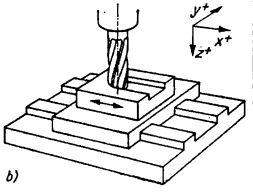
Bewegungen in zwei Koordinatenrichtungen gleichzeitig; ebene Kurven

Bewegungen in drei Koordinatenrichtungen gleichzeitig; räumliche Kurven

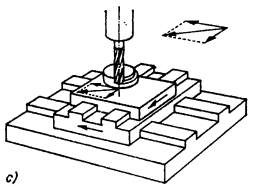
Punktsteuerung

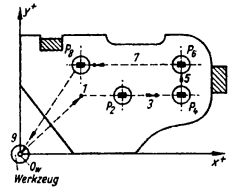


Streckensteuerung



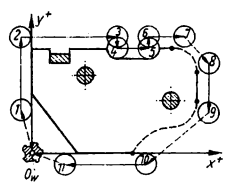
Bahnsteuerung





$y \neq f(x)$
Während des Positionierens wird nicht gespant.

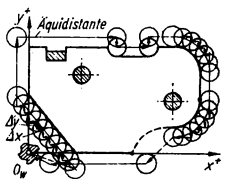
Einfahren der Positionen P_3, P_4, P_6 und P_8 ohne funktionellen Zusammenhang.
Schräge Wege wurden idealisiert dargestellt.
Eilgang: ···▶
Schleichgang: —▶
Bewegung der z-Koordinate: ■



$y \neq f(x)$
Während des Positionierens wird gespant.

Die Bewegung erfolgt parallel zu den Koordinatenrichtungen.
Schräge Bewegungen sind Sonderfälle. Mit der Streckensteuerung nicht bearbeitbare Konturen sind gestrichelt (----) gekennzeichnet.

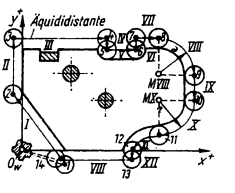
Punkt-zu-Punkt-Steuerung



$y \neq f(x)$
Positionieren in kleinen Treppenschritten

Verschiebungen um Beträge Δx und Δy werden nacheinander ohne funktionellen Zusammenhang ausgeführt.
$\Delta y \neq f(\Delta y)$
Bewegungen dürfen sich nicht überschneiden. Aus Gründen der Genauigkeit müssen Δx und Δy sehr klein sein. Kontur wird angenähert

Stetigbahn-Steuerung



$y = f(x)$
Positionieren mit resultierender Bewegung

Die Kurve wird nach mathematischen Gesetzen angenähert. Bahngeschwindigkeiten in x- und y-Richtungen sind verschieden und werden aus $y = f(x)$ abgeleitet. Die Interpolation wird von Rechnern (Interpolatoren) ausgeführt.

Bild 7.40. Einteilung numerisch gesteuerter Maschinen

Tabelle 7.21: Aufgaben der Teilsysteme einer NCM

Steuerung (NC)	Meßsystem	Maschine
Die numerische Steuerung ist eine elektronische Steuerung, die in einem Schaltschrank installiert ist. Sie besteht aus Teilsystemen, z. B. Entschlüßler, Umsetzer, Speicher, Rechenwerk, Abschaltkreis, Vergleicher für automatischen Geschwindigkeitsentscheid und automatischen Richtungsentscheid. Sie empfängt die vom Lesegerät in elektrische Signale umgesetzten Arbeitsinformationen (Soll-Informationen). Sie empfängt vom Wegmeßsystem elektrische Signale über die augenblickliche Lage der Maschinentische und der Spindel (Ist-Informationen). Sie speichert die eingehenden Signale. Sie verarbeitet die eingehenden Signale (Entschlüsseln, Umsetzen, Verrechnen, Vergleichen usw.). Sie gibt Steuersignale an die einzelnen Stellglieder der Maschine ab.	Die translatorischen (übertragenden) und rotatorischen (drehenden) Bewegungen an einer Maschine müssen gemessen und in Signale umgesetzt werden. Gemessen wird der zurückgelegte Weg des Werkzeugs oder des Werkstücks. Für jede numerisch gesteuerte Koordinate muß ein Wegmeßsystem vorhanden sein. Es mißt während des Einfahrens des Maschinentisches oder der Spindel die augenblickliche Lage (in 1/100- oder 1/1000-Schritten). Der gemessene Istwert wird in Signale umgesetzt und der numerischen Steuerung (speziell verschiedenen Vergleichern) zugeleitet und nach logischen Bedingungen mit dem Sollwert verglichen. Die Wegmessung sowie die Verarbeitung von Soll- und Istwert können analog (Bild 7.41) oder digital (Bild 7.42) erfolgen.	Zur vollautomatischen Fertigung eines Werkstücks empfängt die Maschine (z. B. Werkzeugmaschine) von der numerischen Steuerung alle notwendigen Steuersignale für die Betätigung der Stellglieder (Antriebsmotor für Maschinentisch oder Spindel → Ein-, Ausschalten; Links-, Rechtslauf; Eil-, Schleichgang usw.).

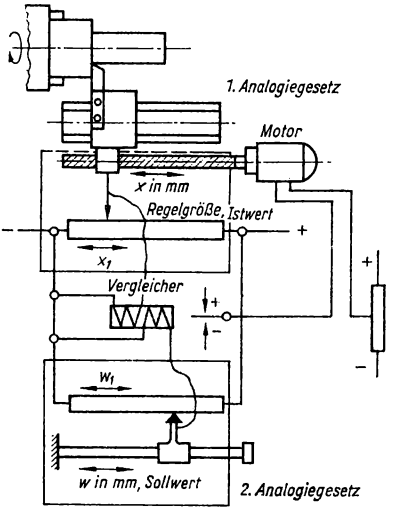


Bild 7.41. Analoger Soll-Ist-Vergleich

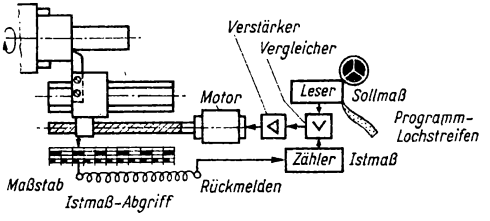


Bild 7.42. Digitaler Soll-Ist-Vergleich

Tabelle 7.22: Steuerungsarten bei Werkzeugmaschinen

Steuerungsart	Erläuterung	Beispiel
Punktsteuerung	Steuerung der Relativbewegung von Werkzeugen und Werkstücken auf einzelne definierte Punkte. Das Werkzeug ist dabei nicht im Eingriff (im Gegensatz zur Streckensteuerung). Mathematisches Kennzeichen: Zwischen den Bewegungsabläufen der in verschiedenen Achsrichtungen verlaufenden Maschinentische besteht kein Funktionszusammenhang.	Bohrmaschinen, Bohrwerke, Punktschweißmaschinen, Nietmaschinen usw.
Streckensteuerung	Sonderfall zwischen Punkt- und Bahnsteuerung. Die Bewegung des Maschinentisches erfolgt dabei achsparallel in jeweils nur einer Achse zwischen jeweils zwei definierten Punkten (Strecke). Das Werkzeug ist dabei im Eingriff. Mathematisches Kennzeichen: wie bei Punktsteuerung.	Drehmaschinen, Fräsmaschinen, Schleifmaschinen usw.
Bahnsteuerung	Steuerung der Relativbewegung von Werkzeugen und Werkstücken längs einer definierten Bahn beliebiger Form. Mathematisches Kennzeichen: Zwischen den Bewegungsabläufen der verschiedenen Maschinentische besteht ein ständiger Funktionszusammenhang.	*Zweiachssteuerung* Fräsmaschinen, Drehmaschinen, Brennschneidemaschinen, Zeichenmaschinen usw. *Dreiachssteuerung* Profilfräsmaschinen und alle Maschinen zur Herstellung von räumlichen Gebilden

8. Allgemeine Metallkunde

8.1. Allgemeine Übersichten über metallische Werkstoffe

In Tabelle 8.1 (s. S. 181) ist die vermutete *Zusammensetzung der Erdkruste* zusammengestellt.

Die seltenen Erdmetalle erlangten bisher in der Technik noch keine große Bedeutung, da ihr geringes Vorkommen einerseits und ihre technisch weniger interessanten Eigenschaften andererseits wenig Anwendungsmöglichkeiten bieten. Diese Stoffe sind gewöhnlich weiß bis grau gefärbt, gut verformbar durch Hämmern, Schmieden, Walzen, Strangpressen und Ziehen. Sie sind chemisch unedel, oxydieren leicht in Luft, werden von Wasser angegriffen und verbrennen z. T. bei etwa 200 °C. Sie werden in Masseln gehandelt, keine Halbzeuge. Einige dieser Metalle verbessern in Zusätzen von 0,1 bis 1 % die Warmbearbeitbarkeit des Stahles.

Tabelle 8.2 enthält angenäherte *Stoffwerte seltener Erdmetalle*, Tabelle 8.3 *Einteilungsmöglichkeiten der Metalle* (s. S. 181).

Allgemeine Grundlagen

Kennzeichnende *Eigenschaften* der Metalle sind der kristalline Aufbau, die gute Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität, das Reflexionsvermögen (metallischer Glanz), die Lichtundurchlässigkeit sowie die Festigkeit, die Bildsamkeit und das Verfestigungsvermögen (stark temperaturabhängig). Alle Metalle mit Ausnahme des Quecksilbers liegen bei Raumtemperatur in festem Zustand vor. Metalle und ihre Oxide lösen sich in Säuren auf, wobei Salze entstehen, in deren wäßrigen Lösungen sich positiv geladene Metallionen (Kationen) befinden. Von den z. Z. bekannten Elementen weisen etwa 70 metallische Eigenschaften auf, aber nur 20 bis 25 davon finden als Gebrauchsmetalle in der Technik Verwendung.

In der Regel kommen in der Natur die Metalle in Form ihrer Verbindungen mit Sauerstoff und Schwefel vor *(oxidische und sulfidische Erze)*. Gediegen werden vereinzelt Edelmetalle sowie Kupfer gefunden. Das geschätzte *Vorkommen der Metalle* in der Erdrinde zeigt Tabelle 8.4.

Tabelle 8.4: Vorkommen wichtiger Gebrauchsmetalle in der Erdrinde

Metall	%	Metall	%
Aluminium	7,5	Molybdän	0,0007
Eisen	4,7	Zinn	0,0006
Magnesium	1,9	Beryllium	0,0005
Titan	0,5	Platin	0,00005
Mangan	0,08	Antimon	0,00002
Chrom	0,033	Kadmium	0,00001
Nickel	0,02	Palladium	0,000005
Zink	0,02	Silber	0,000004
Kupfer	0,01	Quecksilber	0,000003
Wolfram	0,0055	Rhodium	0,000001
Kobalt	0,002	Tantal	0,000001
Vanadin	0,0016	Gold	0,0000005
Blei	0,0008		

In Tabelle 8.5 sind die Metalle, ihre Eigenschaften und Beispiele ihrer Verwendung zusammengestellt (s. a. Abschnitt 1.3.1.1, Tafel 8). Darin bedeuten: ϱ Dichte in g/cm³; t_{sm} Schmelztemperatur in °C; t_{sd} Siedetemperatur in °C; *HB* BRINELLhärte, *E* Elastizitätsmodul in kp/mm²; *R* elektrischer Widerstand in Ω mm²/m; *G* elektrischer Leitwert in m/Ω mm²; *c* spezifische Wärme in cal/g K; α linearer Ausdehnungskoeffizient in $\cdot 10^{-6}$/K; λ Wärmeleitfähigkeit in cal/cm s K.

8.2. Kristalliner Aufbau

Kristalliner Aufbau der Metalle

Alle Stoffe bauen sich aus Atomen auf, die durch verschiedene Bindungsverhältnisse miteinander verknüpft sein können. Für die Metalle ist besonders die *metallische Bindung* charakteristisch. Hierbei sind die Elektronen der äußeren Schale abgegeben, aber nicht von der Elektronenhülle eines anderen Atomes aufgenommen worden.

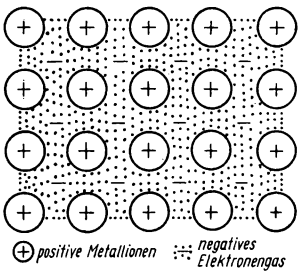


Bild 8.1. Metallische Bindung

Sie verbleiben als negativ geladene Teilchen frei im Verband der nunmehr als positiv geladene Ionen vorliegenden Metallatome und werden als *freie Elektronen* oder *Elektronengas* bezeichnet (Bild 8.1). Sie stellen eine starke negative Ladung dar, die bewirkt, daß sich in einem Metallkristall die geladenen Metallatome in bestimmter Anordnung mit festen Abständen befinden. Durch die Wirkung der Bindungskräfte bedingt, ordnen sich die Atome in ganz bestimmte *Kristall-* oder *Raumgitter* ein, wobei für jedes Metall ein charakteristischer Gittertyp und ein charakteristischer Gitterabstand bestehen. Die freien Elektronen im Metallgitter sind auch die Ursache der guten Leitfähigkeit der Metalle für Wärme und Elektrizität.

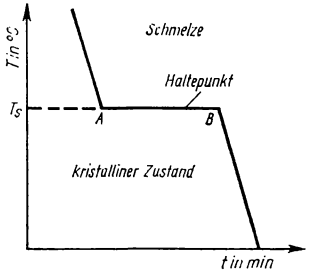


Bild 8.2. Entstehung des Haltepunktes bei der langsamen Abkühlung eines reinen Metalls

In der Schmelze (Bild 8.2) bewegen sich die Atome wahllos, ohne an einen bestimmten Platz gebunden zu sein. Dazu ist Energie erforderlich. Mit zunehmender Abkühlung wird ihnen Energie entzogen, und die Bewegung verlangsamt sich. Wird die Bewegungsenergie einiger Atome geringer als die Anziehungsenergie, so bilden sich Elementarzellen, die als Kristallisationskeime wirken (Punkt A). Weitere Atome lagern sich an die Keime an, und es entstehen (bei der Schmelztemperatur T_S) die Raumgitter. Haben sich alle Atome in die Raumgitter eingeordnet (Punkt B), so ist der Übergang von der Schmelze in den kristallinen Zustand erfolgt. In der Abkühlungskurve eines reinen Metalls macht sich das als Haltepunkt bemerkbar, denn die frei werdende Energiemenge (Bewegungsenergie) wird von den Atomen als Wärme abgegeben, wodurch die Temperatur der Schmelze so lange konstant bleibt, bis alle Atome in das Raumgitter eingeordnet sind.

Tabelle 8.1: Vermutete Zusammensetzung der Erdkruste bis 16 km *Tiefe in Masseprozenten* (nach A. P. WINOGRADOW)

Element	%	Element	%	Element	%	Element	%
O	47,2	H	(0,15) *)	F	0,027	Sn	0,004
Si	27,0	C	(0,1) *)	Zr	0,02	Co	0,003
Al	8,44	Mn	0,09	Cr	0,02	Y	0,0028
Fe	5,0	S	0,09	V	0,015	Nd	0,0025
Ca	3,6	P	0,08	N	0,01	La	0,0018
Na	2,64	Ba	0,08	Cu	0,01	Pb	0,0016
K	2,6	Cl	0,045	Li	0,0065	Ga	0,0015
Mg	2,1	Sr	0,04	Zn	0,005	Nb	0,001
Ti	0,6	Rb	0,031	Ce	0,0045	Gd	0,001

Elementvorkommen	
$<10^{-3}$	Th, Cs, Ge, Pr, Sm, Be, Sc, As, Dy, Er, Hf, B, Yb, Mo, U, Tl, Ta, Br, Tb, Ho, Eu, W, Lu
$<10^{-4}$	Fm, Se, Cd, Sb, J, Bi, In
$<10^{-5}$	Ag, Hg, Os, Pd, Te
$<10^{-6}$	Ru, Au, Pt, Ir, Re, Rh
$<10^{-10}$	Pa, Ra, Ac, Po, Rn

*) Klammerwerte weniger genau.

Tabelle 8.2: Angenäherte Stoffwerte seltener Erdmetalle

Metall	Dichte g/cm³	Schmelztemperatur °C	Metall	Dichte g/cm³	Schmelztemperatur °C
Sc	3,1	1400	Yb	7,010	1800
Y	4,34	1452	Gd	7,95	1200
Eu	5,244	826	Tb	8,33	1400
La	6,194	835	Dy	8,56	1400
Ce	6,78	793	Ho	8,76	1200
Pr	6,78	950	Er	9,164	1200
Pm	6,9	—	Tm	9,346	1400
Sm	6,93	135	Lu	9,740	1452
Nd	7,004	820			

Tabelle 8.3: Gebräuchliche Einteilungsmöglichkeiten für Metalle

Einteilung	Untergliederung					
allgemein	Eisenwerkstoffe		Nichteisenmetalle			
nach der Dichte	Leichtmetalle		Grenze ≈ 4,5 kg/dm³		Schwermetalle	
nach dem chemischen Verhalten	Edelmetalle (Gold, Silber, Platin)		unedle Metalle (z. B. Aluminium, Eisen)			
nach dem Schmelzpunkt in °C	niedrigschmelzend (unter 950 °C)		hochschmelzend (950 ··· 2000 °C)		höchstschmelzend (über 2000 °C)	
	Lithium	179	Silber	960	Iridium	2454
	Zinn	232	Gold	1063	Niob	2468
	Wismut	271	Kupfer	1083	Molybdän	2622
	Kadmium	321	Mangan	1245	Osmium	2700
	Blei	327	Beryllium	1285	Tantal	2996
	Zink	419	Nickel	1455	Wolfram	3380
	Antimon	630	Kobalt	1490		
	Magnesium	650	Eisen	1539		
	Aluminium	660	Titan	1727		
			Platin	1773		
			Zirkonium	1860		
			Chrom	1920		
nach der Farbe	Schwarzmetalle (Eisen und seine Legierungen)		Buntmetalle (Kupfer und seine Legierungen)		Weißmetalle (Legierungen des Antimons, Bleis und Zinns)	
nach der Herstellung	reguline Metalle (schmelzmetallurgisch gewonnen)		Sintermetalle (aus Metallpulvern gewonnen)		elektrolytisch abgeschiedene Metalle (hoher Reinheitsgrad, z. B. Elektrolytkupfer)	
nach dem Verwendungszweck	z. B. Legierungsmetalle, Gleitlagermetalle, Überzugsmetalle, Letternmetalle					

Tabelle 8.5: Eigenschaften und Verwendung von Metallen (Bezugstemperatur 20 °C)

Metall ϱ g/cm³	t_{sm} °C t_{sd} °C	*HB*	*E* kp/mm²	*R* Ω mm²/m *G* m/Ω mm²	*c* (0···100 °C) cal/g K α in 10^{-6}/K	λ cal/cm s K	Eigenschaften	Anwendung
Aluminium Al 2,7	660 2500	16	7000	0,0286 35,4	0,22 24	0,53	auf frischen Schnittflächen bildet sich eine schützende Oxidschicht, die auch die Verschleißfestigkeit verbessert; Al wird von Laugen stark, von Säuren weniger angegriffen; es ist weißlich, gieß-, schmied-, hämmer- und dehnbar, kann geschweißt und mit Al-Lot gelötet werden, läßt sich zu Folien auswalzen	in Barren, Blöcken, Drähten, Blechen und zahlreichen standardisierten Profilen gehandelt; Verwendung im Behälterbau und in der Elektrotechnik, mit Legierungszusätzen im Flugzeugbau, Fahrzeugbau, für Büromöbel, Haushaltgegenstände, Gerüstbau, Verpackungszwecke, als Alufolie, im Leichtbau allgemein
Antimon Sb 6,69	630,5 1440	30	7900	— 2,3	0,05 10	0,06	sehr spröde, giftig, wirkt in Legierungen härtesteigernd, widersteht Salzsäure und verdünnter Schwefelsäure, silberweiß, glänzend, leicht pulverisierbar	rein kaum angewendet, Legierungselement für Weißmetallager, Hartblei, Rohr- und Schrotblei, Lettern-metall, Batterien, Druckguß aus Pb-Sn-Legierungen
Barium Ba 3,74	717 1686	42	1300		0,07 19	—	weiches, an der Luft und im Wasser unbeständiges Erdalkali, besitzt als Bariumtitanat $BaTiO_3$ hohe Dielektrizitätszahl	Bariumsulfat ist schwerlöslich, dient als Kontrastmittel für Röntgenuntersuchungen, als Permanentweiß für Nitrolacke, Aquarell-, Druck- und Tapetenfarben; ergibt Grünfeuer in der Feuerwerkerei; dient zum Enthärten gipshaltigen Kesselspeisewassers, für chemische Gerätegläser $BaCO_3$, BaO_2 als Oxydationsmittel, für Kondensatoren hoher Kapazität, für Ultraschallsender
Beryllium Be 1,86	1285 2970	60	30000	0,2 5	0,24 —	0,44	hellgraues, hartes, sprödes, seltenes Leichtmetall, ritzt Glas, besitzt hohe Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen, Legierungen z. T. aushärtbar	rein kaum verwendet; Berylliumbronze mit 1,5···2,5 % Be für hochbeanspruchte Teile, da sie sehr hart und verschleißfest ist (aushärtbar durch Abschrecken aus 750 °C und Anlassen bei 320 °C); 0,03 % Be verzögert Oxydation des Magnesiums; bis 4 % Be steigert Festigkeit von Al beträchtlich (Flugzeugbau); Sonderlegierungen für Reaktortechnik, für funkenfreie Werkzeuge explosionsgefährdeter Arbeiten
Blei Pb 11,34	327,4 1750	3	1600	0,21 4,8	0,031 29	0,09	bläulichweißer silberglänzender Bruch, feinkörnig, sehr weich, gut gießbar, duktil, d. h. gut verformbar durch Walzen, Hämmern, Pressen; säurefest, geringe Festigkeit, sehr giftig	in Barren, Blöcken, Stangen, Rohren, Blechen, Platten und granuliert gehandelt; Wasserleitungsrohre, Akkumulatoren, Bleikabel, säurefeste Behälter für chemische Industrie, Antiklopfmittel für Vergaserkraftstoffe (Bleitetraäthyl $Pb(C_2H_5)_4$, Blei-

Tabelle 8.5 (Fortsetzung)

Metall ϱ g/cm³	t_{sm} °C t_{sd} °C	*HB*	*E* kp/mm²	*R* Ω mm²/m *G* m/Ω mm²	*c* (0···100 °C) cal/g K α in 10^{-6}/K	λ cal/cm s K	Eigenschaften	Anwendung
								mischung etwa 0,03 %, sehr giftig!); Bleiweiß, Bleimennige, Flint- und Kristallglas
Chrom Cr 7	1920 2327	70	—	— 6	0,104 8	0,07	weißliches, sprödes, beständiges Metall, glänzend	wirkt im Stahl korrosionshemmend; Überzugsmetall für Schutz- und Zierverchromungen; Legierungsmetall für Werkstoffe elektrischer Widerstände (Heizdrähte); Chromnickelstähle für Zahnräder, hochbeanspruchte Teile im Schiff-, Motoren- und Kraftfahrzeugbau, Chromfarben
Eisen Fe 7,86	1539 2740	45	21600	0,12 8,3	0,111 12,5	0,16	siehe Abschn. 10	Fertigungstechnik, Standardisierung
Gallium Ga 5,91	29,78 2344						bläulichweiß, glänzend, selten; dehnbar, läßt sich gut hämmern und schmieden	für Quarzglasthermometer hoher Temperaturen bis 1000 °C
Germanium Ge 5,35	958 2700			— $2 \cdot 10^{-6}$	0,077 6	0,1	sprödes, grauglänzendes Metall, Nebenprodukt der Zinkdarstellung	neben Silizium wichtigstes Metall der Halbleiterindustrie handelsübliches pulverförmiges Germaniumoxid GeO_2 kann bei 650 °C im Vakuum mit reinem Wasserstoff zu metallischem Ge reduziert werden
Gold Au 19,29	1063 2660	18,5	8100	— 44,4	0,031 14	0,73	gelblich glänzendes, sehr korrosionsfestes Edelmetall, weich, größte Dehnbarkeit aller Metalle, läßt sich schmieden, hämmern, ziehen, löten und schweißen; sehr gut polierbar, wird erst durch Legierungen ausreichend gebrauchshart und verschleißfest	Währungsmetall, Schmuckindustrie, auswalzbar zu sehr dünnen Folien (Blattgold), Dentalwerkstoff, Kontaktmaterial
Hafnium Hf 13,31	2220 5200						stahlglänzendes, sehr beständiges, seltenes Metall mit diamantartigen Eigenschaften; widersteht Alkalilaugen und verdünnten Säuren; dem Zirkon sehr ähnlich, in dessen Erzen es vorkommt	wegen seines hohen Einfangquerschnitts für thermische Neutronen als Aktivitätskontrollstäbe benutzt; die sehr harten Nitride und Karbide können für Sonderzwecke bei hohen Temperaturen eingesetzt werden; Schmelztemperatur HfC 3900 °C
Iridium Ir 22,4	2454 4350		52500	— 19	0,032 6,5	0,14	weißes, platinähnliches, hochglänzendes, sehr hartes und korrosionsfestes Metall, unlöslich in Königswasser, inaktivstes aller Platinmetalle	wirkt härtesteigernd in Legierungen; geeignet für chemische Geräte und für Normale im Meßwesen, verbessert die Verschleißfestigkeit in Gold- und Platinlegierungen
Kadmium Cd 8,65	321 765	35	5100	— 13,2	0,055 41	0,23	glänzendweiß, sehr weich, duktil (dehn- und streckbar, gut verarbeitbar), walz- und ziehbar	Korrosionsschutzüberzüge für Stahl, Batterien (Ni-Cd-Elemente), als WOODsches Metall

Tabelle 8.5 (Fortsetzung)

Metall ϱ g/cm³	t_{sm} °C t_{sd} °C	*HB*	*E* kp/mm²	*R* Ω mm²/m *G* m/Ω mm²	*c* (0···100 °C) cal/g K α in 10^{-6}/K	λ cal/cm s K	Eigenschaften	Anwendung
								aus 8 Teilen Blei, 15 Teilen Wismut, 4 Teilen Zinn und 3 Teilen Kadmium schmilzt es bei 60 °C; ist polierfähig und, da es sich beim Erkalten etwas ausdehnt, für festsitzende Einschmelzungen geeignet
Kalium K 0,86	63,5 776	0,04	—	— 14,1	0,17 84	0,23	silberweißes, weiches Alkalimetall; in Luft und Wasser heftig oxydierend, natürliches Vorkommen deshalb nur in Verbindungen, z. B. in Kalisalzen	nur in Verbindungen großtechnische Nutzung, z. B. als Kaliumhydroxid KOH bei der Seifenherstellung und als starke Lauge vielseitig in chemischer Industrie, als Karbonat K_2CO_3 in der Glasindustrie, als Kaliumnitrat KNO_3 für Düngemittel und Sprengstoffe, als Zyankali KCN in der Galvanotechnik
Kalzium Ca 1,55	850 1487	13		— 21,8	0,155 22		silberweißes Erdalkalimetall; färbt Flamme ziegelrot; unedel; kommt natürlich in Verbindungen vor, z. B. in Kalkstein, Kreide, Marmor, Quellwässern	Verbindungen des Kalziums in der Bauindustrie als Kalk, Gips $CaSO_4$, als Kalziumnitrat $Ca(NO_3)_2$ Düngemittel, Karbid CaC_2 zur Azetylengewinnung
Kobalt Co 8,83	1490 3185	125	20800	— 10,4	0,104 13	0,18	grauglänzendes, hartes, magnetisches Metall; häufiger Bestandteil der Nickelerze	fast nur in Verbindungen bzw. in Legierungen verwendet, für Hartmetalle, Werkzeugstähle, Magnetwerkstoffe, Blaufarbe für Gläser, Porzellane, Malerfarben; sein radioaktives Isotop für Bestrahlungen
Kupfer Cu 8,92	1083 2595	50	13000	0,0175 57	0,092 16,5	0,94	rotglänzender Bruch, unlegiert schlecht gießbar, kalt und warm sehr geschmeidig, dehn-, walz- und hämmerbar, läßt sich gut hart- und weichlöten, mit Sonderelektroden elektrisch schweißen; Kupfersalze sind giftig!	Elektrolytkupfer als Leitungsmaterial in Elektroindustrie, mit Zink legiert zu Messingen und Tombak, mit Zinn und anderen Metallen zu Bronzen aller Art und Lagermetallen, für Schmuck, Kesselleitungen, Kessel, Armaturen, Beschläge, Kupferstichplatten, Münzen, Lötkolben
Lanthan La 6,15	920 3469	36	—	— 1,7	0,045 —	—		
Lithium Li 0,53	179 1372	—	500	— 11,8	1,09 58	0,16	silberweißes, leichtestes Metall, härter als Na und K, zäh wie Blei, gut ziehbar zu Drähten	Antioxydationsmittel in der Stahl- und Kupfermetallurgie, erhöht bei Aluminium- und Bleilegierungen die Härte und wird zur Entschwefelung sowie Entgasung vieler Metalle verwendet
Magnesium Mg 1,74	650 1102	25	4500	— 25	0,24 26	0,41	silberweißes, dehnbares Leichtmetall, verbrennt mit blendend weißem Licht	Mg-Knetlegierungen enthalten Al, Mn, Zn, für Bleche, Profile, Rohre; Mg-Gußlegierungen enthalten

Tabelle 8.5 (Fortsetzung)

Metall ϱ g/cm³	t_{sm} °C t_{sd} °C	*HB*	*E* kp/mm²	*R* Ω mm²/m *G* m/Ω mm²	*c* (0···100 °C) cal/g K α in 10^{-6}/K	λ cal/cm s K	Eigenschaften	Anwendung
								z. T. noch Si; bekannte Al-Zn-Mg-Legierung ist das Elektronmetall, bekannte Mg-Al-Legierung ist das Duralumin
Mangan Mn 7,21	1245 2152	—	20000	— 2,3	0,12 22	0,12	sehr hartes, silberweißes, sprödes Schwermetall, wirkt in Stahl- und Gußeisenschmelze desoxydierend	nur in Legierungen; harte Manganstähle, Federstähle; Manganhartstahl ist verschleißfest; für Baggerteile, Schienen usw.
Molybdän Mo 10,2	2622 4800	160	34000	— 23	0,065 5,2	0,35	silberweißes, beständiges Schwermetall, läßt sich treiben, hämmern, walzen, ziehen; gut dehnbar	wichtiges Legierungselement des Stahles in vergütetem oder in z. T. gehärtetem Zustand für Zahnräder, Rohre, hochbeanspruchte Bauteile aller Art, ersetzt oft höherprozentige Chrom- und Nickelanteile im Stahl
Natrium Na 0,97	97,8 890	0,07	—	— 21,7	0,297 71	0,32	silberweißes, sehr weiches, weitverbreitetes Alkalimetall, nur in Verbindungen vorkommend (Kochsalz NaCl), färbt Flamme gelb, Aufbewahrung in Petroleum, da an Luft selbstentzündlich, zersetzt sich in Wasser lebhaft zu NaOH	Oxydationsmittel in der Metall- und Textilindustrie. Schmierseifenherstellung, Viskosekunstseide, Zellulosegewinnung, Farbenindustrie; wichtige Verbindungen sind NaCl, NaOH, Soda, Glaubersalz, Borax, Wasserglas
Nickel Ni 8,9	1455 2800	80	21000	0,1 10	0,106 13	0,14	silberweißes, hartes Metall, beständig gegen Luft, Wasser, Alkalien und schwachkonzentrierte Säuren. In der Schmelze aufgenommener Sauerstoff erfordert Desoxydation, da sonst Werkstücke kaltbrüchig sind. Ni läßt sich schmieden, walzen, pressen, drücken und ziehen.	Legierungsmetall; z. B. zeichnen sich Chromnickelstähle neben guter Härte durch große Zähigkeit aus; Zahnräder, Kurbelwellen, warmfeste Bauteile, Plattierungsmetall für chemische Industrie. Ni mit 2 % Titan und etwa 2 % Beryllium ermöglicht in gehärtetem Zustand Zugfestigkeiten bis 190 kp/mm². In der Elektrotechnik verwendet als legierte Widerstandsmetalle, hitzebeständige Anodenbleche; Galvanotechnik
Niob Nb 8,4	2468 3700	250	—	— 4,3	0,065 7,1	—	hellgrau, glänzend, widersteht Säuren einschl. Königswasser; Härte etwa Flußstahl entsprechend, läßt sich gut schmieden, walzen, ziehen und schweißen; unbeständig gegen Flußsäure	Legierungsmetall für Sonderstähle der Kerntechnik, Hochvakuumtechnik; als Ferroniob macht es, in geringer Menge zulegiert, CrNi-Stähle (austenitisch) anlaßbeständig
Osmium Os 22,41	2700 4400	—	57000	— 10,5	0,03 6,7		bläulichweißes, hartes, sprödes Platinmetall, schwerstes aller Elemente	für harte Platinlegierungen; für verschleißfeste Legierungen; hitzebeständig; nur beschränkt anwendbar, da es teuer ist

Tabelle 8.5 (Fortsetzung)

Metall ϱ g/cm³	t_{sm} °C t_{sd} °C	*HB*	*E* kp/mm²	*R* Ω mm²/m *G* m/Ω mm²	*c* (0···100 °C) cal/g K α in 10^{-6}/K	λ cal/cm s K	Eigenschaften	Anwendung
Palladium Pd 11,96	1554 3560	50	11500	0,1 9,8	0,06 11,9	0,17	silberweißes Platinmetall, weich, dehnbar, gut verformbar, kann große Mengen Wasserstoff aufnehmen (Platinmohr)	Katalysator für Hydriervorgänge, Legierungsmetall für Spinndüsen u. ä.
Platin Pt 21,43	1773 4010	50	17000	0,108 9,5	0,032 9	0,17	glänzend grauweißes, wertvolles Edelmetall, läßt sich gut schmieden, schweißen, walzen, pressen, ziehen, polieren, chemisch sehr widerstandsfähig, korrosionsfest, löst sich in Königswasser	Plattierungsmetall für chemische Industrie, Tiegel für Laboratorien, Elektrotechnik, Kontaktmaterial, Widerstandsthermometer; Schmuckindustrie
Quecksilber Hg 13,55	—38,84 357	flüssig	flüssig	0,95 1,04	0,033 182 (räuml.)		silberweißes, bei Raumtemperatur flüssiges Metall; Dämpfe sehr giftig; chemisch beständig; große Oberflächenspannung	Thermometer, Vakuumpumpen, physikalische Geräte, in der Elektrotechnik für Gleichrichterröhren, Lampen; Saatbeizen; bekannte Legierungen sind die schnell härtenden Amalgame (Dentaltechnik)
Radium Ra 5	700 1140	—	—	—			weißglänzendes, unbeständiges Metall; radioaktives Element, Halbwertzeit 1620 a	ursprünglich für medizinische Bestrahlungen und Werkstoffprüfungen, heute durch billigere Isotope, z. B. Kobalt 60, verdrängt
Rhenium Re 20,58	3170 5630	250	47000	— 4,8	0,035 6,7	0,12	weißglänzendes, hartes Schwermetall; sehr gut einsetzbar für thermisch hoch beanspruchte Legierungen, besonders mit Wolfram und Molybdän; kommt aber nur in geringen Mengen vor: verbessert Zähigkeit der Werkstoffe	geeignet für Thermoelemente und hochwarmfeste Sonderlegierungen in kleinen Mengen
Rhodium Rh 12,4	1966 3960	110	28000	— 16,6	0,058 8	0,37	silberweißes, sprödes, härtestes Platinmetall; besonders korrosionsfest gegen Industriegase; hohe Verschleißfestigkeit	Schutzüberzüge mit gebräuchlicher Schichtdicke 0,2···0,5 µm, da dicker rhodinierte Teile leicht Mikrospannungsrisse erhalten; vorzüglicher Anlaufschutz, häufig für Silber angewendet
Rubidium Rb 1,52	39 713	0,02	—	— 8,1	0,08 90	—	silberweißes, weiches, seltenes Alkalimetall; an Luft selbstentzündlich	für wissenschaftliche Zwecke
Ruthenium Ru 12,2	2450 4100	220	—	— 6,9	0,061 10	—	grauweißes, sprödes, hartes Platinmetall	vereinzelt als Legierungszusatz zur Härtesteigerung
Silber Ag 10,5	960 2210	20	7500	0,0165 62,5	0,056 19	1,01	weißglänzendes, weiches Edelmetall; läßt sich mechanisch sehr gut bearbeiten, gut schmieden, walzen, ziehen, treiben, hämmern, löten, polieren; wird von Schwefel und seinen Verbindungen geschwärzt	bester Wärme- und Elektrizitätsleiter, daher guter Kontaktwerkstoff; mit Kupfer legiert für härtere Gebrauchsgegenstände wie Silberbromid u. a. in Fotoindustrie; Münzen, Schmuck, Lote
Silizium Si 2,34	1410 2630	—	11500	— $2 \cdot 10^{-9}$	0,17 7		sowohl metallisch wie unmetallisch vorkommend; bildet grauglänzende, spröde, sehr harte Kristalle; diese	Legierungsmittel für Stahl und Gußeisen, macht dieses dünnflüssig; fördert durch verbesserte Wärmeleit-

Tabelle 8.5 (Fortsetzung)

Metall ϱ g/cm³	t_{sm} °C t_{sd} °C	*HB*	*E* kp/mm²	*R* Ω mm²/m *G* m/Ω mm²	*c* (0 ··· 100 °C) cal/g K α in 10^{-6}/K	λ cal/cm s K	Eigenschaften	Anwendung
							wie auch die nichtkristallinische Modifikation (amorph) sind unbeständig gegenüber Alkalilaugen	fähigkeit die Durchhärtung, z. B. bei Federstählen; CrSi-Stähle nur mit Sonderelektroden schweißbar; AlSi-Legierungen ergeben feste und dichte Gußstücke, als Kolbenlegierungen bis 23 % Si, Verminderung der Wärmeausdehnung; wichtigster Werkstoff für Leistungstransistoren
Strontium Sr 2,6	757 1364	—	—	— 3,3	0,074 —		silberweißes, zähes Erdalkalimetall, färbt Flamme rot, oxydiert leicht an Luft	für die Feuerwerkerei wird $Sr(NO_3)_2$ verwendet; Zuckerindustrie
Tantal Ta 16,7	2996 4100	30	19000	— 6,5	0,034 6,5	0,13	weißglauglänzendes, hartes, sehr zähes Metall, läßt sich zu feinen Drähten ausziehen; Draht 0,08 mm Durchmesser hat z. B. Elastizitätsmodul 1900 kp/mm². Ta ist chemisch sehr widerstandsfähig gegen Säuren und Laugen außer Flußsäure	Laborgeräte; Legierungsmetall zur Stahlveredlung; Elektrodenmaterial; besonders geeignete Kondensatoren; Spinndüsen für Kunstseide, Heizschlangen
Thallium Tl 11,84	302 1457	3	800	— 5,7	0,032 29	0,1	weißglänzendes, weiches Metall; giftig; färbt Flamme grün	Glasindustrie; Schädlingsbekämpfung
Thorium Th 11,7	1827 3530	40	8000	— 7,2	0,028 11,1	—	silberglänzendes, schwach radioaktives Metall	Kerntechnik, Kontrastmittel der Röntgentechnik
Titan Ti 4,43	1727 3260	160	11800	— 2,3	0,113 9	0,04	silberweißes, hartes, dem Stahl ähnliches Metall	Titanstähle für ballistische Fernwaffen; Titankarbide für Hartmetalle; Titandioxid TiO_2 für Glasuren und Email-Trübungsmittel; Adsorptionsmittel; in der Elektrotechnik für Keramikkondensatoren mit hohem Dielektrikum
Uran U 19	1132 3500		13000	— 5	0,029 16	—	silberglänzendes, radioaktives Metall; Uransalze sind fluoreszierend	Kerntechnik; seine giftigen Salze sind Farbmittel der Glas- und Porzellanindustrie
Vanadin V 6,07	1720 3400	260	—	— 16,7	0,115 12	—	graues, sprödes, sehr hartes Metall, in Salpetersäure löslich	steigert Härte und Standfestigkeit der Werkzeugstähle; Verwendung im Panzerstahl; Katalysator in der chemischen Industrie; reines Vanadin wird in der Kerntechnik verwendet
Wismut Bi 9,8	271 1560	9	3200	— 0,85	0,029 12	0,03	rötlichsilberweißes, sprödes und grobkristallines Metall, in Luft und Wasser beständig, löst sich in konzentrierter Salpetersäure; die elektrische Leitfähigkeit sinkt bei niedrigen Temperaturen und bei magnetischer Einwirkung stark ab	die niedrigschmelzenden Legierungen werden als Lote sowie zu Leitungs- und Feuerschutzsicherungen verwendet; z. B. LIPOWITZ-Metall 50 % Bi, 26,7 % Pb, 13,3 % Sn, 10 % Cd, schmilzt bei 70 °C; ROSEs Metall 50 % Bi, 25 % Pb,

Tabelle 8.5 (Fortsetzung)

Metall ϱ g/cm³	t_{sm} °C t_{sd} °C	*HB*	*E* kp/mm²	*R* Ω mm²/m *G* m/Ω mm²	*c* (0···100 °C) cal/g K α in 10^{-6}/K	λ cal/cm s K	Eigenschaften	Anwendung
								25 % Sn, schmilzt bei 94 °C; WOODsches Metall 50 % Bi, 25 % Pb, 12,5 % Sn, 12,5 % Cd, schmilzt bei 60 °C, s. a. unter Kadmium
Wolfram W 19,3	3380 5930	250	37000	0,055 18,2	0,034 4,5	0,38	silberweißes, sprödes Metall; wird bei etwa 1300 °C gut formbar; löst sich nur im Flußsäure-Salpetersäure-Gemisch	feinstgezogene Drähte für Glühlampenherstellung; Legierungsmetall für Schnellarbeitsstähle; Zündkontakte für Kfz, Hochvakuumtechnik, Wolframkarbide für Hartmetalle
Zäsium Cs 1,88	28,5 690	0,02	—	— 4,75	0,06 97	—	silberhelles, fast wachsweiches Alkalimetall; sehr unbeständig; unedel; selbstentzündlich an Luft	löst in Fotozellen bei Belichtung Elektronenstrom aus: seine Atomschwingungen dienen in Atomuhren der Zeitmessung
Zer Ce 6,8	815 1400	21	—	— 1,3	0,045 —	—	eisengraues Metall; dehnbar; leicht entzündlich, deshalb nicht spanbar (spanentzündlich)	in der Elektrotechnik verbessert es die Zunderbeständigkeit der CrNi-Heizdrähte; für Feuersteine in Gasanzündern
Zink Zn 7,14	419,5 907	35	10000	0,063 16,5	0,093 29	0,26	bläulichweißgraue Farbe; glänzender, feinkörniger Bruch; gut gießbar; spröde bei Raumtemperatur und etwa 200 °C; bei 150 °C hämmer-, walz- und ziehbar; gutes Rostschutzmittel, überzieht sich bei Feuchtigkeit mit $ZnCO_3$, das nur wenig oxydiert; Zinksalze sind giftig	verzinkte Stahlbleche für Gefäße, Gießkannen, Wannen usw.; mit Cu legiert zu Messing und Tombak; Zinkchlorid ist Ätzmittel zur Holzkonservierung; Zinkplatten für galvanische Elemente, Klischees und Lötwasser
Zinn Sn 7,28	231,8 2430	4	5500	0,11 9,1	0,054 27	0,15	silbrigweiß glänzendes, mäßig hartes Metall; sehr gut dehn- und walzbar; beständig in Luft und Wasser; zwischen 160 und 210 °C sehr spröde, löslich in Laugen und konzentrierter heißer Salzsäure; knirscht beim Biegen; durch Hämmern gut verformbar	Weißblech, Bronzen, Schnellote, Lagermetalle, Haushalt- und Kunstgegenstände, verzinnte Geräte, Spielwaren, Antimon-Kupfer-Blei-Zinn-Legierungen für Spritzguß, Lettern-metall, Überzugsmetall zum Korrosionsschutz; Metall geht unter —20 °C in amorphen Zustand über; Zinn muß frei von Zn und Al sein
Zirkonium Zr 6,49	1860 2900	80	7000	0,4 2,4	0,07 6,3		hellgraues, duktiles Metall (gut dehn-, walz- und ziehbar); chemisch widerstandsfähig gegen Laugen und Salpetersäure, hitzebeständig, gegen Temperaturschwankungen unempfindlich; fester als Quarzglas	zur Herstellung nichtrostender Stähle; feuerfeste chemische Geräte, Innenauskleidung für Strahltriebwerke, Trübmittel für Email, Zusatz für Edelmetalle, reines Zr für Kern- und Hochvakuumtechnik; bewirkt Feinkörnigkeit der Mg-Legierungen

8.2.1. Gittertypen

Durch die Wirkung der Bindungskräfte ordnen sich die Atome je nach ihrer Eigenart in ganz bestimmter Weise zu den aus Elementarzellen aufgebauten *Raumgittern*. Metalle gleichen Gittertyps unterscheiden sich durch die unterschiedlichen *Gitterkonstanten* (Kantenlänge der Elementarwürfel), die in der Größenordnung 10^{-8} cm angegeben werden. Tabelle 8.6 gibt einen Überblick über Gittertypen und Gitterkonstanten wichtiger Metalle.

Tabelle 8.6: Gittertypen und Gitterkonstanten der wichtigsten Gebrauchsmetalle

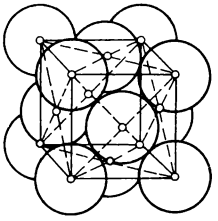
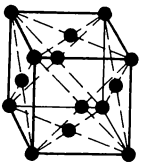
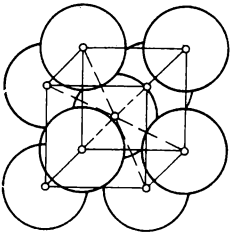
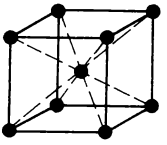
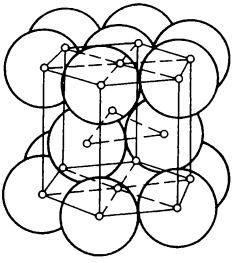
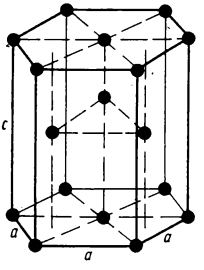
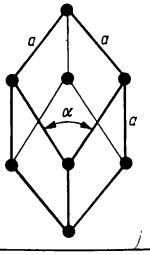
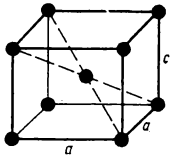
Gittertypen			Metall	Gitterkonstanten in 10^{-8} cm	
Bezeichnung	Modelldarstellung (Atome als Kugeln)	Schematische Darstellung		a	c oder Rhomboederwinkel
kubisch-flächenzentriert (kfz)			Aluminium	4,0489	—
			Blei	4,9494	—
			Gold	4,0783	—
			Iridium	3,8389	—
			Kupfer	3,6152	—
			Nickel	3,5238	—
			Platin	3,9237	—
			Silber	4,0856	—
kubisch-raumzentriert (krz)			Chrom	2,8845	—
			Eisen	2,8663	—
			Lithium	3,5090	—
			Molybdän	3,1460	—
			Tantal	3,3025	—
			Vanadin	3,0390	—
			Wolfram	3,1648	—
hexagonal (dichteste Packung)			Beryllium	2,2856	3,5843
			Kadmium	2,9780	5,6170
			Kobalt	2,5070	4,0690
			Magnesium	3,2092	5,2103
			Osmium	2,7353	4,3191
			Titan	2,9580	4,7380
			Zink	2,6640	4,9440
			Zirkonium	3,2290	5,1330
rhomboedrisch			Antimon	4,5064	57° 6,5′
			Quecksilber	3,0050	70° 31,7′
			Wismut	4,7456	57° 14,2′
tetragonal-raumzentriert			Zinn	5,8311	4,7380

Tabelle 8.7: Wichtige polymorphe Gebrauchsmetalle

Metall	Bezeichnung	Temperaturbereich (Beständigkeitsbereich) °C	Gittertyp kubisch-flächenzentriert	kubisch-raumzentriert	hexagonal (dichteste Packung)	tetragonal (flächenzentriert)	Sonderformen
Eisen	α-Fe	bis 911		●			
	γ-Fe	911···1392	●				
	δ-Fe	1392···1536		●			
Kobalt	β-Co	bis 430			●		
	α-Co	430···1490	●				
Mangan	α-Mn	bis 700					kubisch 58 Atome
	β-Mn	700···1079					kubisch 20 Atome
	γ-Mn	1079···1143				●	
	δ-Mn	1143···1245		●			
Titan	α-Ti	bis 882,5			●		
	β-Ti	882,5···1668		●			
Zinn	α-Sn	bis 13,2					kubisch
	β-Sn	13,2···232				●	
Zirkonium	α-Zr	bis 862			●		
	β-Zr	862···1857		●			

Die wichtigsten Gebrauchsmetalle und ihre Legierungen kristallisieren meist im *kubischen* oder im *hexagonalen System*. Für die Verformbarkeit der Metalle und ihrer Legierungen spielen die sog. *Gleitsysteme* eine wichtige Rolle. Je mehr Gleitsysteme vorhanden sind, desto leichter läßt sich ein Werkstoff verformen. Am günstigsten sind also Metalle mit kfz-Gittern, weniger günstig solche mit krz-Gittern und ungünstig diejenigen mit hexagonalen Gittern. Einige Metalle können, und zwar in Abhängigkeit von der Temperatur, in zwei oder mehreren Gitterarten kristallisieren. Sie werden als *polymorphe Metalle*, die einzelnen Kristallformen als *allotrope Modifikationen* bezeichnet. Tabelle 8.7 enthält wichtige polymorphe (vielgestaltige) Metalle. Aus ihr geht hervor, daß auch im festen Zustand eines Metalls Gitterumwandlungen vor sich gehen können. Charakteristisch sind die Abkühlungs- und die Erwärmungskurve des reinen Eisens (Bild 8.3),

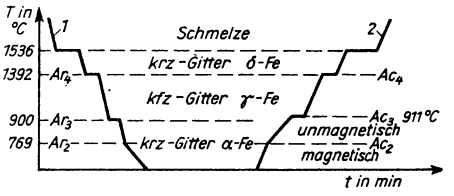


Bild 8.3. Abkühlungs- (1) und Erwärmungskurve (2) des reinen Eisens

wobei zu beachten ist, daß der Knick bei Ar_2 nicht auf eine Gitteränderung zurückzuführen ist, sondern daß hier die Grenztemperatur zwischen dem magnetischen und dem unmagnetischen Zustand des Fe besteht. Unterhalb Ar_2 (sog. CURIEpunkt) ist α-Fe magnetisch.

8.2.2. Kristallarten

Reine Kristalle, die in idealer Anordnung aufgebaut sind, werden nur selten gefunden, sie müssen künstlich hergestellt (gezüchtet) werden. Die Ungleichmäßigkeiten der Abkühlung und die gleichzeitige Bildung vieler Kristallisationskeime bewirken, daß durch gegenseitige Behinderung beim Wachsen keine absolute Gleichmäßigkeit im Kristallaufbau besteht. Es entstehen die sogenannten *Kristallite* (Körner), aus denen sich alle Metalle aufbauen. Die Größe der Kristallite ist abhängig von dem Verhältnis zwischen *Keimzahl* (Anzahl der arteigenen oder artfremden Kristallisationskeime) und *Kristallisationsgeschwindigkeit* (Geschwindigkeit, mit der sich die Atome an die Keime anlagern). Rasche Abkühlung hat im allgemeinen die Bildung kleiner Kristallite zur Folge, also ein feinkörniges Gefüge.

Die in der Technik zur Anwendung kommenden Metalle kann man alle als Legierungen auffassen, da selbst die als »reine Metalle« bezeichneten noch Verunreinigungen durch andere Elemente enthalten.

Im flüssigen Zustand sind die einzelnen Komponenten (reine Stoffe) meist völlig ineinander löslich (Ausnahmen Eisen und Blei), und alle Atome bewegen sich frei und wahllos in dem ihnen zur Verfügung stehenden Raum. Im kristallinen Zustand dagegen können verschiedene Kombinationen auftreten. In Tabelle 8.8 sind die *Kristallarten bei Legierungen* zusammengestellt.

Kristallgemische aus reinen Metallen haben in der Praxis keine Bedeutung, wohl aber Kristallgemische aus Mischkristallen (Beispiel Messing) und Kristallgemische aus einem Mischkristall und einer intermetallischen Phase (Beispiel γ-Eisen und Zementit).

8.3. Zustandsdiagramme

8.3.1. Grundlagen der Zustandsdiagramme

Die *Zustandsdiagramme* geben Auskunft über die von Temperatur und Zusammensetzung abhängigen Zustände der Werkstoffe. Sie werden durch das Zusammenfassen vieler Abkühlungskurven der entsprechenden Komponenten (Bestandteile) verschiedener Legierungszusammensetzungen aufgestellt. Je nach der Anzahl der an einer Legierung beteiligten Komponenten unterscheidet man *Zweistoff-*, *Dreistoff-* und *Mehrstoffsysteme*.

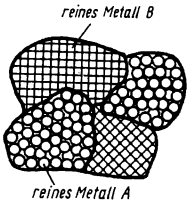
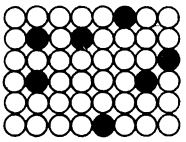
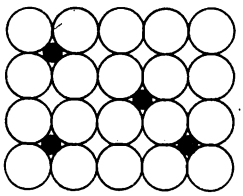
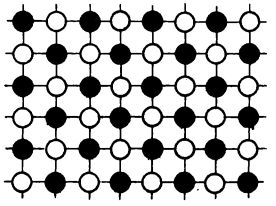
Bei den Zweistoffsystemen unterscheidet man als wichtigste Systeme:

a) *Völlige Löslichkeit im flüssigen und völlige Unlöslichkeit im kristallinen Zustand* (Bild 8.4).

Es werden hier die *Liquiduslinie* (oberhalb derselben ist alles flüssig, unterhalb derselben beginnt die Ausscheidung von Kristallen) und die *Soliduslinie* (unterhalb derselben ist alles fest, bei Erreichen der Soliduslinie ist während der Abkühlung die Erstarrung beendet) unterschieden. Charakteristisch für dieses System ist das Eutektikum, bei dem der niedrigste Schmelzpunkt vorliegt und die Erstarrung wie bei einem reinen Metall erfolgt (Haltepunkt). Hier finden sich Kristallite, die aus parallel angeordneten Lamellen der beiden Stoffarten aufgebaut sind. Das *Eutektikum* ist also ein Kristallgemisch besonderer Ordnung. Im eutektischen System erstarrende Legierungen. die nicht die eutektische Zusammensetzung aufweisen, bestehen immer aus Eutektikum und aus Kristallen der Komponente, die dem Eutektikum gegenüber im Überschuß vorhanden ist.

Für die Praxis wichtige Legierungen dieser Art sind die Aluminium-Gußlegierungen aus Aluminium und Silizium

Tabelle 8.3: Mögliche Kristallarten bei Legierungen

Bezeichnung		Schema	Aufbau und Besonderheiten
Kristallgemisch			Jede Atomsorte bildet eigene Kristallite. Es bestehen grundsätzlich verschiedene Gitter. Der Schmelzpunkt liegt niedriger als die tiefste Schmelztemperatur der reinen Komponenten.
Mischkristalle	Austauschmischkristall	○ Atome des Elements A, ● Atome des Elements B 	Das Basismetall baut Atome der anderen Art in sein Gitter ein. Voraussetzungen dafür sind: Unterschied der Atomradien darf nicht größer als 15 % sein, Gittertyp muß gleich sein, und die chemische Affinität der Komponenten darf nicht groß sein. Der Schmelzpunkt liegt zwischen den Schmelztemperaturen der reinen Komponenten.
	Einlagerungsmischkristall	○ Atome des Grundmetalls, ● Atome des Zusatzelements 	Eine Atomart lagert die anderen Atome in die Gitterzwischenräume ein. Voraussetzungen dafür sind: Das Verhältnis des Atomdurchmessers des eingelagerten Elements zu dem des Grundmetalls muß kleiner sein als 0,58, und das Grundmetall muß eine unaufgefüllte innere Schale aufweisen. Als Einlagerungskomponenten kommen hauptsächlich Nichtmetalle bzw. Metalloide in Frage (z. B. Kohlenstoff, Bor, Stickstoff, Wasserstoff, Sauerstoff).
Überstruktur		○ Atome des Elements A, ● Atome des Elements B 	Während bei den Mischkristallen der Atomaustausch regellos im Gitter erfolgt ist, bevorzugen hier die aufgenommenen fremden Atome bestimmte Gitterstellen. Derartig aufgebaute Legierungen sind härter und spröder als solche mit normaler Mischkristallbildung.
intermetallische Phase		—	Es besteht ein neues, vom Gitteraufbau der einzelnen Komponenten abweichendes, kompliziertes Raumgitter (mit oft nicht besetzten Gitterplätzen). Obwohl allgemein die chemische Schreibweise verwendet wird, liegen hier keine chemischen Verbindungen vor. Als wichtige intermetallische Phase sei Zementit (Fe_3C) genannt.

(auch Silumine genannt), die sog. Letternmetalle aus Blei und Antimon und die aus Blei und Zinn bestehenden Weichlote.

b) *Völlige Löslichkeit im festen und im kristallinen Zustand* (Bild 8.5).

Hier bilden die Atome beider Komponenten (Legierungsmetalle) gemeinsame Kristallite – also *Mischkristalle* –, weshalb dieser Legierungstyp auch als *Legierung mit Mischkristallbildung* bezeichnet wird. Charakteristisch ist bei diesen Diagrammen die angenäherte Linsenform, die durch Liquidus- und Soliduslinie gebildet wird (Linsendiagramme). Bei Unterschreiten der Liquiduslinie beginnt die Mischkristallbildung, wobei die Mischkristalle im Verlaufe der Erstarrung ihre Konzentration ändern und bei Erreichen der Soliduslinie die Zusammensetzung der Ausgangslegierung aufweisen.

Für die Praxis wichtige Legierungen dieser Art sind die Kupfer-Nickel-, Silber-Gold-, Nickel-Platin-, Eisen-Platin-, Kobalt-Nickel-, Wismut-Antimon- und Gold-Platin-Legierungen.

Außer den beschriebenen Systemen gibt es noch weitere kompliziert aufgebaute, z. B. die *Zweistoffsysteme mit Eutektikum bei Auftreten intermetallischer Phasen* sowie das *System völliger Löslichkeit im flüssigen und teilweiser Löslichkeit im kristallinen Zustand.*

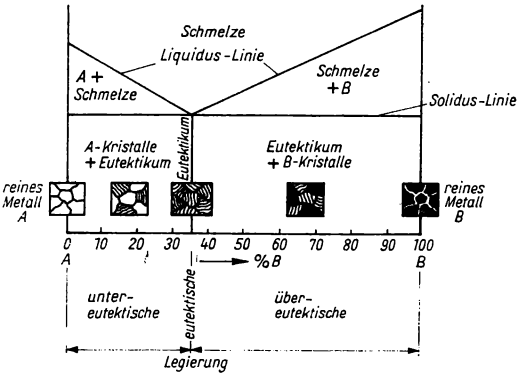


Bild 8.4. Eutektisches Zustandsschaubild mit Gefügedarstellungen

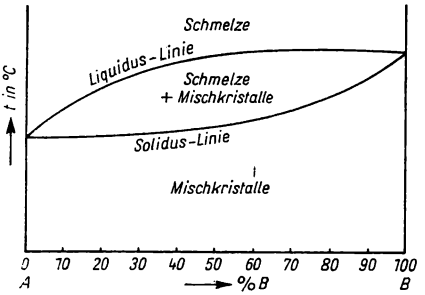


Bild 8.5. »Linsendiagramm«

8.3.2. Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, Eisen-Kohlenstoff-Schaubild

Da das Reineisen sehr weich ist, findet es in der Technik nur für Sonderzwecke (z. B. in der Elektrotechnik) Verwendung.
Die technisch verwendeten Eisensorten sind *Eisen-Kohlenstoff-Legierungen*, die außerdem als sog. Eisenbegleiter noch Mangan, Silizium, Phosphor und Schwefel in verschiedenen Anteilen enthalten. Der unterschiedliche Kohlenstoffgehalt ruft wesentliche Veränderungen im Gefügeaufbau und in den Eigenschaften der reinen Eisen-Kohlenstoff-Legierungen hervor.
Im flüssigen Eisen ist der Kohlenstoff nicht chemisch gebunden, sondern gelöst, wobei bis zu 6,67 % im Eisen gelöst werden können.
Bei der Abkühlung verhält sich die Eisen-Kohlenstoff-Mischung ganz anders als reines Eisen. Entsprechend dem Löslichkeitsverhalten scheiden sich die verschiedenen Gefügebestandteile aus. Der Kohlenstoff kann dann in gebundener Form vorliegen (metastabiles System), er kann aber auch frei als Graphit vorkommen (stabiles System).
Zum besseren Verständnis wurde das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm entwickelt, das 1932 in einheitliche Form gebracht und mit allgemeingültigen Bezeichnungen versehen wurde.

Eisen-Kohlenstoff-Diagramm

Auf der Abszisse dieses Diagramms (Bild 8.6) sind von links nach rechts die Gehalte an Kohlenstoff, auf der Ordinate die Temperaturen aufgetragen. Die Eintragungen der verschiedenen Gefügebestandteile beziehen sich auf das metastabile System. Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm ist eine der wichtigsten Grundlagen, besonders für die Wärmebehandlung. Zum richtigen Verstehen dieses Diagramms sind einige Begriffsbestimmungen (Bild 8.7, Tabellen 8.9 und 8.10) erforderlich.

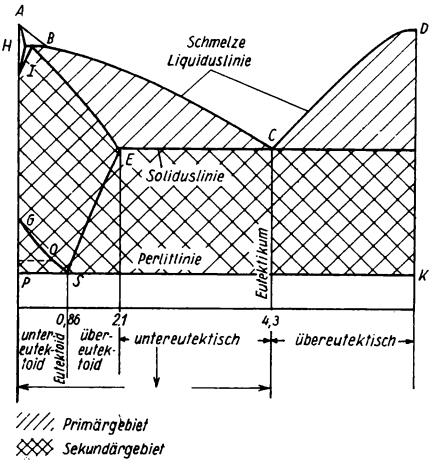


Bild 8.7. Allgemeine Bezeichnungen im EKD

Tabelle 8.9: Begriffsbestimmungen zum Eisen-Kohlenstoff-Diagramm

Begriff	Erläuterung
Primärgebiet	Gebiet zwischen Liquidus- und Soliduslinie
Sekundärgebiet	Gebiet zwischen der Soliduslinie und dem Linienzug PSK (Perlitlinie)
Eutektikum	liegt bei 4,3 % C bzw. 4,23 % C vor
Eutektoid	liegt bei 0,86 % C vor
untereutektoid	Eisen-Kohlenstoff-Legierung mit weniger als 0,86 % C
übereutektoid	Eisen-Kohlenstoff-Legierung mit einem C-Gehalt zwischen 0,86 und 2,1 %
untereutektisch	Eisen-Kohlenstoff-Legierung mit einem C-Gehalt zwischen 2,1 und 4,3 %
übereutektisch	Eisen-Kohlenstoff-Legierung mit einem C-Gehalt über 4,3 %

Tabelle 8.10: Erläuterung der im Eisen-Kohlenstoff-Diagramm benannten Gefügebestandteile

Begriff	Erläuterung
Ferrit	reine Eisenkristalle (α-Eisen)
Zementit	Eisenkarbid (Fe_3C) – je nach Entstehungsbereich unterscheidet man zwischen Primär- und Sekundärzementit
Perlit	tritt bei 0,86 % C auf (Eutektoid), Kristall besteht aus Ferrit und Sekundärzementit, wobei die Kristalle mit Zementitlamellen durchzogen sind – so genannt wegen des perlmuttartigen Glanzes
Ledeburit	tritt bei 4,3 % C auf (Eutektikum), stellt eine besondere Art der Mischung von Perlit und Zementit dar – benannt nach dem Eisenhüttenmann LEDEBUR
γ-Mischkristall (Austenit)	feste Lösung von Kohlenstoff in Eisen – mit abfallender Temperatur sinkt das Löslichkeitsvermögen – benannt nach dem englischen Forscher AUSTEN

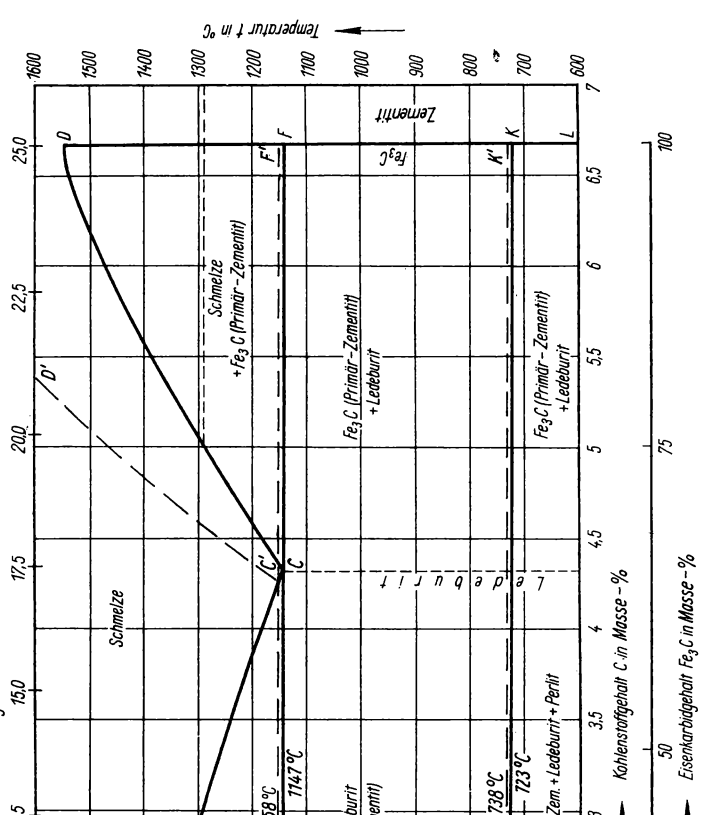


Bild 8.6. Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (EKD)
(Die ausgezogenen Linien und die Gefügebezeichnungen beziehen sich auf das metastabile, die gestrichelten Linien auf das stabile System.)

Erläuterungen zum Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (EKD)

Das EKD ist ein eutektisches Zustandsschaubild.
Im *untereutektischen* Gebiet (unter 4,3 % C) kristallisiert Fe aus;
im *übereutektischen* Gebiet (mehr als 4,3 % C) kristallisiert C aus.

Metastabiles System:
Bei der Erstarrung bildet sich Fe_3C, der Kohlenstoff liegt in gebundener Form vor. Nach dem metastabilen System erstarrt eine Eisen-Kohlenstoff-Legierung, wenn eine rasche Abkühlung erfolgt oder Cr bzw. Mn vorhanden ist (z. B. Stahl).

Stabiles System:
Bei der Erstarrung scheidet sich elementarer C in Form von Graphit aus. Nach dem stabilen System erstarren Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, wenn langsame Abkühlung erfolgt oder solche Elemente wie Si, die die Graphitausscheidung fördern, vorhanden sind.

Primärgebiet mit Primärausscheidung zwischen Liquidus- und Soliduslinie

Eutektikum
Der eine Gefügebestandteil ist metastabiler Zementit, der andere γ-Mischkristalle.

metastabil (4,3 % C):
Zementiteutektikum = feinverteilte Zementitkristalle + γ-Mischkristalle (Punkt C).

stabil (4,23 % C):
Graphiteutektikum = γ-Mischkristalle + feinverteilte Graphitkristalle.

Übereutektisch (4,3 ··· 6,67 % C):
Der dem Eutektikum gegenüber überschüssige C scheidet sich metastabil als Zementit, stabil als Graphit aus.

metastabil:
Ledeburit mit eingelagerten primär ausgeschiedenen Zementitkristallen (Primärzementitkristallen).

stabil:
Aus Graphiteutektikum und evtl. lamellar eingelagertem Garschaumgraphit (grobe, aus der Schmelze entstehende Graphitausscheidung).

Untereutektisch (2,1 ··· 4,3 % C-Gehalt):
Während der Erstarrung scheidet sich das dem Eutektikum überschüssige Fe in Form von γ-Mischkristallen aus. Die γ-Mischkristalle können sich sättigen, weil genügend C vorhanden ist (sie haben also 2,1 % C-Gehalt).

metastabil:
Ledeburit mit eingelagerten γ-Mischkristallen.

stabil:
Graphiteutektikum mit eingelagerten γ-Mischkristallen.

Weniger als 2,1 % C-*Gehalt:*
Aus der Schmelze scheiden sich γ-Mischkristalle aus, die zunächst sehr reich an Fe sind – sich im Verlauf der Erstarrung mit C anreichern –, am Ende der Erstarrung die Zusammensetzung der ursprünglich vorhandenen Schmelze haben.
Gefüge besteht aus homogenen γ-Mischkristallen mit dem der Schmelze entsprechenden C-Gehalt (höchstens aber 2,1 % C). In dem Gebiet ABINA geht der Erstarrungsvorgang anders vor sich. (Aus der Schmelze kristallisieren sich δ-Mischkristalle = feste Lösung.)

Sekundärgebiet mit Sekundärausscheidung zwischen Solidus und PSK

Im Sekundärgebiet tritt weder eine Umwandlung des Zementits noch des Graphits auf. Nur die γ-Mischkristalle wandeln sich um.
Die γ-Mischkristalle kommen als primärer Ausscheidungsbestandteil und feinverteilt im Eutektikum vor – sie sind nach der Erstarrung gesättigt. Während des Sekundärintervalls nimmt die C-Löslichkeit auf 0,85 % ab – das bedeutet, daß die γ-Mischkristalle C abscheiden müssen. Es geschieht: metastabil als Sekundärzementit – stabil als Graphit.

Eutektikum:
metastabil:
Zementiteutektikum = Ledeburit. γ-Mischkristalle scheiden Zementkristalle aus – Zementitanteil des Ledeburits wächst –, die verbleibenden γ-Mischkristalle haben nur noch 0,86 % C-Gehalt.

stabil:
Graphiteutektikum. γ-Mischkristalle scheiden elementaren C ab (als Graphit), dieser lagert sich dem Eutektikum an – γ-Mischkristalle haben nur noch den der Sättigung dicht oberhalb PSK entsprechenden C-Gehalt.

Übereutektisch:
Am Zementit und am Garschaumgraphit ändert sich nichts. Nur innerhalb des Eutektikums gehen die bekannten Umwandlungen vor sich.

metastabil:
Ledeburit mit Primärzementitkristallen.

stabil:
Graphiteutektikum mit groben Garschaumgraphitkristallen.

Untereutektisch (2,1 ··· 4,3 % C-Gehalt):
Neben den bereits genannten Umwandlungen des Eutektikums erfolgt noch die Umwandlung der primär ausgeschiedenen γ-Mischkristalle.
Gefügezusammensetzung dicht oberhalb PSK.

metastabil:
Ledeburit mit Sekundärzementitkristallen und γ-Mischkristallen von 0,86 % C-Gehalt.

stabil:
Der aus den primär ausgeschiedenen γ-Mischkristallen während des Sekundärintervalls ausgeschiedene Graphit lagert sich an den primär ausgeschiedenen an. Neben dem so entstandenen, mit sekundärem Graphit angereicherten Graphiteutektikum sind noch γ-Mischkristalle mit dem der Sättigung entsprechenden Gehalt vorhanden.

Unter 2,1 % C-*Gehalt (GOSE)*
Es herrscht ein dem Eutektikum ähnliches Gefüge, das man als Eutektoid bezeichnet. Hat eine Legierung von vornherein einen C-Gehalt, der der Sättigung dicht oberhalb PSK entspricht, so besteht für die γ-Mischkristalle keine Veranlassung zu irgendwelchen Ausscheidungen.
Ist gegenüber dem Eutektoid ein C-Überschuß vorhanden, so scheidet er sich metastabil als Sekundärzementit (stabil als Graphit) aus. Das ist der Stahlbereich, bei dem praktisch stabile Zustände nicht auftreten.
(Bei Stählen 0,86 ··· 2,1 % C-Gehalt infolge erhöhten Si-Gehalts erfolgt bei langdauerndem Glühen ein Zerfall des Sekundärzementits in Graphit – elementarer C scheidet sich in Form von Temperkohle aus – führt zum Schwarzbruch.)
Gefüge der übereutektoiden Stähle besteht dicht oberhalb PSK aus γ-Mischkristallen (0,86 % C) und Sekundärzementit.
Ist gegenüber dem Eutektoid ein Fe-Überschuß vorhanden, so muß sich nach der Gesetzmäßigkeit des Kurvenastes GOS-Eisen ausscheiden.
Das Gefüge der untereutektoiden Stähle besteht aus γ-Mischkristallen dicht oberhalb PSK (0,86 % C) und aus Ferrit.
Während der Abkühlung erfolgt bei 768 °C die Umwandlung von unmagnetischem α-Eisen in magnetisches α-Eisen.

γ-α-Umwandlung

Die Linie PSK, bei 723 °C eingezeichnet, gibt die unterste Grenze für die Beständigkeit des γ-Eisens an. Darunter kann nur α-Eisen, darüber nur γ-Fe (Ausnahme GOS) vorhanden sein. Unterschreitet die Temperatur die Linie PSK = 723 °C, so müssen sich alle noch vorhandenen γ-Mischkristalle unter Ausscheidung von C umwandeln. Diese Umwandlung ist durch den Umbau des flächenzentrierten γ-Raumgitters in das raumzentrierte α-Raumgitter bedingt. Diese Umwandlung kann metastabil und auch stabil erfolgen:

metastabil:
Bei der Ausscheidung von C als Zementit entsteht ein lamellares Gefüge von Ferrit und Zementit = Perlit.

stabil:
Bei C-Ausscheidung in elementarer Form bleibt nur noch Ferrit übrig (spielt eine Rolle beim Gußeisen – kommt beim Stahl nicht vor).

8.3.3. Gefügezusammensetzung der technischen Eisensorten

Bild 8.8 gibt eine Übersicht über die Lage der verschiedenen Eisensorten im Eisen-Kohlenstoff-Diagramm entsprechend dem Kohlenstoffgehalt. Die Veränderung der Eigenschaften des Werkstoffes sind aus Bild 8.9 zu entnehmen.

Stahlgebiet (0 ··· 2,1 % C-Gehalt)

Bei 0 % C besteht nur Ferritgefüge. Schon geringe Beimengungen von C bringen den Gefügebestandteil Perlit hervor.
Bei 0,86 % C (Eutektoid) ist Ferrit verschwunden – Stahl besteht dann nur aus feinlamellarem Gemenge von Ferrit und Zementit (Perlit). Bei über 0,86 % C kommt zum Perlit Sekundärzementit hinzu.
Maschinenbaustähle = meist untereutektoid,
Werkzeugstähle = meist übereutektoid.

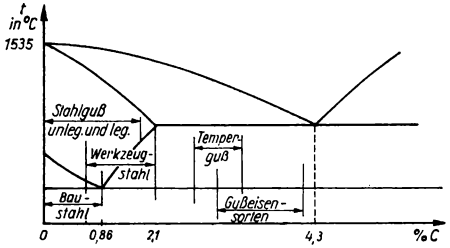


Bild 8.8. Kohlenstoffgehalte technischer Eisensorten

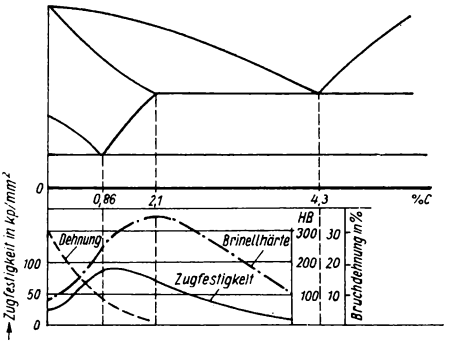


Bild 8.9. Einfluß des Kohlenstoffes auf technische Eigenschaften

Gebiet der Guß- und Roheisensorten
(2,1 ··· 6,67 % C-Gehalt)

Ab 2,1 % C-Gehalt tritt zum Perlit und Sekundärzementit das Eutektikum, der Ledeburit, hinzu (Schmiedbarkeit geht dadurch verloren). Ledeburitmenge wächst mit steigendem C-Gehalt, die des Perlits und Sekundärzementits dagegen nimmt ab. Bei 4,3 % C-Gehalt reiner Ledeburit. Bei über 4,3 % C tritt zum Ledeburit Primärzementit, dessen Menge mit steigendem C-Gehalt ansteigt, bis bei 6,67 % C-Gehalt nur noch ein Teil des vorhandenen Kohlenstoffs in gebundener Form vorhanden ist, während der Rest als Graphit ausgeschieden wurde. Die Erstarrung erfolgt also teils nach dem stabilen und teils nach dem metastabilen System.

8.3.4. Gefügeveränderungen beim Erwärmen und Abkühlen

Erwärmungsverlauf

Wird ein untereutektoider Stahl erhitzt, so geht bei 723 °C der Perlit in Austenit über. Bei Erreichen der Linie GOS löst dann der eben entstandene Austenit den Ferrit, so daß oberhalb GOS nur noch reiner Austenit vorhanden ist. Bei weiterer Erhitzung beginnt bei Erreichung der Soliduslinie der Stahl allmählich zu schmelzen. Oberhalb der Liquiduslinie ist dann der gesamte Stahl geschmolzen.
Beim Erhitzen eines eutektoiden Stahles (0,86 % C) wandelt sich bei 723 °C der Perlit wieder in Austenit um, d. h., das Eisenkarbid, Fe_3C, löst sich im Eisen auf. Bei der hier stattfindenden α-γ-Umwandlung wird im Gitter der Würfelraum frei, und in diesen leeren Raum hinein löst sich der Kohlenstoff auf. Das Kohlenstoffatom, das sich vorher irgendwo an den Würfelgrenzen befand, sitzt also jetzt mitten im flächenzentrierten γ-Würfel. Der so entstandene einzelne Austenitkristall wird als Mischkristall bezeichnet. Bei weiterer Erhitzung spielen sich die Vorgänge wieder wie oben beschrieben ab.
Beim Erhitzen eines übereutektoiden Stahles wandeln sich bei 723 °C die Perlitkristalle wieder in Austenitkristalle um, die dann mit steigender Temperatur das Karbidschalenwerk aufsaugen. Beim Erreichen der Linie SE ist dieser Vorgang beendet, so daß nur noch reine Austenitkristalle vorliegen. Bei weiterer Erhitzung gehen die Vorgänge in der bekannten Weise weiter.
Bei der Umwandlung vom α- in das γ-Raumgitter, vor allem aber umgekehrt, ist die Schnelligkeit der Temperaturänderung der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen im Gegensatz zum reinen Eisen sehr bedeutungsvoll, denn es findet ein doppelter Vorgang statt. Einmal wandert das beim α-Eisen im Mittelpunkt sitzende Eisenatom beim Umklappen in das flächenzentrierte γ-Gitter aus dem Würfelzentrum heraus. Zum anderen löst sich zur gleichen Zeit das Kohlenstoffatom in den Gitterwürfel hinein. Damit dieser Vorgang vonstatten gehen kann, ist eine gewisse Mindestzeit erforderlich.

Abkühlungsverlauf

a) *Gefügeumwandlung bei langsamer Abkühlung*
An den Grenzlinien GOS und SE scheiden sich Eisen- bzw. Eisenkarbidkristalle aus. – Vergleich: Bildung von Zuckerkristallen durch Abkühlung einer heißgesättigten Zuckerlösung. – Unterhalb PSK ist dieser Vorgang beendet, die sogenannte »feste Lösung« hat aufgehört zu bestehen. Bei langsamer Abkühlung bilden sich größere, bei schneller Abkühlung dagegen kleinere Kristalle. Der kristallinische Zusammenhang ist nicht übermäßig fest, der Stahl ist weich. – Unter 768 °C (Abkühlungspunkt O) wird der Stahl magnetisierbar.

b) *Gefügeumwandlung bei rascher Abkühlung*
Die feste Lösung wird nach Möglichkeit am Zerfall durch große Geschwindigkeit (also kurze Zeit) der Abkühlung gehindert; sie bleibt gewissermaßen auch im kalten Zustand bestehen und bildet kleinste Kristalle (Martensit). Das Gefüge ist feinkörnig, die Gesamtheit der Berührungsfläche wird dadurch viel größer (größere Kohäsion) als bei Grobkörnigkeit. Der Stahl ist sehr fest. Härte und Sprödigkeit werden durch die sich aus der hohen Kohäsion ergebenden starken Spannungen zwischen den einzelnen kleinen Kristallen verursacht.

8.4. Wärmebehandlung

Bild 8.10 gibt einen Überblick über die *Arten der Wärmebehandlung.*

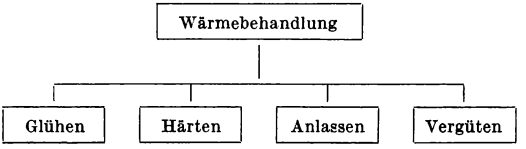


Bild 8.10. Arten der Wärmebehandlung

8.4.1. Glühen

Das Glühen dient zur *Gefügeveränderung* in gewünschter Richtung. Dazu werden die Werkstücke auf bestimmte, dem Glühzweck entsprechende Temperaturen gebracht, eine bestimmte Zeit auf diesen gehalten und anschließend meist langsam abgekühlt.
Tabelle 8.11 enthält Angaben über die *Arten des Glühens* (s. a. Bild 8.11).

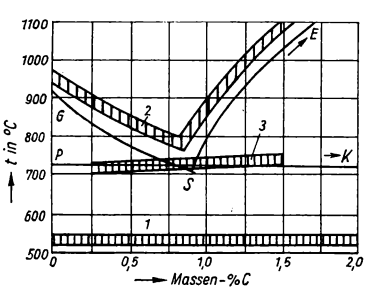


Bild 8.11. Glühtemperaturen der Kohlenstoffstähle
1 Spannungsfreiglühen, 2 Normalglühen, 3 Weichglühen

Tabelle 8.11: Glühen der Stähle

Bezeichnung	Ziel	Durchführung
Spannungsfreiglühen	Abbau innerer Spannungen, die auf ungleichmäßige Abkühlung oder Verformungsverfestigung zurückzuführen sind	Erwärmen auf etwa 500 bis 600 °C, anschließend langsames Abkühlen

Tabelle 8.11. (Fortsetzung)

Bezeichnung	Ziel	Durchführung
Normalglühen (normalisieren)	um überhitztem Stahl ein normales feinkörniges Gefüge zu geben, zum Homogenisieren des vom Walzen, Schmieden oder Gießen entstandenen ungleichmäßigen Gefüges	Erhitzen auf 30 bis 50 °C über die GOS-Linie (bei übereutektoiden Stählen evtl. kurz oberhalb PSK-Linie), anschließendes Abkühlen in ruhender Atmosphäre
Weichglühen	auf körnigen Zementit glühen, zur besseren Bearbeitung	Glühen auf einer Temperatur dicht unterhalb (evtl. auch dicht oberhalb) der PSK-Linie, anschl. langsames Abkühlen
Diffusionsglühen (Homogenisierungsglühen)	gleichmäßige Verteilung löslicher Bestandteile	Glühen bei einer Temperatur erheblich oberhalb GOSE-Linie mit langzeitigem Halten auf dieser Temperatur und nachfolgendem beliebigem Abkühlen
Grobkornglühen (Hochglühen)	grobes Korn, z. B. zur Verbesserung der Zerspanbarkeit	Glühen oberhalb der GOSE-Linie mit zweckentsprechender Abkühlung
Rekristallisationsglühen	Aufheben des durch plastische Deformation entstandenen Zwangszustandes (Kaltverfestigung) des Gefüges durch Bildung neuer ungestörter Kristallite	Rekristallisationstemperatur sinkt mit steigendem Verformungsgrad, liegt bei unlegierten Stählen zwischen 450 und 600 °C, bei mittel- und hochlegierten zwischen 600 und 800 °C

In Tabelle 8.12 gelten die ersten Wärmegrade für Schweißstahl. Wärmegrade können gemessen werden durch Quarzglasthermometer mit Stickstoffüllung bis 700 °C, mit Galliumfüllung bis 1000 °C, durch Thermoelemente bis 1600 °C.

Tabelle 8.12: Glühfarben der Stähle

Farbe	Temperatur °C	Farbe	Temperatur °C
im Dunkeln rot	475···550	orange	925···1000
dunkelrot	550···650	gelb	1000···1100
dunkelkirschrot	650···750	gelbweiß	1100···1250
kirschrot	750···850	weißglühend	1250···1400
hellkirschrot	850···925	Schweißhitze	1400···1600

Die Temperaturbeurteilung nach den Glühfarben erfordert Erfahrungen. Dabei ist zu beachten, daß bei hellem Licht glühende Werkstücke dunkler erscheinen.

8.4.2. Härten und Anlassen des Stahles

Es werden *Abschreckhärten* (für Stahl, der ohne besondere Vorbereitung härtbar ist) und *Einsatzhärten* (erst muß Aufkohlung der Oberfläche erfolgen) unterschieden.
Bei der Umwandlungshärtung wird ein Stahl über seinen Umwandlungspunkt erhitzt und dann abgeschreckt. Dabei klappt das γ-Gitter in der gewohnten Weise in das α-Gitter um; aber durch die wesentlich verkürzte Abkühlungszeit kann das Kohlenstoffatom nicht so schnell aus dem Würfelinneren heraus. Ab 250 °C (Martensitpunkt) ist ein Stellungswechsel nicht mehr möglich, so daß das Kohlenstoffatom zwangsweise im Würfelinneren eingeschlossen bleibt. Der Zwangszustand, der durch das Vorhandensein des raumzentrierten Eisenatoms und des Kohlenstoffatoms besteht, macht die Härte aus.

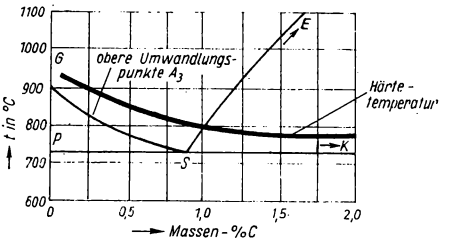


Bild 8.12. Härtetemperaturen der Kohlenstoffstähle

Härtetemperaturen sind abhängig von der Zusammensetzung des zu härtenden Stahles. Bei Kohlenstoffstählen genügt die Kenntnis vom Kohlenstoffgehalt (Bild 8.12).
Beim Härten legierter Stähle muß man sich nach den angegebenen Härtevorschriften richten.
Abschrecken dient zur Erzeugung des Härtegefüges Martensit. Durch sehr schnelle Abkühlung (für unlegierte Stähle mindestens über 250 °C in der Sekunde) kann sich bei der Umwandlung aus dem durch die Härtetemperatur erreichten austenitischen Gefüge kein Ferrit und kein Perlit bilden. Wird die erforderliche hohe Abkühlungsgeschwindigkeit nicht erzielt, so bilden sich weniger harte Zwischengefüge (Troostit und Sorbit), die aber immer noch härter als Perlit und Ferrit sind. Die Abkühlungsgeschwindigkeit läßt sich durch die Auswahl der Abschreckmittel beeinflussen (Tabelle 8.13).

Tabelle 8.13: Wirkung verschiedener Abschreckmittel

Bezeichnung	Abschreckmittel	Maximale Abkühlungsgeschwindigkeit K/s
sehr mild	Luft	5
sehr mild	Druckluft	35
mild	Öle	200
weniger mild	Wasser mit Ölschicht	300
weniger kräftig	Bohrölemulsion	400
kräftig	reines Wasser bei Normaltemperatur	450
sehr kräftig	Eiswasser	500
schroff	salzhaltiges Wasser (10 % NaCl)	600
sehr schroff	angesäuertes Wasser	700

Anlassen führt meist erst zur Verwendungsfähigkeit des gehärteten Werkstückes. Der abgeschreckte und glasharte Stahl erhält seine erforderliche Zähigkeit dadurch, daß durch Wärmezufuhr (Anlassen) der in der festen Lösung gebundene Kohlenstoff z. T. wieder zu Eisenkarbid auskristallisiert. Ein entsprechender Teil reinen Eisens wird frei, die innerkristallinischen Spannungen werden gemildert. Erst das Anlassen macht den Stahl gebrauchsfähig. Die hierbei auftretenden Anlaßfarben sind Oxydationserscheinungen der blanken Metalloberfläche; sie entsprechen bestimmten Wärmegraden (Tabellen 8.14 und 8.15).

Tabelle 8.14: Anlaßfarben und Anwendungsbeispiele (Richtwerte)

Anlaßfarbe	Temperatur *) °C	Anwendung
weißgelb	210	Meßzeuge
strohgelb	220	Meßzeuge
gelb	230	Meißel aller Art
dunkelgelb	240	Meißel aller Art
gelbbraun	250	Fräser, Reibahlen, Gewindeschneidwerkzeuge, Metallsägen, Hämmer
braunrot	260	Fräser, Reibahlen, Gewindeschneidwerkzeuge, Metallsägen, Hämmer
rot	270	Schraubenzieher, Holzbearbeitungswerkzeuge
violett	280	Körner, Dorne, Warmschrotmeißel

Tabelle 8.14. (Fortsetzung)

Anlaßfarbe	Temperatur*) °C	Anwendung
dunkelblau	290	Federn
kornblumenblau	300	Federn
hellblau	310	Federn
graublau	320	Gesenke, Äxte, Holzsägen, Nietwerkzeuge
grau	330	Haushaltmesser

*) Bei hochlegierten Stählen liegen die den Anlaßfarben zugehörigen Temperaturen 10···20 K höher.

Tabelle 8.15: Anlaßfarben der Werkzeugstähle

Farbe	Temperatur etwa °C	Anwendung
hellgelb	220	Werkzeuge für harte Metalle
dunkelgelb	240	Arbeitsstähle, Fräser,
bräunlich	255	Metallsägen
braunrot	265	Stanz-, Scherwerkzeuge, Bohrer
purpurrot	275	Meißel für Stahlbearbeitung
violett	285	Stein- und Schrotmeißel
dunkelblau	295	Holzbearbeitungswerkzeuge
hellblau	310	Fleischmesser usw.
grau	325	ungeeignet, Werkzeuge werden zu weich

Die Anlaßfarben (Oxidfarben der Oberfläche) bieten keine unbedingte Gewähr für den Wärmegrad, da die Farben, wenn langsam erwärmt wird, schon bei niedrigerem Wärmegrad erscheinen. Auch verhalten sich die einzelnen Stahlsorten je nach ihrer Legierung verschieden.

In Tabelle 8.16 sind Mittelwerte zur Wärmebehandlung zusammengestellt.

Tabelle 8.16: Mittelwerte zur Warmbehandlung (Härten) meist üblicher Werkstoffe nach ihrem Verwendungszweck

Bauteil	Erwärmen auf °C	Abschreckmittel	Anlassen auf °C
Schnellarbeitsstähle	1250···1350	Luft	575···600
Matrizen, Gesenke	950···1100	Öl	220···350
Stanzmesser	800···850	Wasser oder Öl	200···270
Federn	825···850	Öl	420···450
Kurbelwellen usw.	820···840	Öl	600···700
Zahnräder	820···850	Öl	600···625
Meißel	775···800	Öl	200···225
Hämmer	770···800	Wasser	200···300
Kreissägen	750···760	Wasser	180···250
Feilen	750···760	Wasser	180···250
Gewindebohrer	740···760	Wasser	180···250

Härtungsbeispiele
Erwärmen der Teile im Salzbad (genaue Temperatur), Abschrecken im Wasser, Öl oder Warmbad (Bild 8.13).

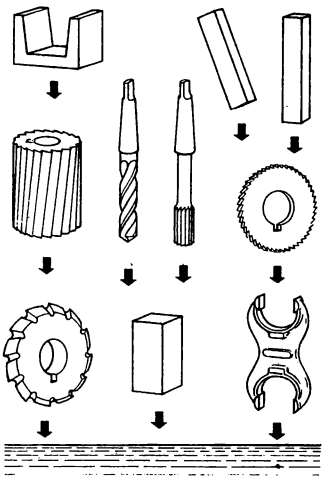


Bild 8.13. Härtungsbeispiele; richtiges Eintauchen verschiedener Werkstückformen

Drehmeißel, Hobelmesser aus naturhartem Stahl:
Schmieden bei 1150 °C bis herab auf 900 °C; Härten aus gleicher Temperatur, Abkühlen in kräftigem Luftstrom (3···5 at) oder in Öl. Bei ungenügender Härte wiederholt härten. *Anlassen* ist nicht erforderlich, evtl. Entspannen bei 250 °C.

Fräser, Bohrer, Stanzmesser, Schneidbacken usw. aus Schnellarbeitsstahl:
Weichglühen in luftdicht verschlossener Blechbüchse (800 bis 850 °C), umgeben von Holzkohlenpulver; langsames Abkühlen in der Verpackung. – *Härten* aus 1200···1350 °C je nach Zusammensetzung, möglichst im Salzbad erwärmen, sonst wie vorgenannt verpacken. Abkühlen in Rüböl, Petroleum, Talg, Fischtran. Anlassen bei ≈600 °C (erhöht Standzeit).

Um Mißerfolge zu vermeiden, muß die für die betreffende Stahlsorte angegebene Behandlungs- und Härtevorschrift, die vom Herstellungswerk für jede Stahlqualität aufgestellt wird, streng eingehalten werden.

Eine Abart der einfachen Abschreckhärtung ist die sogenannte *gebrochene Härtung*. Hierbei erfolgt das Abschrecken in verschieden wirkenden Abschreckmitteln, wobei im ersten, stärker wirkenden nur kurz verhalten wird, während das Werkstück im zweiten, milder wirkenden Abschreckmittel bis zum Temperaturausgleich verbleibt. Das Verfahren kann nur bei Wasserhärtern angewendet werden.

Die *Warmbadhärtung* ist besonders geeignet für die Härtung von Werkstücken mit komplizierten Konturen. Die Abschreckung erfolgt hierbei bis zum Temperaturausgleich in Warmbädern, wobei vorzugsweise Salzbäder Verwendung finden.

In Tabelle 8.17 sind *Richtwerte* für die Warmformgebung und Wärmebehandlung zusammengestellt.

Tabelle 8.17: Richtwerte für die Warmformgebung und Wärmebehandlung

Stahlmarke	Schnellarbeitsstahl-Klasse	Warmformgebung °C	Weichglühen °C	Härten °C	Anlassen °C	Härte nach dem Anlassen HRC
X 97 WMo 3.3	ABC III	1100···900	760···790	1190···1210	530···550	63···65
X 82 WV 9.2	ABC II	1120···900	760···810	1200···1230	540···560	63···66
X 100 WCo 5.3	ABC II/E	1100···900	770···800	1220···1250	540···560	63···66
X 74 WV 18.1	B 18	1150···900	800···830	1230···1260	550···570	63···66
X 86 WV 12.2	D	1120···900	760···810	1210···1240	550···570	63···66
X 82 WMo 6.5	DMo 5	1100···900	800···830	1190···1220	540···560	63···66
X 125 WV 12.4	EV 4	1100···900	780···810	1210···1240	550···570	63···66
X 133 WCo 12.5	EV 4 Co	1100···900	800···830	1220···1250	560···580	63···66
X 79 WCo 18.5	E 18 Co 5	1150···900	800···830	1250···1280	560···580	63···66
X 85 WMoCo 6.5.5	EMo 5 Co 5	1100···900	800···830	1210···1250	560···580	63···66
X 76 WCo 18.10	E 18 Co 10	1150···900	800···830	1250···1280	560···580	63···66

Tabelle 8.18: Oberflächenhärtungsverfahren

Bezeichnung	Prinzip	Anwendung
Flammhärten (auch Brenn- oder Autogenhärten)	Die zu härtende Oberfläche wird durch Spezialbrenner (gespeist mit Gas-Sauerstoff-Gemisch) schnell auf die Härtetemperatur erhitzt und sofort danach abgeschreckt. Man unterscheidet: *Mantelhärtung* (für kleine Flächen), wobei die Abschreckung in einem gesonderten Arbeitsgang erfolgt, und *Linienhärtung* (Abschreckbrause ist mit dem Brenner gekoppelt, Erhitzen und Abschrecken erfolgen in einem Arbeitsgang).	Maschinenbetten, Zapfen, Wellen, Spurkränze, Zahnräder usw.
Induktionshärten	Die Oberflächenerwärmung erfolgt auf elektroinduktivem Weg. Man unterscheidet die *Standhärtung* (zu härtende Oberfläche wird von der Heizspule ganz bedeckt) und die *Vorschubhärtung* (zu härtendes Stück bewegt sich zur Heizspule). Das nachfolgende Abschrecken erfolgt in Abschreckbädern oder durch der Heizspule folgende Wasserbrausen.	Bolzen, Wellen, Gleitbahnen und -schienen, Zahnräder usw.
Tauchhärten	Die zu härtenden Stücke werden kurzzeitig in hocherhitzte Salzbäder oder Metallbäder getaucht (etwa $^1/_2 \cdots 1$ min) und dann in Wasser abgeschreckt.	Wellen, Zahnräder usw.

Oberflächenhärtung

Oberflächenhärtung wird angewendet, wenn hohe Härte nur auf der Werkstückoberfläche anzustreben ist. Zu den Oberflächenhärtungsverfahren gehören: *Flammhärten, Induktionshärten, Tauchhärten, Einsatzhärten* und *Nitrieren.*
Die in Tabelle 8.18 genannten Verfahren sind geeignet für unlegierte und niedrig legierte Stähle (0,3···0,75 % C). Diese sind in TGL 6547 standardisiert.

Einsatzhärten (Zementieren)

Durch *Anreicherung der Oberfläche mit Kohlenstoff* wird niedrig gekohlter Stahl äußerlich härtbar, der Kern bleibt weich (zähe). Die Härtung kann auf einzelne Oberflächenteile beschränkt bleiben.
Vorgang: Kohlenstoffarmer Stahl wird umgeben mit kohlenstoffhaltigen Stoffen (Holz-, Leder-, Knochenkohle, Horn- oder Klauenmehl usw. oder Leuchtgas, Azetylen, Kohlenoxid, Salzbäder). Zeitdauer des Glühens (Einsetzens) bis zu 10 h bei 750···920 °C mit Abkühlung in Wasser, Öl oder langsam im Einsatzkasten. Härtung erfolgt aus 840···920 °C. Abschrecken in Wasser oder Öl. Zwischenglühen bei 650 bis 680 °C, Abkühlen im Ofen. Erneute Erhitzung auf 770 bis 830 °C. Abschrecken in Wasser oder Öl. – Bei Massenfertigung werden die Gegenstände in Kästen aus Stahlblech luftdicht verpackt, die zu härtenden Stellen mit Kohlenpulver umgeben, nicht zu härtende Stellen mit Lehm, Sand, Asbest bedeckt oder verkupfert. Der C-Gehalt der zementierten Schicht (0,3···3 mm dick) beträgt bis zu 1,1 %. – Geeignet für E-Härtung sind C-Stahl mit 0,11···0,25 % C, Ni-Stahl mit 1,5 % Ni, NiCr-Stahl mit 2,5···4,5 % Ni und 0,5···1,1 % Cr, CrMn-Stahl mit 0,4···1,6 % Mn und 0,5···1,5 % Cr. – *Anwendung:* Zahnräder, Lagerzapfen, Hebel, Steuernocken, Steine, Scheiben, Führungen, Meßzeuge, Stempel.

Einsatzverfahren

Verbesserung des Einsatzhärtens; geeignet sind Ni- oder NiCr-Stähle. Paste (enthält Kohlungsmittel) wird auf die zu härtende Stelle aufgetragen, die nach Antrocknen mit einer Lehmpackung oder Mischung von Wasserglas und Kaolinpulver überstrichen wird, um das Entweichen der Kohlungsgase zu verhindern. Kohlung (Zementierung) bis 1,2 mm Tiefe in 1 h.
Bei der Einsatzhärtung werden glasharte Oberflächenschichten erreicht, aber durch die beim Abschrecken entstehenden Spannungen im Werkstück können unregelmäßige Formänderungen auftreten, die eine Nachbearbeitung (Schleifen) erforderlich machen.

Nitrieren (Aufsticken)

Bei der Nitrierhärtung *diffundiert Stickstoff in die Oberfläche* der Stähle und bewirkt die Bildung von Nitriden, wodurch die Oberflächenhärte (glashart), die Verschleißfestigkeit, die Korrosionsbeständigkeit und die Dauerfestigkeit erhöht werden. Verziehen der Werkstücke ist bei deren vorheriger Entspannung nicht zu befürchten, so daß dieses Verfahren auch für Werkstücke mit komplizierten Konturen geeignet ist.
Mit der Nitrierung erreicht man Oberflächenhärteschichten mit Werten von etwa HV 900···1200 (bei keinem anderen Verfahren erzielbar). Die entstehenden Eisennitride Fe_4N (im Schliffbild als dunkle Nitridnadeln erkennbar) und die sich bildenden besonders harten und stabilen Nitride der Legierungselemente (CrN, MoN, VN, TiN, AlN), die in submikroskopischer Form vorliegen, bewirken die große Härte. Nitrierbar ist jeder Stahl, meist werden aber Nitrierstähle (legierte Sonderstähle) nach TGL 4391 verwendet.
In Tabelle 8.19 sind *Nitrierverfahren* zusammengestellt.

Tabelle 8.19: Nitrierverfahren

Bezeichnung	Prinzip und Besonderheiten
Gasnitrieren	Werkstücke werden längere Zeit in Ammoniakgas bei Temperaturen zwischen 500 und 520 °C geglüht. Anschließend erfolgt normales Abkühlen. Die zu erreichende Schichtdicke ist von der Nitrierdauer abhängig (s. Bild 8.14). Die maximale Glühdauer beträgt etwa 60 bis 80 h. Hauptsächlich werden Nitrierstähle eingesetzt.
Badnitrieren (Zyanisieren)	Werkstücke werden etwa 20···120 min bei Temperaturen von 520···560 °C in zyanhaltigen Salzbädern geglüht. Die Schichtdicken sind minimal und liegen bei etwa 0,06 mm. Beim Einsatz unlegierter und niedrig legierter Stähle werden Härtewerte von etwa HV 500 (Weichnitrieren) erreicht, bei Schnellarbeits- und Warmarbeitsstählen dagegen von HV 1100···1200.
Sulfonitrierung	Sie ist dem Badnitrieren ähnlich. Die erhöhte Oberflächenhärte wird durch gleichzeitige Diffusion von Stickstoff und Schwefel erreicht.

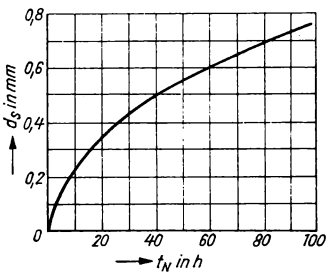


Bild 8.14. Nitrierdiagramm (d_S Tiefe der Nitrierschicht, t_N Nitrierdauer)

Aushärten und Altern

Beim *Aushärten* nutzt man die Temperaturabhängigkeit des Lösungsvermögens der Mischkristalle zur Härte- und Festigkeitssteigerung aus. Nach einem Lösungsglühen erfolgt das Abschrecken und dann das *Auslagern (Kaltauslagern* bei Raumtemperatur, *Warmauslagern* bei erhöhten Temperaturen). Während das Aushärten für Stahl weniger in Anwendung kommt, hat es für einige Aluminiumlegierungen (z. B. AlCuMg- und AlMgSi-Legierungen) große Bedeutung. Diese Legierungen werden etwa 20···30 min auf die Temperatur von 500···520 °C erwärmt und dann im Wasserbad abgeschreckt. Anschließend erfolgt die Auslagerung über mehrere Tage. Wird diese als Warmauslagerung durchgeführt, so wird mit Temperaturen von 100···180 °C gearbeitet.
Das *Altern* eines Werkstoffes, d. h. eine Veränderung der Eigenschaften ohne äußere Einflüsse, kann bei Raumtemperatur im Laufe der Zeit eintreten *(natürliche Alterung)*. Bauteile, die auf Grund ihrer Funktion keine Eigenschaftsänderungen erfahren dürfen (z. B. feine Meßzeuge), werden *künstlich gealtert*, ehe sie feinstbearbeitet werden. Dazu erfolgt Warmbehandlung über mehrere Stunden bei Temperaturen zwischen 180 und 300 °C.

8.4.3. Vergüten

Unter Vergüten versteht man die *Warmbehandlung zur Erzielung hoher Zähigkeit bei bestimmter Zugfestigkeit.* Durch Härten und Anlassen bei höheren Temperaturen weitgehend vorgearbeiteter Werkstücke entstehen die gewünschten Eigenschaften. Feinere Nacharbeiten werden nach dem Vergüten vorgenommen. – Erhitzt wird in Muffelöfen, Metall-, Salz- oder Lavabädern auf 760···860 °C, daraus abgeschreckt in Wasser oder Öl. Anlaßtemperatur beträgt ≈340···670 °C. – Völlige Abkühlung in Wasser oder Öl ist nicht üblich, um Risse zu vermeiden (handwarme Abkühlung).
Die Vergütungsverfahren werden weniger bei Kohlenstoffstählen, mehr bei *legierten Stählen* (Nickel-, Chromnickel-, Manganstählen usw.) angewandt. Geringer S- und P-Gehalt sowie Freisein von inneren und äußeren Fehlern sind Bedingung. – Vergütet wird vorzugsweise in der Fahrzeugindustrie, im Maschinen- und Motorenbau.
In Tabelle 8.20 sind *Wärmewerte vergütbarer Stähle* zusammengestellt.

8.4.4. Öfen zum Erhitzen

Anforderung: Leichtes Erreichen der Höchsttemperatur und schnelle Regulierung der Temperaturen, gleichmäßige Hitze, einfache Bedienung.
Tabelle 8.21 enthält die *Einteilung der Öfen.*

Beispiel für einen modernen Härteofen:

Elektrischer Salzbadofen (hauptsächlich für Schnellarbeitsstahl): Das Salzbad mit dem Härtegut wird ohne Tiegel in den Sekundärstromkreis des Transformators eingeschaltet und durch den eigenen Widerstand schnell und gleichmäßig

Tabelle 8.20: Wärmewerte in °C *vergütbarer Stähle* (nach TGL 6547)

Stahlmarke	Warmformgebung	Weichglühen	Normalglühen	Härten in Wasser	Öl	Anlassen
C 25	1100···850	650···700	890···910	860···890	870···900	
C 35	1100···850	650···700	860···890	840···870	850···880	600···680
C 45	1100···850	650···700	840···870	(820···840)	830···860	600···680
C 60	1050···850	650···700	820···850	—	810···840	
40 Mn 4	1100···850	650···700	830···850	820···850	830···860	
19 Mn 5	1100···850	650···700	880···910	(Luft)	880···910	650···700
30 Mn 5	1100···850	680···720	830···850	820···840	830···850	
15 Mo 3	1100···850	650···700	910···940	(Luft)	910···940	650···700
50 MnSi 4	1050···850	650···700	840···870	—	800···830	
27 MnSi 5	1050···850	680···720	870···900	840···860	850···870	
37 MnSi 5	1050···850	680···720	860···890	830···850	840···860	
42 MnV 7	1050···850	640···680	860···890	840···860	850···870	
34 Cr 4	1050···850	680···720	850···880	820···840	830···850	530···670
40 Cr 4	1050···850	680···720	850···880	820···840	830···850	530···670
38 CrSi 6	1050···850	680···720	850···880	820···840	830···850	530···670
50 CrV 4	1050···850	680···720	850···880	820···840	830···850	
58 CrV 4	1050···850	680···720	850···880	810···830	830···850	
13 CrMo 4.4	1100···850	680···720	920···950	Luft	910···940	650···720
24 CrMo 5	1100···850	660···710	890···920	Luft	880···910	650···710
25 CrMo 4	1050···850	680···720	860···890	830···850	840···860	
34 CrMo 4	1050···850	680···720	850···880	820···840	830···850	
42 CrMo 4	1050···850	680···720	850···880	820···840	830···850	
50 CrMo 4	1050···850	680···720	850···880	820···840	830···850	
30 CrMoV 9	1050···850	680···720	870···900	840···870	850···880	
21 CrMoV 5.11	1100···850	680···740	920···950	Luft	900···950	700···740
24 CrMoV 5.5	1100···850	660···710	920···950	Luft	900···950	650···710
21 CrVMoW 11	1100···850	680···740	920···950	Luft	1000···1040	650···730
36 CrNiMo 4	1050···850	650···700	850···880	820···840	830···850	
X 20 Cr 13	1100···850	760···800	—	—	980···1020	650···700
X 20 CrMo 13	1100···850	730···760	—	—	980···1020	650···730
X 22 CrMoV 12.1	1100···850	760···800	—	Luft	1010···1050	680···720

Tabelle 8.21: Einteilung der Öfen

Art	Härteraum	Beheizung/Brennstoff	Betriebsbereitschaft	Temperaturregelung *)
Koks- und Kohleofen	Muffel	feste Stoffe	nur für Dauerbetrieb; langes Anheizen	schwierig
Gasofen	Muffel	Gas	schnell anheizbar	gut
Öl- und Petroleumofen	Muffel	Öl (durch Druckluft zerstäubt)	schnell anheizbar	weniger gut
elektrischer Ofen	Muffel	elektrischer Strom	stets betriebsbereit	elektrisch steuerbar, sehr gut
Salzbad	Tiegel	Elektrizität und Gas	schnell betriebsbereit	elektrisch steuerbar, sehr gut

*) Moderne Temperaturanzeige- und -regelgeräte gestatten meist automatische Temperaturanzeige und Regelung (selbst bei öl- und gasbeheizten Öfen).

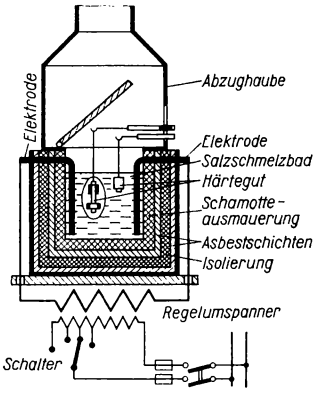


Bild 8.15. Härteofen

erwärmt; 3- bis 5fache Leistung gegenüber Gasöfen; genaue Temperaturregelung bis 1350°C; senkrechtes Einbringen des Härtegutes vorteilhaft. — Beim links gezeichneten Härtestück ist auf die zu härtenden Stellen (schwarz) eine Kohlungspaste aufgetragen (Bild 8.15)

8.5. Korrosion und Korrosionsschutz

Korrosion ist die an der Oberfläche beginnende unerwünschte Werkstoffzerstörung durch chemische oder elektrochemische Reaktionen mit der Umgebung (lat. corrodere = zernagen).

8.5.1. Ursachen und Arten der Korrosion

Bei der *chemischen Korrosion* reagieren bestimmte Stoffe unmittelbar mit den Metallatomen, besonders Sauerstoff, der die Oxidbildung sämtlicher Metalle (mit Ausnahme der Edelmetalle) bewirkt. Sind diese Oxidschichten dicht und zusammenhängend, so können sie als Schutzschicht wirken, z. B. bei Chrom, Kupfer, Aluminium. Poröse und lockere Oxidschichten, wie bei Eisen und Stahl, bieten keinen Schutz vor weiterer Korrosion. Chemische Korrosion kann auch erfolgen durch Reaktion mit Gasen, Dämpfen, Säuren, Laugen und Salzen (besonders bei höheren Temperaturen).

Bei den normalen atmosphärischen Korrosionsvorgängen wirkt immer gleichzeitig die Luft- und Bodenfeuchtigkeit mit, so daß dann *elektrochemische Korrosionsvorgänge* auftreten, die auf die Bildung kurzgeschlossener galvanischer Elemente, an deren Anode die Metallzerstörung eintritt, zurückzuführen sind. Diese galvanischen Elemente bilden sich bei Anwesenheit eines Elektrolyten, wenn verschiedene Metalle miteinander in Berührung kommen (z. B. Löt-, Schraub-, Niet- und andere Verbindungen). Dabei wird immer das unedlere Metall gelöst und zerstört (s. elektrochemische Spannungsreihe). Auch bei unterschiedlicher Werkstoffbeschaffenheit (z. B. Kristallisationsunterschiede, Einschluß von Verunreinigungen) und bei verschiedenartiger Beanspruchung eines Werkstückes aus dem gleichen Werkstoff sowie bei Legierungen mit mehreren metallischen Phasen (mit Potentialunterschieden) kann es zur Bildung kleiner galvanischer Elemente kommen. Diese haben nur eine örtlich begrenzte Wirkung und werden deshalb Lokalelemente genannt. Ferner kann im Zusammenhang mit elektrischen Anlagen die elektrochemische Korrosion noch auf unbeabsichtigte Fremdströme zurückzuführen sein.

Tabelle 8.22 zeigt die verschiedenen *Korrosionsarten*, Tabelle 8.23 das *Korrosionsverhalten häufig gebrauchter Metalle*. Meist überlagern sich die einzelnen Korrosionserscheinungen und erschweren das eindeutige Erkennen. Es können auch Werkstoffzerstörungen durch gleichzeitige chemische und mechanische Angriffe eintreten. Besonders ist dies zu beobachten bei Werkstücken, die chemischen Angriffen und schnellen Gas- oder Flüssigkeitsströmungen (die kleinste Festteilchen mit sich führen) ausgesetzt sind. Durch *Erosion* wird die Oberfläche mechanisch angegriffen, korrosionshemmende Schichten werden abgetragen, und Korrosion und Erosion bewirken gleichzeitig die Werkstoffzerstörung. Die *Kavitation* (Hohlraumbildung) ist ein mechanischer Angriff, der besonders an Pumpenlaufrädern, Schiffsschrauben und anderen in Flüssigkeiten schnell umlaufenden oder schwingenden (vibrierenden) Bauelementen zu beobachten ist. Treten dazu noch chemische Angriffe auf, so kann die Werkstoffzerstörung durch Kavitation und Korrosion gleichzeitig sehr schnell erfolgen.

Die Edelmetalle *Iridium* und *Rhodium* sind noch beständiger als Platin. Von den sonstigen Metallen ist noch sehr beständig *Tantal*, das auch von Königswasser, Schwefelsäure, Schwefeldioxid, Chlor und Kalilauge nicht angegriffen wird, aber unbeständig ist gegen rauchende Schwefelsäure und Flußsäure. *Titan* ist beständig gegen Salz-, Schwefel- und Phosphorsäure (niedriger Temperatur und Konzentration) und unbeständig gegen reduzierende Stoffe. *Molybdän* wird von oxydierenden Säuren stark, von nichtoxydierenden Säuren nicht angegriffen. Ähnlich verhält sich *Wolfram*, während *Kobalt* ähnliches Verhalten wie Eisen und Nickel zeigt.

Tabelle 8.22: Arten der Korrosion

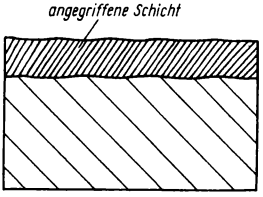
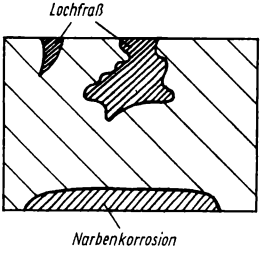
Bezeichnung	Schematische Darstellung	Erscheinungsform	Ursachen
gleichmäßiger Angriff (gleichmäßige Abtragung)		Zusammenhängende Korrosionsschicht parallel zur Oberfläche. Die Festigkeitseigenschaften sinken durch die Querschnittsminderung. Besteht eine zusammenhängende dichte Korrosionsschicht (z. B. bei Al), kann diese zur Hemmung weiterer Zerstörung beitragen.	vor allem Angriff durch Luft und Wasser mit den darin enthaltenen Verunreinigungen (Gase, Salze, Stäube usw.)
örtlicher Angriff (Lochfraß, Narbenkorrosion)		Nur bestimmte Stellen der Oberfläche werden angegriffen. Der Angriff erfolgt ziemlich rasch und kann bis zur Durchlöcherung führen. Beim Lochfraß ist von außen der Umfang des Angriffs oft nicht zu erkennen.	meist elektrochemischer Angriff (von Lokalelementen ausgehend)

Tabelle 8.22 (Fortsetzung)

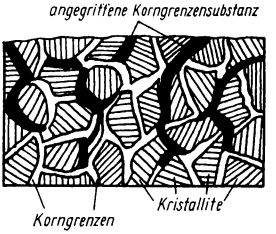
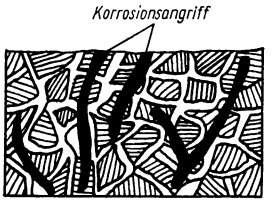
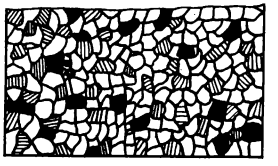
Bezeichnung	Schematische Darstellung	Erscheinungsform	Ursachen
interkristalline Korrosion		Von außen vielfach gar nicht zu erkennen. Am gebrochenen Werkstück ist dann ersichtlich, daß entlang der Korngrenzen die Korngrenzensubstanz herausgelöst worden ist.	elektrochemischer Angriff; die unedlere Korngrenzensubstanz wird herausgelöst
transkristalline Korrosion (Spannungskorrosion)		Im Werkstück bestehen Risse, die durch das Korninnere verlaufen (vorwiegend quer zur Spannungsrichtung).	unter Eigenspannung stehende oder häufiger Wechselspannung ausgesetzte Werkstücke können transkristalline Korrosion aufweisen
selektive Korrosion		Bestimmte Gefügebestandteile werden besonders angegriffen (herausgelöst). Bei dem im Gußeisen auftretenden sog. Eisenschwamm (Spongiose) sind z. B. vorwiegend Ferrit und Perlit korrodiert, so daß evtl. nur noch ein Graphitskelett besteht.	unedlerer Bestandteil wird angegriffen; Legierungen, die Kristallgemische bilden, sind korrosionsanfällig, da eine Lokalelementbildung zwischen den Gefügebestandteilen bei starkem Potentialunterschied eintritt

Tabelle 8.23: Korrosionsverhalten wichtiger Gebrauchsmetalle

Metall	Normalpotential V	Korrosionsverhalten
edle Metalle		
Gold	+1,42	korrosionsbeständig; wird nur von Königswasser oder Zyaniden angegriffen
Platin	+1,20	korrosionsbeständig; wird nur von Chlor, heißer konzentrierter Schwefelsäure und elementarem Schwefel angegriffen
Silber	+0,80	gut korrosionsbeständig; läuft an der Luft etwas an (Reaktion mit enthaltenen Schwefelverbindungen); nicht beständig gegen Salpetersäure, konzentrierte Schwefelsäure und starke Oxydationsmittel
Kupfer	+0,34	korrosionsfest; bildet an der Luft Patina (Kupferkarbonat + Kupfersulfat), dadurch Beständigkeit gegen nichtoxydierende Säuren; Fruchtsäuren bewirken die Bildung des giftigen Grünspans (Kupferazetat + Kupferhydroxid); gegen Gase, Seewasser, wäßrige Lösungen, Basen und Salze beständig; nicht beständig gegen oxydierende und ammoniumhaltige Verbindungen; Schwefelverbindungen in der Luft bewirken Korrosion (purpurfarbene Anlaufschicht aus Oxid und Sulfid)
unedle Metalle		
Blei	— 0,13	gegen Schwefel und dessen Verbindungen in der Luft beständig; viele Säuren bilden Schutzschichten aus schwer löslichen Bleisalzen, auch hartes, kohlensäurehaltiges Wasser bildet eine Deckschicht (Bleikarbonat); nicht beständig gegen weiches, kohlensäurefreies Wasser und alkalische Lösungen; wegen der guten Beständigkeit gegen Schwefelsäure (Schutzschicht aus Bleisulfat) wird es bei der Schwefelsäuregewinnung eingesetzt

Tabelle 8.23 (Fortsetzung)

Metall	Normalpotential V	Korrosionsverhalten
Zinn	— 0,15	beständig gegen schwache und verdünnte Säuren (auch Fruchtsäuren); bei Sauerstoffeinwirkung Schutzschicht von Zinnoxid; stark saure sowie chlorionenhaltige und alkalische Lösungen zerstören die Schutzschicht und greifen den Werkstoff an; empfindlich gegen Schwefelverbindungen, muß vor tiefen Temperaturen geschützt werden, da sonst Zinnpest (Zerfall zu grauem Pulver) einsetzt
Nickel	— 0,25	beständig gegen Wasser, schwach saure Lösungen und Alkalien; bei neutralen und alkalischen Lösungen bildet sich Schutzschicht von Nickelhydroxid; starke nichtoxydierende Säuren und schwefelhaltige Gase greifen Nickel an
Eisen	— 0,45	beständig gegen alkalische und oxydierend wirkende Lösungen, praktisch auch beständig in luftfreiem Wasser; hartes Wasser bildet eine Deckschicht; Eisen rostet in sauerstoffhaltigem Wasser, lufthaltigen Salzlösungen, feuchter Atmosphäre (besonders bei Vorhandensein von Chlorionen); unbeständig gegen nicht oxydierend wirkende Säuren
Chrom	— 0,71	beständig auch bei höheren Temperaturen gegen alle oxydierenden Mittel durch Bildung einer dichten, festhaftenden Chromoxidschicht, unbeständig gegen sauerstofffreie Säuren (Salzsäure) und Alkalien
Zink	— 0,77	bei atmosphärischer Einwirkung bildet sich eine festhaftende, einen beschränkten Korrosionsschutz bewirkende Zinkhydroxidschicht; kohlensäurehaltiges Wasser bewirkt Schutzschicht aus Zinkkarbonat; schwache Laugen greifen Zink nicht an; unbeständig ist Zink gegen Säuren, chlorid- und sulfathaltige Lösungen
Aluminium	— 1,69	Bildung einer dichten, fest zusammenhängenden Belagschicht von Aluminiumoxid (an der Luft) oder von Aluminiumhydroxid (in wäßrigen, sauerstoffhaltigen Lösungen), die vor weiterer Korrosion schützt; alkalische Lösungen zerstören die Belagschicht, Chlorionen durchdringen sie, dadurch erfolgt Korrosion; Lösungen, in denen Chromate oder Silikate enthalten sind, verstärken die Oxidschicht und verbessern somit die Korrosionsbeständigkeit
Magnesium	— 2,34	Bildung einer Schutzschicht aus Magnesiumoxid oder Magnesiumhydroxid; dadurch Beständigkeit an Luft und gegen starke Laugen und Säuren; die Oxidschicht wird verstärkt durch chromat- und fluoridhaltige Lösungen; verdünnte Säuren zerstören die Oxidhaut; Chlorionen durchdringen sie und wirken so zerstörend; unbeständig ist Magnesium auch gegen See- und Schwitzwasser

8.5.2. Korrosionsschutz und Oberflächenveredlung

Um Korrosionsschäden entgegenzuwirken, sind *Korrosionsschutzmaßnahmen* erforderlich. Diese beginnen z. B. schon bei der Konstruktion mit der richtigen Werkstoffauswahl für korrosionsgefährdete Bauteile sowie mit der Vermeidung von Metallpaarungen, die galvanische Elemente bilden können. Der am häufigsten angewandte Korrosionsschutz besteht darin, daß organische oder anorganische Schutzüberzüge aufgebracht und somit die Oberflächen veredelt werden, was oft gleichzeitig das Aussehen der Werkstücke verbessert. Eine weitere Möglichkeit besteht im elektrochemischen Korrosionsschutz, wobei man willkürlich ein galvanisches Element bildet.

Korrosionsschutz durch Aufbringen von Überzügen

Um gutes Haften der Überzüge zu erreichen, muß die Metalloberfläche vorbereitet, d. h. sorgsam entfettet und von Rost und Oxidschichten befreit werden.

Das *Entfetten* kann geschehen durch alkalische Mittel, z. B. Ätznatron (greift aber auch Metalle, z. B. Aluminium, an), durch organische Lösungsmittel, besonders Tri- und Perchloräthylen, und durch elektrolytische Entfettung (Fette werden verseift).

Die *störenden Metalloxide* können chemisch, mechanisch oder elektrochemisch entfernt werden (Tabelle 8.24).

Die aufzubringenden Überzüge können nichtmetallisch oder metallisch sein. Die Entscheidung für eine bestimmte Art des Überzuges hängt vom Verwendungszweck des Werkstücks ab und wird immer unter Beachtung ökonomischer Gesichtspunkte getroffen.

Tabelle 8.25 gibt einen Überblick über *nichtmetallische Schutzschichten*, Tabelle 8.26 über *metallische Schutzschichten*.

Tabelle 8.24: Entfernung der Metalloxide

Art	Beschreibung
chemische Entfernung	Beizen dient zum Entzundern des Stahles und Reinigen von Messingteilen, Rotguß und dgl. Nach Entfetten werden die Teile in unverdünnte oder verdünnte Schwefel-, Salz- oder Salpetersäure getaucht. Stahlkonstruktionen werden vor Anstrich mit verdünnter Schwefelsäure gebeizt. Auch harte Gußstücke werden vor der Bearbeitung gebeizt.
mechanische Entfernung	Bürsten, Kratzen, Schmirgeln, Schleifen, Polieren oder Anwendung von Sandstrahlgebläsen. Bei letzterem wird trockener Sand unter hohem Druck auf das Werkstück geschleudert (Bild 8.16). Das Verfahren dient auch zum Mattieren von Oberflächen.
elektrochemische Entfernung	Das zu entzundernde Werkstück wird als Anode in einen elektrolytischen Stromkreis geschaltet, in dem Säuren oder Laugen als Elektrolyten wirken.

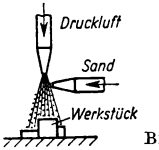


Bild 8.16. Sandstrahlgebläse

Tabelle 8.25: Nichtmetallische Schutzschichten

Bezeichnung	Prinzip und Besonderheiten
Einfetten	Gleichmäßig dick aufgetragene Fettschichten (säurefreie wasserunlösliche Fette oder Öle, z. B. Vaseline) schützen blanke Teile, z. B. während der Lagerung oder des Transportes.
Lack- und Farbüberzüge	*Farbüberzug (Lackieren):* Man unterscheidet hierbei zunächst (vom Arbeitsverfahren her) zwei Hauptgruppen der anzuwendenden Lacke. a) lufttrocknende Lacke (überwiegend auf Basis Nitrozellulose, Chlorkautschuk usw.), b) ofentrocknende Lacke (Kunstharzlacke). Lufttrocknende Lacke werden verwendet, wenn der zu lackierende Gegenstand temperaturempfindlich (z. B. Lötstellen) oder anderweitig für Ofentrocknung ungeeignet ist, z. B. große Aggregate. Ofentrocknende (»Einbrenn-«) Lacke geben größeren Korrosionsschutz. Wichtig ist in jedem Fall die sorgfältige Untergrundvorbehandlung. – Für dekorative Zwecke werden oft Effektlacke (Hammerschlaglacke) verwendet. *Spritzlackierverfahren* mittels Spritzpistole (Bild 8.17) oder Druckluftzerstäubers. Einzelteile: Farbenbehälter, Spritzdüse, Luftzufuhrrohr, Nadelventil, Zerstäuben der Farbe erfolgt durch Druckluft. *Wirkungsweise* s. Bild 8.18. Es ist dafür Sorge zu tragen, daß die Farbe vor Verwendung gut umgerührt und durch ein Sieb gegeben wird. – *Lackierautomaten* werden für Massenfertigung angewandt. Leistung: 2500 Hohlkörper von 100 mm Durchmesser und 65 mm Höhe in 1 h, Lackverbrauch etwa 800 g. Das Streichen von Hand erfordert 2500···1200 % mehr Arbeitszeit. Das modernste und rationellste Spritzlackierverfahren ist das elektrostatische Lackieren. Auch durch *Tauchen* können die Farbüberzüge aufgebracht werden. Vielfach wird zuerst ein Grundanstrich (Blei- oder Eisenmennige) vorgenommen, dann erfolgt das Aufbringen des Deckanstriches. Abziehlacke, durch Tauchen oder Spritzen aufgebracht, bieten einen kurzfristigen Korrosionsschutz (z. B. beim Transport) und werden vor Gebrauch der Aggregate entfernt.
Teer- und Asphaltüberzüge	Vor allem Wasserleitungsrohre aus GGL und Erdleitungen werden durch Teer- oder Asphaltüberzüge (durch Tauchen oder Einbürsten aufgebracht) geschützt.
spezielle Überzüge	Für Sonderzwecke erfolgt Ummantelung mit Asbestzement oder Zement und Gummierung mit Kautschuk.
Plastüberzüge	*Flammspritzen:* Mit Hilfe einer Spezial-Spritzpistole wird der als Pulver oder Granulat vorliegende Plastwerkstoff (PVC-weich als Plast) durch eine Flamme auf das vor Korrosion zu schützende Teil aufgespritzt, dessen Oberfläche zur besseren Haftung des Überzuges fettfrei und aufgerauht sein muß. Anwendung bei PVC, Polyäthylen und Polyamid. Polyamidüberzüge sind besonders verschleißfest. *Wirbelsintern:* Die vorgewärmten Teile werden in das durch Druckluft oder inerte (reaktionsträge) Gase aufgelockerte Plastpulver (Polyäthylen) getaucht. Durch die Speicherwärme des Teiles schmilzt das Pulver zu einem festhaftenden Überzug zusammen.
Brünieren	Künstliche Erzeugung einer dünnen Oxidschicht. Die sorgfältig gereinigten Teile werden im Brünierbad (konzentrierte Lösung von Ätznatron und Oxydationsmitteln) bei 140 °C behandelt und anschließend in Öl getaucht.
Schwarzbrennen	Erwärmen des sauber bearbeiteten Werkstücks auf schwache Dunkelrotglut, Tauchen in Öl, danach Ab- bzw. Einbrennen unter nochmaligem Erwärmen. Man erreicht schwarze, mattglänzende Oberfläche (Rostschutz).
Inoxydieren	Bildung einer Schutzschicht von Eisen-(II, III)-oxid durch Glühen der Werkstücke in wechselnd reduzierender und oxydierender Gasatmosphäre (800···900 °C). Die Schichtdicke ist abhängig von der Glühdauer.
Phosphatieren	Anwendung hauptsächlich bei Eisenlegierungen, aber auch bei Nichteisenmetallen (Zink, Magnesium, Aluminium). Die Behandlung kann in einem Bad, das freie Phosphorsäure enthält, erfolgen. Unterschieden werden ferner Heiß- und Kalt- sowie Tauch- und Spritzphosphatierung und das Elektrolytphosphatieren. Die entstehenden Phosphatschichten stellen einen guten Rostschutz dar, schaffen einen guten Untergrund für nachfolgende Anstriche und haben gute Schmiereigenschaften.
Emaillieren	Aufschmelzen eines Überzuges im Brennofen bis zur Sinterung (Niederschlagsbildung). *Grundemail* verbindet sich chemisch mit gereinigter zu emaillierender Oberfläche. *Deckemail* kann jede Farbe (Metalloxidbasis) bekommen. *Emails* werden in Wannenöfen bei 1100···1400 °C erschmolzen, granuliert, mit Zusätzen naß aufgemahlen, verspritzt oder gepudert. Rohstoffe: Quarz, Feld-, Flußspat, Soda, Borax. Emailüberzüge werden nur bei Eisenlegierungen angewendet. Werkstücke mit solchen Überzügen sind sehr korrosionsbeständig. Allerdings sind die Überzugsschichten sehr spröde und blättern bei Schlagbeanspruchung und schroffem Temperaturwechsel leicht ab.
Chromatieren	Durch Behandlung mit Chromatlösungen wird bei Aluminium, Magnesium, Zink und deren Legierungen der Aufbau dicker Oxidschichten gefördert. Wir kennen das MBV-Verfahren (für Reinaluminium und kupferfreie Aluminiumlegierungen) und das EW-Verfahren, das besonders wichtig für die Verbesserung der Korrosionseigenschaften von Magnesium ist. Die durch beide Verfahren erzielten Oxidschichten sind etwa 20···40mal so dick wie die natürlich entstehenden Oxidschichten.
anodische Oxydation (Eloxieren)	Gegenstände aus Al und Al-Legierungen werden auf elektrochemischem Weg mit einer sehr harten (je nach Verfahren bis Korundhärte) Aluminiumoxidschicht überzogen. Die vorhandenen Poren werden im Verdichtungsbad abgedichtet. Das Werkstück wird (als Anode) in ein Oxalsäurebad gebracht. Bei der Elektrolyse wird atomarer Sauerstoff frei, der die schon vorhandene Oxidschicht verstärkt, weil er in deren Mikroporen eindringt. Das Einfärben der Oxidschicht kann durch Aufsaugen von Lösungen erfolgen. Auch bei Magnesium ist eine elektrolytische Oxydierung (nach dem Elemag-Verfahren) möglich. Dabei werden Fluoride in die Schutzschicht eingebaut.

Tabelle 8.26: Metallische Schutzschichten

Bezeichnung	Prinzip und Besonderheiten
Tauchverfahren	
Feuerverzinnen, -verzinken, -verbleien	Die Werkstücke werden in das geschmolzene Überzugsmetall (Zinn, Zink, Blei oder evtl. Kadmium) getaucht. Nach dem Herausnehmen und Erstarren entsteht an der Oberfläche ein dichter, zusammenhängender, vor Korrosion schützender Überzug. Auch die Weißblechherstellung ist eine Feuerverzinnung, wobei die vorbehandelten gesäuberten Stahlbleche in einem Zinnbad durch Walzen kontinuierlich transportiert werden.
mechanische Verfahren	
Spritzverfahren	s. Metallspritzen (S. 406 ff.)
Plattieren	Das Verbessern der Korrosionseigenschaften erfolgt durch unterbrechungslose innige Verbindung unedler Metalle mit dünnen Schichten korrosionsbeständiger Metalle. Metallische Grundwerkstoffe sind meist niedrig legierte Stähle und Aluminiumbleche. Als Plattierungswerkstoffe verwendet man z. B. Messing, Tombak, Nickel, Kupfer, Aluminium und evtl. die Edelmetalle Gold und Silber. Die wichtigsten Plattierungsverfahren sind Verbundguß, Schweiß- und Walzschweißplattierung.
Diffusionsverfahren	
Sheradisieren	Kleine Eisenteile (z. B. Schrauben) werden diffusionsverzinkt, indem sie 1···10 h lang in drehbaren Trommeln bei Temperaturen von 250···450 °C mit gepulvertem Zink in innige Berührung gebracht werden. Temperatur und Zeit werden durch die gewünschte Schichtdicke bestimmt. Der entstehende Überzug ist eine Eisen-Zink-Legierung, deren Eisengehalt nach außen abnimmt.
Kalorisieren und Alitieren	Aluminiumüberzüge werden erzeugt durch Glühen der Werkstücke in Metallpulver. Beim *Kalorisieren* wird Reinaluminiumpulver verwendet. Die entstehende spröde Schutzschicht enthält etwa 50 bis 75 % Aluminium. Beim *Alitieren* wird mit einer gepulverten Aluminium-Eisen-Legierung (50 % Fe, 50 % Al) gearbeitet. Die entstehende Schutzschicht enthält dann etwa 10···15 % Aluminium, ist nicht so spröde und haftet sehr gut.
Aufdampfverfahren	Konturenmäßig komplizierte Teile erhalten durch Aufdampfen korrosionsbeständiger Metalle oder Metalloide eine Schutzschicht.
elektrochemische Verfahren	
Tauch- und Sudverfahren	Es werden kaum dichte, fest haftende Überzüge erhalten, da die Metallabscheidung schon bei dünnsten Schichten zum Stillstand kommt. Bedingung ist immer, daß das Überzugsmetall edler als das Grundmetall ist. *Beispiel:* Verkupfern durch mehrmaliges Eintauchen in eine Lösung aus 10 Teilen Wasser mit 2 Teilen Kupfersulfat, Abreiben, Abspülen in reinem Wasser, zuletzt in Kalkwasser. Beim Sudverfahren wird die Temperatur bis zum Siedepunkt der Salzlösung gesteigert, um die Niederschlagsbildung zu erhöhen.
galvanisch aufgebrachter Oberflächenschutz	Die Bildung der Schutzschicht erfolgt auf galvanischem Wege (Elektrolyse). *Vorgang* (Bild 8.19): Im Behälter B befinden sich das Metallsalzbad (je nach Art des Überzuges), ein Zusatz von Leitsalz, der betreffende Gegenstand (Katode) und eine Platte (Anode) aus Kupfer, Zink, Nickel usw. Der elektrische Strom (Gleichstrom) geht von der Pluselektrode durch die Anode und das Bad zur Katode. Das Metall der Anode (Platte) löst sich, wandert in atomarer Form in das galvanische Bad und scheidet sich aus der Metallsalzlösung wieder aus, indem es sich auf der Katode (Gegenstand) ansetzt und einen gleichmäßigen Überzug am Gegenstand erzeugt. Die Anode löst sich allmählich auf. Der Gegenstand wird nach der Behandlung in warmem Wasser abgespült und danach in Sägespänen getrocknet. Als galvanische Überzugsmetalle finden Verwendung Nickel, Kupfer, Chrom, Gold, Silber, seltener Zinn und Zink. *Beispiele: Vernickeln, galvanisch:* Glanz- oder Mattnickelelektrolyt, fertig lieferbar. Niedergeschlagenes Nickel ist weich, biegsam und hämmerbar. *Anode:* gegossene oder gewalzte Nickelplatte, *Katode:* Gegenstand. – *Verchromen:* Die zu verchromenden Gegenstände werden vorher vernickelt. Danach kommen sie in ein Glanzchrombad etwa folgender Zusammensetzung: 100 l Wasser, 35 kg Chromsäure, 0,5 kg Ammoniumsulfat, 1 kg Kieselfluornatrium, 0,1 kg Natriumthiosulfat, 0,5 kg Borsäure, 0,050 g Quecksilberchlorid. Die Gegenstände sind hochglänzend und besitzen einen sehr guten Oberflächenschutz.

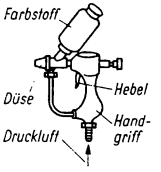


Bild 8.17. Spritzpistole

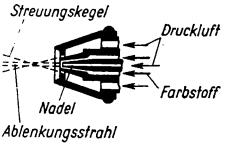


Bild 8.18. Spritzpistolendüse (Schnitt)

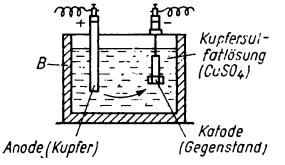


Bild 8.19. Elektrolyse

Tabelle 8.27: Ätzflüssigkeiten (Mischungsanteile)

Metall	Salzsäure	Salpetersäure	Wasser	Kaliumchlorid	Essigsäure
Stahl, weich	—	1	4	—	—
hart	—	2	—	—	1
Messing	—	8	130	3	—
Bronze	1	20	—	—	—
Tiefätzung	5	—	44	1	—

Elektrochemischer Korrosionsschutz

Die sog. aktiven Korrosionsschutzverfahren bestehen darin, daß willkürlich ein galvanisches Element aufgebaut wird. Beim *katodischen Korrosionsschutz* wirkt das gefährdete Teil als Katode und ein unedleres Metall als Anode (z. B. Werkteil Eisen, Anode Zink). Werden beide Teile leitend miteinander verbunden und dem gleichen Medium ausgesetzt, so erfolgt die Korrosion an der Anode, das unedlere Metall wird allmählich verbraucht und muß in gewissen Zeitabständen ersetzt werden.
Beim *anodischen Korrosionsschutz* wird eine passivierende Spannung an das gefährdete Stück gelegt und somit Korrosionsschutz erreicht.

Kennzeichnung von Oberflächen

Die Oberflächenkennzeichnung kann durch *Ätzen* erfolgen. Ätzen wendet man an, um Namen, Zeichen usw. an metallischen Gegenständen anzubringen. Zuerst erfolgt sorgfältige Reinigung, dann Bestreichen mit Ätzgrund, d. h. einer Schutzschicht für nicht zu ätzende Stellen (Mischung von Pech, Asphalt und Bienenwachs zu gleichen Teilen). Falls die zu ätzenden Stellen nicht durch Schablonen gegen den Ätzgrund abgedeckt sind, werden diese Stellen mittels Nadel von Hand oder maschineller Vorrichtung in den Ätzgrund gezeichnet. Darauf wird das Werkstück mit Ätzflüssigkeit bestrichen, welche die nichtgeschützten Teile angreift und so eine Ätzzeichnung erzeugt.
Tabelle 8.27 enthält *Ätzflüssigkeiten* für verschiedene Metalle.
Tabelle 8.28 enthält die Standardpotentiale (E_0) der technisch wichtigsten Metalle zur Wasserstoffelektrode bei 25 °C.

Tabelle 8.28: Elektrolytische Spannungsreihe

Vorgang	E_0 in V	Vorgang	E_0 in V
$K \rightarrow K^+$	— 2,92	$Sn \rightarrow Sn^{++}$	— 0,140
$Na \rightarrow Na^+$	— 2,714	$Pb \rightarrow Pb^{++}$	— 0,126
$Mg \rightarrow Mg^{++}$	— 2,38	$Fe \rightarrow Fe^{+++}$	— 0,036
$Al \rightarrow Al^{+++}$	— 1,66	$H_2 \rightarrow 2H^+$	± 0,000
$Mn \rightarrow Mn^{++}$	— 1,18	$Sn \rightarrow Sn^{4+}$	+ 0,050
$Zn \rightarrow Zn^{++}$	— 0,763	$Cu \rightarrow Cu^{++}$	+ 0,337
$Cr \rightarrow Cr^{+++}$	— 0,51	$Ag \rightarrow Ag^+$	+ 0,799
$Fe \rightarrow Fe^{++}$	— 0,440	$Hg \rightarrow Hg^{++}$	+ 0,854
$Cd \rightarrow Cd^{++}$	— 0,402	$Au \rightarrow Au^{+++}$	+ 1,50
$Ni \rightarrow Ni^{++}$	— 0,236		

9. Werkstoffprüfung

9.1. Aufgaben, allgemeine Einteilung

Die ständige technische Entwicklung erfordert den zunehmenden Einsatz der Werkstoffprüfung. Diese erfolgt durch zweckentsprechende Versuche an Probekörpern oder an teilweise sowie ganz bearbeiteten Bauteilen. Die Versuchsergebnisse ermöglichen zusätzlich zur Unterstützung der Grundlagenforschung die exakte Qualitätsüberwachung in den Betrieben beim Materialeingang, während der Fertigung und Endkontrolle der Erzeugnisse und helfen bei der Aufklärung von Schadensfällen und Beanstandungen. Es werden also Werkstoffeigenschaften mit Hilfe von Kenngrößen festgelegt und somit Grundlagen für die Verwendbarkeit der verschiedenen Werkstoffe, aber auch für ihre Austauschbarkeit geschaffen. Dazu ist es notwendig, nicht nur eine Kenngröße, sondern einen ganzen Komplex von Eigenschaften eines Werkstoffes festzulegen. Es interessieren den Maschinenbauer besonders die Kennwerte des *Formänderungswiderstandes* und des *Formänderungsvermögens*, die man mit mechanischen Prüfverfahren ermittelt. Die technologischen Versuche beschränken sich meist auf Verformungsmessungen und geben sonst keine zahlenmäßige Erfassung der Prüfergebnisse. Sie haben nur die Aufgabe, durch einfache Versuchsanordnungen das Verhalten des Werkstoffes bei der Verarbeitung und später auftretenden Beanspruchungen festzustellen.
Immer mehr an Bedeutung gewinnen die *zerstörungsfreien Prüfverfahren*, da hier wichtige Bauelemente in ihrer Fertigform ohne Beschädigung untersucht werden können. Das ist besonders für die Ausgangskontrolle wichtig.
Wichtige Prüfverfahren sind ferner die *chemisch-technischen Prüfungen*, die qualitative und quantitative Angaben über Hilfs- und Grundstoffe liefern, und die *metallographischen Untersuchungen*, die z. B. Aussagen über den Gefügeaufbau geben. Auch die Abnutzungsuntersuchungen, die hauptsächlich als Verschleiß- und Korrosionsprüfungen durchgeführt werden, nehmen immer mehr an Bedeutung zu.
Für die Untersuchung und Prüfung der Plaste kommen z. T. die gebräuchlichen Prüfverfahren zur Anwendung. Darüber hinaus sind aber auch spezielle Prüfmethoden und -aggregate entwickelt worden, die es ermöglichen, gute Aussagen über diese besondere Werkstoffgruppe zu gewinnen.
Die verschiedenen Prüfverfahren können nach Art der zu prüfenden Eigenschaften in folgende *Hauptgruppen* eingeteilt werden:

a) mechanisch-technologische Prüfungen und Untersuchungen,
b) zerstörungsfreie Werkstoffuntersuchungen,
c) chemisch-technische Prüfungen und Untersuchungen,
d) metallographische Untersuchungen.

9.2. Mechanisch-technologische Prüfverfahren

9.2.1. Begriffsbestimmung

Das Verhalten von Werk- und Baustoffen bei verschiedenen Beanspruchungsarten wird auf besonderen Prüfmaschinen untersucht. Ein Probekörper wird bis zur Deformierung oder Zerstörung belastet (zerrissen, zerdrückt, gebogen, geknickt, verdreht, abgeschert bzw. mit einem bleibenden Eindruck versehen).
Die hierzu erforderlichen Belastungen sind am Kraftanzeiger abzulesen. Aus den Versuchswerten kann man für den Werkstoff charakteristische Kenngrößen bzw. die zulässige Höchstbeanspruchung ermitteln.
Man unterscheidet *statische* (Beanspruchung bei ruhender bzw. allmählich zu- oder abnehmender zügiger Belastung) und *dynamische* (Krafteinwirkung erfolgt stoß- oder schlagweise bzw. schwingend) Prüfverfahren.

Festigkeitsprüfungen

Festigkeit ist der innere Widerstand, den ein Körper der elastischen oder der plastischen Deformierung bzw. Zerstörung durch innere oder äußere Kräfte entgegensetzt. Bild 9.1 zeigt die *Arten der Festigkeitsprüfverfahren*.

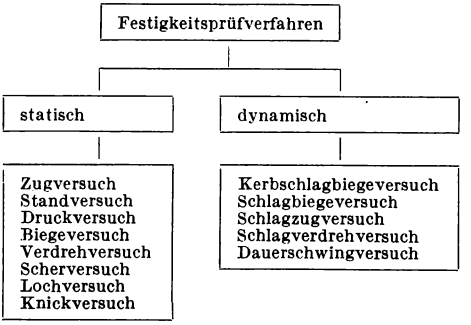


Bild 9.1. Arten der Festigkeitsprüfverfahren

9.2.2. Statische Meß- und Prüfverfahren

Zug- oder Zerreißversuch

Der Zugversuch wird meist auf Universalprüfmaschinen, die z. B. für den Zug-, Druck- und Biegeversuch geeignet sind, durchgeführt. Diese besitzen in der Regel einen elektrischen Antrieb mit mechanischer oder hydraulischer Kraftübertragung, während der einfache mechanische Antrieb von Hand nur für kleine Kraftbereiche angewendet wird. Die von den Prüfmaschinen geforderte Krafterzeugung kann von weniger als 1 kp bis zu mehreren Hundert Mp betragen. Daraus ergibt sich die unterschiedliche Bauart der Maschinen. Bild 9.2 zeigt die schematische Darstellung einer Universalprüfmaschine für Zug-, Druck- und Biegeversuche.

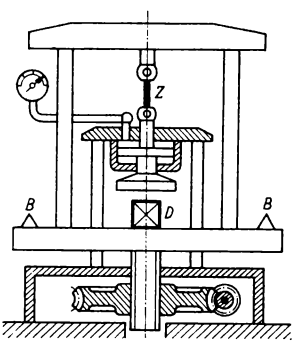


Bild 9.2. Vereinfachte Darstellung einer Universalprüfmaschine, Z Zugprobe, D Druckprobe, B Auflager für Biegeprobe

Probestäbe

Um die Versuchsergebnisse leicht miteinander vergleichen zu können, sind die Abmessungen der Probestäbe standardisiert. Zum Zerreißversuch z. B. verwendet man Rundstäbe, sogenannte Proportionalstäbe (Bild 9.3). Die Meßlänge beträgt beim langen Proportionalstab $10 \times$ Stabdurchmesser d im schwächsten zylindrischen Teil. Es ergibt sich also $L_0 = 10d$. Auf den Stabquerschnitt A_0 bezogen, ist $L_0 = 11{,}3\sqrt{A_0}$.
Beim kurzen Proportionalstab beträgt die Meßlänge $5 \times$ Stabdurchmesser d. Daraus folgt $L_0 = 5d$ oder, auf den Stabquerschnitt A_0 bezogen, $L_0 = 5{,}65\sqrt{A_0}$. Bei den Flachstäben, Bild 9.4, wird die Meßlänge L_0 auch zu $5{,}65\sqrt{A_0}$ oder $11{,}3\sqrt{A_0}$ errechnet, wobei das Seitenverhältnis nicht größer als 1:4 gehalten werden soll. Die Abmessungen der Stäbe für Stahl und Stahlguß sind TGL 0-50125, die für Temperguß TGL 14318 und die für Gußeisen mit Lamellengraphit TGL 14401 zu entnehmen. Stäbe für Gußeisen mit Lamellengraphit, Bild 9.5, besitzen keine eigentliche Meßlänge. Da keine nennenswerte Bruchdehnung vorhanden ist, kommt es hier hauptsächlich darauf an, den Stab dort zu Bruch zu bringen, wo man den Durchmesser d genau bestimmt hat.

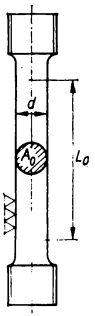


Bild 9.3. Proportionalstab

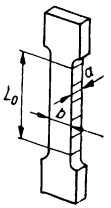


Bild 9.4. Flachstab

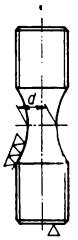


Bild 9.5. Gußeisenstab

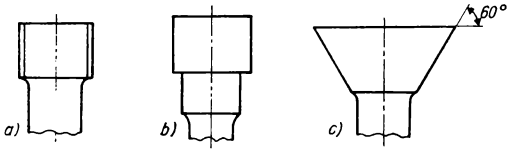


Bild 9.6. Probestab mit a) Gewindekopf, b) Schulterkopf, c) Kegelkopf

Für die einfachen Zugversuche (wobei nicht unbedingt Wert auf rutschfreies Einspannen gelegt wird) werden Probestäbe mit glatten Köpfen verwendet. Muß rutschfreies Einspannen gewährleistet sein [Bestimmung der technischen Elastizitäts- und 0,2-(Dehn-)Grenze], so verwendet man Stäbe mit Gewinde-, Schulter- oder Kegelköpfen, wie sie aus Bild 9.6 ersichtlich sind.

Versuchsdurchführung und -auswertung

Ein Probestab wird in der Zerreißmaschine einer steigenden Zugbelastung bis zum Bruch ausgesetzt. Dabei wird der Dehnungsverlauf ε bei wachsender Spannung σ verfolgt und das Spannungs-Dehnungs-Schaubild (Bild 9.7) meist selbsttätig von der Maschine aufgezeichnet. Die Spannung ist gleichmäßig über den Querschnitt verteilt. Man bestimmt Elastizitätsgrenze *E*, Proportionalitätsgrenze *P*, Streckgrenze *S*, Bruchfestigkeit σ_B (sprich: Sigma groß B), Zerreißfestigkeit σ_Z (sprich: Sigma groß Z), Bruchdehnung δ (sprich: Delta), Einschnürung ψ (sprich: Psi); s. Bild 9.8.

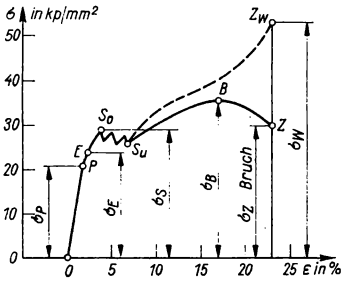


Bild 9.7. Spannungs-Dehnungs-Schaubild für weichen Flußstahl

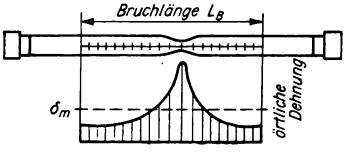


Bild 9.8. Verlauf der Dehnung über der Bruchlänge

Proportionalitätsgrenze σ_P: Bis zu diesem Beanspruchungspunkt ist das HOOKEsche Geradliniengesetz erfüllt. Es ist also die Dehnung proportional der Spannung, d. h., beide stehen im gleichen Zahlenverhältnis. Die Proportionalitätsgrenze stimmt bei den metallischen Werkstoffen meist mit der Grenze für deren elastisches Verhalten überein.

Elastizitätsgrenze σ_E ist die Spannung, bis zu der keine bleibenden Formänderungen auftreten. Da σ_P und σ_E sehr schwer feststellbar sind, gibt man sie in der Praxis nicht als Kennwerte an, sondern arbeitet dafür mit der praktischen oder technischen Elastizitätsgrenze.

Die *technische Elastizitätsgrenze* $\sigma_{0,01}$ ist die sogenannte 0,01-Grenze, d. h. die Spannung, bei der eine bleibende Dehnung von 0,01 % der Ausgangslänge L_0 hervorgerufen wird. In besonderen Fällen kann auch die 0,005-Grenze als technische Elastizitätsgrenze bestimmt werden ($\sigma_{0,005}$).

Die Bestimmung dieser Grenze erfolgt hauptsächlich mit dem Spiegelfeindehnungsmeßgerät nach MARTENS. Dabei werden die minimalen Längenänderungen durch Zwischenschaltung einer mechanischen Übertragung in die Drehung eines Spiegels umgesetzt. Die Auslenkung eines auf den Spiegel fallenden Lichtstrahles wird auf einem Maßstab mit Hilfe eines Fernrohres verfolgt.

Streckgrenze (Fließgrenze) σ_S: Bei weiterer Belastung tritt zwischen den Punkten S_o und S_u des Spannungs-Dehnungs-Schaubildes plötzliches Absinken und Pendeln der Spannung auf, wobei gleichzeitig starke Dehnung des Probestabes erfolgt. Der Werkstoff »fließt«. Das Fließen erkennt man bei bearbeiteter glatter Oberfläche des Probestabes an sich bildenden feinen Linien (Fließfiguren), die bei noch höherer Belastung wieder verschwinden. Nur bei weicheren Stahlsorten und bei bestimmten Aluminium- und Kupferlegierungen kann man eine obere und eine untere Streckgrenze S_o und S_u unterscheiden. Als Streckgrenze σ_S wird diejenige Spannung angegeben, bei der erstmals eine merkliche bleibende Dehnung am Probestab erfolgt.

Bei den übrigen Werkstoffen (harte Stahlsorten, Gußeisen mit Lamellengraphit usw.) sind die Streckgrenzen weniger ausgeprägt (s. Bilder 9.9 ··· 9.12). Ist die Streckgrenze nicht zu erkennen, wie in den Bildern 9.11 und 9.12, so wird durch Feindehnungsmessung die 0,2-(Dehn-)Grenze oder technische Streckgrenze ermittelt. Die *technische Streckgrenze oder 0,2-(Dehn-)Grenze* $\sigma_{0,2}$ entspricht derjenigen Spannung, die eine bleibende Dehnung des Probestabes von 0,2 % seiner Ausgangslänge bewirkt.

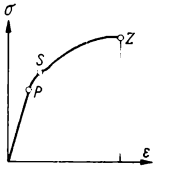


Bild 9.9. Streckgrenze für mittelharten Stahl

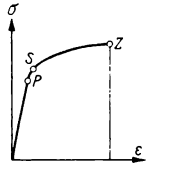


Bild 9.10. Streckgrenze für harten Stahl

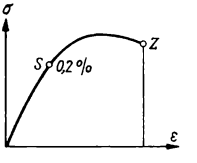


Bild 9.11. Streckgrenze für Kupfer und hochwertige Stähle

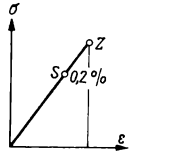


Bild 9.12. Streckgrenze für Gußeisen mit Lamellengraphit (spröde)

Bruchgrenze B: Der Stab beginnt an einer bestimmten Stelle, sich einzuschnüren (Zugfestigkeit σ_B). Mit Querschnittsverminderung tritt Spannungsabnahme bis zur *Zerreißgrenze Z* ein, bei welcher der Probestab zu Bruch geht (Zerreißfestigkeit σ_Z).

Für die Berechnungen und die Konstruktion ist die Zugfestigkeit der ausschlaggebende Wert. Die *Zugfestigkeit* ist die

Spannung, die sich aus dem Verhältnis Höchstlast (F_{max}) zu dem Anfangsquerschnitt (A_0) ergibt. Sie wird nach der Formel $\sigma_B = \frac{F_{max}}{A_0}$ berechnet (σ_B in kp/mm²).

Bruchdehnung δ: Sie setzt sich aus *Gleichmaßdehnung* (bis zum Erreichen der Höchstlast bei Punkt B) und aus *Einschnürdehnung* an der Einschnürstelle (nach Überschreiten der Höchstlast) zusammen (Bild 9.8). Sie wird in % der Meßlänge L_0 angegeben. Ist L_B die Meßlänge nach dem Versuch, so ergibt sich für die Bruchdehnung

$$\delta = \frac{L_B - L_0}{L_0} \cdot 100 \text{ in \%};$$

δ_{10} Bruchdehnung am langen Proportionalstab ($L_0 = 10d$),
δ_5 Bruchdehnung am kurzen Proportionalstab ($L_0 = 5d$).

Im RGW-Bereich wird dem Meßlängenverhältnis $L_0 = 5d$. also dem Wert δ_5, der Vorzug gegeben.

Die *Brucheinschnürung* ψ bezeichnet das Verformungsvermögen des Werkstoffes und ist die in % ausgedrückte Querschnittsverminderung an der Bruchstelle. Ist A_B der Querschnitt an der Einschnürstelle nach dem Versuch, so beträgt die Querschnittsänderung beim Bruch:

$$\psi = \frac{A_0 - A_B}{A_0} \cdot 100 \text{ in \%}.$$

Tabelle 9.1 enthält Versuchsergebnisse auf der Zerreißmaschine.

Tabelle 9.1: Versuchsergebnisse auf der Zerreißmaschine mit Stahlguß von verschiedenem Kohlenstoffgehalt C

C %	σ_S kp/mm²	σ_B kp/mm²	δ_{10} %	ψ %
0,1	21	38	25	65
0,2	25	45	20	52
0,3	28	50	18	38
0,4	30	55	14	26
0,5	33	65	12	20

Wahres Spannungs-Dehnungs-Diagramm

Beim gebräuchlichen Zugversuch werden die Kräfte zur Bestimmung der Spannungen auf den Ausgangsquerschnitt A_0 bezogen. Da aber im Verlauf des Versuches eine Dehnung erfolgt, verringert sich der Stabquerschnitt ständig (besonders stark an der Einschnürstelle), so daß die wirklich vorhandenen Spannungen höher liegen. Die *wirkliche Spannung* σ_w in kp/mm² errechnet man aus dem jeweiligen Querschnitt an der Einschnürstelle: $\sigma_w = \frac{F}{A}$.

Der Verlauf der Spannungs-Dehnungs-Schaulinie wird unter Berücksichtigung von σ_w oberhalb der Streckgrenze ein anderer, wie die gestrichelte Linie in dem Bild 9.7 zeigt.

Für wissenschaftliche Untersuchungen und zur Erforschung der Fließ- und Verfestigungsvorgänge wird das wahre Spannungs-Dehnungs-Diagramm aufgestellt.

Zugversuch bei erhöhten Temperaturen

Großen Einfluß auf die Verformungs- und Festigkeitskennwerte hat die Temperatur, bei welcher der Versuch durchgeführt wird.

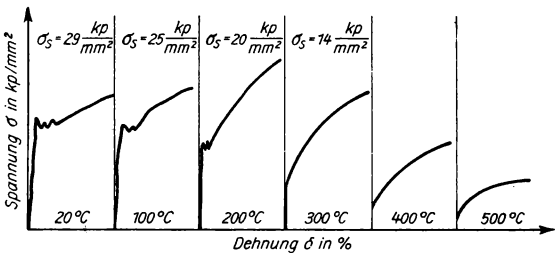


Bild 9.13. Veränderung der Streckgrenze des weichen Stahls durch Temperatureinfluß

Die Bilder 9.13 und 9.14 zeigen, wie sich die verschiedenen Kennwerte bei höheren Temperaturen verändern. Die Feststellung der Kennwerte erfolgt wie beim Zugversuch bei Raumtemperatur. Die Prüftemperatur ist abhängig von dem zu prüfenden Werkstoff und muß durch geeignete Vorrichtungen über die gesamte Meßlänge des Probestabes während der Versuchsdauer genau eingehalten werden (erlaubte Abweichungen ±3 °C). Für Temperaturen bis zu 600 °C werden Flüssigkeitsbadöfen, für solche über 600 °C elektrisch beheizte Luftumwälzöfen benutzt. Sollen die Versuche bei tiefen Temperaturen durchgeführt werden, so verwendet man Kohlensäureschnee bzw. entsprechende Kältemischungen.

Der Warmzugversuch dient hauptsächlich zur Ermittlung der Warmstreckgrenze.

Da die Belastungszeit großen Einfluß auf die Kennwerte der Warmzugversuche hat, muß diese immer mit angegeben werden (Belastungszunahme soll je Sekunde nicht größer als 0,5 kp/mm² sein).

Zeitstandversuch

Hier wird das Verhalten des Werkstoffes bei konstanter Belastung und höherer konstanter Temperatur über längere Zeit beobachtet. Dies ist erforderlich, da durch gleichbleibende Belastung in höheren Temperaturbereichen plastische Weiterverformungen (Kriechvorgänge) auftreten, die beim Zug- und Warmzugversuch nicht ermittelt werden können. Bild 9.15 zeigt schematisch den Dehnungsverlauf im Zeitstandversuch.

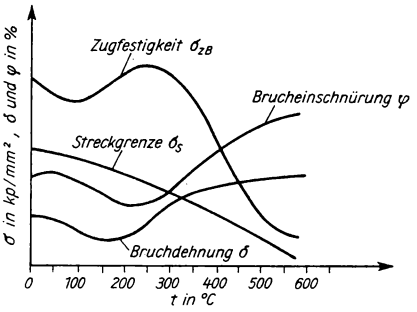


Bild 9.14. Veränderung der Festigkeits- und Verformungskennwerte durch Temperatureinfluß bei unlegiertem Stahl

Zu Beginn des Versuches ist im 1. Abschnitt anfangs eine hohe Kriechgeschwindigkeit vorhanden. Im 2. Abschnitt liegt fast gleichmäßige Kriechgeschwindigkeit vor, und im 3. Abschnitt steigt die Kriechgeschwindigkeit wieder an, da hier die Einschnürung an der Bruchstelle erfolgt. Der 3. Abschnitt ist besonders klein bei spröden Werkstoffen. Tritt durch geringere Belastungen kein Bruch ein (untere Zeitdehnlinie im Bild 9.15), so geht die Kurve allmählich in eine Gerade über.

Die Versuchsdauer kann unterschiedlich sein; es gibt *Kurzzeitversuche* (einige Stunden oder Tage) und *Langzeitversuche* (über Hunderte und Tausende von Stunden).

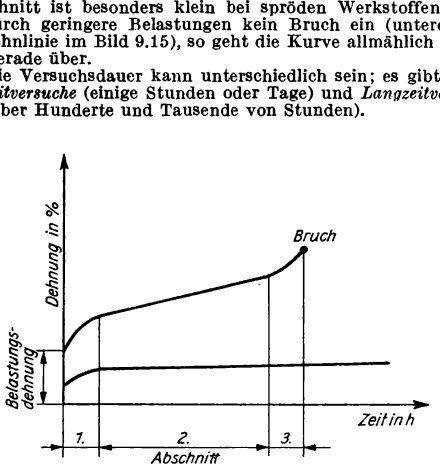


Bild 9.15. Zeitdehnlinien bei verschiedener Belastung

Die Versuchstemperatur ist von der Werkstoffgruppe abhängig. Sie liegt unterhalb der Rekristallisationstemperatur des betreffenden Werkstoffes und muß immer mit angegeben werden.

Wichtige Kennwerte aus Zeitstandversuchen sind:

Zeitstandfestigkeit $\sigma_{B/\text{Zeit in h}}$ ist die auf A_0 bezogene ruhende Belastung, die nach bestimmter Versuchsdauer und Temperatur zum Bruch der Probe führt (z. B. $\sigma_{B/1000}$).

Zeitdehngrenze $\sigma_{\%\text{bl. Dehnung/Zeit in h}}$ ist die auf A_0 bezogene ruhende Belastung, die nach einer bestimmten Zeiteinheit eine bestimmte Verformung zur Folge hat (z. B. $\sigma_{1/1000}$).

Kriechgeschwindigkeitsgrenze $\sigma_{\text{Kriechgeschw. in } 10^{-4}\,\%\text{ je h - Zeit in h}}$ ist die auf A_0 bezogene ruhende Belastung, die in einer bestimmten Zeiteinheit eine bestimmte Dehngeschwindigkeit hervorruft (z. B. $\sigma_{10-3/0}$).

Zeitbruchdehnung $\delta_{\text{Meßlängenverhältnis/Zeit in h}}$ ist die mittlere Dehnung nach dem Bruch der Probe im erkalteten Zustand derselben (z. B. σ_{5-1000}).

Zeitbrucheinschnürung $\psi_{\text{Zeit in h}}$ ist die Querschnittsverminderung, gemessen an der Bruchstelle der erkalteten Probe (z. B. ψ_{5000}).

Außer dem Zeitstandversuch werden noch Entspannungsversuche bei gleichbleibender Temperatur und nachlassender Belastung durchgeführt. Diese Versuche haben aber nicht die gleiche große Bedeutung wie die Zeitstandversuche. Tabelle 9.2 führt wichtige Standards für Zugversuche auf.

Tabelle 9.2: Wichtige Standards für Zugversuche

Bezeichnung	TGL
Werkstoffprüfmaschinen; Zug- und Druckprüfmaschinen, Kraftmeßbereiche	12592
Prüfung metallischer Werkstoffe; Zugproben, Richtlinien für die Herstellung	0-50125
Prüfung metallischer Werkstoffe, Zugversuch	17461
Prüfung von Stahl; Bestimmung von Dehngrenzen bei erhöhten Temperaturen	10977
Prüfung von Stahl; Zeitstandversuch bei erhöhten Temperaturen	11224

Druckversuch

Der Druckversuch spielt im Bauwesen eine große Rolle (Prüfung von Holz, Steinen, Zement, Beton). Die Proben haben für Baustoffe Würfelform mit Kantenlängen von 7 bzw. 10 cm. Für metallische Werkstoffe werden zylindrische Probekörper verwendet, wobei für Grobmessungen $h = d_0$ und für Feinmessungen $h = 2{,}5 \cdots 3{,}0\ d_0$ gewählt wird. Schlanke Probekörper ($h : A_0 > 3$) können wegen der Gefahr des Ausknickens keine Verwendung finden.

Die Druckprobe (s. a. TGL 0-50106 Prüfung metallischer Werkstoffe; Druckversuch) ist die Umkehrung des Zugversuches. Die Probestäbe werden in kurzer Zeit bis zum Bruch belastet. Bei $-E$ liegt die Elastizitätsgrenze, bei $-P$ die Proportionalitätsgrenze, bei $-S_o$ die obere und bei $-S_u$ die untere Quetschgrenze. Hinter der Quetschgrenze steigt die Spannung, die gleichmäßig über den Querschnitt verteilt ist, bis zum Bruch; s. Bild 9.16. Während zähe Werkstoffe (Weichstahl) sich stark zusammendrücken lassen, brechen spröde Werkstoffe (Gußeisen mit Lamellengraphit) fast ohne Formveränderung (s. Bild 9.17). Die Druckfestigkeit beträgt bei spröden Werkstoffen ein Vielfaches der Zugfestigkeit.

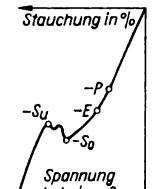


Bild 9.16. Spannungs-Verformungs-Schaubild

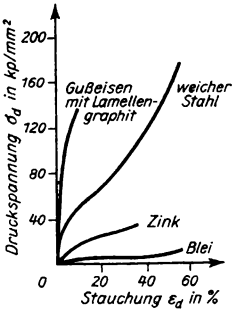


Bild 9.17. Spannungs-Stauchungs-Schaubild für verschiedene Metalle

Tabelle 9.3 enthält die *Werkstoffkennwerte*, die man beim Druckversuch ermitteln kann.

Tabelle 9.3: Werkstoffkennwerte

Festigkeitskennwerte kp mm^{-2}		Verformungskennwerte %	
Druckfestigkeit	σ_{dB}		
techn. Elastizitätsgrenze	$\sigma_{d0,01}$	Stauchung	ε_d
Quetschgrenze	σ_{dS}	Ausbauchung	ψ_d
0,2-(Stauch-)Grenze	$\sigma_{d0,2}$		

Biegeversuch

Bei der Materialprüfung der metallischen Werkstoffe wendet man den Biegeversuch vornehmlich bei Gußeisen mit Lamellengraphit und anderen spröden Werkstoffen an, wo der Zugversuch keine Aussagen über das Formänderungsvermögen gibt. Beim Biegeversuch erhält man diese Aussage durch die Feststellung der Durchbiegung. Nach TGL 14401 Bl. 3 (Prüfung von Gußeisen mit Lamellengraphit; Biegeversuch) arbeitet man mit Probestäben von 10, 13, 20 und 30 mm Durchmesser mit Probestablängen von 220, 300, 450 und 650 mm. Der Probestab wird an den Enden auf Auflagerrollen gelagert und in der Mitte belastet. Dabei wird die Durchbiegung z. B. durch Messung der Bewegung des Biegetisches gegen den Maschinenrahmen (Grobmessung) oder durch Arbeiten mit Meßuhren oder Spiegeln (Feinmessung) festgestellt. Als Kennwert dient dann die Bruchdurchbiegung f_B. Die Abhängigkeit der Durchbiegung f von der Spannung σ_b zeigt Bild 9.18.

Infolge der Verbiegung herrscht auf der Seite des Kraftangriffs Druckbeanspruchung, auf der entgegengesetzten Seite Zugbeanspruchung (s. Bild 9.19).

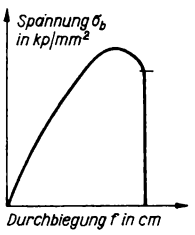


Bild 9.18

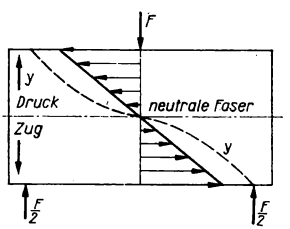


Bild 9.19. Druck und Zug bei Biegung

Die Biegungsspannung ist in den Randfasern des Stabes am höchsten, in der (spannungslosen) *neutralen Faser* gleich Null. Die Spannungsabnahme erfolgt gleichmäßig, bei sehr hoher Belastung nach der mit y bezeichneten Linie, wobei sich die neutrale Faser verlagert (der Werkstoff fließt). Bestimmt wird die Biegespannung $\sigma_b = \frac{Fl}{W}$ in kp/cm².

Als Maß für die Biegefestigkeit gibt man das Verhältnis von Bruchdurchbiegung f_B zur Stützweite L_s in % an und nennt diesen Kennwert Biegepfeil φ:

$$\varphi = \frac{f_B}{L_s}\ 100 \text{ in \%}.$$

Der Biegeversuch ist besonders geeignet zur Feststellung des Elastizitätsmoduls von spröden Werkstoffen, wobei die Beziehung $f = \frac{1}{48} \cdot \frac{FL_s^3}{EI}$ in cm als Grundlage dient.

f_B Bruchdurchbiegung in cm; M_b Biegemoment in kp cm; W Widerstandsmoment in cm³; L_s Stützweite in cm; F Biegungskraft in kp; l Abstand des Kraftangriffs vom Auflager (Einspannung) in cm; E Elastizitätsmodul in kp/cm²; I Trägheitsmoment in cm⁴.

Verdrehungs- oder Torsionsversuch

Der Versuch wird auf der Torsionsmaschine (Verdrehungsmaschine) ausgeführt. Man ermittelt die Verdrehung in Abhängigkeit vom Drehmoment und unterscheidet wie beim Zerreißversuch Proportionalitätsgrenze P, Fließgrenze F und Bruchgrenze B (s. Bild 9.20). Örtliche Einschnürung findet

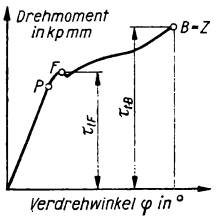


Bild 9.20. Belastungs-Verdrehungs-Diagramm

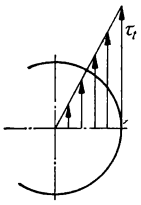


Bild 9.21. Zunahme der Verdrehungsspannung τ_t

nicht statt. Die Verdrehungsspannung τ_t ist in der Stabachse gleich Null und nimmt geradlinig bis zur äußersten Randfaser zu (s. Bild 9.21).
Quadratische Querschnitte haben höhere Verdrehungsfestigkeit als runde Querschnitte gleichen Flächeninhalts. Zwischen Verdrehungs- und Zugbeanspruchung bestehen für fast alle metallischen Werkstoffe folgende Beziehungen:

$\tau t_F \approx 0{,}5\sigma_s$,
$\tau t_B \approx 0{,}5\sigma_B$,
$G \approx 0{,}38E$,

wobei G Gleitmodul und E Elastizitätsmodul bedeuten.

Abscherversuch

Zwischen zwei Messern wird ein Rund- oder Flachstab (Querschnitt A_0 in mm²) mit der Kraft F in kp abgeschert. Die Abscherspannung ist

bei *einschnittiger Abscherung* $\tau_{aB} = \frac{F_B}{A_0}$ in kp mm^{-2} (Bild 9.22),

bei *zweischnittiger Abscherung* $\tau_{aB} = \frac{F_B}{2A_0}$ in kp mm^{-2} (Bild 9.23).

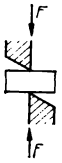


Bild 9.22. Einschnittige Abscherung

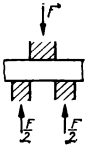


Bild 9.23. Zweischnittige Abscherung

Der *Lochversuch* ist ein Sonderfall der Abscherprobe und wird hauptsächlich bei Blechen zur Anwendung gebracht. Bild 9.24 zeigt die grundsätzliche Anordnung der Versuchseinrichtung für den Lochversuch. Ist d der Lochstempeldurchmesser in mm, s die Plattendicke in mm, F die zum Lochen erforderliche Belastung, so ist die Lochungsfestigkeit $\tau_L = \frac{F}{d\pi s}$ in kp mm^{-2}.

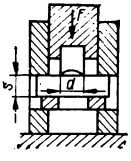


Bild 9.24. Lochversuch

Knickversuch

Hier verwendet man Probestäbe, die im Vergleich zu ihrem Querschnitt sehr viel länger sind. Die Knickbeanspruchung ist vom Schlankheitsgrad des Probestabes und von der beanspruchten Fläche abhängig. Die Ausknickung wird durch Messung der Bewegung der Probenmitte bei laufender Be- und Entlastung ermittelt. Tabelle 9.4 gibt eine Übersicht über die *Arten der Festigkeitsversuche.*

9.2.3. Dynamische Festigkeitsprüfungen

Man untersucht hier das Verhalten der Werk- und Baustoffe
1. bei schlagartiger Beanspruchung (z. B. Kerbschlagzähigkeit),
2. bei wechselnder (schwingender) Beanspruchung (Dauerfestigkeit, Schwingungsfestigkeit).

Temperatureinfluß und Kerbwirkung, Verformung, Wärmebehandlung und Korrosion (Zerstörung durch Salze, Säuren usw.) verdienen dabei besondere Beachtung.

Kerbschlagbiegeversuch

Der gekerbte Probestab S wird in die Bahn eines Pendelhammers H gebracht (Bild 9.25). Fällt der Hammer aus einer gewissen Höhe (Winkel α), so zerschlägt er den Probestab. Hierzu ist Arbeit nötig, die aus der Wucht des Hammers

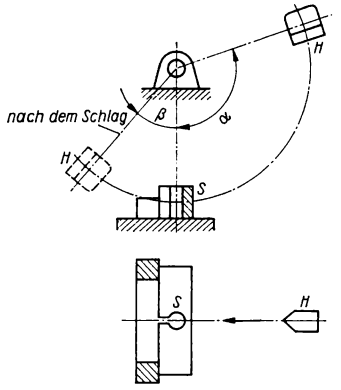


Bild 9.25. Kerbschlagbiegeversuch

gewonnen wird (Arbeit = Kraft × Weg). Infolgedessen erreicht der Hammer auf der anderen Seite nicht mehr die Ausgangshöhe, sondern schlägt nur noch um den Winkel β aus. Aus dem Winkel β, der von der Maschine durch Schleppzeiger selbsttätig angezeigt wird, kann die Kerbschlagzähigkeit (Schlagarbeit je cm²) ermittelt werden. Kerbschlagzähigkeit $a_k = \frac{W_k}{A_0}$ in kp m/cm²; W_k geleistete Schlagarbeit, A_0 Probenquerschnitt.
Genaueres über die Bestimmung der Kerbschlagzähigkeit s. TGL 11225.
Das Kurzzeichen a_k gilt für die normalen Prüfbedingungen. Hierbei wird eine Kerbschlagprobe mit 3 mm Kerbtiefe verwendet, und die aufgewandte Arbeit beträgt 30 kp m. Werden andere Prüfbedingungen gewählt, so müssen Zahlenangaben in der Reihenfolge Schlagarbeit und Kerbtiefe gemacht werden (z. B. $a_{k\,20/5}$).
Die Abhängigkeit der Kerbschlagzähigkeit a_k von der Temperatur t wird durch Versuche bei verschiedenen Temperaturen ermittelt und in *Kerbschlagzähigkeits-Temperatur-Diagrammen* aufgezeigt (Bild 9.26). Die Proben werden dabei in Muffelöfen, Ölbädern oder auch in Kühlmitteln bzw. Kühlschränken auf die gewünschte Temperatur gebracht und etwa 15 min auf dieser gehalten. Dann werden sie innerhalb 5 s zerschlagen.

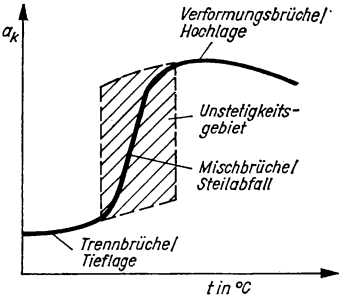


Bild 9.26. Kerbschlagzähigkeits-Temperatur-Diagramm

Tabelle 9.4: Arten der Festigkeitsversuche

Art des Versuches	Spannung	Formel	TGL
Zugversuch	$\frac{\text{Zugkraft}}{\text{Ursprungsquerschnitt}}$	$\sigma_B = \frac{F_{max}}{A_0}$	17461
Druckversuch	$\frac{\text{Druckkraft}}{\text{Ursprungsquerschnitt}}$	$\sigma_{dB} = \frac{F_{max}}{A_0}$	0-50106
Biegeversuch	$\frac{\text{Biegemoment}}{\text{Widerstandsmoment}}$	$\sigma_b = \frac{M_b}{W}$	14401
Torsionsversuch	$\frac{\text{Drehmoment}}{\text{polares Widerstandsmoment}}$	$\tau_t = \frac{M_t}{W_p}$	nicht standardisiert
Abscherversuch	$\frac{\text{Scherkraft}}{\text{Ursprungsquerschnitt}}$	$\tau_{aB} = \frac{F_{max}}{A_0}$	
Lochversuch	$\frac{\text{Scherkraft}}{\text{Ursprungsquerschnitt}}$	$\tau_L = \frac{F_{max}}{A_0}$	

Schlagbiegeversuch

Die Versuchsdurchführung ist dieselbe wie beim Kerbschlagbiegeversuch, es werden nur ungekerbte prismatische Vierkantprobestäbe verwendet. Der Versuch findet Anwendung bei Werkstoffen mit geringer Zähigkeit.

Schlagzug- und Schlagtorsionsversuch

Beim Schlagzugversuch wird das Festigkeits- und Deformierungsverhalten eines mit hoher Geschwindigkeit gedehnten Werkstoffes untersucht. Der wenig zur Anwendung kommende Versuch wird meist mit Pendelschlagwerken (wie auch die anderen Schlagversuche) durchgeführt. Als wichtiger Kennwert wird die spezifische Schlagarbeit ermittelt. Beim Schlagtorsionsversuch erfolgt ein schlagartiges Verdrehen der Probe, wobei die Brucharbeit ermittelt wird.

Dauerschwingversuch

Wechselnde Beanspruchungen treten auf bei bewegten Maschinenteilen (Wellen, Pleuelstangen usw.), ferner bei Brücken (Erschütterungen durch Fahrzeuge und Wind!), bei Freileitungen (Wind!), bei Schiffsteilen (Seegang!), bei Druckkesseln (Druckschwankungen!) und bei Fundamenten von Maschinen. Wechselnde Belastungen beanspruchen den Werkstoff mehr als ruhende Last. Bei längerer Wechsellast machen sich *Ermüdungserscheinungen* im Werkstoff bemerkbar, die zum *Ermüdungsbruch* führen können. Der Bruch wird begünstigt durch stoßartigen Lastangriff und durch Kerben. Mit Kerben bezeichnet man alle Stellen eines Bauteiles, an denen sich ein Querschnitt ändert (z. B. Absetzungen, Kröpfungen und Nuten an Wellen).
Die größte Beanspruchung, die bei stetem Wechsel zwischen Zug und Druck beliebig oft ertragen werden kann, bezeichnet man als Dauerschwingfestigkeit σ_D. Diese wird mit Hilfe der Dauerschwingfestigkeits-Prüfmaschinen, die entsprechend den verschiedenen Belastungsarten unterschiedlich aufgebaut sind (z. B. Zug-Druck-Schwingprüfmaschinen, Umlaufbiegemaschinen), festgestellt. Die Versuchsergebnisse werden dann in Dauerschwingfestigkeits-Diagrammen zusammengefaßt. Stähle werden mit maximal $10 \cdot 10^6$, andere Metalle (z. B. Leichtmetalle) mit maximal $100 \cdot 10^6$ Lastwechseln geprüft. Die gewählte Grenzlastspielzahl ist aus dem Kurzzeichen ersichtlich, z. B. σ_{D10^7} oder σ_{D10^8}.
Aus dem WÖHLER-Diagramm mit Schadenslinie (Bild 9.27) ist zu ersehen, wie sich ein Werkstoff bei Beanspruchung oberhalb der Dauerschwingfestigkeit verhält, wobei die Schadenslinie den Beginn einer Schädigung angibt.
Die Ermittlung der Dauerschwingfestigkeitswerte ist umständlich und erfordert großen Zeit- und Kostenaufwand, deshalb arbeitet man zur Ermittlung der ungefähren Größenordnung mit Umrechnungsformeln, welche auf Werte der leichter durchzuführenden statischen Prüfungen aufbauen. So besteht z. B. nach STRIBECK zwischen Dauerschwing- und Zugfestigkeit folgende Beziehung:

$$\sigma_D = 0{,}28(\sigma_S + \sigma_{zB})\ ;$$

σ_D Spannung bei der zulässigen Dauerbeanspruchung,
σ_S Spannung an der Fließgrenze beim Zerreißversuch,
σ_{zB} Zugfestigkeit = Spannung an der Bruchgrenze beim Zerreißversuch.

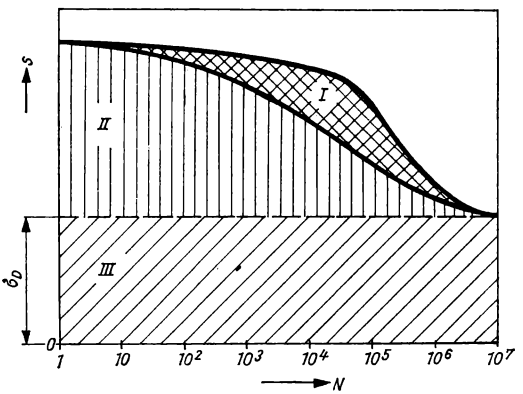


Bild 9.27. WÖHLER-Kurve mit Schadenslinie
I Bereich der Überbeanspruchung mit Werkstoffschädigung, II Bereich der Überbeanspruchung ohne Werkstoffschädigung, III Bereich der Beanspruchung unterhalb der Dauerfestigkeit σ_D; W Wöhlerlinie (obere dicke Linie), S Schadenslinie (untere dicke Linie), N Lastspielzahl, s Spannungsausschlag

9.2.4. Härtemessungen

Härte ist der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen, härteren Körpers entgegensetzt. Bild 9.28 zeigt die *Einteilung der Härtemeßverfahren.*

Statische Härtemeßverfahren

Bei den *statischen Härtemeßverfahren* wird der Eindringkörper zuerst mit dem Prüfstück in eine leichte Berührung gebracht. Dann wird mit einer allmählich ansteigenden Last gleichmäßig und stoßfrei bis auf die Höchstkraft (Prüfkraft) belastet.
Die wichtigsten statischen Härtemeßverfahren sind die nach BRINELL, VICKERS und ROCKWELL.
Härtemessung nach BRINELL
In eine schlichtglatt bearbeitete Fläche wird eine gehärtete Stahlkugel des Durchmessers D eingedrückt (Bild 9.29). Die dabei erforderliche Belastung F der Kugel muß stoßfrei 15 s ansteigen und 30 s mit ihrem Höchstwert wirken. Aus dem Durchmesser d des Eindrucks wird die BRINELL-Härte HB nach folgender Formel ermittelt:

$$HB = \frac{\text{Prüfkraft}}{\text{Eindruckoberfläche}} = \frac{F}{A} \text{ in kp mm}^{-2}$$

$$= \frac{2F}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)} \text{ in kp mm}^{-2}$$

(zulässig bis $HB = 400$ kp mm^{-2})

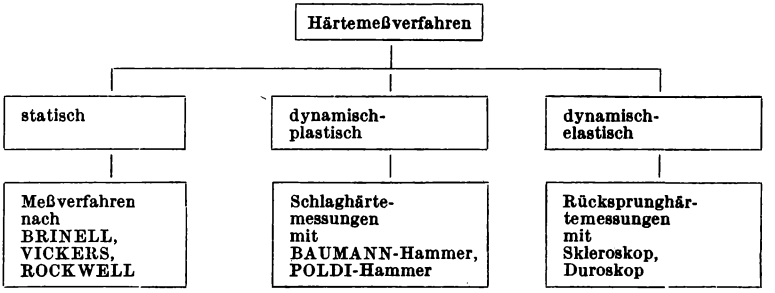


Bild 9.28. Einteilung der Härtemeßverfahren

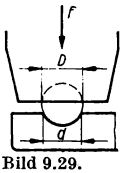


Bild 9.29. BRINELL-Prüfmethode

Tabelle 9.5: Kugelgröße und Prüfkraft bei Härtemessung nach BRINELL

Dicke des Prüfstücks	Kugeldurchmesser D	Prüfkraft F in kp*) Belastungsgrade					
mm	mm	$30D^2$	$10D^2$	$5D^2$	$2{,}5D^2$	$1{,}25D^2$	$0{,}5D^2$
>7	10	3000	1000	500	250	125	50
>3	5	750	250	125	62,50	31,2	12,5
>1,5	2,5	187,5	62,5	31,25	15,60	7,8	3,1
angewendet bei den Werkstoffen		Stahl, Stahlguß, Temperguß, Gußeisen	Leichtmetall-Legierungen, Buntmetall-Legierungen (Messing, Bronze), Nickel	Gußmessing, Aluminium, Magnesium, Zink und Zinklegierungen	Lagermetalle	Weichlote, Blei, Zinn	Weichmetalle bei erhöhten Temperaturen

*) F ist so zu wählen, daß der Durchmesser d des Kugeleindrucks $0{,}2 \cdots 0{,}5D$ wird.

Das Kurzzeichen HB gilt für die normalen Prüfbedingungen, d. h. $D = 10$ mm, $F = 3000$ kp, Belastungszeit = 10···15s. Werden andere Prüfbedingungen gewählt, so müssen Zahlenangaben in der Reihenfolge: Kugeldurchmesser, Belastung und Belastungszeit gemacht werden (z. B. HB 2,5/250-40). Tabelle 9.5 zeigt, welche Kugeln und Prüfkräfte bei der BRINELL-Härte je nach Probendicke zu wählen sind. Genaueres über die Härteprüfung nach BRINELL s. TGL 8648.

Tabelle 9.6 zeigt, welche Beziehungen angenähert bei einigen Werkstoffen zwischen BRINELL-Härte und Zugfestigkeit bestehen.

Tabelle 9.6: Beziehungen zwischen BRINELL-Härte und Zugfestigkeit

Werkstoff	Beziehung
Aluminium-Guß	$\sigma_{zB} \approx 0{,}26 \cdot HB$
Stahl, Stahlguß (bis $\sigma_{zB} = 130$ kp/mm²)	$\sigma_{zB} \approx 0{,}35 \cdot HB$
AlCuMg-Legierungen, kaltbearbeitetes Kupfer und Messing	$\sigma_{zB} \approx 0{,}40 \cdot HB$
Magnesiumlegierungen	$\sigma_{zB} \approx 0{,}41 \cdot HB$
Aluminium-Magnesium-Legierungen	$\sigma_{zB} \approx 0{,}44 \cdot HB$
ausgeglühtes Kupfer und Messing	$\sigma_{zB} \approx 0{,}55 \cdot HB$

Die so rechnerisch ermittelten Zugfestigkeitswerte können die genauen Werte des Zugversuches nicht ersetzen, bringen aber mitunter für praktische Zwecke ausreichende Genauigkeit. Wurde die Zugfestigkeit nach der BRINELL-Härte errechnet, so muß dies angegeben werden.

Härtemessung nach VICKERS

Als Eindringkörper wird eine Diamantpyramide mit einem Spitzenwinkel von 136° verwendet. Man versteht nach TGL 9556 unter VICKERS-Härte das Verhältnis von Belastung zur Eindruckoberfläche.

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{1{,}8544\,F}{d^2} \text{ in kp mm}^{-2}.$$

Gemessen wird die Diagonale d des Eindruckes, und der Härtewert wird aus Tabellen abgelesen. Die Prüfkraft F kann unterschiedlich gewählt, es soll aber möglichst mit den Regellasten von 10, 30 oder 60 kp gearbeitet werden. Bei kleineren Prüfkräften (Mikrohärtemessung) ist eine Härteprüfung ohne nennenswerte Oberflächenbeschädigung möglich (Prüfung von oberflächengehärteten Prüflingen). Das Prüfverfahren nach VICKERS wird hauptsächlich zur Ermittlung höherer Härtewerte und zur Prüfung dünner Prüflinge und Härteschichten angewendet.

Das Kurzzeichen HV gilt für die normalen Prüfbedingungen, d. h., $F = 80$ kp, Belastungszeit = 10 ··· 15 s. Werden andere Prüfbedingungen gewählt, so müssen Zahlenangaben in der Reihenfolge Belastung und Belastungszeit gemacht werden (z. B. HV 60—30).

Härtemessung nach ROCKWELL *(Härtemessung mit Vorlast)*

Die Härtemessung nach ROCKWELL erfolgt mit Vorlast. Unter ihrer Einwirkung (meist 10 kp) dringt der Prüfkörper, eine Stahlkugel ($D = {}^1/_{16}$ Zoll) oder ein Diamantkegel (Spitzenwinkel 120°), in die Probe ein. Dann erst wird die durch die Hauptlast erzeugte Eindringtiefe gemessen. Die Hauptlast beträgt bei Verwendung eines Diamantkegels *(HRC)* 140 kp, bei Verwendung einer Stahlkugel *(HRB)* 90 kp. HRC und HRB sind reine Meßzahlen, wobei eine Rockwelleinheit einem Eindrucktiefenunterschied von 2 µm entspricht. Die Prüfung nach ROCKWELL ist besonders für die Serienprüfung geeignet, da der Meßwert bereits das Ergebnis darstellt und sofort an der Meßuhrskale abgelesen werden kann.

Umrechnungsdiagramme (Bilder 9.30···9.32) ermöglichen die Umrechnung der bei einem Verfahren erhaltenen Kennwerte in die eines anderen Verfahrens.

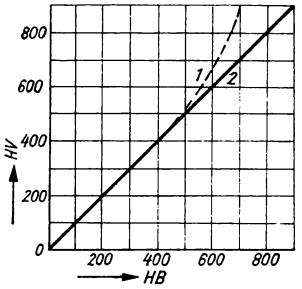


Bild 9.30. Umrechnungsdiagramm von *HV* auf *HB* (1 Stahlkugel, 2 Diamantkegel)

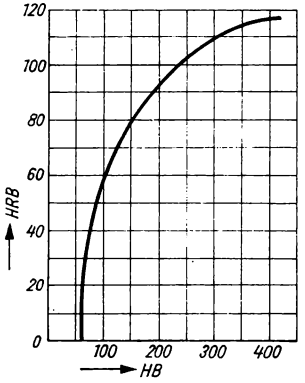


Bild 9.31. Umrechnungsdiagramm von ROCKWELL-B-Härte auf *HB*

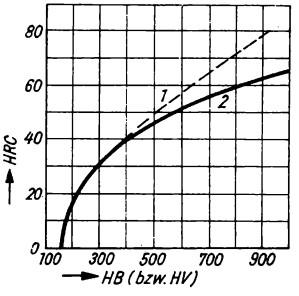


Bild 9.32. Umrechnungsdiagramm von *HRC* auf *HB* bzw. *HV*
(1 *HB* mit Stahlkugel, 2 *HB* bzw. *HV* mit Diamantkegel)

Dynamische Härtemessungen

Dynamisch-plastische Verfahren (Schlaghärtemessungen)
Hier sind besonders die Kugelschlaghärteprüfer zu nennen, da sie die Härteprüfung am Arbeitsplatz ermöglichen. Die Schlaghärteprüfer nach BAUMANN und nach GRAVEN arbeiten so, daß eine Kugel durch einen Schlagbolzen beim Entspannen einer Schraubenfeder mit einer bestimmten kinetischen Energie in das Werkstück eingedrückt wird. Aus Tabellen liest man die dem Eindruckdurchmesser entsprechende BRINELL-Härte ab. Beim Kugelschlaghammer nach dem POLDI-Verfahren (POLDI-*Hammer*) wird durch Hammerschlag ein Kugeleindruck gleichzeitig auf dem zu

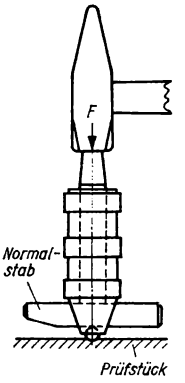


Bild 9.33. POLDI-Hammer

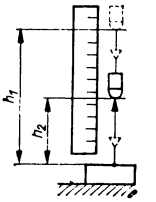


Bild 9.34. Skleroskop nach SHORE

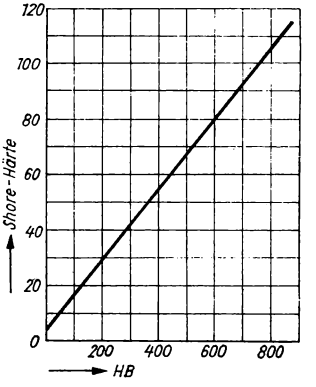


Bild 9.35. Umrechnungsdiagramm von *HS* auf *HB*

prüfenden Werkstück und auf einem Vergleichsstab (Normalstab) erzeugt (Bild 9.33). Aus dem Eindruckdurchmesser auf dem Prüfkörper und dem auf dem Vergleichsstab wird die BRINELL-Härte errechnet oder aus den Tabellen abgelesen.

Dynamisch-elastische Verfahren (Rücksprunghärtemessungen)
Die Meßergebnisse sind nur für Werkstoffe mit annähernd gleichem Elastizitätsmodul vergleichbar. Vielfach benutzt man das *Skleroskop* nach SHORE (Bild 9.34). Hier fällt ein Hammer mit Diamantspitze von 2,2 g Masse aus $h_1 = 250$ mm Höhe. Die Rücksprunghöhe h_2 ist die Härtezahl.
Mit Hilfe eines Umrechnungsdiagramms (Bild 9.35) können die entsprechenden *HB*-Werte ermittelt werden.
Beim *Duroskop* (Pendelhammer) sind keine geraden Meßstrecken, sondern Bögen vorhanden. Ein Schleppzeiger ermöglicht das nachträgliche Ablesen der Rückprallhöhe an der Bogenskala.

Sonderverfahren zur Härtebestimmung

Ritzhärtebestimmung nach MARTENS zeigt Bild 9.36; als Maßeinheit für die Härte des Probestücks gilt die Last *F* des Ritzdiamanten in Pond, die eine Strichbreite von 0,01 mm erzeugt.
Die Auswertung von Ritzhärteprüfungen ist sehr schwierig, jedoch eignet sich dieses Verfahren gut zur Härtebestimmung verschiedener Gefügebestandteile.

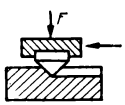


Bild 9.36. Ritzhärteprüfung

9.2.5. Technologische Untersuchungen

(Nachahmung von Bearbeitungsvorgängen)

Technologische Untersuchungen sind Verarbeitungsuntersuchungen; sie sollen zeigen, ob ein Werkstoff genügend ziehbar, biegbar, schweißbar usw. ist.
Im *Biege-* und *Faltversuch* wird das Formänderungsvermögen eines Werkstoffes untersucht. Dabei wird der Biegeprobekörper (meist Flach- oder Kreisquerschnitt) um einen Dorn mit dem vorgeschriebenen Durchmesser D bis zum Auftreten von Rissen auf der Zugseite bzw. bis zu einem vorgeschriebenen Winkel α gebogen (Bild 9.37).

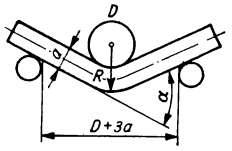


Bild 9.37. Biegeversuch

Man kann beim Faltversuch auch folgendermaßen verfahren: Der Probestab wird um einen Dorn von beliebigem Durchmesser vorgebogen und dann durch Druck auf die Schenkelenden bis zum Anbruch gefaltet (Bild 9.38).

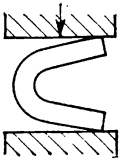


Bild 9.38. Faltversuch

Wird der Biegeversuch mit rotwarmem Probestab durchgeführt *(Rotbruchversuch)*, so dient er zur Beurteilung der Warmbearbeitbarkeit eines Werkstoffes.
Der *Schweißversuch* weist ausreichende Schweißbarkeit eines Werkstoffs nach. Die Probestäbe werden nach dem üblichen Werkstattverfahren überlappt zusammengeschweißt. Die beiden zusammengeschweißten Teile dürfen sich beim Biegen im kalten und warmen Zustand nicht trennen.
Mit Hilfe des *Kaltstauchversuches* untersucht man die Verwendbarkeit eines Werkstoffes zur Kaltnietung.
Beim *Hinundherbiegeversuch* werden Bleche, Drähte und Bandagen zwischen Klemmbacken gespannt und nach jeder Seite um 90° hin und her gebogen. Man zählt die Biegungen bis zum Bruch.
Die *Ausbreitprobe* prüft, wie weit sich ein Werkstoff ausbreiten (strecken) läßt, ohne zu reißen.
Der *Warmlochversuch* stellt fest, ob ein Werkstoff beim Lochen an den Kanten rissig wird.
Bei der *Polderprüfung* wird untersucht, ob und bei welcher Wärme ein Werkstoff im Gesenk geschmiedet werden kann.
Durch den *Bördelversuch* erkennt man, ob rißfreies Umbördeln möglich ist.
Bleche zum Stanzen und Tiefziehen werden mit Hilfe des *Tiefziehversuches* nach ERICHSEN geprüft. Ein Stößel (Stahlkugel 20 mm Durchmesser oder Stahlkuppe mit R = 10 mm) wird in die Blechprobe eingedrückt (Bild 9.39). Man mißt die bis zum Anriß der Probe erreichte Eindringtiefe t in mm.

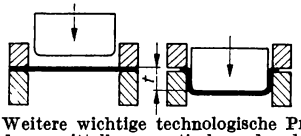


Bild 9.39. Tiefziehversuch

Weitere wichtige technologische Prüfverfahren beruhen auf der unmittelbaren optischen oder akustischen Wahrnehmung. Hierzu gehören z. B. die Beurteilung nach dem Bruchaussehen und die Klangprüfung.
Bei der Beurteilung nach dem *Bruchaussehen* kann man schon beim Brechen auf die Zähigkeit des Werkstoffes schließen. Am Aussehen des Bruches kann man bei einiger Übung die verschiedenen Werkstoffsorten voneinander unterscheiden und Rückschlüsse auf die Warmbehandlung ziehen.

Bei der *Klangprüfung* werden die Werkstücke freischwebend aufgehängt und mit einem Hammer angeschlagen. Tonhöhe und Art des Klanges dienen zur Unterscheidung verschiedener Werkstoffe. Liegen im Werkstück Risse oder andere Fehler vor, so gibt es einen unreinen Klang, der wegen der Schalldämpfung schnell abschwillt.

9.3. Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

9.3.1. Allgemeines

Die Bedeutung der zerstörungsfreien Werkstoffprüfverfahren nimmt immer mehr zu, und es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, Werkstoffprüfungen ohne Werkstoffbeschädigung durchzuführen. Die bekanntesten und am meisten angewendeten Prüfverfahren sind die Prüfung mit RÖNTGEN- und Gammastrahlen, das Ultraschall-Prüfverfahren, die magnetischen Prüfverfahren und die Prüfungen mit Penetrierflüssigkeiten.
Mit diesen Prüfverfahren werden Fertigteile oder auch Werkzeuge ohne Zerstörung oder Beschädigung des Werkstückes auf Fehlerstellen (Gasblasen, Lunker, Schlackeneinschlüsse, Risse usw.) untersucht (s. a. TGL 14913, 10646 und 13897).

9.3.2. Prüfung mit RÖNTGEN- und Gammastrahlen

Die RÖNTGEN- und Gammastrahlen sind sehr kurzwellige Strahlen (elektromagnetische Schwingungen), die in den Größenordnungen von $10^{-8} \cdots 10^{-12}$ m liegen. Sie haben die Fähigkeit, Werkstoffe zu durchdringen, wobei ihr Durchdringungsvermögen um so größer ist, je härter sie sind, d. h., je kleiner ihre Wellenlänge ist (Bild 9.40). RÖNTGEN- und Gammastrahlen sind wesensgleiche Strahlen, die sich nur nach ihrer Herkunft unterscheiden.

Prüfung mit RÖNTGEN-Strahlen

Die RÖNTGEN-Strahlen (s. a. metallographische Prüfverfahren) entstehen, wenn Elektronen hoher Geschwindigkeit auf eine metallische Anode in hochevakuierten Glühkatodenröhren aufprallen (Bild 9.41). Bei diesem Vorgang wird der größte Teil der Energie in Wärme und nur 1 % in RÖNTGEN-Strahlen verwandelt. Diese haben die Eigenschaft, einen

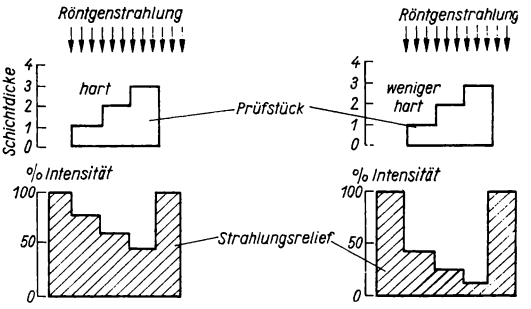


Bild 9.40. Prüfung mit RÖNTGENstrahlen

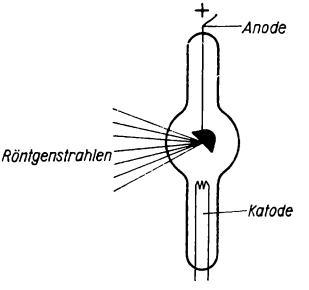


Bild 9.41. Erzeugung von RÖNTGENstrahlen

photographischen Film zu schwärzen, können aber auch auf Leuchtschirmen (mit Barium-Platinzyanid belegte Glasplatten) sichtbar gemacht werden. Gilt es, Prüfstücke mit geringer Werkstoffdichte oder von geringer Dicke zu kontrollieren, so kann mit Schirm gearbeitet werden. Es ergibt sich allerdings kein so exaktes Bild wie beim Film. Wird ein Film verwendet, so wird dieser auf der Seite des zu prüfenden Werkstückes angelegt, die der RÖNTGEN-Röhre gegenüberliegt. Die verschiedenen Helligkeitsstufen des Bildes zeigen dann den unterschiedlichen Widerstand, den das Werkstück den Strahlen beim Durchgang entgegengesetzt hat, und ermöglichen so eine Fehlererkennbarkeit. Mit RÖNTGEN-Strahlen werden Feinstrukturuntersuchungen und Grobstrukturuntersuchungen durchgeführt. Erstere geben Auskunft über Gitteraufbau und Gitterkonstante der Gittertypen, letztere dienen zur eigentlichen Fehlererkennung.
Die RÖNTGEN-Defektoskopie (Fehlerstellennachweis mit RÖNTGEN-Strahlen) erfolgt mit RÖNTGEN-Röhren, die Linear- oder Zirkularbeschleunigung der Elektronen aufweisen. Dabei werden die leichttransportablen RÖNTGEN-Geräte für Spannungen bis 300 kV konstruiert. Zur Erzeugung ultraharter RÖNTGEN-Strahlen wird das Betatron (Elektronenschleuder) mit Zirkularbeschleunigung der Elektronen benutzt, das für eine Höchstenergie von 30 MeV gebaut wird.
Tabelle 9.7 enthält durchstrahlbare Grenzdicken von Stählen bei verschiedenen Röhrenspannungen.

Tabelle 9.7: Durchschnittliche durchstrahlbare Grenzdicken von Stählen

Größe	Kennwert				
Röhrenspannung in kV	100	150	200	250	300
Stahlgrenzdicke in mm	10	34	65	85	100

Prüfung mit Gammastrahlen

Gammastrahlen entstehen beim Zerfall von natürlichen radioaktiven Elementen bzw. von Radioisotopen. In der Praxis der Werkstoffprüfung arbeitet man hauptsächlich mit Kobalt 60, aber auch mit Zäsium 137 und Iridium 192.
In Tabelle 9.8 sind verschiedene Kennwerte einiger Radioisotope zusammengestellt.
Gammastrahlen unterscheiden sich von RÖNTGEN-Strahlen durch ihre kleinere Wellenlänge. Dadurch haben sie größeres Durchdringungsvermögen, wobei aber zu beachten ist, daß mit steigender Strahlenhärte der Einfluß der Streustrahlung zunimmt (Verminderung der Fehlererkennbarkeit).
Die Materialuntersuchung erfolgt wie bei RÖNTGEN-Strahlen (Bild 9.42). Speziell entwickelte Gammaapparaturen, so z. B. der sowjetische Gammaapparat GUP-Co-0,51 (Bild 9.43), sind leicht und mehrseitig anwendbar. In der Transportstellung a befindet sich das strahlende Material in einer abgeschlossenen Bleikammer. Wird der Strahler auf die Stellung b gebracht, so tritt ein kegelförmig gerichteter Strahl aus. In der Stellung c des Strahlers erfolgt eine allseitige Strahlung, um mehrere Werkstücke gleichzeitig zu prüfen (Bild 9.44). Die Belichtungszeiten sind länger als bei RÖNTGEN-Strahlen, da die Energiedichte nicht beliebig groß gewählt werden kann.
Der besondere Vorteil der Gammadefektoskopie liegt darin, daß die Strahlenquellen sehr klein und leicht transportabel sind und keine großen Apparaturen wie bei der RÖNTGEN-Prüfung benötigt werden. Deshalb sind auch Prüfungen an schwer zugänglichen Stellen möglich.
Für Verschleißprüfungen werden den Werkstoffen geringe Mengen radioaktiver Stoffe zugesetzt. So kann z. B. der Abbrand der Wandungen von Industrieöfen während des Betriebes durch Messen der Strahlung genau festgestellt werden, wenn dem Ofenfutter radioaktive Substanzen zugegeben wurden. Den Verschleiß von Kolbenringen kann man durch

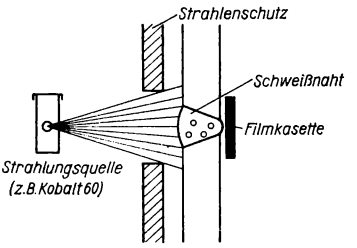


Bild 9.42. Prüfung einer Schweißnaht durch Gammastrahlung

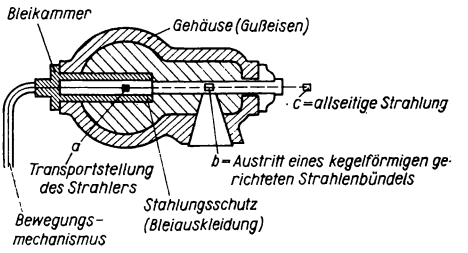


Bild 9.43. Gammaapparatur

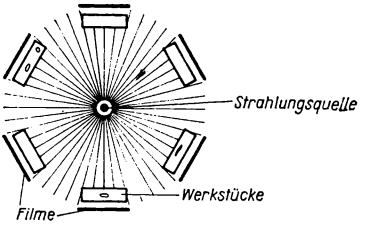


Bild 9.44. Gleichzeitige Prüfung mehrerer Werkstücke

Beigabe radioaktiver Substanzen feststellen, indem man die im Öl auftretende Strahlung ermittelt.
Tabelle 9.9 nennt Verfahren zur Stahlprüfung durch Strahlungen. Tabelle 9.10 gibt wichtige Standards der RÖNTGEN-Technik an.

Tabelle 9.9: Anwendungsbereiche der RÖNTGEN- und Gammastrahlung für die Prüfung von Stahl

Wanddicken mm	Verfahren
bis 100	RÖNTGEN-Röhren bis 300 kV
100···300	harte Gammastrahlen (^{60}Co-Quelle)
300···400	Betatron mit 30 MeV Höchstenergie

Tabelle 9.8: Gammastrahlung einiger Radioisotope

Radioisotop	Halbwertzeit	Energie der Gammakomponenten	Anwendungsbereich
Kobalt 60	5,3 a	1,22 MeV und 1,17 MeV	über 50 mm Fe
Iridium 192	74 d	0,43 MeV	8··· 50 mm Fe
Zäsium 137	33 a	0,67 MeV	30···100 mm Fe

Tabelle 9.10: Standards der RÖNTGEN-Technik

TGL	Inhalt in Stichworten
10116	Elektronen- und RÖNTGEN-Röhren, Technische Lieferbedingungen
10138···10143	Elektronenröhren, Hauptkennwerte
10646 Bl. 1···3	Zerstörungsfreie Prüfung mit RÖNTGEN- und Gamma-Strahlen, Richtlinien, Kontrolle und Beurteilung der Bildgüte usw.
13897	Zerstörungsfreie Prüfung von Gußstücken
0-54112	Filme, Kassetten, Verstärkerfolien für Aufnahmen mit RÖNTGEN- und Gammastrahlen

9.3.3. Ultraschall-Prüfverfahren

Ultraschallwellen sind mechanische Schwingungen, die außerhalb unseres Hörbereiches und wenig über der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes liegen. Die für die Werkstoffprüfung benutzten Ultraschallwellen weisen Frequenzen zwischen 800 kHz und 20 MHz auf. Sie breiten sich in festen Körpern fast ungeschwächt geradlinig aus. Der Ultraschall wird durch einen Piezoquarz erzeugt, der sich im Sendeschallkopf befindet.

Man unterscheidet das Durchschallungs- oder Schallsichtverfahren und das Impuls-Echo-Verfahren. Letzteres hat die größere Bedeutung.

Beim *Durchschallungsverfahren* (Bild 9.45) ist auf der einen Seite des zu prüfenden Werkstückes der Sendeschallkopf und auf der gegenüberliegenden Seite der Empfänger. Befindet sich im Werkstück eine Fehlstelle, so kommen die ausgesandten Schallwellen nicht gleichmäßig über den ganzen Querschnitt verteilt an, sondern es entsteht ein Schallschatten.

Beim *Impuls-Echo-Verfahren* (Impuls-Reflexions-Verfahren) wird der vom Impulsator (Schallgeber) ausgesandte Schall an der der Eintrittsfläche gegenüberliegenden Wand reflektiert.

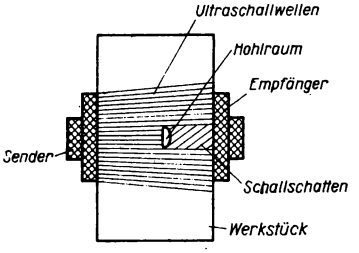


Bild 9.45. Durchschallungsverfahren

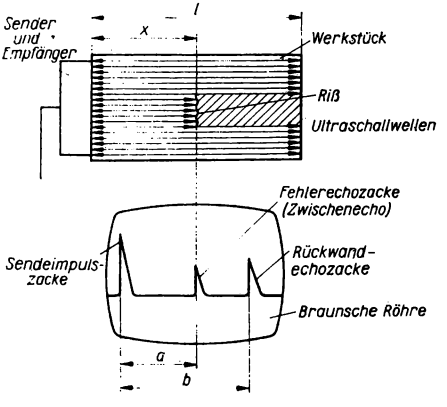


Bild 9.46. Impuls-Echo-Verfahren

Er erreicht nach einer bestimmten Laufzeit den inzwischen als Empfänger geschalteten Schallkopf als Rückwandecho. Der zurückgeworfene Schallimpuls wird in einen elektrischen Impuls umgewandelt und über einen Verstärker einer BRAUNschen Röhre zugeleitet. Hier zeigen sich bei einem einwandfreien Werkstück nur die Sendeimpulszacke und die Rückwandechozacke. Weist das durchschallte Werkstück dagegen Fehlstellen auf, so werden die dort auftreffenden Schallwellen reflektiert, und auf dem Bildschirm zeigt sich die Fehlerechozacke (Bild 9.46). Die Entfernung des Fehlers von der Eintrittsfläche des Ultraschalls kann man nach der Formel $x = \frac{a}{b} l$ berechnen. Dabei bedeuten: x Entfernung der Fehlstelle von der Eintrittsfläche des Schalls, a Abstand zwischen Sendeimpulszacke und Fehlerechozacke, b Abstand zwischen Sendeimpulszacke und Rückwandechozacke, l Prüflänge des Werkstückes.

Die Ultraschallprüfung läßt sich schnell durchführen und weist weite Prüflängenbegrenzung auf (in Sonderfällen unter günstigen Bedingungen kann Stahl bis zu 15 m Prüflänge durchschallt werden).

Vielfach wird eine Kombination von Ultraschall- und Röntgenprüfung angewendet. Zuerst wird mit Hilfe des hochproduktiven Ultraschallverfahrens festgestellt, ob und wo Fehler vorhanden sind. Dann werden mit Hilfe der Röntgenprüfung an der Stelle, wo ein Fehler erkannt wurde, seine Abmessungen und evtl. auch die Fehlerart festgestellt.

9.3.4. Magnetische Prüfverfahren

Das am weitesten verbreitete Magnetpulverprüfverfahren eignet sich zur Feststellung oberflächennaher Fehlstellen und besonders zum Erkennen feinster Oberflächenrisse.

Das Wesen der Magnetpulverprüfung besteht darin, daß durch Werkstoffehler die Durchsetzung des ferromagnetischen Prüfkörpers mit magnetischen Kraftlinien gestört wird. Dort, wo im Querschnitt Unterbrechungen (Hohlräume, Einschlüsse oder Risse) vorliegen, wird der magnetische Widerstand erhöht (Permeabilität wird kleiner), und die Feldlinien werden abgelenkt. Dadurch wird um die Störstellen herum der Kraftfluß je Flächeneinheit erhöht, und die Kraftlinien treten aus der Oberfläche (Bild 9.47) aus. Durch Bespülen des Prüflings mit Magnetpulveröl (Magnetit- oder Eisenpulveraufschwemmung in Petroleum) kann man so die oberflächennahen Fehlstellen kenntlich machen, da sich die magnetisierbaren Teilchen im Streufeld der Oberflächenfehler anhäufen.

Bei der *Polmagnetisierung* werden die Prüfstücke zwischen

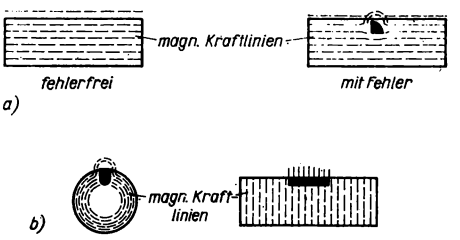


Bild 9.47. Magnetpulverprüfung
a) Polmagnetisierung, b) Stromdurchflutung (Werkstück mit Längsriß)

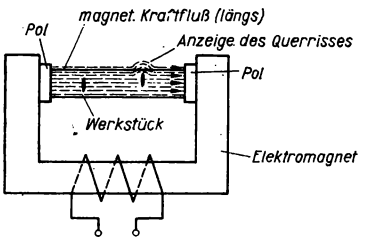


Bild 9.48. Polmagnetisierungsverfahren

die Pole eines kräftigen Elektromagneten gebracht, wobei die magnetischen Kraftlinien den Prüfling in seinem ganzen Querschnitt durchsetzen (Bild 9.48). Bei der Polmagnetisierung kann man vor allem die Fehlstellen, die senkrecht zu der Verbindungslinie der Pole liegen, z. B. Querrisse, erkennen. Die *Stromdurchflutung (Kreismagnetisierung)* bildet in Oberflächennähe ein besonders dichtes ringförmiges Magnetfeld, in dem magnetisch geschlossene Bahnen ohne Polbildung, wie aus Bild 9.49 ersichtlich, auftreten. Man stellt besonders solche Fehler fest, die parallel zur Stromrichtung, also senkrecht zum magnetischen Ringfeld, verlaufen (Längsrisse). Die Prüfgeräte können als Polmagnetisierungs- oder als Durchflutungsgeräte sowie mit kombinierter Polmagnetisierung und Stromdurchflutung konstruiert sein (Bild 9.50).
Über die Begriffsbestimmung und die Prüfzeichen bei der Magnetpulverprüfung s. TGL 0-54121.

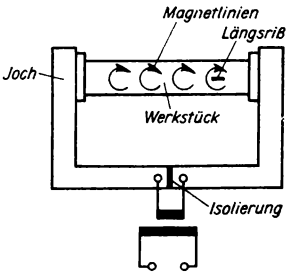


Bild 9.49.
Stromdurchflutungsverfahren

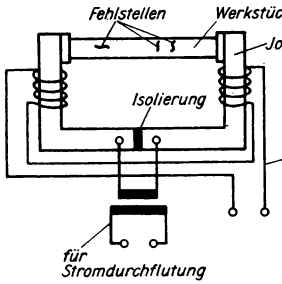


Bild 9.50.
Kombiniertes Verfahren

9.3.5. Prüfungen mit Penetrierflüssigkeiten

Die Rissprüfung mittels des Magnetpulver-Prüfverfahrens ist nur für ferromagnetische Werkstoffe geeignet und erfordert aufwendige Versuchsgeräte.
Schneller und in der Betriebspraxis einfacher durchführbar sind zur Feststellung von Oberflächenfehlern die Prüfverfahren mit Penetrierflüssigkeiten. Diese werden durch die Kapillarwirkung in die Fehlstellen eingesaugt, danach werden die eingesaugten Flüssigkeitsbestandteile durch bestimmte Wechselwirkungen sichtbar gemacht.
Sehr gebräuchlich ist das Arbeiten mit *Prüfrot* und *Prüfweiß*. Nach gründlicher Säuberung wird das Werkstück mit dem sehr dünnflüssigen Prüfrot ZIS bestrichen. Dieses dringt durch die Kapillarwirkung in die Fehlerstellen ein. Nach Abwaschen des Flüssigkeitsrestes von der Oberfläche und nach deren Trocknung wird das Kontrastweiß ZIS aufgetragen. An Fehlerstellen wird dies durch das eingedrungene Prüfrot gefärbt, und Ausdehnung und Lage des Fehlers sind gut erkennbar.
Zusammenfassung: Die verschiedenen zerstörungsfreien Prüfverfahren ergänzen sich vielfach zweckmäßig, und bei exakter Prüfung lassen sich Lage, Form und Ausmaß der Fehler sehr gut bestimmen.

9.4. Chemisch-technische Prüfverfahren

Die chemischen Prüfverfahren sollen uns Auskunft geben über die Zusammensetzung der Werkstoffe, über ihr Verhalten gegenüber chemischen Einflüssen usw. Durch sie kann man feststellen, ob die vorgeschriebene Zusammensetzung eingehalten wurde und z. B. Verunreinigungen in den zulässigen Grenzen bleiben.
Exakte *Werkstoffanalysen* können nur im chemischen Prüflaboratorium von ausgebildeten Fachkräften durchgeführt werden. Dabei werden unterschieden die qualitativen Analysen, die Auskunft über die vorhandenen Elemente geben (es wird dabei nicht von festen Einwaagen ausgegangen, und die gefundenen Elemente werden nicht mengenmäßig bestimmt), und die quantitativen Analysen. Hier wird von genau festgelegten Einwaagen ausgegangen und der prozentuale Anteil der untersuchten Elemente festgelegt. Die quantitativen chemischen Prüfverfahren haben die größte Bedeutung, da sie die genaue Werkstoffzusammensetzung angeben.
Sehr wichtig ist bei den verschiedenen Stahl- und Gußeisensorten die Bestimmung des Kohlenstoffgehaltes, der ja die mechanischen Eigenschaften wesentlich beeinflußt. In einem kombinierten Gerät wird dabei die Kohlenstoff- und Schwefelbestimmung meist gleichzeitig vorgenommen. Aber auch die mengenmäßige Feststellung anderer Elemente, die sowohl positiven als auch negativen Einfluß haben können, spielt eine Rolle. So werden bei der sogenannten und vielfach durchgeführten *Fünferanalyse* die mengenmäßigen Anteile an Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Schwefel und Phosphor festgestellt.
Entsprechende Standards sind in Tabelle 9.11 zusammengestellt.

Tabelle 9.11: Standards für Untersuchungen von Eisen und Stahl

TGL	Kurze Inhaltsangabe
8649	Bestimmung des gesamten Kohlenstoffgehaltes
8895	Schwefelbestimmung
9383	Phosphorbestimmung

Ein einfaches Prüfverfahren (Schnellprüfung), in der Werkstatt durchführbar, ist die *Tüpfelprobe*. Auf metallisch blanke Werkstoffstellen werden Reagenzien aufgetropft, die dann bei Anwesenheit bestimmter Elemente eine charakteristische Färbung annehmen. Die Tüpfelprobe macht keine quantitativen Aussagen, sie weist nur die Anwesenheit eines bestimmten Elementes nach. So dient sie zur Unterscheidung von Leichtmetallegierungen und von Stählen nach ihren Legierungsbestandteilen (s. Tabelle 9.12). Tüpfelproben können evtl. auch von angelernten Arbeitskräften durchgeführt werden, obwohl es besser ist, wenn der Prüfer chemische Kenntnisse besitzt, um Fehlurteile zu vermeiden.

Tabelle 9.12: Reaktionen bei der Tüpfelprobe

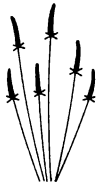
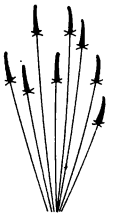
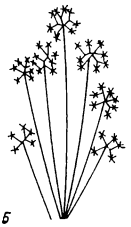
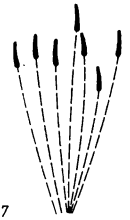
Reaktion mit der Oberfläche	Werkstoffe
sichtbare Gasblasenentwicklung	Aluminium oder Aluminiumlegierung
keine Reaktion	Magnesium oder Magnesiumlegierung

Beispiele: 1. *Einteilung in verschiedene Leichtmetallgattungen durch Tüpfeln.* Oberfläche entfetten und metallisch blank machen, dann einen Tropfen 20%ige Natronlauge aufgeben.
Wird nach etwa 5- bis 10minutiger Einwirkungszeit der Reaktionstropfen entfernt, so bildet sich auf der Oberfläche ein weiterer aufschlußreicher Rückstand (s. Tabelle 9.13).

Tabelle 9.13: Rückstände bei der Tüpfelprobe

Rückstand	Werkstoffe
weißer Fleck	Rein-Aluminium oder Cu-, Zn- und Ni-freie Legierung (meist Al-Mg-Legierung)
schwarzer, abwischbarer Fleck	Aluminium-Legierung mit Cu, Zn oder Ni
dunkler, nicht entfernbarer Fleck	Aluminium-Silizium-Legierung mit mehr als 1% Si

Tabelle 9.14: Charakteristische Schleiffunkenbilder

Kohlenstoffstahl mit			Legierte Werkzeugstähle mit			
0,1 % C	0,4 % C	1,1 % C	1,5 % Silizium	2,0 % Mangan	13 % Chrom	2,0 % Wolfram
 1	 2	 3	 4	 5	 6	 7
wenige, stachel-, ähnliche Linien, hellgelb	Stachelbüschel dichter als bei 1, hellgelb	Büschel dichter als 2, verästelt, hellgelb	heller Teil kürzer und heller als 3, gelblich-weiß	Form wie 1···3, Garbe heller, hellgelb	Garbe kurz, fein verästelt, orange	Garbe lang, unterbrochen dunkelrote Linie

2. *Tüpfeln bei Stahl.* Am Prüfstück 2···4 cm² blank feilen oder schmirgeln (nicht schleifen oder polieren) und bei 20 °C einige Tropfen Tüpfelsäure 1, 2 oder 3 auftragen.

Mit Tüpfelsäure Nr. 1 (verdünnte Salpetersäure 1:5) lassen sich lösliche von unlöslichen Stählen trennen.
Löslich sind: a) alle legierten und unlegierten Stähle mit weniger als 10 % Cr. Stähle sind magnetisch. b) Manganhartstähle (über 10 % Mn), Mn-Cr- oder Mn-Cr-Ni sowie Ni-Stähle (über 20 % Ni). Stähle sind unmagnetisch.
Unlöslich sind: c) korrosionsbeständige Cr-Stähle und Stähle mit über 10 % Cr. Stähle sind magnetisch. d) korrosionsbeständige Cr-Ni- und Cr-Mn- (Ni-) Stähle. Stähle sind unmagnetisch.

Reagiert der Stahl nicht mit der Tüpfelsäure Nr. 1, so verwendet man Tüpfelsäure Nr. 2 (1 Teil konz. Salzsäure + 4 Teile Wasserstoffsuperoxid, 3 %ig).
Erfolgt eine Reaktion, so handelt es sich um Stahl der Gruppe korrosionsbeständiger Cr- oder Cr-Ni-Stähle. Wird korrosionsbeständiger Stahl rasch angegriffen, ist hoher Mn-Gehalt (über 8 %) vorhanden.
Für höchstkorrosionsbeständige Stähle (mit zusätzlich höheren Mo- [z. B. 5 %] bzw. Cu-Gehalten) nimmt man Tüpfelsäure Nr. 3 (1 Teil konz. Salpetersäure + 1 Teil konz. Salzsäure + 2 Teile Wasserstoffsuperoxid, 10 %ig).
Von den physikalisch-chemischen Prüfverfahren (kolorimetrische Bestimmungen und Spektralanalyse) ist die *Spektralanalyse* besonders zu erwähnen, da sie in der modernen Werkstoffprüfung immer mehr an Bedeutung gewinnt. Zur Untersuchung der metallischen Werkstoffe erzeugt man durch den Funkenüberschlag einer Entladungsstrecke deren Funkenspektrum. Da jeder chemische Grundstoff ein für ihn charakteristisches Spektrum bildet, kann man aus dem entstehenden Linienspektrum die Werkstoffzusammensetzung ablesen. Moderne Spektralautomaten geben die Vollanalyse eines Werkstoffes in kürzester Zeit.
Ein typisches Werkstattverfahren zur Bestimmung der Eisenwerkstoffgattung ist die *Schleiffunkenanalyse*, deren Auswertung darauf beruht, daß jedes Element im Eisenwerkstoff die Bildung der Schleiffunken beeinflußt (s. Tabelle 9.14).
Ausführung: Prüfstück und Vergleichsstab (Stahlsorte bekannt) an mittelkörnige, harte Schleifscheibe (250 mm Dmr. und n = 1400 Umdr./min) schwach andrücken. Farbe der Lichterscheinung und Form der Strahlen lassen erkennen, ob harter oder weicher Stahl, Schnellarbeitsstahl, niedrig- oder unlegierter Stahl vorliegt. Bei der Prüfung ist Tages- oder Lampenlicht zu vermeiden.

9.5. Metallographische Prüfverfahren

Die Metallographie, d. h. die Metallbeschreibung (besser ist die Bezeichnung Gefügelehre), baut auf den Untersuchungsverfahren der RÖNTGEN-Feinstrukturanalyse, der thermischen Analyse und der Metallmikroskopie auf.

RÖNTGEN-Feinstrukturuntersuchung
Bei diesem Verfahren werden die Interferenzerscheinungen der RÖNTGEN-Strahlen am Kristallgitter ausgewertet. Man erhält Angaben über Gittertyp, Gitterkonstanten und über Gitterverzerrungen durch innere Spannungen (s. auch Prüfung mit RÖNTGEN-Strahlen).

Thermische Analysen
Mit Hilfe der thermischen Analyse können mit modernen Geräten die Abkühlungs- und Erhitzungskurven einer Legierung vollkommen automatisch mit einer Genauigkeit von 0,5 °C aufgezeichnet werden, d. h., es werden die Haltepunkte und die Knickpunkte genau aufgezeichnet. Thermische Analysen geben also Aufschlüsse über das Zustandekommen des bei Raumtemperatur vorliegenden Legierungsgefüges. Die Analysenergebnisse werden dann zu den Zustandsdiagrammen der Zwei- und Mehrstofflegierungen zusammengefaßt und bilden die Voraussetzungen für das Aufstellen der Gefügediagramme.

Metallmikroskopie
Die Metalle und ihre Legierungen bestehen aus Kristalliten. Zur Untersuchung des Gefüges stellt man von einer Werkstoffprobe einen Schliff her (glattpolierte Fläche), der dann im Mikroskop betrachtet wird. Man kann auf diese Weise Blasen, Risse, Hohlräume, Schlackeneinschlüsse usw. erkennen. Sodann wird der Schliff mit Ätzmitteln (Pikrinsäure, Salzsäure, Salpetersäure usw.) behandelt, bis die einzelnen Gefügebestandteile deutlich hervortreten. Die schematische Darstellung (Bild 9.51) zeigt einen mit 1 % alkoholischer Salpetersäure geätzten Schliff von kohlenstoffarmem Stahl.

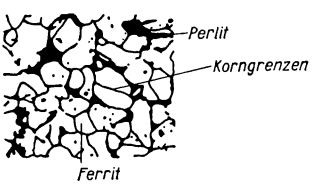


Bild 9.51. Geätzter Schliff kohlenstoffarmen Stahls

Aus Aufbau, Lage und Aussehen der Kristallite und -gruppen lassen sich Schlüsse ziehen auf Zusammensetzung, Festigkeit, Zustand und Entstehung des Werkstoffes.
Lufgabe der Metallmikroskopie ist es, den Gefügeaufbau einer Legierung wirklichkeitsgetreu im photographischen Bild festzuhalten. Mit Hilfe spezieller Meßverfahren kann man dann Art, Größe und Menge der einzelnen Gefügebestandteile ermitteln. Zur besseren Deutungsmöglichkeit der Mikrophotographie arbeitet man mit verschiedenen Abbildungsmaßstäben.

Abbildungsmaßstäbe in der Mikrophotographie

2:1	20:1	200:1
5:1	50:1	500:1
10:1	100:1	1000:1

In Tabelle 9.15 sind wichtige Standards zusammengestellt.

Tabelle 9.15: Standards für metallographische Untersuchungen

TGL	Bezeichnung
0-50600	Prüfung metallischer Werkstoffe; metallographische Gefügebilder, Abbildungsmaßstäbe und Formate
12827	Prüfung von Stahl; metallographische Bestimmung der Korngrößen
12828	Prüfung von Stahl; metallographische Bestimmung der Karbide
15477	Prüfung metallischer Werkstoffe; metallographische Bestimmung des Gefüges von Gußeisen

9.6. Verschleiß- und Korrosionsprüfungen

Verschleiß- und Korrosionsprüfungen, auch Abnutzungsprüfungen genannt, geben Auskunft über unerwünschte Oberflächenveränderungen von Gebrauchsgegenständen durch Lostrennen kleiner Teilchen.
Bei Verschleißuntersuchungen werden vor allem der *Reib- und Rollverschleiß* sowie der *Strömungsverschleiß* ermittelt. Durch gravimetrische, lineare und volumetrische Meßverfahren wird der Verschleißbetrag als absolute Meßgröße erhalten. Bei Bestimmung der Verschleißdurchsatzmenge, der Verschleiß-Lebensdauer usw. werden dagegen indirekte Angaben über den Verschleißbetrag erhalten. Verschleißmessungen können sowohl mechanisch als auch spektrometrisch und auf der Grundlage der Radioaktivität durchgeführt werden. Standard TGL 0-50321 enthält eine Auswahl von Angaben über direkte und indirekte Meßgrößen des Verschleißes.
Während Verschleiß i. allg. auf mechanische Ursachen zurückzuführen ist, sind Korrosionen durch chemische und elektrochemische Reaktionen bedingt. So werden Korrosionsprüfungen u. a. in kochenden Flüssigkeiten durchgeführt, außerdem wird auch auf Meerklima- und Meerwasserbeständigkeit usw. geprüft. Exaktere Erkenntnisse über Korrosionsvorgänge können durch metallographische Untersuchung der Gefügeveränderungen, evtl. mit Hilfe von Radioelementen (markierte Atome), gewonnen werden.

9.7. Plastprüfungen

Bei der Untersuchung von Plasten kommt es hauptsächlich darauf an, die Eigenschaften des betreffenden Plastes unter den verschiedensten Bedingungen festzustellen. Dabei werden Untersuchungsverfahren unterschieden, die es ermöglichen, mit einfachen Mitteln die Plastart zu bestimmen, und teils recht komplizierte Prüfmethoden zur Bestimmung der einzelnen Kennwerte (s. Bild 9.52).

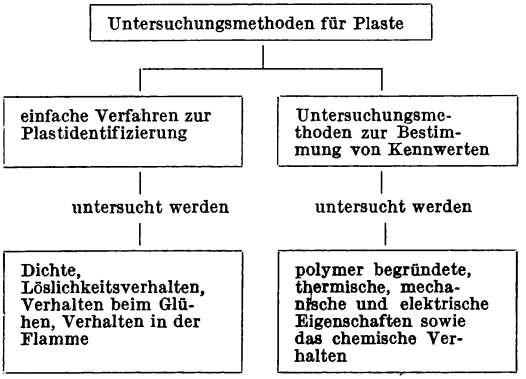


Bild 9.52. Einteilung der Untersuchungsmethoden für Plaste

9.7.1. Einfache Verfahren zur Plastidentifizierung

Exakte Plastidentifizierung kann nur vom Chemiker unter teilweise recht großem Aufwand durchgeführt werden. Die dabei zur Anwendung kommenden Vorproben (Testversuche) sind verhältnismäßig einfach, können auch vom Nichtchemiker ausgeführt werden und geben eine gewisse Aussage über Plastart und Anwendungsgebiet.

Dichteuntersuchungen

Die Dichte der Plaste liegt in dem Bereich zwischen 0,8 g/cm³ und etwa 2,0 g/cm³. Grobeinteilungen sind schon nach den unterschiedlichen Dichtewerten möglich (s. Tabelle 9.16).

Tabelle 9.16: Einteilung der Plaste nach Dichtewerten

Dichte g/cm³	Beispiele für Plastarten
unter 1	Polyäthylene
1···1,2	Polystyrol, Polymethakrylat, Polyamid, Polykarbonat
>1,2···1,4	Vulkanfiber, Synthesekautschuk, Zelluloid, Zelluloseazetat, Kunsthorn, Polyvinylchlorid, Polyurethan, Epoxidharze ohne Füllstoff, Harnstoff- und Melaminharze (Edelkunstharze) mit Holzmehl
>1,4···1,6	Phenolharze mit Holzmehl, Zelluloseschnitzel, -fasern, Textilfasern und Gewebeschnitzel als Füllmittel, Aminoharz-Form- und -Schichtstoffe
>1,6···2,0	Phenolharze mit Gesteins- und Asbestmehl, Aminoharz-Formpreßstoffe, Glasfaserpolyesterharze
über 2,0	Silikone, Polytetrafluoräthylen, Polytrichloräthylen

Zu beachten ist, daß die Dichtewerte stark von der Materialzusammensetzung abhängig sind, besonders wenn Füllstoffe verwendet werden.

Untersuchung des Löslichkeitsverhaltens

Jeder Plast reagiert auf die verschiedenen Chemikalien unterschiedlich. Aus dem Vorprobenergebnis kann auf die Plastart geschlossen werden. Das gibt aber noch keine genaue Identifizierung, sondern muß im Zusammenhang mit den anderen Testversuchen gesehen werden. Eine geringe Menge des zu untersuchenden Plastes wird fein zerkleinert in das Reagenzglas gegeben und mit etwa 10 cm³ des gewählten Lösers übergossen. Dann wird über längere Zeit unter wiederholtem Schütteln das Verhalten der Späne beobachtet. Nach etwa 4···6 h kann das Löslichkeitsverhältnis beurteilt werden. Eine Übersicht gibt Tabelle 9.17.

Verhalten der Plaste beim Glühen

Feine Späne des zu untersuchenden Plastes werden in ein Glührörchen gebracht. Dieses wird dann mit der Öffnung schräg nach oben in die Flamme eines Bunsenbrenners gehalten. Beobachtet werden: Späneverfärbung, Nebel- oder Dampfentwicklung, Schmelzen oder Zersetzen der Späne, Geräusch- und Geruchsentwicklung usw. Vergleiche mit schon bekannten Erscheinungen ähnlicher oder gleicher Art lassen Rückschlüsse zu. Zu beachten ist bei diesem Testversuch die Unfallgefahr (Entwicklung ätzender Dämpfe, deren Explosion u. ä.). Deshalb darf die Öffnung des Glührörchens niemals in Richtung Anwesender gehalten werden.

Verhalten der Plaste beim Brenntest

Ein weitverbreitetes Verfahren zu schneller und verhältnismäßig sicherer Plastbestimmung ist der sog. Brenntest. Hierbei wird ein kleiner schmaler Plaststreifen in die Sparflamme des Bunsenbrenners (der auf einer unbrennbaren Unterlage stehen muß) gebracht. Aus dem Verhalten des Plastes in und außerhalb der Flamme (Flammfärbung, Tropfenbildung, Geruch der Gase und Dämpfe) kann man auf bestimmte Plastgruppen schließen (s. Tabelle 9.18).

*Tabelle 9.17: Löslichkeitsverhalten *) wichtiger Plaste bei Raumtemperatur*

Plastart	Löslichkeitsverhalten in			
	konzentrierter Säure	konzentrierter Lauge	Alkohol	Benzin
Zelluloid	+	+	bedingt	bedingt
Zelluloseazetat	—	—	+	+
Aminoplaste	—	—	+	+
Epoxidharze, geh.	—	—	—	+
Polyamid	—	+	quillt auf	+
Polyäthylen	beständig gegen alle Chemikalien außer chlorierten Kohlenwasserstoffen			
Polyesterharze	—	—	+	+
Polystyrol, rein	+	+	+	—
Polystyrol, Mischpolymerisat	—	bedingt	bedingt	bedingt
PVC-hart	bedingt	+	+	+
PVC-weich	bedingt	bedingt	—	—
Phenolharze	—	—	+	+

*) + = beständig, — = unbeständig.

Tabelle 9.18: Verhalten verschiedener Plastarten beim Brenntest

Plastart	Verhalten in der Flamme	Verhalten außerhalb der Flamme	Tropfen	Geruch
Polyamide	schmelzen; schwer entzündbar; brennen mit blauer Flamme mit gelbem Saum	brennen bedingt weiter	brennen evtl. weiter, ziehen lange Fäden	nach verbranntem Horn
Polyäthylen	schmilzt; brennt mit blaßblauer, später rein gelber Flamme	brennt weiter	brennen weiter, laufen breit	nach verlöschender Paraffinkerze
Polystyrol	schmilzt; brennt mit gelber, stark rußender Flamme	brennt weiter	tropft selten weiter	süßlich, ähnlich wie Leuchtgas
PVC-hart	brennt nur schwer; gelbe Flammfärbung mit grünem Saum; verkohlt	verlischt	—	stechend, nach Chlorwasserstoff
PVC-weich	brennt je nach Weichmacher schwer bis gut; Flammfärbung wie bei PVC-hart	verlischt im allgemeinen (je nach Weichmacher)	—	stechend, nach Chlorwasserstoff
Phenoplaste	brennen schwer; gelbe Flammfärbung; Material reißt; verkohlt	verlöschen	—	nach Phenol, Beigeruch nach Formaldehyd
Aminoplaste	brennen kaum; gelbe Flammfärbung; zerspringen in der Flamme; Schmorkanten zeigen weißen Belag	verlöschen	—	nach Ammoniak und Fischtran
glasfaserverstärkte Polyesterharze	nicht schmelzbar; schwer entzündbar; brennen langsam mit gelber, rußender Flamme; knistern; verkohlen	verlöschen	—	süßlich
Harnstoff- und Melaminharze	brennen nicht; knistern; Kanten werden weiß; Flammfärbung blaßgelb	—	—	nach Ammoniak und Fischtran

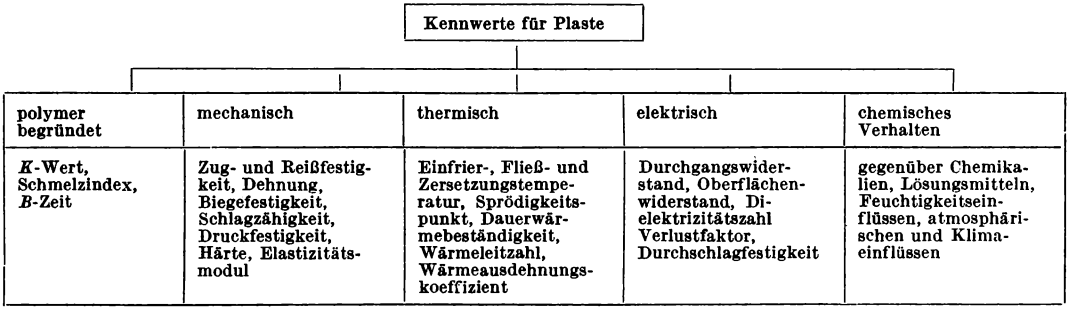


Bild 9.53. Kennwerte für Plaste

9.7.2. Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der Kennwerte

Um genaue Aussagen über die Eigenschaftswerte der verschiedenen Plastarten machen zu können, ist es erforderlich, eine Reihe von Kennwerten für die einzelnen Eigenschaften zu ermitteln (Bild 9.53).
In Tabelle 9.19 sind *spezielle Begriffe für die Prüfung von Plasten* zusammengestellt und erläutert.
Die Ermittlung der Kennwerte erfolgt z. T. nach den bekannten Prüfmethoden. Darüber hinaus gibt es aber auch Prüfgeräte, die speziell für die Prüfung von Plastwerkstoffen entwickelt worden sind, z. B. das Prüfgerät »Dynstat«, das statische Biegeversuche und auch Schlagbiegeversuche ermöglicht. Weitere Spezialprüfgeräte sind die Geräte zur Bestimmung der Formbeständigkeit nach MARTENS und nach VICAT.

Tabelle 9.19: Spezielle Begriffe für die Prüfung von Plasten

Begriff	Erläuterung
K-Wert	wird aus der relativen Viskosität errechnet oder aus speziellen Tabellen ermittelt
Schmelzindex (für Thermoplaste)	gibt die Menge eines geschmolzenen Plastes an, die in einer bestimmten Zeit aus der Düse eines beheizten Zylinders austritt
B-Zeit (für Pheno- und Aminoplaste)	die Zeit, die unter bestimmter Temperatur und genormten Prüfbedingungen für den Übergang eines Harzes aus dem A- in den B-Zustand erforderlich ist
Einfriertemperatur (Erweichungstemperatur)	kennzeichnet den Übergang vom harten, spröden in den weichelastischen Zustand (s. a. Sprödigkeitspunkt)
Fließtemperatur	kennzeichnet den Übergang vom weichelastischen in den plastischen Zustand
Zersetzungstemperatur	bei ihr zersetzt sich der Werkstoff
Sprödigkeitspunkt	unterhalb dieses Punktes wird das Material hart und spröd (Sprödigkeitspunkt und Einfriertemperatur stimmen nicht immer überein)

10. Roheisen, Gußeisen, Stahl

10.1. Allgemeine Übersicht

Bild 10.1 gibt einen Überblick über die schematische *Einteilung der Eisenarten.*
Stahl (außer Magnetkerneisen) unter 0,05 % und Gußeisen mit etwa 1,7···2,3 % Kohlenstoffgehalt werden technisch nicht verwertet.
Roheisen wird im Hochofen gewonnen und ist wegen seiner Beimengungen nicht ohne weiteres für technische Zwecke verwendbar. Es wird unterschieden in *Stahlroheisen, Gießereiroheisen, Sonderroheisen* und *Ferrolegierungen* (s. Tabelle 10.1).
Unter Stahl wird alles ohne Nachbehandlung schmiedbare Eisen verstanden. Eisenkohlenstofflegierungen können daher entsprechend dem C-Gehalt, der ja die Schmiedbarkeit beeinflußt, eingeteilt werden in
Stahl: C-Gehalt bis 2,1 %, ohne Nachbehandlung schmiedbar, und
Gußeisen: C-Gehalt über 2,1 %, nicht schmiedbar (Temperguß ist bedingt schmiedbar).
Tabelle 10.2 gibt eine Übersicht über *mittlere Gehalte an Eisenbegleitern,* Tabelle 10.3 über die *Werkstoffzusammensetzung bei Werkzeugmetallen.*

Tabelle 10.1: Übersicht über Roheisensorten und Ferrolegierungen

Art	Bezeichnung	Verwendung	Eigenschaften
Stahlroheisen	M 1 M 2	für das SIEMENS-MARTIN-Verfahren	Kohlenstoff liegt in gebundener Form vor, ist hart und spröde; Bruchaussehen: weiß
	B 1 B 2	für das saure Windfrischverfahren	
	T	für das basische Windfrischverfahren	
Gießereiroheisen	GR 0 ··· GR 6	Weiterverarbeitung hauptsächlich zu Gußeisen mit Lamellengraphit	Kohlenstoff ist als Graphit ausgeschieden; Bruchaussehen: grau
Sonderroheisen	SRC-reich grau	für Gußeisen mit Kugelgraphit	Sonderroheisen sind besonders hochwertige Roheisensorten, die zum Erschmelzen hochwertiger Qualitäten dienen
	SRC-reich weiß	für metallurgische Walzen	
	SRC-arm grau	für Walzenguß	
	SRC-arm weiß	für Temperguß und Hartguß	
	SRM	für hochfestes Gußeisen mit Lamellengraphit	
	Sp A Sp B	Spiegeleisen, als Manganträger	
Ferrolegierungen	FeSi 45 FeSi 90	zum Gattieren und Legieren für die verschiedenen Gußqualitäten	Ferrolegierungen sind je nach Zusammensetzung Silizium-, Mangan-, Chrom-, Vanadin-, Phosphor-, Molybdän- und Wolframträger
	FeMnC 7,0 FeMnC 0,2 SiMnC 2,5		
	FeCrC 8 FeCrC 4		

Tabelle 10.2: Mittlere Gehalte an Eisenbegleitern der gebräuchlichsten Gußeisen-, Stahlguß- und Stahlsorten

Werkstoff	Kohlenstoff C %	Silizium (Sand) Si %	Mangan (Metall) Mn %	Phosphor P %	Schwefel S %
	erniedrigt den Schmelzpunkt und macht spröde	begünstigt C-Ausscheidung, graue Farbe; faulbrüchig	erhöht Schmelzbarkeit und Härte	macht dünnflüssig, vermindert Festigkeit; kaltbrüchig	macht dickflüssig und rotbrüchig
Gußeisen mit Lamellengraphit	2,9···3,7	1,2···2,4	0,45···1,0	0,2···0,6	bis 0,12
Gußeisen mit Kugelgraphit	3,5···4,1	2,2···2,8	0,02···0,6	unter 0,1	0,01···0,02
Vollhartguß	2,7···2,8	0,4···0,6	0,4···1,2	bis 0,5	<0,12
Schalenhartguß	bis 4,2	0,5···1,0	0,4···1,2	bis 0,1	<0,05
Temperrohguß, weiß	2,6···3,6	0,5···0,9	0,1···0,5	<0,10	0,07···0,3
Temperrohguß, schwarz	2,3···2,8	0,7···1,2	0,3···0,7	<0,12	0,07···0,3
Stahlguß	0,4···1	0,2···0,4	0,5···1	0,016	0,03
Dynamostahlguß	0,1···0,2	0,2···0,4	0,2···0,3	Spuren	Spuren
Feinkornstahl	0,05···0,6	bis 0,1	0,1···0,15	≈0,1	≈0,01
BESSEMER-Flußstahl	0,2···0,6	0,25···0,35	0,4···1	0,06···0,1	0,03···0,06
THOMAS-Flußstahl	0,05···0,5	0···0,01	0,6···1	0,04···0,1	0,02···0,04
SIEMENS-MARTIN-Stahl	0,15···0,5	bis 0,01	0,5···1	0,05···0,1	0,02···0,05

Bild 10.1. Einteilung der Eisenarten

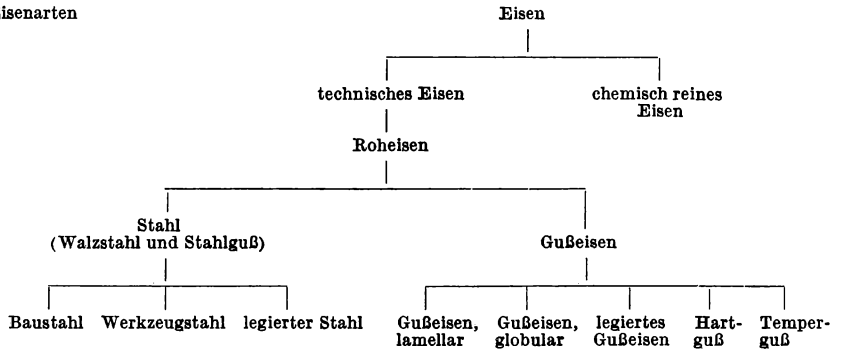


Tabelle 10.3: Werkstoffzusammensetzung in % bei Werkzeugmetallen (gebräuchliche Mittelwerte)

Benennung	Kohlenstoff	Silizium	Mangan	Phosphor	Schwefel	Wolfram	Chrom	Vanadin	Titan	Kobalt	Aluminium	Eisen
Stahlguß	0,7···1,5	≈0,2	≈0,2	≈0,02	≈0,01	—	—	—	—	—	—	≈98
naturharter Stahl	≈2	0,2 ···1	1···3	≈0,05	≈0,03	5···12	0,1 ···3	—	—	—	—	90···80
Schnellarbeitsstahl	0,4···1,5	0,05···0,5	≈0,1	0···0,02	0···0,01	14···20	2,5 ···6	≈0,3	—	—	—	80···72
Kobaltstahl	0,5···1,5	0,05···0,5	≈0,1	≈0,01	0···0,01	14···20	2,5 ···6	≈0,3	—	≈3	—	77···70
Vanadinstahl	0,6···1,2	0,15···0,5	0,2···2	—	—	—	0,15···3	0,15 bis 0,4	—	—	≈3	98···93

10.2. Darstellung des Roheisens

Gewinnung des Roheisens mit 3···5% C im Hochofen

Roheisen wird aus Eisenerz gewonnen. Chemisch reines Eisen kommt nur als Meteoreisen und wahrscheinlich im flüssigen Erdkern vor. In Tabelle 10.4 sind *wichtige Eisenerze und ihre Fundorte* aufgeführt.

Eisenerze finden sich in zugänglichen Tiefen als Erzlager oder Erzgänge (Tiefbau), als Erzflöze und Erzseifen an der Erdoberfläche – Raseneisenerze – (Tagebau). Beimengungen: Silizium, Phosphor, Schwefel, Kupfer, Mangan usw. (Grundstoffe), Gangart oder taubes Gestein (Minerale), ferner Sauerstoff. – Dichte des Eisenerzes 3,5···5,5 kg/dm³. – *Erzaufbereitung:* Zerkleinerung mittels Brecherwerks und Sortierung nach Größe; Befreiung von taubem Gestein, auf Transportbändern von Hand oder durch Elektromagnet ausgelesen. Reinigung durch Waschen. *Rösten* (besonders Spateisenstein): Erhitzung unter Zuführung von Luft in etwa 5 m hohen Schacht- (Röst-) Öfen. Entziehung von Feuchtigkeit, Entschwefelung; Masseverringerung etwa 30%. Formen von Feinerzen zu Briketts mittels Bindemitteln unter hohem Druck. – Aus den aufbereiteten Eisenerzen gewinnt man beim Hochofenprozeß durch die Kombination eines Schmelz- und Reduktionsprozesses das Roheisen. – *Zuschläge* dienen zum leichten Überführen der im Eisenerz enthaltenen erdigen Bestandteile in flüssige Schlacke, basisch bei tonigen Bergarten, sauer bei kalkigen Bergarten.

Hochofen, von einem Stahlgerüst gestützt, besteht aus zwei kegelstumpfförmigen Hauptteilen, getrennt gemauert mit etwa 1 m dicken Wänden. Der Schacht ruht auf etwa 12 Säulen aus Gußeisen und ist mit Stahlbändern umgeben. Im Mauerwerk von Rost und Gestell sind Kühlkanäle eingebaut, von kalten Wassermengen (etwa 3···5 m³/min) durchströmt.

Ein moderner Hochofen mit einer Höhe von etwa 28 m und etwa 1400 m³ Rauminhalt liefert in 24 h etwa 2000 t Roheisen. Dazu werden ihm zugeführt etwa 1400 t Koks, 4000 t Erz, 1200 t Zuschläge und etwa 6 Mill. m³ Luft als Heißwind. Der Koksverbrauch für die Erzeugung einer Tonne Roheisen läßt sich noch verringern auf etwa 450 kg, wenn zusätzlich etwa 60 kg Heizöl (evtl. auch Erdgas oder Kohlenstaub) zugesetzt werden. Eine *Ofenreise*, d. h. die Zeit, wäh-

Tabelle 10.4: Wichtige Eisenerze und Fundorte

Bezeichnung	Eisengehalt %	Wichtige Fundorte	Eigenschaft
Magneteisenstein Fe_3O_4	50···70	Schweden, Norwegen, UdSSR, Ungarische VR, VR China, Großbritannien, Demokratische Republik Vietnam	reiches, reines Erz
Roteisenstein Fe_2O_3	40···60	DDR, BRD, Nordamerika, Spanien, UdSSR, VR Bulgarien	derb, als Hämatit
Brauneisenstein $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$	28···45	Luxemburg, Lothringen, Niederlande, VR Polen, BRD, DDR, Ungarische VR, ČSSR, UdSSR, SR Rumänien, VR Bulgarien, VR China, Demokratische Republik Vietnam, Koreanische Volksdemokratische Republik	dicht, körnig; am häufigsten vorkommend
Spateisenstein $FeCO_3$	28···45	Österreich, BRD, Ungarische VR, Norwegen, UdSSR	manganhaltig
Raseneisenstein	≈ 30	Holland, Hannover, Lothringen, Harz	Abart von Brauneisenstein

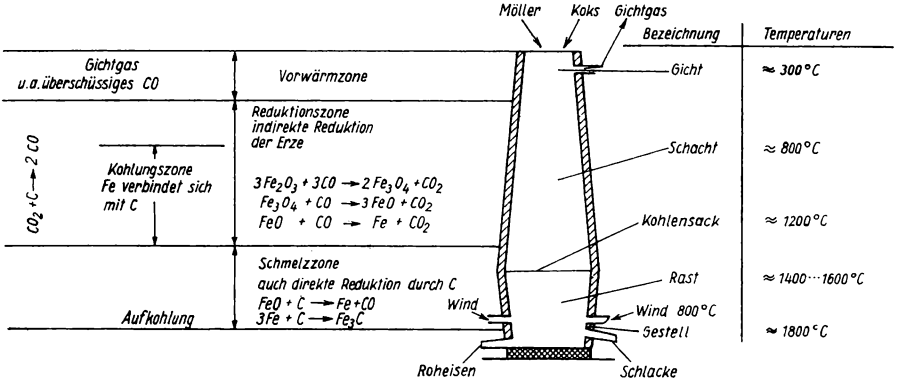


Bild 10.2. Zonen und chemische Vorgänge im Hochofen

rend der ein Hochofen ununterbrochen in Betrieb ist, ergibt ungefähr 2···3 Mill. t Roheisen.

Die größten und modernsten Hochöfen der Welt stehen in der Sowjetunion (Nowokusnezk, Westsibirien) mit Höhen von 82 m und Nutzvolumen von 2000 m³. Sie können täglich 7000 t Roheisen und mehr erzeugen. Diese Öfen sind mit 4 Abstichöffnungen versehen, wodurch sich die Anzahl der Schmelzen bis auf 18 erhöhen läßt. Solche modernen Hochöfen sind automatisiert, und etwa 9000 Geräte überwachen und regeln den Prozeß.

Anblasen eines Hochofens: Füllen mit Koks und Kalkstein (etwa $^1/_3$ des Ofens), dann in regelmäßigem Wechsel: Koks, Kalkstein, Erz, Koks, Kalkstein, Erz usf.

Schmelzvorgang: heißer Gebläsewind trifft auf glühenden Koks: dieser verbrennt zu Kohlenoxid CO, das bei hoher Temperatur aus dem Erz den Sauerstoff aufnimmt und zu Kohlendioxid CO_2 wird, Eisenoxid FeO als schwammige Masse zurücklassend, das zu reinem Eisen Fe reduziert wird. Beim Abwärtssinken nimmt dies aus dem glühenden Koks und Kohlenoxid Kohlenstoff auf und schmilzt in der Nähe der Düsen (höchste Temperatur).

Eine Übersicht über die *verschiedenen Zonen und die chemischen Vorgänge im Hochofen* gibt Bild 10.2. In 15···24 h hat der Rohstoff den Weg von Gicht bis Gestell zurückgelegt. Die Schlacke, auf dem flüssigen Roheisen schwimmend, wird von Zeit zu Zeit abgelassen. Sie ist ein wertvolles Nebenerzeugnis des Hochofens und wird zur Herstellung verschiedener Baustoffe und gemahlen auch als Düngemittel verwendet.

Eisenabstich etwa alle 2 h, Leitung des Gichtgases (bis 250 °C) zum Gichtgasreiniger (möglichst viele Richtungswechsel, Biegungen); Reinigung von Staub, etwa 5 g auf 1 m³, nach weiterer Reinigung durch Skrubber, Ventilatoren u. dgl. Staubgehalt ≈0,03 g/m³. Gichtgas enthält als wichtigsten brennbaren Bestandteil 25···30 % Kohlenmonoxid und hat einen Heizwert von etwa 900 kcal/m³. Weiterleitung des Gichtgases in den Winderhitzer, dort Verbrennung zu dessen Erwärmung. Der von der Gebläsemaschine erzeugte Wind gelangt durch Gitter- und Brennschacht, Heißluftschieber, Windleitung, Winddüsen (Phosphorbronze, ∅ 80 bis 200 mm, feuerfest ausgekleidet) in den Hochofen (große Brennstoffersparnis). *Gebläsemaschinen*, als Gasmaschinen ausgebildet: Gebläsewind wird der atmosphärischen Luft entnommen.

Hochofenbetrieb (s. Bild 10.3)

Roheisen: Der Kohlenstoffgehalt ist abhängig von der Roheisensorte und liegt etwa zwischen 3,2 und 5,5 %.

Weißes Roheisen: Der gesamte Kohlenstoff liegt als Eisenkarbid (Fe_3C) vor, weiße Bruchfläche, spröder und härter als graues Roheisen.

Graues Roheisen: Ausscheidung eines größeren Teiles des Kohlenstoffs als Graphit infolge der Wirkung des Siliziums.

Das im Hochofen erzeugte Roheisen wird entweder auf Masselgießmaschinen zu sogenannten Masseln (Barren) vergossen oder, wenn dem Hochofenbetrieb ein Stahlwerk angeschlossen ist, in den Roheisenmischer eingebracht.

Roheisenmischer, Fassungsvermögen mehrere hundert Tonnen, Sammelbehälter des Roheisens vom Hochofen zur Erreichung eines regelmäßigen ununterbrochenen Betriebes des Stahlwerkes; Ausgleich der verschiedenen Abstiche, Entschwefelung; feuerfeste Ausmauerung; Gasfeuerung (Hochofengas) dient zur Erhaltung einer bestimmten Temperatur. – Arten: Kippmischer, Rollenmischer (s. Bild 10.4; Lagerung auf Rollen a, die sich auf dem Fundament c in Pfeilrichtung mittels Druckwasserpumpe z bewegen lassen; die gestrichelte Stellung ist die Kippstellung).

Elektrohochöfen, wegen hohen Stromverbrauches selten verwandt, kommen in Frage, wo wenig Kohle vorhanden ist und billige Elektrizität durch Wasserkraft erzeugt wird; nur halb so hoch wie Kokshochöfen; stark erweiterter Schmelzraum, in den 4···6 Graphitelektroden hineinragen. Beschickung mit Brennstoff, Zuschlägen und Erz. Der elektrische Strom übernimmt das Schmelzen, daher geringer Verbrauch an Koks oder Holzkohle und Gebläsewind. Gichtgas hat etwa 900 kcal und wird durch einen Ventilator mit 0,4 kp/cm² Druck unter der Schmelzraumdecke in den Schmelzraum eingeführt. Leitung der Hitze in den Schacht und Vorwärmung der Beschickung. 1 t Roheisen erfordert bis zu 2500 kWh Stromverbrauch. Tagesleistung etwa 20 t Roheisen.

10.3. Stahlerzeugung im Hüttenwerk

Bild 10.4 (s. S. 226) veranschaulicht den Prozeß der Stahlerzeugung.

Stahl wird aus Roheisen allein oder aus Roheisen und Schrott durch Frischen (Vermindern des Kohlenstoffgehaltes) hergestellt. Durch besondere Umschmelzverfahren können die Güteeigenschaften des Stahles beachtlich gesteigert werden. Bild 10.5 zeigt die *Verfahren zur Stahlerzeugung.*

Blasverfahren: Hierbei wird flüssiges Roheisen infolge Durch- oder Aufblasens mit sauerstoffhaltigen Gasen (Luft) in Stahl verwandelt. *Durchblas- oder Windfrischverfahren* nach

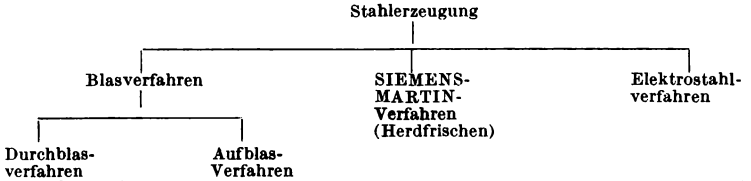
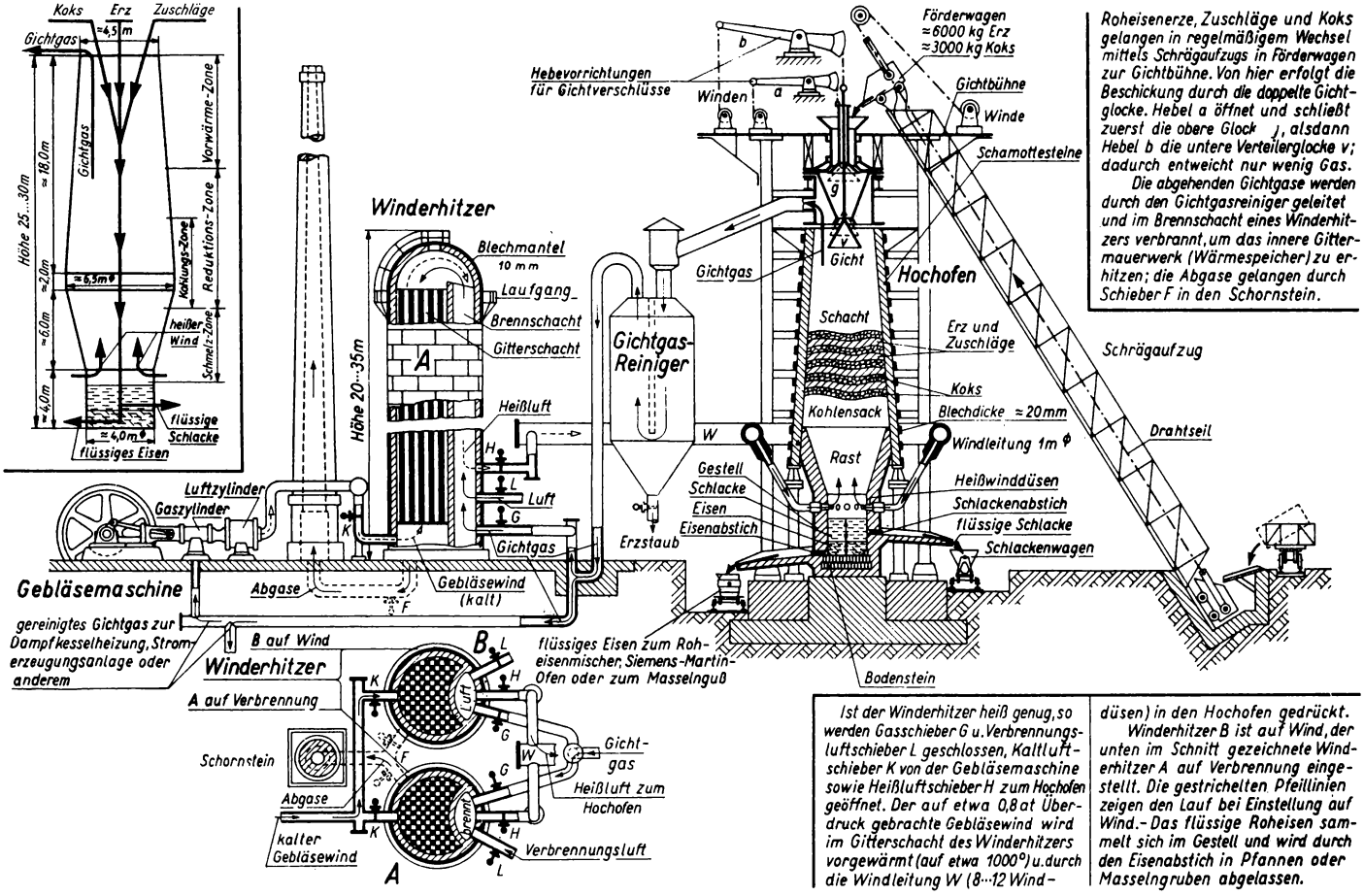


Bild 10.5. Verfahren zur Stahlerzeugung



Roheisenerze, Zuschläge und Koks gelangen in regelmäßigem Wechsel mittels Schrägaufzugs in Förderwagen zur Gichtbühne. Von hier erfolgt die Beschickung durch die doppelte Gichtglocke. Hebel a öffnet und schließt zuerst die obere Glock , alsdann Hebel b die untere Verteilerglocke v; dadurch entweicht nur wenig Gas.

Die abgehenden Gichtgase werden durch den Gichtgasreiniger geleitet und im Brennschacht eines Winderhitzers verbrannt, um das innere Gittermauerwerk (Wärmespeicher) zu erhitzen; die Abgase gelangen durch Schieber F in den Schornstein.

Ist der Winderhitzer heiß genug, so werden Gasschieber G u. Verbrennungsluftschieber L geschlossen, Kaltluftschieber K von der Gebläsemaschine sowie Heißluftschieber H zum Hochofen geöffnet. Der auf etwa 0,8 at Überdruck gebrachte Gebläsewind wird im Gitterschacht des Winderhitzers vorgewärmt (auf etwa 1000°) u. durch die Windleitung W (8...12 Winddüsen) in den Hochofen gedrückt.

Winderhitzer B ist auf Wind, der unten im Schnitt gezeichnete Winderhitzer A auf Verbrennung eingestellt. Die gestrichelten Pfeillinien zeigen den Lauf bei Einstellung auf Wind. – Das flüssige Roheisen sammelt sich im Gestell und wird durch den Eisenabstich in Pfannen oder Masselngruben abgelassen.

Bild 10.3. Hochofenbetrieb

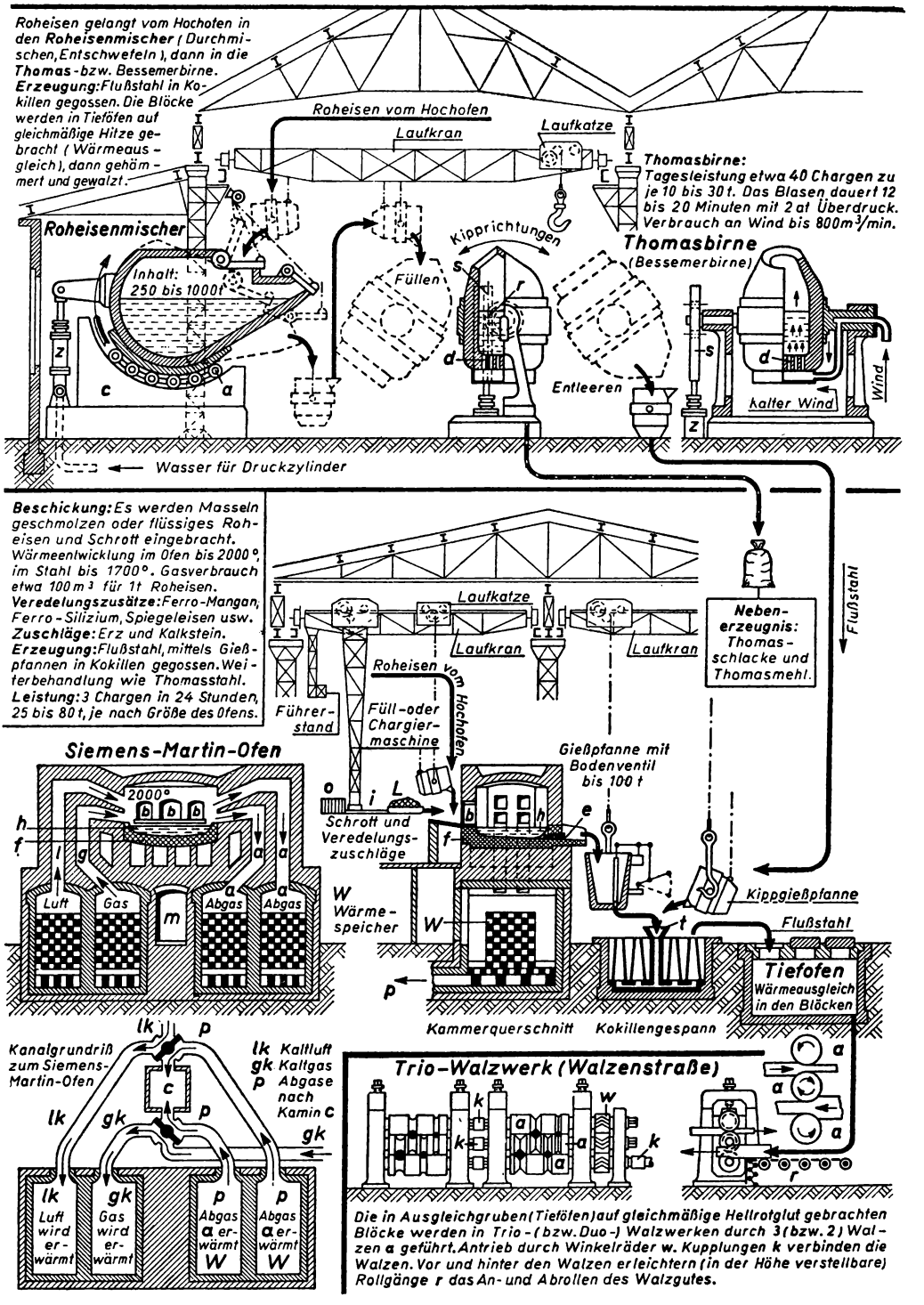


Bild 10.4. Stahlerzeugung im Hüttenwerk

THOMAS, seltener nach BESSEMER, in Birnen (Konverter), birnenförmige Behälter mit feuerfester Ausmauerung (Futter). Blasen von kalter Luft durch das flüssige Roheisen, Verbrennung der Verunreinigungen (Kohlenstoff, Mangan, Silizium, Phosphor), hierdurch starke Temperaturerhöhung von etwa 1200 °C bis auf 1700 °C, besondere Heizung überflüssig.
BESSEMER-Verfahren, saures Futter (Flußspat, Tonschiefer, Quarz) nur für phosphorarme Roheisen geeignet.
THOMAS-Verfahren, basisches Futter (Kalkstein, Dolomit), Zusatz von Kalk zur Schlackenbildung, Entfernung des Phosphors, da Stahl sonst brüchig wird (schon bei 0,1 %); Abbrand an Roheisen bis 13 %. Schlacke wird verarbeitet zu *THOMAS-Mehl*, gutes Düngemittel (etwa 12···25 % phosphorsaure Salze).
THOMAS-Stahl ist dem BESSEMER-Stahl weit überlegen, da besonders gut schmiedbar (geschmeidiger, leichter schweißbar).
THOMAS-Birne (Fassungsvermögen 10···80 t) (s. Bild 10.4) im Schnitt, in zwei Ansichten dargestellt. Die Birne ist kippbar gelagert, Drehung durch Druckwasserpumpe z mittels Zahnstange s und Zahnrad r. Erste Stellung der Birne beim Blasen, zweite Stellung beim Nachfüllen, dritte Stellung beim Entleeren. Durch den herausnehmbaren Nadelboden (Düsenboden) d, versehen mit etwa 250 Löchern, wird bei jeder Birnenstellung Wind in Pfeilrichtung durch das flüssige Roheisen geblasen. Birnenfutter hält etwa 200, Düsen oder Nadelboden (auswechselbar) bis 80 Schmelzungen (Chargen) aus. Bläulichweiße Flamme (Kochperiode); Kohlenstoff beinahe verbrannt, durch Zusetzung von Spiegeleisen wird Kohlenstoffgehalt wieder erhöht. Dicke, braune Dämpfe: Beendigung des Prozesses.
Aufblasverfahren stellen eine Weiterentwicklung der Windfrischverfahren (BESSEMER- und THOMAS-Verfahren) dar. Nach der Beschickung des Konverters wird eine wassergekühlte Lanze bis dicht über die Schmelze eingefahren und reiner Sauerstoff (über 98 %) unter Druck auf die Schmelze geblasen. Nach 20···40 min (abhängig von der Konvertergröße) ist der Blasprozeß beendet, und aus dem Roheisen ist Rohstahl entstanden, dessen Eigenschaften denen des SM-Stahls entsprechen und diesem teilweise sogar überlegen sind, da der Rohstahl einen niedrigeren Gehalt an Stickstoff, Wasserstoff und Phosphor aufweist. Außerdem ist das Verfahren wirtschaftlicher als das SM-Verfahren. Es können auch legierte Stähle bis 6 % Legierungselemente hergestellt werden.
Es werden 3 Gruppen von Aufblasverfahren unterschieden (s. Tabelle 10.5).
Zur Zeit am häufigsten angewendet wird das LD-Verfahren.

SIEMENS-MARTIN-Verfahren, basisches Futter (seltener saures Futter). Fassungsvermögen der Öfen: 10 ··· 350 t (s. Bild 10.4).

Roheisenerzverfahren, Beschickung: sauerstoffhaltiges Eisenerz (20···30 % der Masse des Roheisens), flüssiges Roheisen vom Hochofen oder 75 % THOMAS-Roheisen mit 25 % Schrott, 20 % Erz und 10 % Kalk.
Schrottverfahren, Beschickung etwa 30 % Roheisenmassen und 70 % Alteisen (Schrott), Schmiedestahlabfälle. Zuschlag: Kalk. Abbrand an Roheisen etwa 6 % (Steinkohlenverbrauch ≈300 kg auf 1 t Stahl). – Bei Erzeugung von Sonderstählen wird dem flüssigen Metall durch Zuschläge die gewünschte Menge an Mangan, Nickel, Chrom u. dgl. beigegeben.

Tabelle 10.5: Aufblasverfahren

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
Prinzip	Konverter steht beim Blasen senkrecht; Sauerstoff wird von oben in das Bad geblasen	liegender oder geneigter, um seine Mittelachse rotierender Trommelkonverter; Sauerstoff wird über das Bad geblasen	üblicher Thomaskonverter mit Sauerstofflanze
Bezeichnung der Verfahren	LD-Verfahren LDAC-Verfahren OLP-Verfahren	Rotor-Verfahren Kaldo-Verfahren	Phönix-Lanzen-Verfahren

SIEMENS-MARTIN-Ofen, Regenerativfeuerung. Länge bis 11 m, Breite ≈ 4 m; aus feuerfesten Steinen (Schamotte) gemauert. Der muldenförmige Herd h, gebildet durch das Futter f, hält bis 800 Chargen aus und ist nach dem Abstich e etwas geneigt. Beschickung durch Einsatztür b mit Chargiermaschine. Löffel L ist bei i drehbar, o ist Gegenlast. Unter dem Schmelzherd liegen 4 Wärmespeicher W; zwei für Luft, zwei für Gas, gitterartig aus feuerfesten Steinen aufgebaut. Vorgewärmtes Gas und vorgewärmte Luft gelangen durch die Kanäle g und l in den Schmelzraum, hier Verbrennung (≈1700 °C). Die Verbrennungsgase streichen über den Arbeitsherd und bringen die Einsätze zum Schmelzen. Die Abgase a werden durch Kanäle in die beiden rechts gelegenen Kammern, diese erwärmend, durch Fuchs p in Kamin c geleitet. Nach Erwärmung von etwa ½ h wird durch die Schieber umgesteuert; Gas und Luft strömen in entgegengesetzter Richtung, sich an den Gittersteinen auf ≈1200 °C erwärmend, in den Ofen. Reinigung des Ofens durch Tür m. *Gießpfanne mit Bodenventil:* Metall bleibt länger warm, Schlacke gelangt nicht in die Gießform (Kokille). *Kokillen*, Querschnitt rund, sechseckig, achteckig, meist quadratisch, nach unten erweitert, werden mittels besonderer Abstreifkräne von den erstarrten Blöcken abgestreift. Kokillen aus Hämatitroheisen halten 150···200, Stahlgußkokillen ≈ 350 Abgüsse aus; Größe verschieden. Im Kokillengespann (steigender Guß) bis zu 20 Kokillen vereinigt; Guß durch Trichter t und die Kanäle in die Kokillen. *Tieföfen*, feuerfest ausgemauerte Gruben, etwa 24 nebeneinander, Boden aus Magnesitsteinen. Besondere Feuerung überflüssig. Blöcke (meist größere) werden auf homogene (gleichmäßige) Hitze gebracht (30···60 min). Abbrand ≈1 bis 2 %. Die im Innern noch flüssigen Blöcke geben an die Ofenwände Hitze ab, diese wiederum an das Äußere des Blockes. Tieföfen mit Kohlen- oder Gasfeuerung, teurer, aber vorteilhafter, da für kalte Blöcke geeignet. *Flammöfen*, kalter oder warmer Einsatz, für kleinere Blöcke Abbrand ≈3 bis 4 %. *Rollofen, Stoßofen*, langsame Erwärmung, Gasfeuerung; allmähliche Überführung der Blöcke vom kalten in den wärmeren Teil des Ofens mit einer maschinellen Stoß- und Umkantvorrichtung, überwiegend in Walzwerken für kleinere Blöcke benutzt. Erwärmung der Blöcke auf Hellrotglut und Abtransport mittels besonderer Wagen oder Krane zum

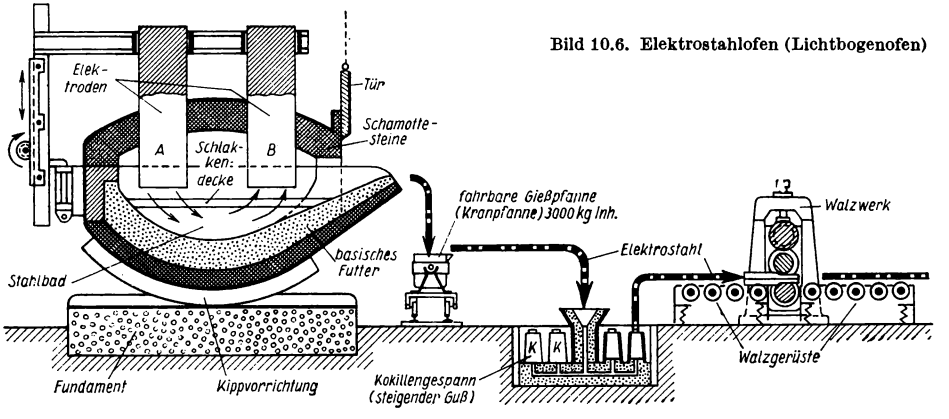
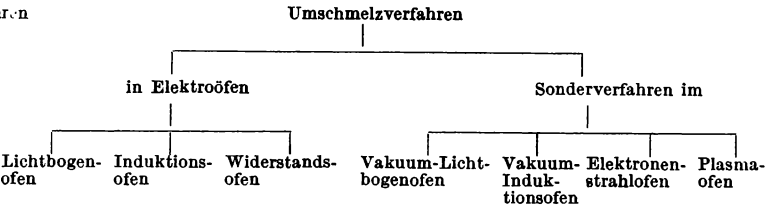


Bild 10.6. Elektrostahlofen (Lichtbogenofen)

Bild 10.7. Umschmelzverfahren



Walzwerk. Arten: Duo-, Doppel-Duo-, Trio-Walzwerk (s. Bild 10.4).
Universalwalzwerk. *Walzenstraße,* mehrere nebeneinander angeordnete Walzwerke. Walzgeschwindigkeit ist um so größer, je dünner und länger das Walzgut ist, bei Draht bis 9 m/s. Walzendurchmesser von 250 mm bei Drahtwalzwerken, bis 1250 mm bei Plattenwalzwerken; Lagerung der Walzen in Walzgerüsten. Der Walzwerksflur ist mit stählernen Platten abgedeckt, die Rollen der *Rollgänge* (hohle Zylinder aus Gußeisen) etwa 25 mm sichtbar. Walzen und Zapfen sind mit Talg zu beschmieren, durch besondere Wasserberieselung zu kühlen. Erzeugnisse: Feinstahl, Mittelstahl, Bandstahl, Draht, Feinblech, Grobblech, Profilstähle, Schienen usw.
Elektrostahlverfahren. Vorwiegend legierte Qualitäts- und Edelstähle werden in *Elektroöfen* erschmolzen. Besondere Bedeutung haben die Lichtbogenöfen (HEROULT-Öfen). Die Schmelzhitze wird hier durch einen Lichtbogen erzeugt, der Temperaturen über 3000 °C aufweist, große Wärmemengen ausstrahlt und auch die Durchführung chemischer Reaktionen sowie die Trennung unerwünschter Beimengungen von Rohstoffen begünstigt. Die Öfen (Bild 10.6) haben ein Fassungsvermögen bis zu 100 t (Großraumöfen sogar bis 250 t). In den Elektrostahlöfen wird meist der im SIEMENS-MARTIN-Ofen oder in der THOMAS-Birne vorbereitete Rohstahl im flüssigen Zustand verarbeitet. Die Arbeitsweise entspricht etwa der der SIEMENS-MARTIN-Öfen, wobei allerdings das Frischen nur durch Einblasen von Sauerstoff oder entsprechende Zusätze vor sich gehen kann.
Der Betrieb der Öfen erfolgt mit dreiphasigem Wechselstrom, wobei die Arbeitsspannung zwischen 70 und 100 V liegt. Der Energieaufwand je Tonne Stahl beträgt etwa 600 bis 800 kWh.
Umschmelzverfahren. Eine Verbesserung der Güteeigenschaften des Stahles wird durch Umschmelzen erreicht. Bild 10.7 gibt einen Überblick über die Umschmelzverfahren. Umschmelzen in Elektroöfen vgl. Gießereiöfen (s. S. 257 f.).

Sonderschmelzverfahren

Die steigende technische Entwicklung verlangt für viele Zwecke Werkstoffe, an deren Reinheit, Gleichmäßigkeit des Mikro- und Makrogefüges und mechanische Eigenschaften besondere Anforderungen gestellt werden. Nichtmetallische Einschlüsse, Gase und schädliche Spurenelemente müssen weitestgehend vermieden werden. Durch das Schmelzen im Vakuum kann man Stähle und Werkstoffe besonderer Qualität herstellen.
Wir unterscheiden *Vakuum-Induktionsöfen* (Bild 10.8) und *Vakuum-Lichtbogenöfen* (Bild 10.9). Letztere werden besonders zum Umschmelzen von reaktionsfreudigen und hochschmelzenden Metallen (z. B. Titan, Tantal, Wolfram, Molybdän) verwendet. Charakteristisch für dieses Verfahren ist die sich selbst verzehrende Gegenelektrode. Zwischen den beiden Elektroden (wassergekühlte Elektrode = Abschmelzelektrode und Elektrode aus dem umzuschmelzenden Metall) brennt dann der Lichtbogen. Die Vorteile des Vakuum-Lichtbogenofens liegen darin, daß keine Verunreinigungen durch das Tiegelmaterial erfolgen können und daß man bei entsprechender Ofengröße große Blockmassen erreichen kann.
Besonders für das Umschmelzen von Titan, Wolfram, Zirkon, aber auch für Nickellegierungen und Sonderstähle, setzt sich das *Schmelzen im Elektronenstrahlofen* immer mehr durch.
Bei dem *Mehrkammerofen* (Bild 10.10) ist die Elektronenkanone durch mehrere Kammern, welche einzeln durch kleine Öldiffusionspumpen evakuiert werden, vom Rezipienten (evakuierbarer Behälter) getrennt. Die Zuführung des Einsatzmaterials in den Elektronenstrahl erfolgt von den Seiten, und das erschmolzene Material erstarrt im wassergekühlten Kupferkristallisator.
Bei diesem Verfahren sind genauso wie beim Vakuum-Lichtbogenverfahren Schlackenverunreinigungen durch das Verfahren ausgeschlossen. Die Vorteile liegen in der längeren Verweilzeit im Schmelzfluß und in der größeren Überhitzungsmöglichkeit.
Plasmaofen (Bild 10.11): Hier wird ein konstanter Gleichstromlichtbogen zwischen Katode (Brennerelektrode) und dem Einsatz gebildet, und in diesen wird ein Arbeitsgas (meist Argon, aber auch Wasserstoff, Stickstoff u. a.) geblasen. Durch den Lichtbogen wird das Gas ionisiert. Dadurch wird der Lichtbogen stabilisiert; das Gas dient gleichzeitig als Schutzgas beim Schmelzen. Durch die Rührspule wird Badbewegung erreicht. Die hohe Lichtbogentemperatur von etwa 30000 °C bewirkt ein großes Wärmeangebot, so daß

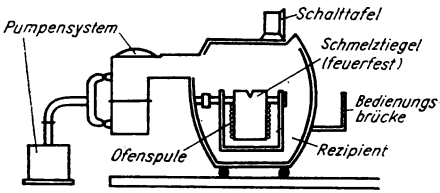


Bild 10.8. Vakuum-Induktionsofen

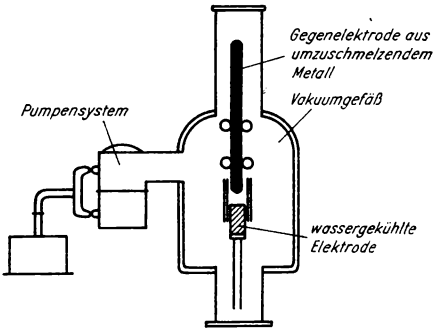


Bild 10.9. Vakuum-Lichtbogenofen

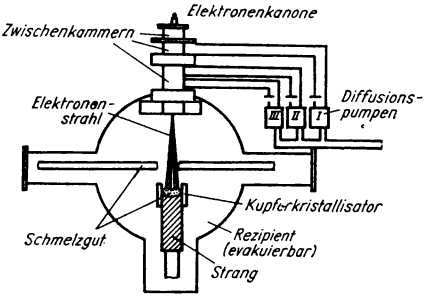


Bild 10.10. Elektronenstrahl-Mehrkammerofen

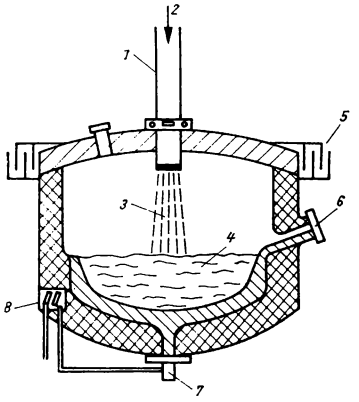


Bild 10.11. Plasmaofen
1 Plasmabrenner (Katode), 2 Arbeitsgas, 3 Plasma-Lichtbogen, 4 Schmelze, 5 Abdichtung (Sand), 6 Gießöffnungsverschluß (gasdicht), 7 Herdelektrode (Anode), 8 Rührspule

kurze Einschmelzzeiten erzielt werden können. Das hat eine bedeutende Senkung des spezifischen Energiebedarfs zur Folge.

Vakuumgießen: Durch Vakuumbehandlung des flüssigen Stahles können der Gasanteil und der Anteil an nichtmetallischen Einschlüssen gesenkt werden. Tabelle 10.6 gibt einen Überblick über wichtige Vakuumgießverfahren.

Tabelle 10.6: Wichtige Vakuumgießverfahren

Verfahren	Beschreibung
Vakuum-Umlaufentgasung	In die Gießpfanne tauchen beide Rohre eines Entgasungsgefäßes. Durch dessen Evakuieren und Einleiten eines Fördergases läuft der flüssige Stahl durch das Entgasungsgefäß und wird dabei entgast.
Vakuum-Pfannenentgasung	Die Gießpfanne mit dem flüssigen Stahl wird in einen Vakuumbehälter gebracht. Durch Einleiten eines neutralen Spülgases wird eine zusätzliche Durchwirbelung des Bades erreicht.
Vakuumheberverfahren	Ein Teil des flüssigen Stahles wird aus der Gießpfanne in einen Vakuumheber gesaugt, dort entgast und wieder in die Gießpfanne entleert. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis der gesamte Pfanneninhalt den gewünschten Entgasungsgrad aufweist.

11. Standardisierung der Werkstoffe, Halbzeuge und Profile

11.1. Benennung der Eisen- und Stahlsorten

Alles schmiedbare, auf flüssigem wie teigigem Wege erzeugte Eisen wird *Stahl* genannt.
Man unterscheidet *nichthärtbaren Stahl* (früher Schmiedeeisen) und *härtbaren Stahl.*
Während bei Eisen-Kohlenstoff-Stählen die Härtungsabkühlung von 723 °C auf 200 °C in etwa 6···7 s zu erfolgen hat, geht die Härtung der legierten Stähle (d. h. mit Metallzusatz, z. B. Ni, Mn, W, Cr, Mo, V) bei langer oder sehr langer Abkühlungszeit vor sich. Je nach der Menge (und Art) der Zusatzmetalle teilt man die Stähle in Ölhärter, Lufthärter, Selbsthärter und naturharte Stähle ein. Je langsamer die Abkühlung erfolgt, desto weniger innere Spannungen weisen die Stahlstücke auf. *Schnellarbeitsstahl* enthält außer Kohlenstoff und geringen Zusätzen von Cr und V hauptsächlich W. Durch den hohen Wolframgehalt ist die Wärmeleitfähigkeit gering. Man erhitzt ihn deshalb langsam auf Kirschrotglut und danach (zur Oberflächenbeeinflussung) schnell auf Weißglut; hierauf wird er in Öl oder Luft abgekühlt. Schnellarbeitsstahl verträgt Temperaturen bis zu 1350 °C, ohne daß er grobkörnig wird oder verbrennt.
Bekannt sind etwa 20000 verschiedene Stahlsorten, von denen 1000 praktische Bedeutung haben. Tabelle 11.1 gibt Möglichkeiten der *Einteilung der Stahlsorten* an.

Ferner bedeuten:

σ_B Zugfestigkeit (Bruchspannung),
δ_{10} % (sprich delta zehn) Bruchdehnung, in % an einem Normal- oder Proportionalstab mit Meßlänge $l_0 = 10d$,
σ Normalspannung, Beanspruchung,
σ_z Beanspruchung auf Zug,
σ_d Beanspruchung auf Druck,
τ Schubspannung
τ_t Beanspruchung beim Verdrehen.

In den folgenden Auszügen der Stahl-, Gußeisen- und Nichteisenmetall-Marken werden alle Festigkeitswerte in kp/mm² angegeben.

Zur *Benennung von Eisen und Stahl* gibt Tabelle 11.2 einen Überblick über *Bedeutung und Kennzeichen*, Tabelle 11.3 über *Gewährleistungsumfang.*

Werkzeugstahl-Gütestufen: W1 = 1. Güte; W2 = 2. Güte; W3 = 3. Güte; WS für Sonderzwecke
Die Tabellen 11.4 und 11.5 geben Beispiele für *Bezeichnungen von Werkstoffen und allgemeinen Baustählen.* In Tabelle 11.4 sind die Legierungssätze angegeben in Hundertstel bei C, Ce, P, S, N; in Zehntel bei Al, Be, Pb, Bi, Cu, Mo, Nb, Ta, Ti, V, Zr; in Viertel bei Cr, Co, Mn, Ni, Si, W.

Tabelle 11.1: Einteilung der Stahlsorten

Einteilung nach	Beispiele
Größenordnung ihrer Verwendung	Massenstähle, Sonderstähle
Gewinnung	Elektrostahl, SIEMENS-MARTIN-Stahl, THOMAS-Stahl, LD-Stahl usw.
Zusammensetzung	Kohlenstoffstähle (unlegiert), niedrig legierte und hochlegierte Stähle
Gefüge	perlitische und austenitische Stähle usw.
Formgebung	Walz-, Schmiede- und Gußstähle
Verwendungszweck	Werkzeugstähle, Baustähle, Federstähle usw.
Sondereigenschaften	Automatenstähle, Einsatzstähle, rostbeständige Stähle usw.

Tabelle 11.2: Systematische Benennung von Eisen und Stahl (Bedeutung und Kennzeichen) (nach TGL 14706)

Gußzeichen	Erschmelzungsart	Bes. Eigenschaften	Behandlungszustand
G- gegossen (allg.)	B BESSEMER-Stahl	A alterungsbeständig	A angelassen
GGL- Gußeisen mit Lamellengraphit	E Elektrostahl (allgemein)	G größ. P- oder S-Gehalt	B beste Bearbeitbarkeit
GGG- Gußeisen glob.	F Flammofen	H halbberuhigt	E einsatzgehärtet
GH- Hartguß	J Elektrostahl (Indukt.)	K kleiner P- oder S-Gehalt	G weichgeglüht
GS- Stahlguß	LE Elektrostahl (Lichtbogen)	L laugenrißbeständig	H gehärtet
GT- Temperguß (allgemein)	M SM-Stahl	P preßschweißbar	HF Oberfläche flammengehärtet
GTS- Temperguß, schwarz	SS Schweißstahl	Q kaltstauchbar	HI Oberfläche induktionsgehärtet
GTW- Temperguß, weiß	T THOMAS-Stahl	R ruhig vergossen	K kaltverformt
Angehängte Zeichen:	TI Tiegelstahl	S schmelzschweißbar	N normalgeglüht
K Kokillenguß	B Windfrischstahl	U unruhig vergossen	NT nitriert
Z Schleuderguß	B basisch ⟩ nur Y sauer ⟩ angehängt	Z ziehbar	S spannungsfreigeglüht
			U unbehandelt
			V vergütet

Tabelle 11.3: Gewährleistungsumfang (Stahl)

Kennziffer	Streckgrenze	Falt- oder Stauchversuch	Kerbschlagzähigkeit	Warmfestigkeit oder Dauerstandfestigkeit	Elektrische oder magnetische Eigenschaft
.1	×				
.2		×			
.3			×		
.4	×	×			
.5		×	×		
.6	×		×		
.7	×	×	×		
.8				×	
.9					×

Tabelle 11.4: Beispiele für Werkstoffbezeichnungen

Benennung nach der	Art	Werkstoff	1	2	3	4	5 bis 8	9.1	9.2	10	11	Markenbezeichnung
Mindest-zugfestigkeit	unlegiert	alterungsbeständiger Stahl mit 42 kp/mm² Zugfestigkeit, normal geglüht			A		St42	.6		N		ASt42.6N
		THOMAS-Stahl mit 38 kp/mm² Zugfestigkeit		T			St38					TSt38
chemischen Zusammensetzung		saurer SM-Stahl mit 0,35 % C, vergütet auf 70 kp/mm² Festigkeit		M	Y		C35			V	70	MYC35V70
		Werkzeugstahl mit 1 % C, 2. Güte, geglüht					C100		W2	G		C100W2G
	niedrig legiert	basischer El-Stahl mit 0,13 % C, 1,25 % Cr, 0,3 % V, mit gewährleisteter Warmfestigkeit, vergütet		E	B		13CrV53	.8		V		EB13CrV53.8V
		El-Stahlguß mit 0,25 % C, 1,25 % Cr, 0,6 % Mo, vergütet	GS-	E			25CrMo56			V	65	GS-E25CrMo56V65
	hoch-legiert	nichtrostender Stahl mit 0,10 % C, 18 % Cr, 8 % Ni, vergütet				X	10CrNi18.8			V		X10CrNi18.8V
		Guß-NiAl-Legierung	G-				NiAl					G-NiAl
Zugfestigkeit	unlegiert	Gußeisen mit 20 kp/mm² Zugfestigkeit	GGL-				20					GGL-20

Erläuterungen zu Tabelle 11.4

Spalte 1: Gußzeichen mit Bindestrich;
Spalte 2: Kennbuchstaben der Erschmelzungsart (Stahlart);
Spalte 3: Kennbuchstaben der durch Erschmelzungsart oder Verarbeitung bedingten Eigenschaften;
Spalte 4: X Unterscheidungsmerkmal hochlegierten Werkstoffes;
steht das Symbol X in der Werkstoffbezeichnung, so bedeutet das hochlegiert, und die Legierungszusätze mit Ausnahme von C sind im vollen Wert angegeben;
Spalte 5: Chem. Zeichen C = Kohlenstoff, nur bei unlegierten Stählen, nach chem. Zusammensetzung benannt, dagegen St = Stahl nur bei nicht nach chem. Zusammensetzung benannten Stählen;
Spalte 6: Kohlenstoffkennzahl und Zahl der Mindestzugfestigkeit oder Kennummer (Bandstahl und Feinblech);
Spalte 7: Nach Prozentgehalt geordnete chem. Zeichen der charakteristischen Legierungselemente und chem. Zeichen etwaiger besonderer Zusätze (z. B. Cu);
Spalte 8: Legierungskennzahlen, geordnet nach Reihenfolge der chemischen Zeichen;
Spalte 9.1: Kennziffer für den Gewährleistungsumfang;
Spalte 9.2: Kennzeichen bei unlegierten Werkzeugstählen;
Spalte 10: Kennbuchstaben für Behandlungszustand;
Spalte 11: Mindestwert der Zugfestigkeit oder sonstiger durch Behandlung zu erreichender Eigenschaften.

Tabelle 11.5: Beispiele für Bezeichnungen allgemeiner Baustähle (nach TGL 7960)

Bezeichnung	Erläuterung
St38u-2	unberuhigter SIEMENS-MARTIN-Stahl der Gütegruppe 2 mit 38 kp/mm² Mindestzugfestigkeit
WSt 42b-2	nach Sonderverfahren (W) hergestellter beruhigter Stahl der Gütegruppe 2 mit 42 kp/mm² Mindestzugfestigkeit
St38u-2Q	unberuhigter SM-Stahl der Gütegruppe 2 mit 38 kp/mm² Mindestzugfestigkeit und gewährleisteter Abkantbarkeit *Q*
WSt 38-3Q	nach Sonderverfahren (W) hergestellter Stahl der Gütegruppe 3 mit 38 kp/mm² Mindestzugfestigkeit und gewährleisteter Abkantbarkeit *Q*
St 50-2 zum Gesenkschmieden	SM-Stahl der Gütegruppe 2 mit 50 kp/mm² Mindestzugfestigkeit, verwendbar zum Gesenkschmieden

Gütegruppen der Stähle (nach TGL 7960)

Stähle der Gütegruppe 1 sind im Konverter zu erschmelzen und unberuhigt (u) oder beruhigt (b) zu vergießen.
Stähle der Gütegruppe 2 sind im SIEMENS-MARTIN-Ofen zu erschmelzen und unberuhigt (u) oder beruhigt (b) zu vergießen.
Nach Ermessen des Herstellers können anstelle der beruhigten Stähle St34b-2, St38b-2 und St42b-2 für Dicken bis 20 mm Stähle mit Unterschreitungen des Silizium-Gehaltes und Überschreitungen des Mangan-Gehaltes geliefert werden. Diese Stähle werden als halbberuhigt (hb) bezeichnet.
Stähle der Gütegruppe 3 sind im SIEMENS-MARTIN-Ofen oder Elektroofen zu erschmelzen und zur Erzielung der zu gewährleistenden Alterungsbeständigkeit besonders beruhigt, z. B. mit Aluminium, zu vergießen.

11.2. Zusammensetzung und Eigenschaften wichtiger Stähle

Schweißbarkeit

Eignung zum Schmelzschweißen ist bei den beruhigten, halbberuhigten und unberuhigten Stählen St34-2, St34-3, St34-4, St38-2, St38-3 und St38-4 sowie bei den Stählen St42-2, St42-3, St42-4 und St52-3 vorhanden. Beruhigte und halbberuhigte Stähle sind unberuhigten Stählen vorzuziehen, wenn bei der Schweißung Seigerungszonen angeschnitten werden können. Die Schweißeignung ist bei kohlenstoffarmen Stählen besser und mit etwa 0,22 % C in der Schmelzanalyse bei den Stählen der Gütegruppe 3 am besten und bei denen der Gruppe 2 besser als bei denen der Gruppe 1.
Die Eignung zum Widerstands-Stumpfschweißen ist bei allen Stahlmarken des Standards TGL 7960 vorhanden.
Die Eignung zu sonstigen Preßschweißverfahren ist im allgemeinen nur bei den Stahlmarken mit höchstens 0,25 % C gegeben und wird vom Siliziumgehalt des Stahles beeinflußt.
Tabelle 11.6 enthält Beispiele für Zusammensetzung und Eigenschaften von Stählen und Eisensorten.

Tabelle 11.7 gibt Kennwerte von Stählen an.

Tabelle 11.6: Zusammensetzung und Eigenschaften wichtiger Stähle und Eisensorten (Beispiele)

TGL	Bezeichnung	Markenbezeichnung	σ_B kp/mm²	δ %	Kohlenstoff*) %	Eigenschaften*)	
6547	Vergütungsstahl	C22	50··· 60	22	0,18···0,25	0,3···0,6 % Mn, 0,15···0,35 % Si, ≦0,045 % P und 0,045 % S	Werte für Zugfestigkeit in Tabelle für Stähle über 16 bis 40 mm ∅; bis 16 mm ∅ etwa 10 % höher, über 40 bis 100 mm ∅ annähernd 10 % niedriger
		C35	60··· 72	18	0,32···0,40	0,4···0,7 % Mn, 0,15···0,35 % Si, ≦0,045 % P und 0,045 % S	
		C45	65··· 80	16	0,42···0,50	0,5···0,8 % Mn, 0,15···0,35 % Si, ≦0,045 % P und 0,045 % S	
		C60	75··· 90	14	0,57···0,65	0,5···0,8 % Mn, 0,15···0,35 % Si, ≦0,045 % P und 0,045 % S	
		30Mn5	80··· 95	14	0,27···0,34	1,2···1,5 % Mn, 0,15···0,35 % Si	
		37MnSi5	90···105	12	0,33···0,41	1,1···1,4 % Mn, 1,1···1,4 % Si	
		25CrMo4	80··· 95	14	0,22···0,29	0,15···0,35 % Si; ≦0,035 % P, 0,5···0,8 % Mn; ≦0,035 % S, 0,9···1,2 % Cr, 0,15···0,25 % Mo	
		34CrMo4	90···105	12	0,30···0,37		
		42CrMo4	100···120	11	0,38···0,45		
		50CrMo4	110···130	10	0,46···0,54		
		36CrNiMo4	100···120	11	0,32···0,40	je 0,9···1,2 Cr u. Ni, ≦0,035 % P und 0,035 % S	
		34CrNiMo6	110···130	10	0,30···0,38	je 1,4···1,7 Cr u. Ni, ≦0,035 % P und 0,035 % S	
		30CrNiMo8	125···145	9	0,26···0,34	je 1,8···2,1 Cr u. Ni, ≦0,035 % P und 0,035 % S	
9559	Feinblech	StCA4	28··· 50	—	0,13	ofengeglüht	Schwarzblechteile
		StCuA4		—	0,10	kastengeglüht	Teile guter Oberfläche
		StCuA3		—	0,10	auch zum Verbleien	Emaillieren, Verzinken
		StZA3	28··· 42	25···27	0,07	Oberfläche zunderfrei	einfache Ziehteile
		StZA2		27···29	0,07	kleine Narben	normale Ziehteile
		StTZA2			0,08	zulässig	Tiefziehbeanspruchung
12529**)	Automatenstahl	9S20	37··· 55	11···7	≦0,12	Festigkeitswert in gezogenem Zustand 0,4···0,7 % Mn, 0,4 % Si	handelsüblich als Einsatz-Vergütungsstahl für Schrauben, Muttern, Apparatebau, Kraftfahrzeugindustrie, Massenkleinteile
		10S20	37··· 51	11···7	0,06···0,12		
		15S20	38··· 54	10···6	0,12···0,18		
		22S20	42··· 62	10···5	0,18···0,25		
		35S20	50··· 72	9···5	0,32···0,40	0,5···0,8 % Mn, 0,5 % Si	
		45S20	60··· 82	8···5	0,42···0,50		
		60S20	70··· 95	8···5	0,57···0,65		
6546	Einsatzstahl	C10	42··· 52	19	0,06···0,12	0,15···0,35 % Si, 0,25···0,5 % Mn; ≦0,045 % P, ≦0,045 % S	
		C15	50··· 65	16	0,12···0,18		
		15Cr3	60··· 85	13	0,12···0,18	0,4···0,6 % Mn, 0,5···0,8 % Cr, 0,15···0,35 % Si, ≦0,035 % P, ≦0,035 % S	
		16MnCr5	80···110	10	0,14···0,19	1,0···1,3 % Mn, 0,8···1,1 % Cr, 0,15···0,35 % Si, ≦0,035 % P, ≦0,035 % S	
		20MnCr5	100···130	8	0,17···0,22	1,1···1,4 % Mn, 1,0···1,3 % Cr, 0,15···0,35 % Si, ≦0,035 % P, ≦0,035 % S	
		15CrNi6	90···120	9	0,12···0,17	1,4···1,7 Cr; 1,4···1,7 Ni, Mn, Si, P und S wie 15Cr3	
		18CrNi8	120···145	7	0,15···0,20	1,8···2,1 Cr; 1,8···2,1 Ni, Mn, Si, P und S wie 15Cr3	
13789	warmgeformte Stähle für Federn	50SiMn7	130···150	6	0,47···0,55	1,50···2,00 % Si, 0,60···0,90 % Mn, ≦0,04 % P und S	
		55SiMn7	130···150	6	0,52···0,60	1,50···2,00 % Si, 0,60···0,90 % Mn, ≦0,04 % P und S	
		60SiMn7	130···150	6	0,57···0,65	1,50···2,00 % Si, 0,60···0,90 % Mn, ≦0,04 % P und S	
		65SiMn7	130···150	6	0,60···0,70	1,50···2,00 % Si, 0,60···0,90 % Mn, ≦0,04 % P und S	
		62SiCr5	135···180	8	0,55···0,65	1,00···1,30 % Si, 0,90···1,10 % Mn, 0,40···0,60 % Cr;	
		50CrV4	135···170	6	0,46···0,54	0,17···0,37 % Si, 0,5···0,8 % Mn, 0,07···0,2 % V	
14315	Stahlguß, unlegiert	GS-40	40	20	0,125···0,22	zäh und schmiedbar	für hochbeanspruchte Gußstücke
		GS-60	40	8	0,40···0,50	sehr fest, aber wenig zäh	
		GS-45.1	45	22	0,20···0,30	Sondergüte mit gewährleisteter Streckgrenze	
		GS-45.9	45	17	0,20···0,30	besondere magnetische Eigenschaften	Elektromaschinenbau

*) Ergänzungen. **) Je nach Querschnitt.

Tabelle 11.6 (Fortsetzung)

TGL	Bezeichnung	Markenbezeichnung	σ_B kp/mm²	ϑ %	Kohlenstoff*) %	Eigenschaften*)	
14395	legierter Stahlguß für allgemeine Bauzwecke	GS-20Mn6	55	18	0,15···0,25	Verwendung für allgemeine Bauzwecke; niedriglegierter Werkstoff; die Eigenschaften sind von den Legierungselementen (Mn, Cr, Si, Ni, V und Mo) und von ihren Anteilen bzw. ihrer Zusammenstellung abhängig	
		GS-30MnSi5	60	14	0,25···0,35		
		GS-35CrMn4	60	12	0,30···0,40		
		GS-40MnCrSi3	70	14	0,35···0,45		
		GS-30CrNiMo6	70	12	0,25···0,35		
7458	warmfester Stahlguß	GS-C25	45	22	0,18···0,25	schmelz- und schweißbar	für Gußstücke, deren thermische Beanspruchung im Bereich zwischen 250 und etwa 540 °C liegt; Spannungsfreiglühen ist im allgemeinen erforderlich
		GS-22Mo4	45	22	0,18···0,25		
		GS-22CrMo54	53···70	20	0,18···0,25		
		GS-20MoV53	50···70	18	0,16···0,23		
		GS-20MoV84	60···80	15	0,16···0,23		
10414	hitze- und zunderbeständiger Stahlguß	GS-X30CrSi6	50	6	0,25···0,35	Verwendung für Gußstücke, die thermisch hoch beansprucht und bei Temperaturen über 600 °C eingesetzt werden; mit Cr, Ni, Si und evtl. Al hochlegierter Werkstoff; Unterscheidung in ferritische und austenitische Stahlgußmarken	
		GS-X40Cr17	40	1	0,30···0,50		
		GS-X25CrNi244	65	8	0,20···0,30		
		GS-X40CrNiSi2210	50	15	0,30···0,50		
		GS-X40NiCrSi3616	50	8	0,30···0,50		
14394	rost- und säurebeständiger Stahlguß	GS-X10Cr13	50	15	bis 0,12	hohe Beständigkeit gegen atmosphärische Korrosion	
		GS-X60Cr29	40	—	0,5···0,7	hohe Korrosionsbeständigkeit, gut bearbeitbar	
		GS-X40CrMo292	—	—	0,3···0,5	hochkorrosionsbeständig, für chemische Industrie	
		GS-X12CrNi189	50	25	bis 0,16	für Salpeter- und Fettsäureindustrie, hohe Zähigkeit	
		GS-X12CrNiTi189	50	25	bis 0,16	für Sonderzwecke, nur für Teile mit Schweißung ohne nachfolgende Wärmebehandlung	
14415	Feinguß aus Stahlguß	GS-16MnCr 54	40	6	0,14···0,20	Die Werkstoffzusammensetzung entspricht den Besonderheiten des Gießverfahrens; die Gußstücke können somit aus unlegiertem GS, Einsatz-GS, Vergütungs-GS, warmfestem GS, rost- und säurebeständigem GS, hitze- und zunderbeständigem GS, Schnellarbeits-GS und Werkzeug-GS hergestellt werden	
		GS-22CrMo 44	55	12	0,18···0,25		
		GS-100Cr6	—	—	0,95···1,10		
		GS-X15Cr13	65	10	0,12···0,20		
		GS-X15CrNiSi2419	50	15	0,10···0,20		
14400	Gußeisen mit Lamellengraphit (Sandguß)	GGL-00	—	—	3,4···3,6	gut bearbeitbar, ohne besondere Vorschriften	Säulen, Rohre, Land-, Textilmaschinen
		GGL-15	15	—	3,4···3,6		
		GGL-20	20	—	3,2···3,4	gut bearbeitbar mit besonderen Gütevorschriften	allg. Maschinen- und Schiffbau, Kolbenringe, Dampfarmaturen, Werkzeugmaschinen
		GGL-25	25	—	2,8···3,2		
		GGL-30	30	—	3,1···3,3	Sondergußeisen	für besonders beanspruchte Teile und größere Wanddicken
		GGL-35	35	—	2,8···3,2		
13660	Gußeisen mit Lamellengraphit (Kokillenguß)	GGLK-25	25	—	3,4···3,6	Eigenschaften sind von Abkühlungsgeschwindigkeit und chemischer Zusammensetzung, die Grundgefügeausbildung und Graphitausscheidung beeinflussen, abhängig	
8189	Gußeisen mit Kugelgraphit	GGG-40	40	12	3,2···3,6	vorwiegend ferritisches Gefüge	für hochbeanspruchte Teile (auch dünnwandig) z. B. für den Fahrzeugbau
		GGG-50	50	5		ferritisch-perlitisches Gefüge	
		GGG-60	60	2		vorwiegend perlitisches Gefüge	
		GGG-70	70	2		vorwiegend perlitisches Gefüge	

*) Ergänzungen.

Tabelle 11.6 (Fortsetzung)

TGL	Bezeichnung	Markenbezeichnung	σ_B kp/mm²	δ %	Kohlenstoff*) %	Eigenschaften*)	
14414	legiertes Gußeisen	GGL-300CuCr12	38	—	2,8···3,2	Verwendung je nach Zusammensetzung für hohe und höchste Verschleiß- und Festigkeitsbeanspruchung (z. B. Kurbelwellen, Zylinder, Zahnräder) und für Gußstücke, die hohen thermischen und chemischen Einflüssen ausgesetzt sind; als Legierungsbestandteile kommen in Frage: Cr, Cu, Mo, Ni und Si; Unterscheidung sowohl in niedrig- als auch in hochlegierte Gußeisensorten	
		GGL-320CuMoCr124	38	—	3,0···3,4		
		GGL-300NiMo59	35	—	2,8···3,2		
		GGL-360NiMoCr38	40	—	3,4···3,8		
		GGL-X300Si14	15	—	2,8···3,2		
		GGL-X260NiCuCr146	15	—	2,6···3,0		
10327	Temperguß**)	GTW-35	35	4	3,1···3,6	gewöhnlicher weißer Temperguß	für dünne zähe Gußstücke
		GTW-40	40	5	2,9···3,2	hochwertiger weißer Temperguß	
		GTS-36	36	12	2,7···3,0	schwarzer Temperguß (Schwarzguß)	
		GTP-45	45	7	2,7···3,0	perlitischer Temperguß (Ferritanteil zulässig)	für dünne stark beanspruchte Gußstücke
		GTP-65	65	3		hochwertiger perlitischer Temperguß	
23839	Hartguß***)	GH 200	Härte *HB* 260···300		2,7···2,8	Vollhartguß, durchgehend weiß erstarrtes Gefüge	für besonders verschleißbeanspruchte Teile
		GH 200	Härte *HB* über 300		2,7···2,8		
		GHK 400	Härte *HV* 400···480		bis 4,2	Kokillenhartguß, Randzone weiß, Kern grau erstarrt	
		GHK 500	Härte *HV* über 480		bis 4,2		

*) Ergänzungen. **) GTW = weißer Temperguß, GTS = schwarzer Temperguß, GTP = perlitischer Temperguß.
***) GH = Vollhartguß, GHK = Kokillenhartguß.

Tabelle 11.7: Chemische Zusammensetzung, Kennzeichnung und Festigkeitseigenschaften der Stähle (nach TGL 7960)

Gütegruppe	Stahlmarke	Chemische Zusammensetzung					Kennzeichnung		Festigkeitseigenschaften						
		C	Si	Mn	P	S	Kennfarbe	Kennzahl	Mindeststreckgrenze für Dicken in mm σ_S in kp/mm²			Zugfestigkeit σ_B	Bruchdehnung		Dorndurchmesser beim Faltversuch um 180°
					%	%			bis 20	über 20 bis 40	über 40 bis 100		δ_5	δ_{10}	
		%	%	%	höchstens							kp/mm²	%	%	
1	St33	wird nicht gewährleistet							—	—	—	>33	22	18	3*s*
	St34	≦0,15	wird nicht gewährleistet	wird nicht gewährleistet	0,080	0,060	gelb-weiß	0100	22	21	20	34···42	30	26	0,5*s*
	St38	≦0,20					gelb-rot	0130	24	23	22	38···47	25	21	1*s*
	St42	≦0,24					gelb-schwarz	0150	26	25	24	42···52	23	19	2*s*
	St50	≈0,32					gelb-lila	0170	30	29	28	50···62	19	15	3*s*
	St60	≈0,44					gelb-grau	0180	34	33	32	60···72	14	11	—
	St70	≈0,55					gelb-braun	0190	37	36	35	70···85	10	8	—
	St38S	≦0,20		≧0,30	0,060	0,060	braun-blau	0940	24	23	22	38···47	25	21	1*s*
2	St34u-2	0,09···0,15	Spuren	0,25···0,50	0,050	0,055	gelb	0010	22	21	20	34···42	30	26	0,5*s*
	St34b-2	0,09···0,15	0,17···0,37	0,30···0,50			grün	0020							
	St38u-2	0,10···0,20	Spuren	0,30···0,60			rot	0030	24	23	22	38···47	25	21	1*s*
	St38b-2	0,12···0,20	0,17···0,37	0,40···0,65			blau	0040							
	St42u-2	0,17···0,24	Spuren	0,40···0,70			schwarz	0050	26	25	24	42···52	23	19	2*s*
	St42b-2	0,17···0,24	0,17···0,37	0,45···0,70			orange	0060							
	St50-2	0,28···0,37		0,50···0,80			lila	0070	30	29	28	50···62	19	15	3*s*
	St60-2	0,38···0,49		0,50···0,80			grau	0080	34	33	32	60···72	14	11	—
	St70-2	0,50···0,62		0,50···0,80			braun	0090	37	36	35	70···85	10	8	—
	St34hb-2	0,09···0,15	≦0,17	≧0,30	0,050	0,055	rot-weiß	0300	22	21	20	34···42	30	26	0,5*s*
	St38hb-2	0,12···0,20		≧0,40			rot-gelb	0310	24	23	22	38···47	25	21	1*s*
	St42hb-2	0,17···0,24		≧0,45			rot-grün	0320	26	25	24	42···52	23	19	2*s*
3	St34-3	0,09···0,15	0,12···0,30	0,30···0,50	0,045	0,045	rot-schwarz	0350	22	21	20	34···42	30	26	0,5*s*
	St38-3	0,12···0,18		0,40···0,65			rot-orange	0360	24	23	22	38···47	25	21	1*s*
	St42-3	0,15···0,22		0,45···0,70			rot-lila	0370	26	25	24	45···52	23	19	2*s*
	St52-3	0,14···0,20	0,40···0,55	1,20···1,50	0,040	0,040	*)	0380	36	35	34	52···62	22	18	2*s*

*) Nach den Vorschriften der Deutschen Reichsbahn. *s* Probendicke.

11.3. Stähle nach GOST und vergleichbaren TGL

Gegenüberstellung der Stahlsortenbezeichnungen für allgemeine Baustähle nach GOST und TGL

*GOST 380-60**

GOST zufolge werden die Stähle nach den zu gewährleistenden Eigenschaften in 3 Gruppen eingeteilt (Tabelle 11.8).

Tabelle 11.8: Stahlgruppen (nach GOST)

Gruppe	Charakteristik
A	Stähle werden nach den mechanischen Eigenschaften geliefert. Das Stahlherstellungsverfahren wird nicht angegeben (St)
B	Stähle werden nach der chemischen Zusammensetzung geliefert (z. B. MSt). Festigkeitseigenschaften werden nicht gewährleistet
C	Stähle werden mit Gewährleistung der chemischen Zusammensetzung und der Festigkeitseigenschaften geliefert (z. B. CMSt)

Die Tabellen 11.9···11.13 enthalten weitere Kennwerte, Kurzzeichen und Eigenschaften der Stähle nach GOST.

Tabelle 11.9: Einteilung in Dickenklassen

Material	Klasse 1 Dicke mm	Klasse 2 Dicke mm	Klasse 3 Dicke mm
Formstahl	bis 40	40···100	100···250
Profile	bis 15	15··· 20	über 20
Bleche und Breitflachstahl	4···20	über 20···40	über 40···60

Tabelle 11.10: Bedeutung der Kurzzeichen

Stahlherstellungsverfahren	Desoxydationsgrad
M SIEMENS-MARTIN-Stahl	kp unberuhigt
B BESSEMERstahl	ps halbberuhigt
K Sauerstoffaufblasstahl	sp beruhigt

Tabelle 11.11: Chemische Zusammensetzung (nach GOST 380-60*)

Stahlmarke	C %	Mn %	Si in % in unberuhigtem Stahl	 in halbberuhigtem Stahl	 in beruhigtem Stahl	P % höchstens	S %
MSt. 0, KSt. 0	≦0,23		—	—	—	0,070	0,060
MSt. 1, KSt. 1	0,06···0,12	0,25···0,50	≦0,05	0,05···0,15	0,12···0,30	0,045	0,055
MSt. 2, KSt. 2	0,09···0,15	0,25···0,50	≦0,07	0,05···0,15	0,12···0,30	0,045	0,055
MSt. 3kp, KSt. 3kp	0,14···0,22	0,30···0,60	≦0,07	—	—	0,045	0,055
MSt. 3ps, KSt. 3ps, MSt. 3sp, KSt. 3sp	0,14···0,22	0,40···0,65	—	0,05···0,15	0,12···0,30	0,045	0,055
MSt. 4, KSt. 4	0,18···0,27	0,40···0,70	≦0,07	0,05···0,15	0,12···0,30	0,045	0,055
MSt. 5, KSt. 5	0,28···0,37	0,50···0,80	—	0,05···0,15	0,15···0,35	0,045	0,055
MSt. 6, KSt. 6	0,38···0,49	0,50···0,80	—	0,05···0,15	0,15···0,35	0,045	0,055
MSt. 7, KSt. 7	0,50···0,62	0,50···0,80	—	0,05···0,15	0,15···0,35	0,045	0,055
BSt. 0	≦0,14	—	—	—	—	0,090	0,070
BSt. 3	≦0,12	0,25···0,55	≦0,07	0,05···0,15	0,12···0,35	0,080	0,060
BSt. 4	0,12···0,20	0,35···0,55	≦0,07	0,05···0,15	0,12···0,35	0,080	0,060
BSt. 5	0,17···0,30	0,50···0,80	—	0,05···0,15	0,12···0,35	0,080	0,060
BSt. 6	0,26···0,40	0,60···0,90	—	0,05···0,15	0,12···0,35	0,080	0,060

Tabelle 11.12: Festigkeitseigenschaften (nach GOST 380-60*)

Stahlmarke	σ_S in kp/mm² nach Dickenklassen mindestens			σ_B kp/mm²	δ_{10} %	δ_5 %	Kaltbiegeversuche um 180° (s Probendicke, d Dorndurchmesser)
	1	2	3				
St. 0	—	—	—	mindestens 32	18	22	$d = 2s$
St. 1	—	—	—	32···40	28	33	$d = 0$
St. 2	22	20	19	34···42	26	31	$d = 0$
				38···40	23	27	
St. 3kp	24	22	21	41···43	22	26	$d = 0{,}5s$
				44···47	21	25	
				38···40	23	27	
St. 3ps, St. 3sp	24	23	22	41···43	22	26	$d = 0{,}5s$
				44···47	21	25	
				42···44	21	25	
St. 4	26	25	24	45···48	20	24	$d = 2s$
				49···52	19	23	
				50···53	17	21	
St. 5ps, St. 5sp	28	27	26	54···57	16	20	$d = 3s$
				58···62	15	19	
				60···63	13	16	
St. 6ps, St. 6sp	31	30	30	64···67	12	15	—
				68···72	11	14	
St. 7ps, St. 7sp	—	—	—	70···74	9	11	—
				≧75	8	10	

Tabelle 11.13: Umschlüsselung für Stähle
(nach TGL 7960 und GOST 380-60*)

TGL 7960	GOST 380-60*
St33	StO, BStO, KStO, MStO
St34	St2kp, Pkt. 11a, b[1])
St38	St3kp, Pkt. 11a, b[1])
St42	St4kp, Pkt. 11a, b[1])
St50	St5sp, Pkt. 11a, b
St60	St6sp, Pkt. 11b
St70	St7sp, Pkt. 11b
St38S	[2])
St34u-2	CMSt2kp, CKSt2kp, Pkt. 16, 17, 19e
St34hb-2	CMSt2ps, CKSt2ps, Pkt. 16, 17, 19e
St34b-2	CMSt2sp, CKSt2sp, Pkt. 16, 17, 19e
St38u-2	CMSt3kp, CKSt3kp, Pkt. 16, 17, 19e
St38hb-2	CMSt3ps, CKSt3ps, Pkt. 16, 17, 19e, g
St38b-2	CMSt3sp, CKSt3sp, Pkt. 16, 17, 19e, g
St42u-2	CMSt4kp, CKSt4kp, Pkt. 19e
St42hb-2	—
St42b-2	St4S, GOST 5521-50
St50-2	St5sp, Pkt. 11a, b
St60-2	St6sp, Pkt. 11b
St70-2	St7sp, Pkt. 11b
St34-3	—
St38-3	[3])
St52-3	[4])

[1]) Für abnahmepflichtige tragende Konstruktionen ist unberuhigter Stahl der Gruppe C der entsprechenden Festigkeitsstufe mit Gewährleistung des Punktes 19e zu verwenden.

[2]) Anstelle des Stahles St38S können die Stähle CMSt3kp und CKSt3kp mit zusätzlicher Gewährleistung des Punktes 19e eingesetzt werden.

[3]) Für den Stahl St38-3 kann bei Temperaturen bis —25 °C und Dicken bis 25 mm bei einer Gefahrenziffer G $\leqq$ 2,0 nach TGL 12910 der Stahl CMSt3sp mit zusätzlicher Gewährleistung der Punkte 16, 17, 19a, c, d, e, i, h, k eingesetzt werden. Für größere Dicken bzw. höhere Gefahrenziffern ist für Temperaturen bis —25 °C die Stahlmarke M16S nach GOST 6713-53 verwendbar.

[4]) Austauschstähle für die Stahlmarke St52-3 sind die Marken 14ChGS, GOST 5058-57, und MK 35, Tsch MTU 1067-64. Da jedoch keine volle Übereinstimmung mit den Analysen und Festigkeitswerten des St52-3 vorhanden ist, muß die Möglichkeit des Austausches je nach dem Verwendungszweck festgelegt werden.

11.4. Leichtmetalle, Leichtmetallegierungen

Die Tabellen 11.14 und 11.15 enthalten Kennwerte für Aluminium und Aluminiumlegierungen.

Tabelle 11.16 (s. S. 239) enthält die chemische Zusammensetzung und Eigenschaften von Gußstücken aus Aluminium-Gußlegierungen (aufgestellt nach TGL 6556 Bl. 2).

Bedeutung der Kurzbezeichnungen:
Herstellart: G- = Sandguß, GK- = Kokillenguß, GD- = Druckguß

Lieferzustand: L = lösungsgeglüht, K = kaltausgelagert, W = warmausgelagert

Beispiel: GK-AlSi6CuLW: Aluminium-Gußlegierung der Sorte G-AlSi6Cu in der Herstellart Kokillenguß und im Lieferzustand wärmebehandelt durch Lösungsglühen und Warmauslagern

Sofern keine Erfahrungen in der Verarbeitung von Leichtmetallen vorliegen, ist es erforderlich, sich vorher genau bei den zuständigen Werken bzw. Informationsstellen, z. B. dem Aluminium-Beratungsdienst (VEB Leichtmetallwerk Rackwitz), zu informieren.

Warmumformung. Erforderlich ist wiederum eine genaue Temperatureinhaltung. Die Warmumformung erfolgt für die Werkstoffe 1 und 2 (s. Tabelle 11.15) bei 300···350 °C, für 3, 4, 7, 8, 10 und 11 bei 400···450 °C, für 5 bei 330···400 °C, für 6 nach Angaben des Lieferwerkes, für 9 bei 460···500 °C.

Bei *Kaltumformungen*, z. B. Abkanten, ist darauf zu achten, daß die Biegekante möglichst nicht parallel zur Walzrichtung zu liegen kommt. Die Biegeradien sollen etwa dem 1,5- bis 2,5fachen der Blechdicke entsprechen. Rohre können mit Biegevorrichtungen gebogen werden. Sofern sie frei gebogen werden sollen, sind sie mit Sand zu füllen. Der Krümmungshalbmesser soll mindestens dem dreifachen Außendurchmesser entsprechen.

Aushärten – Vergüten

Sowohl die Aluminium-Knetlegierungen 9, 10 und 11 (Tabelle 11.15) als auch die Aluminium-Gußlegierungen, bei denen es in der Spalte Lieferzustand (Tabelle 11.16) angegeben ist, lassen sich durch Wärmebehandlung aushärten, wodurch die Festigkeit erhöht wird. Diese Wärmebehandlung besteht aus Lösungsglühen mit Abschrecken in Wasser oder bei Gußlegierungen auch Abkühlung an der Luft mit nachfolgender Wärmebehandlung, die als Aushärtung bezeichnet wird. Die Temperaturen für die Lösungs- und Aushärtungsglühung richten sich nach der jeweiligen Legierung. Für die Legierung 9 z. B. liegt die Lösungsglühtemperatur bei etwa 540 °C, für die Legierungen 10 und 11 bei etwa 500 °C; für die Gußteile kann sie auch bis 540 °C betragen.

Die Aushärtung mit entsprechender Steigerung der Festigkeit erfolgt entweder kalt oder warm; kalt bedeutet Lagerung bei Raumtemperatur, warm heißt, daß die Aushärtung bei erhöhter Temperatur erfolgt. Die Temperatur kann bis zu 160 °C betragen und ist wiederum abhängig vom Werkstoff.

Für diese Wärmebehandlungen werden elektrisch beheizte Luftumwälzöfen oder Salzbäder verwendet. Die Temperaturen dieser Bäder müssen genau regelbar sein, da durch Überschreitungen Schädigungen des Werkstoffes eintreten können.

Tabelle 11.14: Rein- und Hüttenaluminium im Halbzeug

Benennung	Kurzzeichen	Si	Fe	Ti	Cu	Cu+Zn	Insgesamt höchstens	Verwendung	Herstellungsform
Reinstaluminium	Al99,98R	0,008	0,007	0,003	0,003	0,008	0,01	Reflektoren, chemische Industrie für höchste Ansprüche, Kunstgewerbe	Bleche, Bänder, Streifen, Folien, Platten, Stangen, Rohre, Profile, Drähte, Preßteile
	Al99,95R	0,025	0,030	0,008	0,015	0,020	0,05		
	Al99,90R	0,040	0,050	0,010	0,030	0,035	0,10		
Reinaluminium	Al99,8	0,15	0,15	0,03	0,02	0,08	0,20	chemische Industrie für besonders hohe Ansprüche	
	Al99,7	0,20*)	0,25*)	0,03	0,03	0,10	0,30		
	Al99,5	0,30*)	0,40*)	0,03	0,05	0,12	0,50	chemische Industrie, Elektrotechnik, Schiffbau	
	Al99	0,50*)	0,60*)	0,04	0,07	0,15	1,00	allgemeine Zwecke	
	Al98	0,80*)	1,00*)	0,05	0,10	0,20	2,00		

*) Si $\geqq$ Fe.

Tabelle 11.15: Al-Knetlegierungen

Lfd. Nr.	Kurzzeichen (Kennfarbe)	Legierungselemente %	Dichte kg/dm³	Kennzeichnende Eigenschaften	Verwendungsrichtlinien
1	AlRMg0,5	Mg 0,4···0,6	2,7	geringer Widerstand gegen Umformung, hohe chemische Beständigkeit, ausgezeichnet dekorativ, anodisch oxydierbar, mit steigendem Magnesiumgehalt höhere Festigkeit	Reflektoren, Beleuchtungskörper, chemische Industrie, Fahrzeugbeschlagteile, Hotel- und Tafelgeschirr, Schmuck- und Metallwaren
2	AlRMg1	Mg 0,8···1,2	2,7	wie AlRMg0,5	
3	AlMg1 (grün-blau)	Mg 0,6···1,5 Mn 0 ···0,3 Cr 0 ···0,3	2,69	sehr gute Umformbarkeit, ausgezeichnet korrosionsbeständig gegen Seewasser, gut schweißbar, dekorativ, anodisch oxydierbar	Architektur, Metallwaren, Molkereigeräte
4	AlMg3 (grün-gelb)	Mg 2,6···3,9 Mn 0 ···0,4 Cr 0 ···0,3	2,66	Eigenschaften ähnlich AlMg1, jedoch höhere Festigkeit	Bauwesen, chemische Industrie, Flugzeugbau, Fahrzeugbau, Schiffbau
5	AlMg5 (grün-schwarz)	Mg 4,0···5,5 Mn 0 ···0,8 Cr 0 ···0,3	2,64	ähnlich AlMg3, jedoch höhere Festigkeit bei etwas verringerter Umformbarkeit	Bauwesen, chemische Industrie, Bergbau, Waggon- und Fahrzeugbau, Flugzeug- und Schiffbau
6	AlMg7 (grün-rot)	Mg 5,6···7,5 Mn 0 ···0,8 Cr 0 ···0,3	2,62	höhere Festigkeit als AlMg5, jedoch ungünstiger für Schweiß- und Umformungsarbeiten	Bauwesen, Bergbau, Fahrzeugbau
7	AlMg3Si (grün-weiß)	Mg 2,5···3,9 Mn 0,3···0,8 Si 0,5···1,1	2,65	neben guter Umformbarkeit und guter Korrosionsbeständigkeit besonders gut schweißbar	Bauwesen, Behälterbau, Bergbau, Fahrzeug- und Flugzeugbau, Schweißkonstruktionen
8	AlMg5Si				Schweißdraht für AlMg3 und AlMg5
9	AlMgSi1 (weiß)	Mg 0,6···1,4 Mn 0 ···1,0 Si 0,6···1,6	2,7	gut umformbar im weichen Zustand, korrosionsbeständig, gut polierbar	Bauwesen, Flugzeugbau, Metallwaren, Molkereigeräte
10	AlCuMg0,5 (rot-gelb)		2,74	gut umformbar, bedingt korrosionsbeständig, insbes. gegen Seewasser, technisch anodisch oxydierbar, hohe Festigkeit	Konstruktionsteile, Flugzeugbau, Niete
11	AlCuMg1 (rot)		2,8	ausreichend bis gut umformbar im weichen Zustand, technisch anodisch oxydierbar, bedingt korrosionsbeständig, insbesondere gegen Seewasser, gut spanbar, gut bis sehr gut schweißbar nach dem Widerstandsschweißverfahren	Fahrzeugbau, Flugzeugbau, Ingenieurbau und Maschinenbau

Für Umformungsarbeiten an aushärtbaren Legierungen muß Weichglühung des ausgehärteten Werkstoffes erfolgen, da in diesem Zustand die Umformbarkeit am größten ist. Die Weichglühtemperatur für die Legierung 9 liegt zwischen 360 und 400 °C, für die Legierungen 10 und 11 bei 330···360 °C. Der Werkstoff bleibt nach dieser Wärmebehandlung weich, härtet also nicht aus. Wenn es erforderlich ist, die Festigkeit wieder zu steigern, müssen erneut Lösungsglühung und Aushärtung stattfinden. Die zulässige Dauerbetriebstemperatur liegt für die Werkstoffe 3, 4 und 7 bei 180···200 °C, für 5 bei 100 °C, für 6, 10 und 11 bei 80 °C, für 9 bei 100···130 °C.

Tabelle 11.17 enthält Kennzeichen und Kennwerte von Mg-Knetlegierungen, Tabelle 11.18 chemische Zusammensetzung und Eigenschaften von Gußstücken aus Mg-Gußlegierungen (nach TGL 20810 Bl. 2).

Tabelle 11.17: Mg-Knetlegierungen (nach TGL 14729)

Kurzzeichen	Kennfarbe	Grundstoffe neben Mg in %	Zulässige Beimengungen in %	Lieferformen
MgAl3Zn	gelb-schwarz-grün	Al 2,5 ···3,5 Zn 0,5 ···1,5 Mn 0,05···0,4	Si 0,20 Cu 0,05	gepreßte und gerichtete Profile und Stangen, Gesenkschmiedestücke, gepreßte Schweißdrähte
MgAl6Zn	gelb-schwarz-weiß	Al 5,5 ···7,0 Zn 0,5 ···1,5 Mn 0,05···0,4	Si 0,20 Cu 0,05	

Tabelle 11.16: Aluminium-Gußlegierungen

Sorte	Legierungsbestandteile %	Zul. Beimengungen %	Dichte kg/dm³	Herstellart	Lieferzustand	Kurzbezeichnung	σ_B kp/mm²	δ_5 %	*HB* 10/1000
G-Al	nach TGL 14712 Bl. 2		2,7	Sandguß	unbehandelt	G-Al	ohne vorgeschriebene Festigkeitswerte		
				Kokillenguß	unbehandelt	GK-Al			
				Druckguß	unbehandelt	GD-Al			
G-AlMg3	Mg 2,0 ···4,0 Si 0,5 ···1,3 Mn 0,05···0,5 Ti 0,05···0,2 Al Rest	Fe 0,50 Cu 0,05 Zn 0,10	2,7	Sandguß	unbehandelt	G-AlMg3	14	3	≧50
				Sandguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	G-AlMg3LW	21	2	≧70
				Kokillenguß	unbehandelt	GK-AlMg3	15	3	≧50
				Kokillenguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	GK-AlMg3LW	22	4	≧70
G-AlMg3dek	Mg 2,0 ···4,0 Si 0,5 Mn 0,05···0,5 Al Rest	Fe 0,50 Cu 0,05 Zn 0,10	2,7	Kokillenguß	unbehandelt	GK-AlMg3dek	15	4	≧45
G-AlMg5	Mg 3,5 ···5,5 Si 0,5 ···1,3 Mn 0,05···0,5 Al Rest	Fe 0,50 Cu 0,05 Zn 0,10 Ti 0,20	2,65	Sandguß	unbehandelt	G-AlMg5	15	2	≧55
				Kokillenguß	unbehandelt	GK-AlMg5	17	3	≧60
G-AlMg9	Mg 7,0···10,0 Si 0,1··· 0,6 Mn 0,2··· 0,5 Al Rest	Fe 0,50 Cu 0,10 Zn 0,10 Ti 0,20	2,6	Druckguß	unbehandelt	GD-AlMg9	20	1,5	≧55
G-AlSi1	Si 1,0···1,5 Al Rest	Fe 0,50 Cu 0,05 Zn 0,10 Ti 0,05	2,7	Kokillenguß	unbehandelt	GK-AlSi1	ohne vorgeschriebene Festigkeitswerte		
				Druckguß	unbehandelt	GD-AlSi1			
G-AlSi2	Si 2,0···2,5 Al Rest	Fe 0,50 Cu 0,05 Zn 0,10 Ti 0,05	2,7	Kokillenguß	unbehandelt	GK-AlSi2	ohne vorgeschriebene Festigkeitswerte		
				Druckguß	unbehandelt	GD-AlSi2			
G-AlSi5Mg	Mg 0,35···0,6 Si 4,5 ···6,0 Mn 0,15···0,5 Al Rest	Fe 0,50 Cu 0,05 Zn 0,10 Ti 0,15	2,7	Sandguß	unbehandelt	G-AlSi5Mg	14	1	≧55
				Sandguß	lösungsgeglüht und kaltausgelagert	G-AlSi5MgLK	18	2	≧70
				Sandguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	G-AlSi5MgLW	22	1	80···110
				Kokillenguß	unbehandelt	GK-AlSi5Mg	16	1,5	≧60
				Kokillenguß	lösungsgeglüht und kaltausgelagert	GK-AlSi5MgLK	20	2	≧70
				Kokillenguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	GK-AlSi5MgLW	24	1	90···115

Tabelle 11.16 (Fortsetzung)

Sorte	Legierungsbestandteile %	Zul. Beimengungen %	Dichte kg/dm³	Herstellart	Lieferzustand	Kurzbezeichnung	σ_B kp/mm²	δ_5 %	*HB* 10/1000
G-AlSi6Cu	Mg 0,25···0,55 Si 5,5 ···7,00 Mn 0,2 ···0,50 Cu 1,0 ···2,00 Al Rest	Fe 0,60 Zn 0,50 Ti 0,15 Ni 0,20 Pb + Sn 0,1	2,7	Sandguß	unbehandelt	G-AlSi6Cu	16	1	≧70
				Sandguß	lösungsgeglüht und kaltausgelagert	G-AlSi6CuLK	21	1,5	≧80
				Sandguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	G-AlSi6CuLW	22	0,6	90···115
				Sandguß	warmausgelagert	G-AlSi6CuW	20	0,4	≧80
				Kokillenguß	unbehandelt	GK-AlSi6Cu	19	2	≧75
				Kokillenguß	lösungsgeglüht und kaltausgelagert	GK-AlSi6CuLK	23	2	≧90
				Kokillenguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	GK-AlSi6CuLW	24	0,8	95···120
				Kokillenguß	warmausgelagert	GK-AlSi6CuW	22	0,6	≧85
G-AlSi7Mg	Mg 0,25···0,50 Si 6,5 ···8,00 Mn 0,15···0,50 Al Rest	Fe 0,50 Cu 0,05 Zn 0,10 Ti 0,15	2,65	Sandguß	unbehandelt	G-AlSi7Mg	15	2	≧55
				Sandguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	G-AlSi7MgLW	22	1,5	80···105
				Kokillenguß	unbehandelt	GK-AlSi7Mg	18	3	≧60
				Kokillenguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	GK-AlSi7MgLW	24	1,5	85···110
G-AlSi7Cu1	Mg 0,2···0,6 Si 6,5···8,0 Mn 0,2···0,5 Cu 1,0···2,0 Al Rest	Fe 0,80 Zn 1,00 Ti 0,15 Ni 0,30 Pb + Sn 0,3	2,7	Sandguß	unbehandelt	G-AlSi7Cu1	16	1	≧75
				Sandguß	lösungsgeglüht und kaltausgelagert	G-AlSi7Cu1LK	19	1	≧80
				Sandguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	G-AlSi7Cu1LW	22	0,5	90···120
				Sandguß	warmausgelagert	G-AlSi7Cu1W	18	0,3	≧85
				Kokillenguß	unbehandelt	GK-AlSi7Cu1	18	1	≧75
				Kokillenguß	lösungsgeglüht und kaltausgelagert	GK-AlSi7Cu1LK	21	1,3	≧90
				Kokillenguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	GK-AlSi7Cu1LW	23	0,6	95···120
				Kokillenguß	warmausgelagert	GK-AlSi7Cu1W	20	0,4	≧85
G-AlSi7Cu2	Mg 0,2···0,7 Si 6,5···8,0 Mn 0,2···0,5 Cu 1,0···2,0 Al Rest	Fe 0,90 Zn 1,20 Ti 0,15 Ni 0,30 Pb + Sn 0,3	2,7	Sandguß	unbehandelt	G-AlSi7Cu2	17	0,6	≧75
				Sandguß	warmausgelagert	G-AlSi7Cu2W	19	0,3	≧85
				Kokillenguß	unbehandelt	GK-AlSi7Cu2	19	0,8	≧80
				Kokillenguß	warmausgelagert	GK-AlSi7Cu2W	20	0,4	≧85

Tabelle 11.16 (Fortsetzung)

Sorte	Legierungsbestandteile %	Zul. Beimengungen %	Dichte kg/dm³	Herstellart	Lieferzustand	Kurzbezeichnung	σ_B kp/mm²	δ_5 %	*HB* 10/1000
G-AlSi 7 Cu 2	Mg 0,2···0,7 Si 6,5···8,0 Mn 0,2···0,5 Cu 1,0···2,0 Al Rest	Fe 1,20 Zn 1,20 Ti 0,15 Ni 0,30 Pb + Sn 0,3	2,7	Druckguß	unbehandelt	GD-AlSi 7 Cu 2	20	1	≧80
G-AlSi 8 Cu 3	Mg 0,2···0,55 Si 7,0···9,00 Mn 0,2···0,5 Cu 2,5···4,0 Al Rest	Fe 1,1 Zn 1,0 Ti 0,15 Ni 0,30 Pb + Sn 0,3	2,75	Druckguß	kaltausgelagert	GD-AlSi 8 Cu 3 K	22	1	≧90
				Druckguß	warmausgelagert	GD-AlSi 8 Cu 3 W	22	1	95···110
G-AlSi 9 Cu 1	Mg 0,2··· 0,7 Si 8,0···11,0 Mn 0,2··· 0,5 Cu 0,5··· 2,0 Al Rest	Fe 1,20 Zn 1,20 Ti 0,15 Ni 0,30 Pb + Sn 0,3	2,7	Druckguß	unbehandelt	GD-AlSi 9 Cu 1	20	1	≧80
G-AlSi 10 Mg	Mg 0,2 0,4 Si 8,5 ···10,5 Mn 0,15··· 0,50 Al Rest	Fe 0,50 Cu 0,05 Zn 0,10 Ti 0,15	2,65	Sandguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	G-AlSi 10 Mg LW	22	1,2	80···110
				Kokillenguß	unbehandelt	GK-AlSi 10 Mg	20	2	≧65
				Kokillenguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	GK-AlSi 10 Mg LW	24	1,2	85···115
	Mg 0,2 ··· 0,5 Si 8,5 ···11,0 Mn 0,15··· 0,5 Al Rest	Fe 0,60 Cu 0,10 Zn 0,10 Ti 0,15		Druckguß	unbehandelt	GD-AlSi 10 Mg	21	1,5	≧70
G-AlSi 10 Mg(Cu)	Mg 0,2··· 0,4 Si 8,5···11,0 Mn 0,2··· 0,5 Al Rest	Fe 0,60 Cu 0,50 Zn 0,50 Ti 0,15 Ni 0,30 Pb + Sn 0,2	2,65	Sandguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	G-AlSi 10 Mg(Cu) LW	22	1	80···110
				Kokillenguß	unbehandelt	GK-AlSi 10 Mg(Cu)	20	2	≧65
				Kokillenguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	GK-AlSi 10 Mg(Cu) LW	24	1	85···115

Tabelle 11.18: Mg-Gußlegierungen

Sorte	Legierungsbestandteile %	Zul. Beimengungen %	Dichte kg/dm³	Herstellart	Lieferzustand	Kurzbezeichnung	σ_B kp/mm²	δ_5 %	*HB* 10/1000 mindestens
G-MgAl6Zn3	Al 5,5 ···6,5 Zn 2,5 ···3,0 Mn 0,15···0,5 Mg Rest	Si 0,30 Cu 0,20	1,84	Sandguß	unbehandelt	G-MgAl6Zn3	16	3	50
G-MgAl8Zn1	Al 7,5 ···8,7 Zn 0,3···1,0 Mn 0,15···0,5 Mg Rest	Si 0,25 Cu 0,15	1,81	Sandguß	unbehandelt	G-MgAl8Zn1	16	2	50
				Kokillenguß	unbehandelt	GK-MgAl8Zn1			
				Sandguß	homogenisiert	G-MgAl8Zn1H	24	8	50
				Kokillenguß	homogenisiert	GK-MgAl8Zn1H			
				Druckguß	unbehandelt	GD-MgAl8Zn1	20	1	60
G-MgAl9Zn1	Al 8,5 ···10,0 Zn 0,3 ··· 1,0 Mn 0,15··· 0,5 Mg Rest	Si 0,25 Cu 0,15	1,82	Sandguß	homogenisiert	G-MgAl9Zn1H	24	6	55
				Kokillenguß	unbehandelt	GK-MgAl9Zn1	16	2	55
				Kokillenguß	homogenisiert	GK-MgAl9Zn1H	24	6	55
				Sandguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	G-MgAl9Zn1LW	24	2	65
				Kokillenguß	lösungsgeglüht und warmausgelagert	GK-MgAl9Zn1LW			
				Druckguß	unbehandelt	GD-MgAl9Zn1	22	0,5	65
G-MgAl9Zn2	Al 7,5 ···10,0 Zn 0,5 ···2,0 Mn 0,15··· 0,5 Mg Rest	Si 0,50 Cu 0,35	1,83	Sandguß	unbehandelt	G-MgAl9Zn2	16	2	50
				Kokillenguß	unbehandelt	GK-MgAl9Zn2			
				Druckguß	unbehandelt	GD-MgAl9Zn2	20	0,5	60
G-MgAl6Zn3S *)	Al 5,0 ···6,5 Zn 2,5 ···3,5 Mn 0,15···0,5 Mg Rest	Si 0,20 Cu 0,02	1,84	Sandguß	unbehandelt	G-MgAl6Zn3S *)	ohne vorgeschriebene Festigkeitswerte		
				Kokillenguß	unbehandelt	GK-MgAl6Zn3S *)			

*) Sorte für Opferanoden zu Zwecken des katodischen Schutzes.

Tabelle 11.19: Zusammensetzung, Festigkeitswerte und Eigenschaften der Gußstücke (nach TGL 8110)

Benennung	Kurzzeichen und Kennfarbe	Zusammensetzung %	Mindestgehalt %	Zulässige Beimengungen %	Lieferform	Festigkeitseigenschaften $\sigma_{0,2}$ kp/mm²	σ_B kp/mm²	δ_5 %	HB 10	Kennzeichnende Eigenschaften und Richtlinien für die Verwendung
Gattung: CuSn (Zinnbronze)										
Guß-Zinnbronze 14	G-CuSn 14 (G-SnBz 14) gelbrot	Cu 84···86,5 Sn 13···15	Cu + Sn 99	Pb 1,0 Sb 0,3 Fe 0,2 Mn 0,2 Bi 0,01 Al 0,01 Mg 0,01 S 0,05 As 0,15 Ni 0,5 Zn Rest	Sandguß	14···17	20···25	5···3	85···115	harte, verschleißfeste Zinnbronze von guter Gleichmäßigkeit; beständig gegen Alkalien und verdünnte Schwefelsäure, nicht beständig gegen Ammoniak und Salzsäure; höher beanspruchte Gleitlager, Schneckenradkränze und Schieberspiegel sowie Teile für Hochdruckarmaturen
					Schleuderguß GZ-CuSn 14					
Guß-Zinnbronze 10	G-CuSn 10 (G-SnBz 10) gelb-schwarz	Cu 88···90,5 Sn 9···11	Cu + Sn 99	Pb 1,0 Sb 0,3 Fe 0,2 Mn 0,2 Bi 0,01 Al 0,01 Mg 0,01 S 0,05 As 0,15 Ni 0,5 Zn Rest	Sandguß	12···15	22···28	20···15	60···75	zähe Zinnbronze mit guten Gleiteigenschaften; warmfest nur bis 180 °C; chemische Beständigkeit wie bei G-CuSn 14; Leit- und Laufräder sowie Gehäuse für Pumpen und Turbinen, säurebeständige Armaturen, schnellaufende Schnecken- und Zahnräder mit Stoßbeanspruchung, Ventilsitzringe
Gattung: CuSnZn (Rotguß)										
Rotguß 5	G-CuSn 5 Zn 7 (Rg 5) grün-weiß	Cu 83···86,5 Sn 5··· 7 Pb 3··· 5 Zn Rest	Cu + Sn 97	Sb 0,4 Fe 0,3 Mn 0,2 Bi 0,01 Al 0,01 Mg 0,01 S 0,05 As 0,15 Ni 0,5	Sandguß	8···10	15···24	18···10	60···80	universelle Kupferlegierung für mittlere bis hohe Anforderungen an Verschleißfestigkeit; warmfest bis 200 °C; als Schleuderguß im Austausch für G-CuSn 14, G-CuSn 10 und G-CuSn 10 Zn 4; Schiffswellenbezüge, Schleifringe, Ventilsitzringe
					Schleuderguß GZ-CuSn 5 Zn 7	10···14	25···30	20···12	75···85	
Gattung: CuSnZn (Rotguß)										
Rotguß A	G-CuSn 5 Zn 7 A (Rg A) grün-blau	Cu 81···87 Sn 5··· 8 Pb 4··· 6 Zn Rest	Cu + Sn 86	Sb 0,4 Fe 0,5 Mn 0,2 Bi 0,01 Al 0,05 Mg 0,01 S 0,05 As 0,15 Ni 0,5	Sandguß	8···12	15···20	15···6	60···80	Einheits-Rotguß mit großer Analysentoleranz für geringe bis mittlere Anforderungen an Gleiteigenschaften und Verschleißfestigkeit; Maschinenteile und Gleitlager, bei denen die Lagerung von Stahlwellen in Stahl oder Gußeisen vermieden werden soll, z. B. Lager für Winden, Flaschenzüge und Handkrane, Schalthebellagerung

Tabelle 11.19 (Fortsetzung)

Benennung	Kurzzeichen und Kennfarbe	Zusammensetzung %	Mindestgehalt %	Zulässige Beimengungen %	Lieferform	Festigkeitseigenschaften $\sigma_{0,2}$ kp/mm²	σ_B kp/mm²	δ_5 %	HB 10	Kennzeichnende Eigenschaften und Richtlinien für die Verwendung
Gattung: CuZn (Messing und Sondermessing)										
Guß-messing	G-Cu64Zn (G-Ms64) blau-gelb	Cu 62···66 Pb bis 3 Zn Rest	Cu + Zn + Ni 97,5	Sb 0,1 Sn 1,0 Fe 0,6 Mn 0,2 Al 0,03 As 0,1 P 0,05 Ni 0,5	Sandguß	6···8	15···20	20···10	45···60	normales, gut gießbares Gußmessing für Sand-Formgußteile; Armaturen, Gehäuse und Konstruktionsteile, z. B. Gas- und Wasserarmaturen, Teile für die Elektroindustrie mit guter elektrischer Leitfähigkeit, Beschlagteile
Gattung: CuAl (Aluminiumbronze und Mehrstoff-Aluminiumbronze)										
Guß-Nickel-Aluminium-bronze	G-CuAl9 NiFeMn (G-NiAlBz) schwarz-rot	Cu 84···85 Al 7···11 Fe 3··· 5 Mn 1··· 3 Ni 2,5···6,5	Cu + Al + Ni + Fe 99	Si 0,5 sonstige 1	Sandguß	20···30	50···55	12···8	120···135	Schrauben, Schnecken, Stirn- und Kegelräder für Werkzeugmaschinen, Kulissenrollen, Kurbelrollen, Gleitsteine usw.; größte Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit
Guß-Aluminium-Mehrstoff-bronze	G-CuAl7 FeMn F60	Cu 77···85 Mn bis 8 Fe 2··· 5 Al 6··· 9	Cu + Mn + Fe + Al 99	Si 0,3 Sn 0,1 Zn 0,5 Ni 1,5 Pb 0,03 sonstige 0,75	Sandguß + Kokillenguß GK-CuAl7 FeMnF60	22···28	55···65	4···10	130···180	gehört zu den Aluminium-Mehrstoffbronzen für besonders hohe Anforderungen an Festigkeitswerte, Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und für Teile mit hohen Temperaturbeanspruchungen, Korrosionsbeständigkeit gegen Säuren und Laugen, seewasserbeständig; auch für Kolbenbuchsen in Verbrennungsmotoren, Kompressoren usw., günstiger Längenausdehnungskoeffizient
Gattung: CuNi (Neusilber)										
Neusilber F45	G-Ns5010 F45	Cu 48···52 Ni bis 13 Mn bis 3 Zn Rest	—	Fe 1,0 Al 1,0 Pb 0,1 sonstige 0,1	Sandguß + Kokillenguß GK-Ns4516	20···25	45···50	20···30	110···120	nickelhaltige Sonderlegierungen für hohe Temperaturbeanspruchungen, heißdampfbeständig bis 450 °C, mit guter Widerstandsfähigkeit gegen korrodierende und oxydierende Einflüsse; für Dampfturbinenbau, für Heißdampfarmaturen und medizinische Instrumente besonders geeignet; korrosionsbeständig gegen schwache organische Säuren und schwache Laugen-seewasserbeständig

Tabelle 11.19 (Fortsetzung)

Benennung	Kurzzeichen und Kennfarbe	Zusammensetzung %	Mindestgehalt %	Zulässige Beimengungen %	Lieferform	Festigkeitseigenschaften $\sigma_{0,2}$ kp/mm²	σ_B kp/mm²	δ_5 %	*HB* 10	Kennzeichnende Eigenschaften und Richtlinien für die Verwendung
Gattung: CuPb (Bleibronze und Bleizinnbronze)										
Guß-Bleibronze 25	G-CuPb25 (G-PbBz25) weiß-rot	Cu 70···82 Pb 18···30 Sn bis 2	Cu + Pb 98	Zn 0,3 Fe 0,7 sonstige 0,3 Ni 1,0	Verbundguß	Angaben entfallen, da sie für G-CuPb25 als Verbundwerkstoff ohne Belang sind			27···45	Lagermetall für höchste Anforderungen in bezug auf Lagerdrücke, Umfangsgeschwindigkeit, Laufgenauigkeit, Notlaufeigenschaften und chemische Beanspruchung; überwiegend für hochbeanspruchte Gleitlager nur in Verbindung mit Stahlstützschale (Stahl-Blei-Bronze-Verbundlager, kurz: Bleibronze-Verbundlager), z. B. Pleuellager in Verbrennungsmotoren
Guß-Blei-Zinnbronze 22	G-CuPb22Sn (G-SnPbBz22) weiß-schwarz	Cu 62,5···72,5 Pb 18 ···25 Sn 2 6	Cu + Pb + Sn 94	Zn 3,0 Fe 0,7 sonstige 0,3 Ni 3,5	Sandguß Kokillenguß GK-CuPb22Sn Verbundguß	8···10 Angaben entfallen bei Verbundguß	15···20	10···6	45···80	weiche Guß-Blei-Zinn-Bronze mit besten Gleiteigenschaften; besonders gute Notlaufeigenschaften bei zeitweiligem Schmierstoffmangel und bei Wasserschmierung; beständig gegen Schwefelsäure; geeignet für Lager mit höchsten Flächendrücken und niedrigen Laufgeschwindigkeiten, z. B. für Werkzeugmaschinen, Kompressoren, Pumpen, Getriebe, Brecher, Brikettpressen, Förderanlagen, Lager für Kaltwalzwerke ohne Weißmetallausguß, auch für hochbeanspruchte Verbundlager und Dreistofflager

11.5. Schwermetallegierungen, Lote

11.5.1. Kupfer-Gußlegierungen

Tabelle 11.19 (s. S. 243 ff.) enthält Kennwerte von Gußstücken aus Kupferlegierungen.

Erläuterungen zu Tabelle 11.19

Nickel: In allen Legierungen der Gattungen CuSnZn, CuZn und CuAl ist Nickel dem Kupfer zuzuzählen.
In G-CuPb25 kann Nickel durch Zn + Sb + Sn und in G-CuPb22Sn durch Zn + Sb in gleicher Höhe ersetzt werden.

Festigkeitswerte: Härte für Gußstücke mit Wanddicken bis zu 25 mm. Die kleineren Werte der Tabelle müssen bei der Abnahme erreicht werden, die größeren Werte sind Durchschnittswerte. Falls Eigenschaften verlangt werden, die über den in der Tabelle angeführten kleineren Werten liegen, so sind die geforderten Werte mit dem Hersteller zu vereinbaren. Es wird empfohlen, bei Querschnittermittlungen die Durchschnittswerte anzuwenden, um Überdimensionierung der Gußstücke zu vermeiden.
Die in der Gattung CuPb angegebenen Härtewerte sind Mindest- und Höchstwerte.

11.5.2. Feinzink-Gußlegierungen

Tabelle 11.20 enthält Kennwerte von Feinzink-Gußlegierungen, wobei ϱ in kg/dm³ und σ_B in kp/mm² angegeben sind.

Tabelle 11.20: Feinzink-Gußlegierungen (nach TGL 0-1743)

Kurzzeichen	Grundstoffe in % neben Zn	Dichte ϱ Festigkeit σ_B Härte HB	Verwendungsbeispiele Sonstiges
Sand- und Kokillenguß			
G-ZnAl4 Cu1	Al 3,5···4,3 Cu 0,6···1,0 Mg 0,02···0,05	σ_B = 18 ϱ = 6,7	Gußstücke aller Art, Lager, Schnekenräder und andere Gleitorgane, auch Schleuderguß
GK ZnAl 4Cu1	Fe bis 0,075 Sn bis 0,001 Pb + Cd bis 0,011	HB = 70 σ_B = 20	
G ZnAl6 Cu1	Al 5,6···6,0 Cu 1,2···1,6 Fe bis 0,075	σ_B = 18 ϱ = 6,5	gießtechnisch schwierige Teile
GK Zn Al6Cu1	Mg bis 0,005 Sn bis 0,001 Pb + Cd bis 0,008	HB = 80 σ_B = 22	
Druckguß			
GD ZnAl4	Al 3,5···4,3 Cu 0···0,6 Mg bis 0,05	ϱ = 6,7 σ_B = 25 HB = 70	Gußstücke aller Art, maßbeständig
GD ZnAl4 Cu1	Al 3,5···4,3 Cu 0,6···1,0 Mg 0,02···0,05	ϱ = 6,7 σ_B = 27 HB = 80	Gußstücke aller Art

Tabelle 11.20 läßt den Fortschritt in der Herstellung und Anwendung der Feinzink-Gußlegierungen erkennen. Die Zinklegierungen sind infolge ihres niedrigen Schmelzpunktes (385 °C) und guten Formfüllungsvermögens für Druckguß besonders geeignet. Die physikalischen Eigenschaften entsprechen weitgehend denen von Reinzink. Die zulässigen Beimengungen an Blei, Kadmium und Zinn sind auf eine ganz geringe Höchstmenge beschränkt, da sie bei größeren Mengen in Al-haltigen Zinklegierungen interkristalline Korrosion verursachen würden.
Die Gießtemperatur für Druckguß beträgt 400···430 °C, die Formtemperatur soll ≈180 °C betragen.
Wie bei allen Gußlegierungen, so ist auch hier zu beachten, daß die Festigkeitswerte an gesondert gegossenen Probestäben ermittelt wurden. Es kann nicht erwartet werden, daß die Werte an allen Teilen des Gußstückes erreicht werden. Bei der Gestaltung von Druckgußteilen sind zweckmäßig die Druckgießereien über die erreichbare Wanddicke und die erreichbaren Toleranzen zu befragen.

11.5.3. Lote

Tabelle 11.21 enthält Kennwerte von Loten.

Tabelle 11.21: Kennwerte von Loten

Benennung (Arbeitstemp. mind. °C)	Kurzzeichen (Dichte ϱ in kg/dm³)	Zusammensetzung etwa %	Verwendung
Legierungen zum Schweißen und Löten der Leichtmetalle (nach TGL 14908)			
Al-Schweißdraht 99,5 (647)	SAl99,5 (2,7)	Al 99,5 Cu 0,05	Rein-Al
Schweißzusatzwerkstoff (647)	SAl99,5Ti (2,71)	Al 99,5 Ti 0,1···0,2	für kornfeine Schweißnaht, besonders bei größeren Wanddicken
Schweißzusatzwerkstoff (588)	SAlMg3Si (2,65)	Mg 2,3···3,5 Si 0,5···0,8 Al Rest	nicht geeignet für dekorative Anodisierung
Al-Leg. Schweißdraht Si5 (573)	SAlSi5 (2,68)	Si bis 5,5 Ti bis 0,2 Al Rest	AlMgSi-, AlZnMg-, AlCuMg-Legierungen, AlSi-Gußlegierungen
Hartlot (450)	LZnAl30	Al 29,5···32,5 Zn 67···70	Aluminium und Al-Legierungen
Cd-Weichlot (265)	LCdZn30	Cd 65···70 Zn 30···35	
Weichlot (200)	LSnZn40	Sn 50···70 Zn 30···50	
Weichlot (165)	LZnSnCd25	Sn 35···38 Zn 36···39 Cd 24···27	
Legierungen zum Schweißen und Hartlöten der Schwermetalle (nach TGL 14908)			
Kupferschweißdraht (1070)	SCu (8,9)	Cu ≧ 99 Ag + Mn + Ni + P Rest	Kupfer
Kupfer-Hartlot (1070)	LCu	Cu ≧ 99 Zn bis 0,5 Sn bis 0,5 P bis 0,05	Kupfer
Cu-Ag-Schweißzusatzwerkstoffe (1070)	SCuAg	Cu 98,5 Ag 0,8···1,2 P 0,02···0,05	Kupfer
Zinn-Bronze-schweißdraht (920)	SSnBz6 (8,7)	Cu ≧ 93 Sn 6···7	Bronze, Rotguß, Kupfer
Messing-Schweißzusatzwerkstoff (890)	SMs60	Cu 58···62 Si 0,1···0,3 Zn Rest	alle Messingsorten >63 % Cu
Messinglot 60 (890)	LMs60 (8,4)	Cu 58···62 Si 0,1···0,3 Zn ≧ 38	Cu-Werkstoffe, Stahl, Temperguß
Kupfer-Phosphor-Hartlot (710)	LCuP8	P 7,5···8,5 Cu Rest	Kupfer, Messing

11.6. Standardisierte Profile aus Leichtmetall, Stahl und in Leichtbauausführung

Tabelle 11.22 enthält Kurzzeichen für die wichtigsten Querschnittsformen bei Stahl- und Nichteisenmetall-Erzeugnissen. Ist in der ersten Spalte kein Kurzzeichen angegeben, so ist auch auf Zeichnungen und Skizzen das Zeichen der zweiten Spalte zu benutzen.
Profiltabellen s. a. Friedrich-Tabellenbücher BAU-HOLZ
Verschiedene Stahlleichtprofile sind in den Bildern 11.1 bis 11.5 dargestellt.

Beispiel: Bezeichnung für kalt geformtes Z-Profil von Profilhöhe $h = 50$ mm, Flanschbreite $b_1 = 40$ mm, Flanschbreite $b_2 = 25$ mm, Wanddicke $s = 3$ mm, aus St38 u-2 nach TGL 9896:
Z 50 × 40 × 25 × 3 TGL 18800 – St38 u-2.

Herstellängen
4000···10000 mm bei Dicken bis 2 mm,
6000···10000 mm bei Dicken über 2 mm.

Die Tabellen 11.23 und 11.24 enthalten *Kennwerte für Z-Profile*. Der Standard TGL 18800 enthält 3 weitere Profile angegebener Größen mit kleineren Wanddicken.

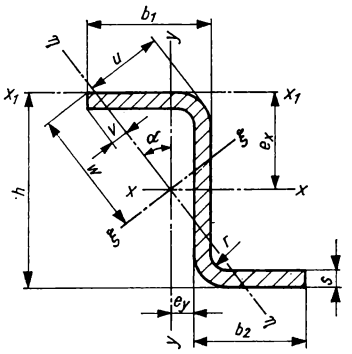


Bild 11.1. Stahlleichtprofil, kalt geformt – Z-Profil (nach TGL 18800)

h Profil- oder Steghöhe,
b_1 Flanschbreite (großer Flansch),
b_2 Flanschbreite (kleiner Flansch),
s Wanddicke,
r Innenradius,
I Trägheitsmoment,
I_{xy} Zentrifugalmoment,
W Widerstandsmoment,
i Trägheitsradius,
e_x, e_y Schwerpunktabstände,
u, v, w maximale Randabstände,
I_t Torsionsträgheitsmoment,
C_M Wölbwiderstand,
$\sigma_ö$ örtliche Beulfestigkeit,
α Winkel zwischen y-y- und η-η-Achse

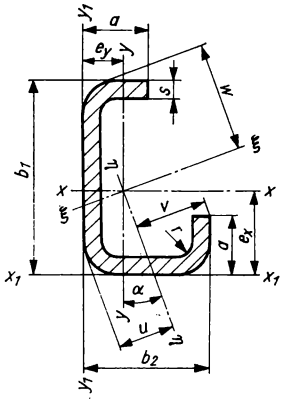


Bild 11.2. Stahlleichtprofil, kalt geformt – G-Profil (nach TGL 18801)

b_1 Schenkelbreite (großer Schenkel),
b_2 Schenkelbreite (kleiner Schenkel),
a Bördelbreite,
s Wanddicke,
r Innenradius,
I Trägheitsmoment,
I_{xy} Zentrifugalmoment,
i Trägheitsradius,
W Widerstandsmoment,
I_t Torsionsträgheitsmoment,
e_x, e_y Schwerpunktabstände,
u, v, w maximale Randabstände,
$\sigma_ö$ örtliche Beulfestigkeit,
α Winkel zwischen y-y- und η-η-Achse

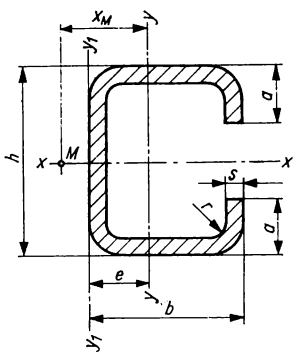


Bild 11.3. Stahlleichtprofil, kalt geformt – C-Profil (nach TGL 18802)

h Profil- oder Steghöhe,
b Flanschbreite,
a Bördelbreite,
s Wanddicke,
r Innenradius,
I Trägheitsmoment,
i Trägheitsradius,
W Widerstandsmoment,
I_t Torsionsträgheitsmoment,
e Schwerpunktabstand,
x_M Schubmittelpunktabstand,
C_M Wölbwiderstand

Tabelle 11.22: Kurzzeichen und Benennungen für gewalzte, geschmiedete, gezogene, gepreßte und geschnittene Erzeugnisse gleichbleibender Querschnittform aus Stahl oder Nichteisenmetall (nach TGL 13331)

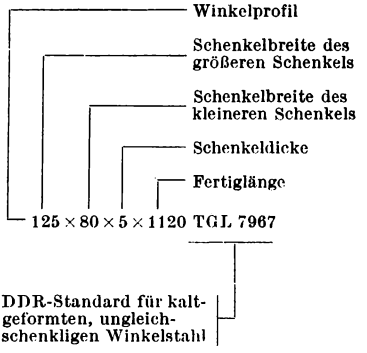
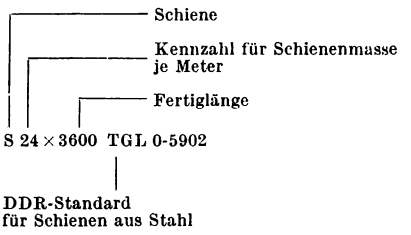
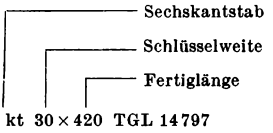
Kurzzeichen zeichnerisch	schreibbar	Benennungen	Beispiele und Bemerkungen
	T	T-Profil	
	I	Doppel-T-Profil	
	U	U-Profil	
	L	Winkelprofil	
	Z	Z-Profil	
	Hesp	Hespenprofil	
	C	C-Profil	
	G	G-Profil	
	K	Kastenprofil	
	H	Hutprofil	
	Flwulst	Flachwulstprofil	
	S	Schiene	
	KS	Kranschiene	
	DS	Doppelkopfschiene	
	Fl	Flachstab	
	BrFl	Breitflachstab	
	Bd	Band	
	FlRip	Flachprofil, gerippt	
	3 kt	Dreikantstab	
	4 kt	Vierkant- (Quadrat-) Stab	Die Masse der Schiene S 24 je m beträgt nach TGL 0-5902 24,43 kg
	6 kt	Sechskantstab	
	8 kt	Achtkantstab	
	Rd	Rundstab	
	Hrd	Halbrundstab	
	FlHrd	Flachhalbrundstab	
	Tr	Trapezstab	
	TrHrd	Trapez-Halbrund-Stab	Die Fertiglänge muß das Zusatzsymbol Lg erhalten, wenn Unklarheit über die Bedeutung der Zahl besteht. Im übrigen ist die Benutzung des Symbols freigestellt.
	GelBd	Gelenkbandprofil	

Tabelle 11.22 (Fortsetzung)

Kurzzeichen zeichnerisch	schreibbar	Benennungen	Beispiele und Bemerkungen
	Rohr*)	Rohr	
	Dr*)	Draht	
	Bl	Blech	
	BuckBl	Buckelblech	
	RiffBl	Riffelblech	
	TonnBl	Tonnenblech	
	WaffBl	Waffelblech	
	WarzBl	Warzenblech	
	WellBl	Wellblech	
	Tfl	Tafel	
	Fol	Folie	

*) Für andere Profile sind die Kurzzeichen sinngemäß zu bilden, z. B. FlDr für Flachdraht.

Beispiel: Bezeichnung für kalt geformtes G-Profil von Schenkelbreite $b_1 = 50$ mm, $b_2 = 32$ mm, Bördelbreite $a = 16$ mm, Wanddicke $s = 2{,}5$ mm, aus St38u-2 nach TGL 9896:
G 50 × 32 × 16 × 2,5 TGL 18801 – St38u-2.

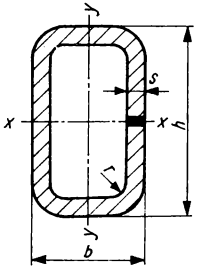
Herstellängen
4000···10000 mm bei Dicken bis 2 mm,
6000···10000 mm bei Dicken über 2 mm.

Tabelle 11.25 enthält *G-Profil-Kennwerte.*
Der Standard TGL 18801 enthält weitere Profile der hier angegebenen Größen, deren Wanddicken 0,5 mm bzw. 1,0 mm (+) kleiner sind.

Beispiel: Bezeichnung für kalt geformtes C-Profil von Profilhöhe $h = 50$ mm, Flanschbreite $b = 25$ mm, Bördelbreite $a = 10$ mm, Wanddicke $s = 1{,}5$ mm aus St38u-2 nach TGL 9896:
C 50 × 25 × 10 × 1,5 TGL 18802 – St38u-2.

Herstellängen
4000···10000 mm bei Dicken bis 2 mm,
6000···10000 mm bei Dicken über 2 mm.

Kennwerte für C-Profile enthält Tabelle 11.26. Die örtliche Beulfestigkeit $\sigma_ö$ für die dort aufgeführten Profile aus St38u-2 beträgt 23 kp/mm². Der Standard TGL 18802 enthält einige weitere Profile der angegebenen Größen, deren Wanddicken 0,5 bzw. 1,0 mm kleiner sind.

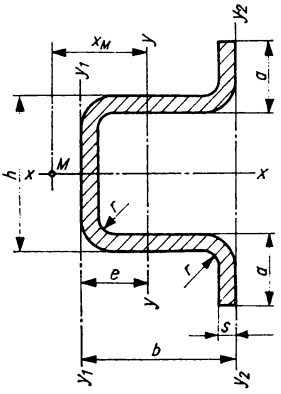


h Profilhöhe,
b Profilbreite,
s Wanddicke,
r Innenradius,
I_x, I_y Trägheitsmomente,
i Trägheitsradius,
W_x, W_y Widerstandsmomente,
I_t Torsionsträgheitsmoment,
C_M Wölbwiderstand,
φ_m maximale Einheitsverwölbung,
$\sigma_ö$ örtliche Beulfestigkeit.

Bild 11.4. Stahlleichtprofil, kalt geformt – rechteckiges und quadratisches Profil (nach TGL 18803)

Beispiel: Bezeichnung für kalt geformtes Rohrprofil von Profilhöhe $h = 50$ mm, Profilbreite $b = 25$ mm, Wanddicke $s = 2$ mm aus St 35u nach TGL 9413:
Rohrprofil 50 × 25 × 2 TGL 18803 – St35u
oder K 50 × 25 × 2 TGL 18803 – St35u

Herstellängen von 5000···10000 mm
Tabelle 11.27 enthält *Kennwerte für rechteckige und quadratische Profile.* Der Standard TGL 18803 enthält weitere Profile angegebener Größen mit kleineren Wanddicken.



h Profilhöhe,
b Profilbreite,
a Bördelbreite,
s Wanddicke,
r Innenradius,
I_x, I_y, I_{y1}, I_{y2} Trägheitsmomente,
i Trägheitsradius,
I_t Torsionsträgheitsmoment,
e Schwerpunktabstand,
x_M Schubmittelpunktabstand,
C_M Wölbwiderstand,
$\sigma_ö$ örtliche Beulfestigkeit,

Bild 11.5. Stahlleichtprofil, kalt geformt – Hutprofil (nach TGL 18804) (s. Tabelle 11.28)

Beispiel: Bezeichnung für kalt geformtes Hutprofil von Profilhöhe $h = 50$ mm, Profilbreite $b = 20$ mm, Bördelbreite $a = 16$ mm, Wanddicke $s = 2$ mm aus St38u-2 nach TGL 9896:
H 50 × 20 × 16 × 2 TGL 18804 – St38u-2.

Herstellängen
4000···10000 mm bei Dicken bis 2 mm,
6000···10000 mm bei Dicken über 2 mm.

Tabelle 11.28 enthält *Kennwerte für Hutprofile.* Der Standard TGL 18804 enthält einige weitere Profile angegebener Größen mit kleineren Wanddicken.

Tabelle 11.23: Z-Profile ($b_1 = b_2$)

Kurzzeichen Z	h	$b_1 = b_2$	$s = r$	Querschnitt	Masse je Meter (7,85 kg/dm³)	Statische Werte für die Achsen $x - x$			$y - y$			$x_1 - x_1$
						I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	i_y	I_{x1}
	mm	mm	mm	cm²	kg	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm³	cm	cm⁴
Z 16 × 10 × 1,5	16	10	1,5	0,461	0,362	0,166	0,207	0,60	0,080	0,086	0,42	0,461
Z 16 × 20 × 1,5	16	20	1,5	0,761	0,598	0,324	0,405	0,65	0,713	0,371	0,97	0,811
Z 20 × 16 × 1,5	20	16	1,5	0,701	0,550	0,442	0,442	0,79	0,355	0,233	0,71	1,14
Z 25 × 20 × 1,5	25	20	1,5	0,896	0,704	0,913	0,730	1,01	0,714	0,371	0,89	2,31
Z 32 × 20 × 2	32	20	2	1,30	1,02	2,02	1,26	1,24	0,916	0,482	0,84	5,35
Z 32 × 25 × 3	32	25	3	2,15	1,68	3,29	2,06	1,24	2,60	1,11	1,10	8,78
Z 40 × 20 × 2	40	20	2	1,46	1,15	3,44	1,72	1,53	0,917	0,482	0,79	9,28
Z 40 × 25 × 3	40	25	3	2,39	1,87	5,63	2,81	1,54	2,60	1,11	1,04	15,2
Z 40 × 40 × 3	40	40	3	3,29	2,58	8,71	4,35	1,63	11,4	2,96	1,86	21,9
Z 50 × 25 × 3	50	25	3	2,69	2,11	9,63	3,85	1,89	2,61	1,11	0,99	26,4
Z 50 × 32 × 3	50	32	3	3,11	2,44	12,0	4,80	1,96	5,68	1,86	1,35	31,4
Z 50 × 40 × 4	50	40	4	4,64	3,64	18,1	7,24	1,97	14,7	3,86	1,77	47,1
Z 50 × 63 × 3	50	63	3	4,97	3,90	22,2	8,88	2,12	46,5	7,56	3,06	53,3
Z 63 × 25 × 3	63	25	3	3,08	2,41	16,9	5,36	2,34	2,61	1,11	0,92	47,4
Z 63 × 32 × 3	63	32	3	3,50	2,74	20,6	6,54	2,43	5,69	1,86	1,28	55,3
Z 63 × 40 × 3	63	40	3	3,98	3,12	25,0	7,94	2,51	11,4	2,96	1,70	64,4
Z 70 × 32 × 3	70	32	3	3,71	2,91	26,5	7,57	2,68	5,69	1,87	1,24	71,7
Z 80 × 25 × 3	80	25	3	3,59	2,81	30,2	7,57	2,91	2,61	1,11	0,85	87,7
Z 100 × 32 × 3	100	32	3	4,61	3,61	62,7	12,5	3,69	5,70	1,87	1,11	178
Z 125 × 40 × 3	125	40	3	5,84	4,58	126	20,1	4,65	11,4	2,96	1,40	354
Z 125 × 63 × 4	125	63	4	9,48	7,44	229	36,6	4,91	60,6	9,93	2,53	599

Tabelle 11.24: Z-Profile ($b_1 > b_2$)

Kurzzeichen Z	h	b_1	b_2	$s = r$	Querschnitt	Masse je Meter (7,85 kg/dm³)	Statische Werte für die Achsen $x - x$		$y - y$		$x_1 - x_1$
							I_x	i_x	I_y	i_y	I_{x1}
	mm	mm	mm	mm	cm²	kg	cm⁴	cm	cm⁴	cm	cm⁴
Z 20 × 25 × 16 × 1,5	20	25	16	1,5	0,836	0,656	0,539	0,80	0,806	0,98	1,14
Z 20 × 25 × 20 × 2	20	25	20	2	1,16	0,911	0,739	0,80	1,34	1,07	1,73
Z 25 × 20 × 16 × 1,5	25	20	16	1,5	0,836	0,656	0,824	0,99	0,522	0,79	1,96
Z 25 × 63 × 25 × 1,5	25	63	25	1,5	1,62	1,27	1,63	1,00	9,01	2,36	2,76
Z 32 × 25 × 16 × 1,5	32	25	16	1,5	1,02	0,798	1,61	1,26	0,821	0,90	3,60
Z 32 × 50 × 32 × 3	32	50	32	3	3,11	2,44	5,12	1,28	12,8	2,03	10,8
Z 32 × 63 × 20 × 2	32	63	20	2	2,16	1,70	3,19	1,22	10,7	2,23	5,36
Z 40 × 50 × 25 × 4	40	50	25	4	4,04	3,17	9,18	1,51	13,3	1,81	18,9
Z 40 × 63 × 40 × 3	40	63	40	3	3,98	3,12	10,7	1,64	26,0	2,56	21,9
Z 50 × 32 × 16 × 3	50	32	16	3	2,63	2,06	8,81	1,83	2,71	1,02	20,1
Z 50 × 32 × 25 × 2	50	32	25	2	2,00	1,57	7,78	1,97	2,84	1,19	18,7
Z 50 × 40 × 25 × 3	50	40	25	3	3,14	2,46	11,8	1,94	6,39	1,43	26,4
Z 63 × 40 × 16 × 1,5	63	40	16	1,5	1,71	1,34	9,60	2,37	2,64	1,24	20,3
Z 63 × 63 × 25 × 3	63	63	25	3	4,22	3,31	24,4	2,40	19,0	2,12	47,4
Z 80 × 63 × 40 × 2,5	80	63	40	2,5	4,36	3,42	44,9	3,21	22,6	2,28	97,9
Z 80 × 63 × 40 × 3	80	63	40	3	5,18	4,06	52,5	3,19	26,7	2,27	115
Z 80 × 63 × 40 × 4	80	63	40	4	6,76	5,31	66,5	3,14	34,6	2,26	149
Z 100 × 63 × 40 × 2	100	63	40	2	3,92	3,08	61,4	3,96	18,5	2,17	138
Z 100 × 63 × 40 × 3	100	63	40	3	5,78	4,53	88,3	3,91	26,9	2,16	201
Z 100 × 63 × 40 × 4	100	63	40	4	7,56	5,93	112	3,86	34,9	2,15	260
Z 125 × 63 × 40 × 3	125	63	40	3	6,53	5,12	149	4,78	27,2	2,04	354
Z 125 × 63 × 40 × 4	125	63	40	4	8,56	6,72	192	4,73	35,2	2,03	460

Statische Werte für die Achsen						I_{xy}	tan α	w	v	u	I_t	C_M	σ_δ *)
$\xi - \xi$			$\eta - \eta$										
I_ξ cm⁴	W_ξ cm³	i_ξ cm	I_η cm⁴	W_η cm³	i_η cm	cm⁴		cm	cm	cm	cm⁴	cm⁶	kp/mm²
0,225	0,192	0,70	0,020	0,047	0,21	0,093	0,638	1,17	0,430	0,379	0,0035	0,023	23
0,967	0,470	1,13	0,071	1,118	0,31	0,403	1,594	2,06	0,472	0,604	0,0057	0,159	23
0,724	0,412	1,02	0,073	0,123	0,32	0,323	0,875	1,76	0,588	0,592	0,0053	0,153	23
1,47	0,669	1,28	0,152	0,204	0,41	0,653	0,859	2,20	0,743	0,749	0,0067	0,504	23
2,69	1,14	1,44	0,253	0,284	0,44	1,08	0,612	2,36	0,890	0,771	0,0173	1,15	23
5,37	1,96	1,58	0,517	0,559	0,49	2,40	0,867	2,75	0,924	0,915	0,0644	2,73	23
4,04	1,56	1,66	0,314	0,309	0,46	1,37	0,439	2,60	1,02	0,77	0,0195	2,00	23
7,53	2,56	1,78	0,694	0,633	0,54	3,07	0,622	2,94	1,10	0,96	0,0716	4,90	23
18,4	4,35	2,37	1,73	1,25	0,72	8,23	1,178	4,23	1,20	1,38	0,0986	18,2	23
11,4	3,51	2,06	0,870	0,695	0,57	3,90	0,445	3,24	1,25	0,96	0,0806	8,64	23
16,1	4,30	2,28	1,54	1,10	0,71	6,56	0,631	3,74	1,41	1,23	0,0932	17,3	23
29,8	6,78	2,53	2,95	2,00	0,80	13,3	0,880	4,39	1,46	1,47	0,247	38,9	23
63,7	9,76	3,58	5,08	2,60	1,01	26,7	1,554	6,52	1,48	1,95	0,149	113	22
18,4	4,97	2,45	1,04	0,752	0,58	4,98	0,315	3,71	1,39	0,94	0,0923	15,3	23
24,4	5,92	2,64	1,93	1,19	0,74	8,38	0,448	4,12	1,62	1,23	0,105	30,8	23
33,2	7,06	2,89	3,23	1,80	0,90	13,3	0,614	4,70	1,79	1,55	0,119	57,6	23
30,1	6,91	2,85	2,10	1,23	0,75	9,36	0,383	4,36	1,70	1,22	0,111	39,9	23
31,7	7,19	2,97	1,21	0,805	0,58	6,39	0,220	4,41	1,50	0,89	0,108	27,1	23
65,7	11,8	3,78	2,64	1,36	0,76	13,6	0,226	5,55	1,94	1,13	0,138	93,5	23
132	19,1	4,76	5,35	2,18	0,96	27,1	0,224	6,94	2,45	1,40	0,175	298	22
268	32,8	5,32	21,5	6,57	1,50	90,1	0,434	8,16	3,26	2,42	0,506	1350	23

*) Gilt nur für St38u-2.

Statische Werte für die Achsen				e_x	e_y	I_{xy}	I_t	tan α	σ_δ *)
$\xi - \xi$		$\eta - \eta$							
I_ξ cm⁴	i_ξ cm	I_η cm⁴	i_η cm	cm	cm	cm⁴	cm⁴		kp/mm²
1,22	1,21	0,126	0,39	0,85	0,24	0,530	0,0063	1,284	23
1,92	1,29	0,160	0,37	0,92	0,85	0,827	0,0155	1,427	23
1,22	1,21	0,128	0,39	1,17	0,05	0,523	0,0063	0,752	23
10,0	2,49	0,621	0,62	0,84	1,45	2,91	0,0121	2,883	—
2,19	1,47	0,247	0,49	1,40	0,19	0,885	0,0076	0,649	23
16,6	2,31	1,32	0,65	1,35	0,54	6,60	0,0932	1,737	23
12,6	2,42	1,30	0,77	1,00	1,51	4,23	0,0288	2,232	—
20,1	2,23	2,36	0,76	1,55	0,68	8,62	0,215	1,265	23
33,8	2,92	2,80	0,84	1,68	0,72	13,5	0,119	1,716	22
10,5	2,00	1,07	0,64	2,07	0,26	3,56	0,0788	0,460	23
9,69	2,20	0,92	0,68	2,33	0,09	3,63	0,0267	0,529	23
16,3	2,28	1,85	0,77	2,16	0,29	6,71	0,0941	0,677	23
11,0	2,54	1,22	0,84	2,50	0,50	3,45	0,0128	0,412	19
37,5	2,98	5,87	1,18	2,34	1,00	15,6	0,126	0,843	21
60,4	3,72	7,01	1,27	3,49	0,54	24,3	0,0908	0,641	20
71,0	3,70	8,18	1,26	3,49	0,52	28,6	0,155	0,647	21
90,8	3,66	10,3	1,23	3,48	0,47	36,9	0,361	0,657	23
72,9	4,31	7,03	1,34	4,43	0,49	25,0	0,0523	0,459	15
105	4,27	10,1	1,32	4,42	0,45	36,3	0,173	0,464	21
135	4,22	12,8	1,30	4,42	0,40	47,0	0,403	0,471	23
165	5,02	11,8	1,34	5,60	0,38	46,0	0,196	0,334	21
212	4,97	15,1	1,33	5,60	0,33	59,6	0,457	0,338	23

*) Gilt nur für St38u-2.

Tabelle 11.25: G-Profile

Kurzzeichen G	b_1	b_2	a	$s=r$	Quer-schnitt	Masse je Meter (7,85 kg/dm³)	Statische Werte für die Achsen $x-x$			$y-y$			x_1-x_1	
							I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	i_y	I_{x1}	e_x
	mm	mm	mm	mm	cm²	kg	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm
40 × 40 × 10 × 2	40	40	10	2	1,79	1,41	3,42	1,25	1,38	3,42	1,25	1,38	6,31	1,27
50 × 50 × 10 × 2	50	50	10	2	2,19	1,72	6,47	1,86	1,72	6,47	1,86	1,72	11,5	1,52
× 50 × 16 × 3	50	50	16	3	3,49	2,74	10,6	3,19	1,74	10,6	3,19	1,74	20,5	1,69
80 × 80 × 16 × 3	80	80	16	3	5,29	4,15	40,3	7,23	2,76	40,3	7,23	2,76	71,5	2,43
100 × 100 × 16 × 3	100	100	16	3	6,49	5,09	76,2	10,8	3,43	76,2	10,8	3,43	132	2,92
× 100 × 25 × 4	100	100	25	4	9,16	7,19	113	16,5	3,51	113	16,5	3.51	205	3,17
40 × 32 × 10 × 2	40	32	10	2	1,63	1,28	3,18	1,22	1,40	1,94	0,87	1,09	6,31	1,39
50 × 32 × 10 × 2	50	32	10	2	1,83	1,44	5,60	1,75	1,75	2,08	0,90	1,07	11,5	1,80
× 32 × 16 × 2 5	50	32	16	2,5	2,52	1,98	7,98	2,62	1,78	3,09	1,43	1,10	17,7	1,96
80 × 50 × 16 × 3	80	50	16	3	4,39	3,44	34,7	6,79	2,81	12,3	3,38	1,67	71,4	2,89
100 × 63 × 16 × 3	100	63	16	3	5,38	4,22	65,9	10,1	3,50	23,5	5,02	2,09	132	3,50
× 63 × 25 × 4	100	63	25	4	7,68	6,03	97,1	15,5	3,56	35,7	8,04	2,16	204	3,74

Tabelle 11.26: C-Profile

Kurzzeichen C	h	b	a	$s=r$	Quer-schnitt	Masse je Meter (7,85 kg/dm³)	Statische Werte für die Achsen $x-x$		
							I_x	W_x	i_x
	mm	mm	mm	mm	cm²	kg	cm⁴	cm³	cm
40 × 25 × 10 × 1,5	40	25	10	1,5	1,49	1,17	3,69	1,84	1,57
× 32 × 10 × 2	40	32	10	2	2,20	1,73	5,59	2,79	1,59
× 32 × 16 × 2	40	32	16	2	2,44	1,92	5,71	2,86	1,53
× 40 × 16 × 2	40	40	16	2	2,76	2,17	6,87	3,44	1,58
50 × 25 × 10 × 1,5	50	25	10	1,5	1,64	1,29	6,26	2,50	1,95
× 32 × 10 × 2	50	32	10	2	2,40	1,88	9,45	3,78	1,98
× 32 × 16 × 2,5	50	32	16	2,5	3,21	2,52	11,6	4,64	1,90
× 40 × 16 × 2,5	50	40	16	2,5	3,61	2,84	13,9	5,54	1,96
63 × 25 × 25 × 2,5	63	25	25	2,5	3,64	2,86	17,7	5,63	2,21
× 32 × 10 × 1,5	63	32	10	1,5	2,05	1,61	12,8	4,07	2,50
× 32 × 16 × 2,5	63	32	16	2,5	3,54	2,78	20,4	6,47	2,40
× 32 × 25 × 2,5	63	32	25	2,5	3,99	3,13	20,9	6,65	2,29
× 32 × 20 × 4	63	32	20	4	5,56	4,36	28,5	9,05	2,26
× 50 × 20 × 3	63	50	20	3	5,46	4,29	33,4	10,6	2,47
80 × 40 × 16 × 2	80	40	16	2	3,56	2,79	35,3	8,81	3,15
× 40 × 20 × 3	80	40	20	3	5,37	4,22	50,1	12,5	3,05
× 63 × 20 × 4	80	63	20	4	8,72	6,85	88,3	22,1	3,18
100 × 50 × 20 × 3	100	50	20	3	6,57	5,16	100	20,0	3,90
× 63 × 20 × 4	100	63	20	4	9,52	7,47	149	29,9	3,96
125 × 63 × 20 × 3	125	63	20	3	8,10	6,36	199	31,9	4,96
× 63 × 25 × 4	125	63	25	4	10.9	8,57	259	41,5	4,87

Statische Werte für die Achsen									tan α	v	u	ξ	I_t
$y_1 - y_1$		$\xi - \xi$			$\eta - \eta$			xy					
I_{y1} cm^4	e_y cm	I_ξ cm^4	W_ξ cm^3	i_ξ cm	I_η cm^4	W_η cm^3	i_η cm	I_{xy} cm^4		cm	cm	cm	cm^4
6,31	1,27	5,25	1,97	1,71	1,58	0,91	0,94	1,83	1,000	1,74	1,63	2,66	0,0239
11,5	1,52	10,1	2,99	2,15	2,85	1,36	1,14	3,62	1,000	2,10	1,98	3,37	0,0292
20,5	1,69	15,8	4,81	2,13	5,32	2,33	1,23	5,25	1,000	2,28	2,14	3,29	0,105
71,5	2,43	62,9	11,6	3,45	17,2	5,30	1,83	22,5	1,000	3,36	3,18	5,41	0,159
132	2,92	120	17,6	4,30	32,5	7,98	2,24	43,8	1,000	4,07	3,89	6,82	0,195
205	3,17	173	25,7	4,34	52,4	12,0	2,39	60,2	1,000	4,36	4,15	6,74	0,489
3,50	0,98	3,99	1,54	1,56	1,13	0,68	0,83	1,29	0,629	1,68	1,41	2,58	0,0217
3,50	0,88	6,36	2,00	1,86	1,33	0,73	0,85	1,79	0,419	1,83	1,38	3,17	0,0244
5,83	1,04	8,78	2,86	1,87	2,29	1,21	0,95	2,13	0,375	1,90	1,52	3,07	0,0525
20,5	1,37	39,0	7,70	2,98	7,93	2,75	1,34	10,8	0,403	2,88	2,17	5,07	0,132
37,6	1,62	74,9	11,6	3,73	14,5	4,03	1,64	21,5	0,418	3,58	2,66	6,44	0,161
62,3	1,86	108	17,3	3,76	24,4	6,64	1,78	28,6	0,394	3,68	2,86	6,27	0,410

Statische Werte für die Achsen						e	I_t	C_M	x_M
$y - y$			$y_1 - y_1$						
I_y cm^4	W_y cm^3	i_y cm	I_{y1} cm^4	W_{y1} cm^3	i_{y1} cm	cm	cm^4	cm^6	cm
1,33	0,89	0,94	2,86	1,14	1,38	1,01	0,0112	6,06	2,30
2,98	1,59	1,16	6,86	2,14	1,77	1,33	0,0293	12,9	2,92
3,66	2,16	1,23	9,17	2,86	1,94	1,50	0,0325	28,5	3,33
6,27	2,97	1,51	16,1	4,03	2,42	1,89	0,0368	47,4	4,14
1,45	0,92	0,94	2,86	1,15	1,32	0,93	0,0123	8,9	2,14
3,26	1,65	1,17	6,86	2,14	1,69	1,23	0,0320	19,0	2,74
4,71	2,61	1,21	10,9	3,42	1,85	1,39	0,0669	42,7	3,12
8,10	3,63	1,50	19,4	4,84	2,32	1,77	0,0753	72,0	3,91
3,62	2,68	1,00	8,43	3,37	1,52	1,15	0,0758	74,2	2,67
2,87	1,38	1,18	5,44	1,70	1,63	1,12	0,0154	24,8	2,60
5,19	2,70	1,21	11,0	3,42	1,76	1,28	0,0737	60,0	2,91
6,48	3,77	1,27	15,2	4,75	1,95	1,48	0,0831	131,0	3,41
7,67	4,19	1,17	18,1	5,65	1,80	1,37	0,297	107	3,40
19,3	6,89	1,88	45,8	9,15	2,90	2,20	0,164	271	4,90
8,26	3,29	1,52	16,1	4,03	2,13	1,49	0,0475	132	3,47
12,4	5,13	1,52	25,9	6,48	2,20	1,59	0,161	229	3,63
45,9	12,4	2,29	10,5	16,7	3,47	2,61	0,465	792	5,74
23,2	7,37	1,88	45,8	9,16	2,64	1,86	0,197	569	4,28
50,2	12,9	2,30	105	16,7	3,33	2,41	0,508	1170	5,38
44,1	10,8	2,33	83,5	13,2	3,21	2,21	0,243	1500	5,12
60,5	15,3	2,35	120	19,1	3,32	2,34	0,582	2300	5,37

Tabelle 11.27: Rechteckige und quadratische Profile

Kurzzeichen K	h	b	$s = r$	Querschnitt	Masse je Meter (7,85 kg/dm³)	Statische Werte für die Achsen						I_t	C_M	φ_m	σ_δ *)
						$x-x$			$y-y$						
						I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	i_y				
	mm	mm	mm	cm²	≈ kg	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm³	cm	cm⁴	cm⁶	cm³	kp/mm²
25 × 25 × 2	25	25	2	1,72	1,35	1,46	1,17	0,92	1,46	1,17	0,92	2,50	0	0	23
32 × 20 × 1,5	32	20	1,5	1,40	1,10	1,84	1,15	1,15	0,88	0,88	0,79	2,00	0,048	0,345	23
× 32 × 2	32	32	2	2,28	1,79	3,33	2,08	1,21	3,33	2,08	1,21	5,55	0	0	23
40 × 25 × 2	40	25	2	2,32	1,82	4,71	2,36	1,43	2,26	1,81	0,99	5,14	0,192	0,537	23
× 32 × 2	40	32	2	3,69	2,90	7,55	3,77	1,43	5,31	3,32	1,20	10,8	0,105	0,325	23
× 40 × 3	40	40	3	4,17	3,27	9,19	4,60	1,48	9,19	4,60	1,48	15,6	0	0	23
50 × 25 × 3	50	25	3	3,87	3,04	11,0	4,38	1,68	3,62	2,90	0,97	9,52	0,925	0,937	23
× 32 × 3	50	32	3	4,29	3,37	13,3	5,31	1,76	6,58	4,11	1,24	15,1	0,775	0,807	23
× 50 × 4	50	50	4	6,88	5,40	23,4	9,35	1,84	23,4	9,35	1,84	40,1	0	0	23
60 × 30 × 2,5	60	30	2,5	4,06	3,19	17,7	5,91	2,09	5,95	3,97	1,21	15,1	2,30	1,40	23
63 × 32 × 3	63	32	3	5,07	3,98	24,0	7,62	2,18	8,22	5,14	1,27	20,9	3,32	1,52	23
× 40 × 3	63	40	3	5,55	4,36	28,3	8,99	2,26	13,9	6,96	1,58	31,3	2,78	1,32	23
× 50 × 3	63	50	3	6,15	4,83	33,7	10,7	2,34	23,6	9,43	1,96	45,7	1,32	0,857	23
× 63 × 4	63	63	4	8,96	7,03	50,5	16,0	2,38	50,5	16,0	2,38	84,4	0	0	23
80 × 40 × 3	80	40	3	6,57	5,16	51,7	12,9	2,80	17,4	8,71	1,63	43,7	12,1	2,50	23
× 50 × 4	80	50	4	9,28	7,28	75,4	18,8	2,85	36,1	14,4	1,97	82,2	12,3	2,15	23
× 63 × 3	80	63	3	7,95	6,24	72,2	18,0	3,01	49,9	15,9	2,51	95,5	4,92	1,43	23
× 80 × 4	80	80	4	11,7	9,17	110	27,5	3,07	110	27,5	3,07	180	0	0	23
100 × 32 × 4	100	32	4	9,44	7,41	99,4	19,9	3,24	15,6	9,76	1,29	47,5	37,0	3,69	23
× 50 × 3	100	50	3	8,37	6,57	106	21,1	3,55	35,8	14,3	2,07	88,3	39,7	3,96	23
× 63 × 4	100	63	4	11,9	9,36	157	31,3	3,62	76,3	24,2	2,53	169	40,3	3,38	23
× 80 × 4	100	80	4	13,3	10,4	188	37,6	3,76	133	33,3	3,17	253	17,9	2,12	23
× 100 × 4	100	100	4	14,9	11,7	225	45,0	3,89	225	45,0	3,89	361	0	0	23
125 × 40 × 3	125	40	3	9,27	7,28	163	26,1	4,20	26,7	13,3	1,70	78,2	103	6,03	23
× 50 × 3	125	50	3	9,87	7,75	186	29,7	4,34	44,1	17,7	2,11	119	123	6,36	23
× 63 × 4	125	63	4	13,9	10,9	273	43,7	4,43	93,8	29,8	2,60	231	158	6,15	23
× 80 × 4	125	80	4	15,3	12,0	323	51,7	4,60	162	40,5	3,26	350	128	5,25	23
× 100 × 4	125	100	4	16,9	13,3	382	61,0	4,75	271	54,2	4,01	507	57,9	3,35	23
× 125 × 4	125	125	4	18,9	14,8	455	72,8	4,91	455	72,8	4,91	721	0	0	23
140 × 63 × 3	140	63	3	11,6	9,07	285	40,7	4,97	82,4	26,1	2,67	209	232	8,03	23
× 80 × 4	140	80	4	16,5	12,9	426	60,9	5,09	179	44,9	3,30	411	270	7,31	23
× 100 × 4	140	100	4	18,1	14,2	500	71,5	5,26	299	59,7	4,06	598	176	5,63	23
160 × 50 × 3	160	50	3	12,0	9,40	351	43,8	5,41	55,8	22,3	2,16	162	370	9,95	22
× 80 × 3	160	80	3	13,8	10,8	461	57,7	5,79	158	39,6	3,39	380	462	10,3	21
× 100 × 4	160	100	4	19,7	15,4	691	86,4	5,93	335	67,1	4,13	724	485	8,91	23
× 160 × 3	160	160	3	18,6	14,6	757	94,7	6,39	757	94,7	6,39	1170	0	0	21
200 × 100 × 4	200	100	4	22,9	18,0	1190	119	7,22	409	81,8	4,23	984	1860	16,1	21
× 160 × 3	200	160	3	21,0	16,5	1270	127	7,78	905	113	6,57	1640	513	8,74	19
× 160 × 4	200	160	4	27,7	21,7	1650	165	7,73	1180	147	6,52	2150	661	8,69	21

*) Gilt nur für St 38 u-2 und St 35 u.

Tabelle 11.28: Hutprofile (s. a. Bild 11.5)

Kurzzeichen H	h	b	a	$s = r$	Quer-schnitt	Masse je Meter (7,85 kg/dm³)	Statische Werte für die Achsen						c	I_t	C_M	x_M	σ_S *)
							$x-x$		$y-y$		y_1-y_1	y_2-y_2					
							I_x	i_x	I_y	i_y	I_{y1}	I_{y2}					
	mm	mm	mm	mm	cm²	kg	cm⁴	cm	cm⁴	cm	cm⁴	cm⁴	cm	cm⁴	cm⁶	cm	kp/mm²
20 × 10 × 16 × 1,0	20	10	16	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	23
× 25 × 20 × 1,5	20	25	20	1,5	1,49	1,17	2,86	1,38	1,33	0,94	4,62	2,86	1,49	0,0112	1,90	1,45	23
25 × 40 × 20 × 2	25	40	20	2	2,62	2,06	5,63	1,47	5,66	1,47	18,5	14,0	2,22	0,0349	9,44	2,79	23
× 40 × 25 × 2,5	25	40	25	2,5	3,44	2,70	9,32	1,65	7,28	1,46	26,1	16,7	2,34	0,0716	16,8	2,34	23
32 × 10 × 16 × 1,5	32	10	16	1,5	1,10	0,87	3,27	1,72	0,17	0,39	0,44	0,44	0,50	0,0083	0,15	0,66	23
× 32 × 16 × 1,5	32	32	16	1,5	1,76	1,38	4,81	1,65	2,68	1,23	7,19	7,19	1,60	0,0132	3,51	2,60	23
× 32 × 20 × 3	32	32	20	3	3,45	2,71	10,3	1,73	4,77	1,18	14,8	12,5	1,70	0,104	7,26	2,28	23
× 40 × 20 × 2	32	40	20	2	2,76	2,17	8,40	1,74	6,26	1,51	18,5	16,1	2,11	0,0368	11,2	3,08	23
× 50 × 16 × 1,5	32	50	16	1,5	2,30	1,81	6,07	1,62	7,83	1,84	22,2	22,2	2,30	0,0173	11,9	4,28	23
× 63 × 16 × 1,5	32	63	16	1,5	2,69	2,11	6,97	1,61	13,8	2,27	40,5	40,5	3,15	0,0202	22,3	5,52	23
× 63 × 25 × 2	32	63	25	2	3,88	3,05	13,1	1,84	20,6	2,31	66,4	52,5	3,43	0,0517	58,3	4,67	23
40 × 16 × 16 × 2	40	16	16	2	1,80	1,41	6,83	1,95	0,69	0,62	1,67	2,03	0,74	0,0240	0,82	1,15	23
× 25 × 25 × 1,5	40	25	25	1,5	1,94	1,52	10,6	2,34	2,04	1,02	5,53	4,65	1,34	0,0146	4,88	1,81	23
× 50 × 32 × 2,5	40	50	32	2,5	4,66	3,66	27,9	2,45	16,9	1,91	53,6	39,4	2,81	0,0971	69,6	3,42	23
50 × 20 × 16 × 2	50	20	16	2	2,16	1,70	11,4	2,29	1,31	0,78	2,87	4,17	0,85	0,0288	2,51	1,50	23
× 50 × 32 × 1,5	50	50	32	1,5	3,05	2,40	25,3	2,88	12,2	2,00	33,9	28,8	2,67	0,0229	56,1	3,84	22
× 63 × 16 × 1,5	50	63	16	1,5	2,96	2,33	16,6	2,37	16,1	2,33	40,5	51,0	2,87	0,0222	49,2	5,59	22
× 63 × 25 × 4	50	63	25	4	7,92	6,22	48,4	2,47	41,5	2,29	120	120	3,15	0,422	128	5,10	23
× 80 × 25 × 4	50	80	25	4	9,28	7,28	55,7	2,45	75,4	2,85	224	224	4,00	0,495	254	6,70	23
63 × 10 × 16 × 1,5	63	10	16	1,5	1,57	1,23	11,5	2,71	0,23	0,38	0,45	0,84	0,37	0,0118	0,68	0,66	23
× 16 × 16 × 1,5	63	16	16	1,5	1,75	1,37	13,2	2,75	0,70	0,63	1,35	2,42	0,61	0,0131	2,27	1,15	23
× 25 × 16 × 2	63	25	16	2	2,62	2,06	20,0	2,76	2,46	0,97	4,97	8,53	0,98	0,0349	8,44	1,89	23
× 25 × 20 × 2,5	63	25	20	2,5	3,39	2,66	28,2	2,88	3,22	0,97	7,02	10,3	1,06	0,0706	9,75	1,87	23
× 63 × 16 × 1,5	63	63	16	1,5	3,16	2,48	26,5	2,90	17,7	2,37	40,5	58,8	2,69	0,0237	83,8	5,48	22
× 63 × 32 × 3	63	63	32	3	6,96	5,46	74,3	3,27	41,0	2,43	111	110	3,16	0,209	211	5,09	23
80 × 32 × 20 × 3	80	32	20	3	4,89	3,84	58,8	3,47	7,22	1,22	14,8	25,9	1,24	0,147	38,9	2,38	23
× 63 × 25 × 4	80	63	25	4	9,12	7,16	122	3,65	50,6	2,35	120	165	2,76	0,486	303	5,17	23
100 × 50 × 25 × 2	100	50	25	2	4,72	3,71	95,1	4,49	18,6	1,98	37,3	61,3	1,99	0,0629	185	4,05	22
× 80 × 25 × 4	100	80	25	4	11,3	8,85	224	4,46	99,2	2,96	224	346	3,33	0,602	1040	6,63	23

*) Gilt nur für St 38 u-2.

Die gesamten *Fertigungsverfahren* können in folgende Gruppen eingeteilt werden:

Urformen (s. Abschnitt 12): Kastenformerei, Schablonenformerei, Kernmacherei, Gießen, Spritzen, Spritzpressen, Sintern, Formpressen der Plaste aus Pulver oder Granulat u. a.

Umformen (s. Abschnitt 13): Schmieden, Pressen, Walzen, Ziehen, Strecken, Stauchen, Drücken, Biegen, Abkanten, Bördeln, Prägen, Treiben, Sicken, Schränken u. a.

Informen (in den Abschnitten 11···18 bereits eingearbeitet und hier nur aus Gründen der Systematik aufgeführt): Umbau molekularer oder kristalliner Strukturen, Gefügeänderungen und andere Stoffeigenschaftsänderungen einschließlich Diffusionsvorgänge außer Beschichten, z. B. Härten, Anlassen, Vergüten, Glühen, Tempern, Zementieren, Nitrieren, Aushärtung geeigneter Plaste

Fügen (s. Abschnitt 14): Schrauben, Nieten, Verstiften, Schweißen, Löten, Kleben, Aufschrumpfen u. a.

Trennen (s. Abschnitt 15): *Spanen*: Feilen, Drehen, Hobeln, Bohren, Fräsen, Schleifen, Honen, Läppen, Sägen, Gewindeschneiden u. a.; *Teilen*: Scheren, Brennschneiden; *Stanzen*

Beschichten (s. Abschnitt 16): Galvanisieren, Plattieren, Metallspritzen, Auftragschweißen, Tauchen in metallische Schmelzen. Emaillieren, Streichen, Spritzen, Fetten; z. T. mit Informungen wie Phosphatieren, Alitieren (Aluminiumaufspritzung) u. a.

Von den hier genannten Fertigungsarten werden im folgenden nur einige behandelt.

12. Urformen

12.1. Begriff, Gießmetalle

Unter *Urformen* versteht man das Fertigen fester Körper (Werkstücke) aus formlosem Stoff (flüssiger oder pulvriger Werkstoff) durch Schaffen des Zusammenhalts. Der Werkstoff wird in eine vorbereitete Form, die der Gestalt des gewünschten Werkstückes entspricht, eingebracht und erstarrt dort (Gießen), sintert zusammen (Pulvermetallurgie) oder erhält (bei der Verarbeitung von Plastwerkstoffen) die feste Gestalt durch Wärme und Druck.

Das Urformen metallischer Werkstoffe geschieht durch *Gießen* oder *Sintern*. Tabelle 12.1 enthält die wichtigsten Gießmetalle.

12.2. Öfen

Im folgenden werden die wichtigsten Öfen der Gießereien erläutert.

Der *Kupol- oder Gießereischachtofen* ähnelt in Aufbau und Betrieb dem Hochofen, wird aber im Gegensatz zu diesem nur zum Umschmelzen benutzt. Der Ofen kann mit oder ohne Vorherd (zum Sammeln und Warmhalten des geschmolzenen Materials) ausgerüstet sein. Der Eisensatz ist mengenmäßig der Ofengröße angepaßt. Der Kokssatz beträgt etwa $^1/_{10}$ des Eisensatzes, und der Windbedarf liegt bei etwa 10 m³ je kg Koks. Die Zuschläge von Kalk oder Flußspat dienen zur Erzeugung einer dünnflüssigen Schlacke. Im Kupolofen findet im wesentlichen ein Umschmelzen des eingesetzten Materials (Roheisen, Gußbruch, Stahlschrott) statt. Durch den Abbrand von Eisen, Silizium und Mangan und durch den Zubrand von Schwefel erfährt das Schmelzgut Veränderungen.

Tabelle 12.2 gibt Prozentzahlen für den Ab- bzw. Zubrand in Kupolöfen an.

Tabelle 12.2: Ab- bzw. Zubrand in Kupolöfen

Element	Ab- oder Zubrand	Kaltwind-Kupolofen	Heißwind-Kupolofen
Silizium	Abbrand	≈10 %	± 0 %
Mangan	Abbrand	≈20 %	bis 15 %
Schwefel	Zubrand	≈50 %	≈25 %

Die Vorteile der Kupolöfen liegen darin, daß diese Öfen verhältnismäßig schnell betriebsfähig und einfach zu bedienen sind, außerdem ist die Schmelzdauer kurz. Die Kupolöfen sind die wichtigsten Schmelzaggregate zur Erzeugung gewöhnlichen kohlenstoffreichen Gußeisens. Außerdem kann in ihnen, je nach Zusammensetzung des Einsatzmaterials, Hartguß, Temperrohguß und Schmelzmaterial zur Weiter-

Tabelle 12.1: Wichtigste Gießmetalle

Bezeichnung	Hauptsächliche Verwendung	Schmelzverfahren
Stahlguß	unlegierter Stahlguß für solche Gußteile, die auf Zug, Stoß, Biegung oder Schlag beansprucht werden; legierter und hochlegierter Stahlguß für solche Gußstücke, die besonderen Beanspruchungen unterliegen	Die Schmelzrohstoffe werden entweder in SIEMENS-MARTIN-Öfen, Elektroöfen oder Tiegelöfen durch Frischen direkt in Stahl umgewandelt oder in Kupolöfen geschmolzen und dann in der Kleinbessemerbirne gefrischt bzw. im Elektro- oder Klein-S-M-Ofen gefrischt und gefeint.
Gußeisen mit Lamellen- und Kugelgraphit	für Maschinenteile und andere Werkstücke, die geringeren Beanspruchungen auf Zug, Stoß und Schlag ausgesetzt sind; große Starrheit und gutes Dämpfungsvermögen machen den Werkstoff besonders geeignet für Gehäuse, Ständer, Betten, Lagerbuchsen usw., für Werkzeug- und Kraftmaschinen	Die Schmelzrohstoffe werden hauptsächlich in Kupolöfen, aber auch in Flammöfen, Elektroöfen, Tiegelöfen, in Sonderfällen auch in SIEMENS-MARTIN-Öfen niedergeschmolzen.
Hartguß	für Gußstücke, die durchgehend (Vollhartguß) oder an der Oberfläche (Schalenhartguß) sehr hart sein sollen (z. B. Walzen usw.)	Die Schmelzrohstoffe werden in Kupolöfen, Elektroöfen, Trommelöfen, Tiegelöfen, Flammöfen oder S-M-Öfen niedergeschmolzen.
Temperguß	besonders für dünnwandige Gußteile, die robusten schlagartigen Beanspruchungen ausgesetzt sind, sich aber aus Stahlguß schlecht gießen lassen	Die Schmelzrohstoffe werden hauptsächlich in Kupolöfen, S-M-Öfen, aber auch in Trommelöfen niedergeschmolzen (nach dem Vergießen Glühbehandlung des Temperrohgusses in Temperöfen).
Leichtmetallegierungen	für Gußteile, die bei günstigen Festigkeitseigenschaften und guter Wärmeleitfähigkeit eine möglichst geringe Masse aufweisen sollen	Die Schmelzrohstoffe werden hauptsächlich in Tiegelöfen niedergeschmolzen.
Buntmetallegierungen	für Gußteile, die hohe Korrosionsbeständigkeit, Festigkeit, Wärmeleitfähigkeit und gute Gleiteigenschaften aufweisen sollen	Die Schmelzrohstoffe werden hauptsächlich in Tiegelöfen niedergeschmolzen.

veredlung in der Klein-BESSEMER-Birne, im Klein-SIEMENS-MARTIN-Ofen und in Elektroöfen (Duplexverfahren) erschmolzen werden (Bild 12.1).

Moderne Kupolöfen werden als *Heißwind-Kupolöfen* (Bild 12.2) ausgeführt. Diese Schmelzaggregate dienen zur Erzeugung von Gußeisen mit Lamellen- und Kugelgraphit, Temper- und Hartguß und finden auch in den großen Stahlwerken als Vorschmelzaggregate Verwendung.

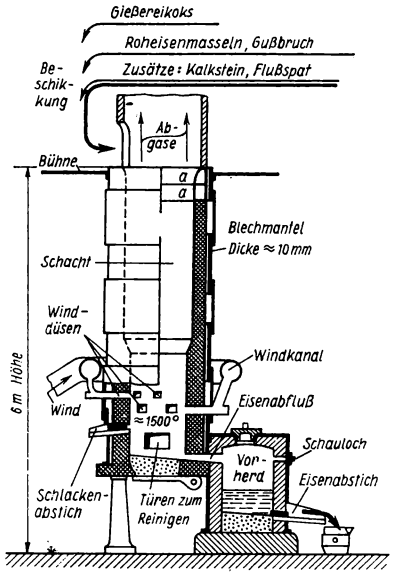


Bild 12.1. Kaltwind-Kupolofen (Schachtofen)
a gußeiserne Steine

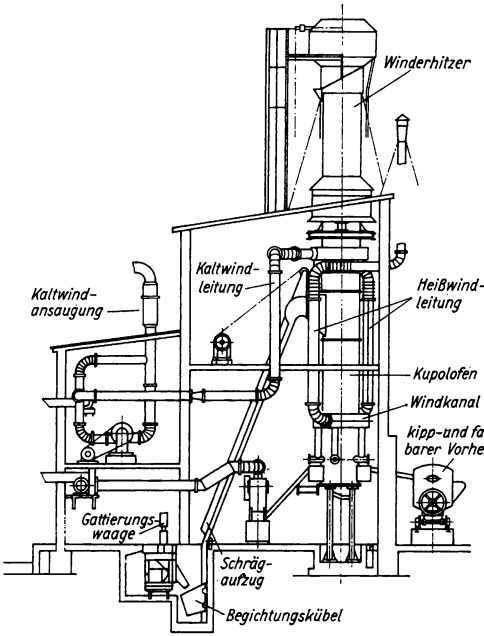


Bild 12.2. Heißwind-Kupolanlage mit Radiationswinderhitzer

Hier wird mit vorgewärmtem Wind (ähnlich wie beim Hochofen) gearbeitet. Die Erhitzung des Windes kann durch verschiedene Systeme erfolgen und geschieht durch die Abgase des Ofens auf etwa 500 °C. Für Schmelzzeiten bis 8 h täglich wird meist mit Radiationswinderhitzern gearbeitet, welche an jedem Ofen direkt über dem Begichtungsteil angeordnet werden (s. Bild 12.2). Für mehrschichtigen Betrieb werden Konvektionsrekuperatoren verwendet, wobei für 1 bis 3 Kupolöfen jeweils ein Winderhitzer genügt. Die Vorteile beim Heißwindkupolofen-Schmelzprozeß liegen darin, daß geringwertige Koksqualitäten und als Einsatzmaterial auch minderwertiger Schrott verwendet werden können. Durch die verringerten Abbrandverhältnisse beim Schmelzprozeß können die teuren Ferrolegierungen zum Ausgleich der Silizium- und Manganverluste eingespart werden. Man erhält bei gleichzeitiger Einsparung an Gießereischmelzkoks, Sonderroheisen, Ferrolegierungen und Zuschlagstoffen ein Gußeisen mit hoher Eisentemperatur und erhöhter Werkstoffgüte, was sich durch Verbesserung der Qualität der Erzeugnisse bemerkbar macht.

Der SIEMENS-MARTIN-Ofen (s. a. Abschnitt 10.3) wird in den Stahlgießereien zum Erschmelzen von unlegierten und z. T. auch legierten Stahlgußqualitäten verwendet. Außerdem findet er wegen der guten Treffsicherheit der Schmelze auch Verwendung zum Erschmelzen von Temperrohguß (allerdings liegen hier die Schmelzkosten höher als beim Erschmelzen im Kupolofen). Der Vorteil der SIEMENS-Öfen liegt darin, daß Schrott allein oder in Verbindung mit Roheisenzusätzen eingeschmolzen werden kann. SIEMENS-MARTIN-Öfen sind nur für ununterbrochenen Betrieb geeignet und erfordern hohe Anlagekosten.

Klein-SIEMENS-MARTIN-Öfen dienen hauptsächlich zur Stahlerzeugung aus den im Kupolofen vorgeschmolzenen Einsatz materialien, wobei diese im Kupolofen mit billigen Brennstoffen niedergeschmolzen werden (Bild 12.3).

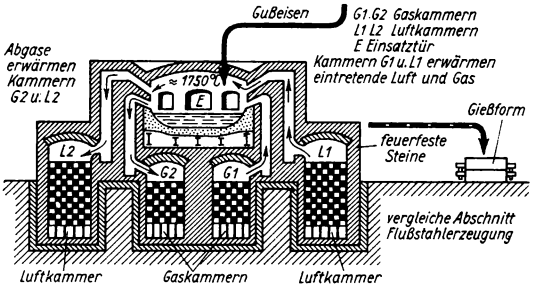


Bild 12.3. Klein-Siemens-Martin-Ofen

Elektroöfen sind ausgesprochene Edelstahlöfen und werden vorwiegend zum Erschmelzen legierter und hochlegierter Stahlgußchargen verwendet. Der in Elektroöfen erschmolzene Stahl zeichnet sich durch besondere Reinheit aus.

a) *Lichtbogenöfen* (s. Abschnitt 10.3)

b) *Induktionsöfen* dienen fast ausschließlich zum Erschmelzen von Legierungen; die erforderliche Wärme im Schmelzgut wird durch ein elektromagnetisches Wechselfeld erzeugt. Diese Öfen sind Tiegelöfen, wobei der Tiegel von einer wassergekühlten Primärspule (Kupferrohr) umgeben ist. Die Erhitzung des Schmelzgutes erfolgt dadurch, daß beim Stromdurchgang in dem Tiegelinhalt Wirbelströme induziert werden (Bild 12.4). Es werden Netz-, Mittel- und Hochfrequenz-Induktionsöfen unterschieden. Die Frequenzen liegen bei den *Netzfrequenzöfen* (Fassungsvermögen bis etwa 8 t) bei 50 Hz, bei den *Mittelfrequenzöfen* (Fassungsvermögen bis etwa 15 t) zwischen 100 und 10000 Hz und bei den *Hochfrequenzöfen* über 10000 Hz.

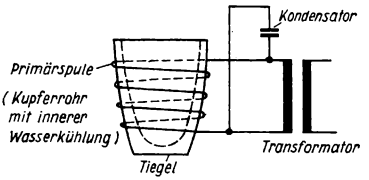


Bild 12.4. Induktionsofen

Da die Stromerzeugungsanlage im Verhältnis zur Ofengröße sehr teuer und umfangreich ist und auch der Energieaufwand hoch liegt, werden die Induktionsöfen fast nur zur Herstellung hochwertiger Stähle und Eisenlegierungen verwendet.
Eine besondere Art der Induktionsöfen stellen die *Induktions-Rinnenöfen* dar (Bild 12.5). Ihre Wirkungsweise beruht auf dem Prinzip des Transformators, wobei die Sekundärwicklung aus einer kurzgeschlossenen Windung des Schmelzgutes (Teil des flüssigen Einsatzes) besteht.

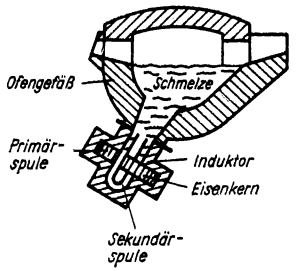


Bild 12.5. Induktions-Rinnenofen

Die Primärwicklung erhält ihre Spannung über einen an normaler Netzspannung anliegenden Reguliertransformator, wodurch dem Ofen die den jeweiligen Arbeitsbedingungen angepaßte Leistung zugeführt werden kann. Die Induktions-Rinnenöfen werden in den Gießereien als Warmhalte- bzw. Umschmelzöfen verwendet. Die Legierungsbestandteile werden durch die Badbewegung gut durchgemischt, und die gewünschte Legierungszusammensetzung kann genau eingehalten werden. Die Abbrandverluste liegen sehr niedrig. Die Öfen sind so konstruiert, daß eine Unterteilung in Ofengefäß und Rinnenkammer (Induktor) erfolgt, wodurch besseres Vorbereiten (Auskleiden, Vortrocknen usw.) möglich ist.

c) *Widerstandsöfen:* Elektrischer Strom wird durch eine Heizwicklung geleitet. Widerstandsöfen mit metallischer Heizwicklung werden hauptsächlich für niedrigschmelzende Legierungen, solche mit Graphitstäben auch für kleine Chargen von Gußeisen oder legiertem Sonderguß verwendet.

Tiegelöfen: Die gasbeheizten Tiegelöfen zur Stahlerzeugung werden heute kaum noch verwendet, da die Handhabung sehr umständlich und der Tiegelverschleiß sehr hoch ist. Hauptverwendung finden die Tiegelöfen in den Leicht- und Schwermetallgießereien, wobei die Beheizung mit festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen erfolgen kann (Bild 12.6). Tiegelöfen mit elektrischer Widerstandsbeheizung haben im Ofenraum eine Heizspirale. Öl-, Gas- und elektrische Beheizung ermöglichen sehr sauberen Betrieb.

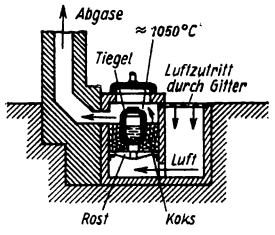


Bild 12.6. Tiegelschmelzofen

Gießereiflammöfen (Bild 12.7) werden für das Schmelzen von Stahlguß und Gußeisen kaum noch eingesetzt (durch elektrische Öfen abgelöst), aber noch im Schmelzbetrieb für Nichteisenmetalle (z. B. Cu, Zn, Sn, Ni) verwendet.
Direkte Berührung des Brennstoffes mit dem Schmelzgut wird vermieden. Das Schmelzen des Einsatzes erfolgt nur durch die starke Hitzestrahlung der wirksamen Flammengase.
Eine Abart des Flammofens ist der Trommel- (auch Dreh- oder Kessel-) Ofen, der zur Erzeugung von hochwertigem Gußeisen und Temperguß in Verbindung mit dem Kupolofen (Duplexverfahren) zum Zusetzen veredelnder Beimengungen, aber auch zum Schmelzen von Nichteisenmetallen verwendet wird.

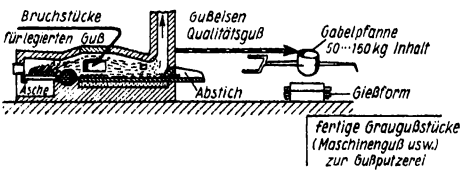


Bild 12.7. Gießereiflammofen

Klein-BESSEMER-Birnen (Bild 12.8) dienen zur Erzeugung von hochüberhitztem Stahl (zum Vergießen dünnwandiger Gußstücke). Diese Kleinkonverter sind sauer ausgemauert, und die Windzuführung erfolgt im Gegensatz zu den Großkonvertern seitlich. Es wird im Kupolofen geschmolzenes phosphorarmes Gußeisen in die Birnen eingesetzt.

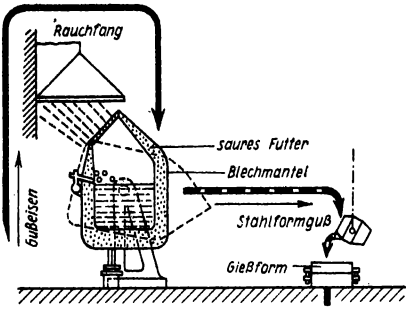


Bild 12.8. Kleinbessemerbirne

Temperöfen (Bild 12.9) sind Glühöfen. In ihnen erfolgt die Glühbehandlung des Temperrohgusses, der im Kupolofen, SIEMENS-MARTIN-Ofen oder Flammofen erschmolzen wurde. Je nach der Zusammensetzung des Temperrohgusses und der Art der Glühbehandlung erhält man weißen Temperguß (Glühdauer 4···6 Tage, Tempergußstücke sind dabei in sauerstoffabgebende Mittel, z. B. Roteisenstein, eingepackt) oder schwarzen Temperguß (Glühdauer 4···5 Tage, Tempergußstücke sind dabei in neutrales Mittel, z. B. Sand, eingepackt).

Temperguß wird für dünnwandige, schmiedbare, zähe Gußstücke angewendet, z. B. Nähmaschinenteile, Schraubenschlüssel, Rohrverbindungsstücke und Schloßteile. Temperguß ist billiger als geschmiedete Stücke.

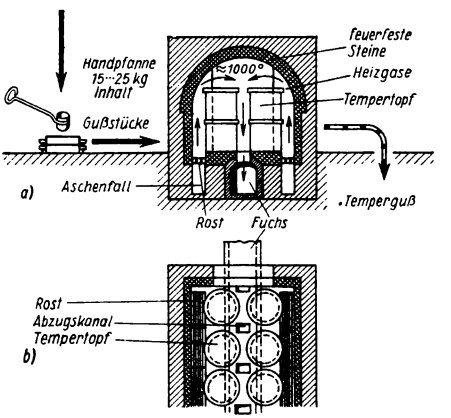


Bild 12.9. Temperofen
a) Schema, b) Grundrißhälfte

12.3. Werkzeuge, Modelle, Formen und Formerei

12.8.1. Urformwerkzeuge für die Gießereiindustrie

Die wichtigsten Hilfsmittel für die Gußstückherstellung sind die Urformwerkzeuge (Modelle, Modelleinrichtungen und Dauerformen). Von ihrer Konstruktion hängt die wirtschaftliche Gußstückfertigung mit ab.

Verlorene Formen

Modelle und *Modelleinrichtungen* sowie *Schablonen* dienen zur Herstellung der verlorenen Formen (Sandform muß nach jedem Abguß zerstört werden), und *Kerne* bewirken Hohlraumbildung im oder Konturengebung am Gußstück.
Tabelle 12.3 gibt einen Überblick über die Urformwerkzeuge für verlorene Formen.

Tabelle 12.3: Arten der Urformwerkzeuge für verlorene Formen

Bezeichnung	Charakteristik
Naturmodell	entspricht dem späteren Abguß, ist aber um das Schwindmaß größer
Modelleinrichtung für die Handformerei	hat, bedingt durch die Kernmarken (Lager für die einzulegenden Kerne), ein anderes Aussehen als das Gußstück; zur Modelleinrichtung gehören außer dem Modell Kernkästen und, wenn erforderlich, Kerntrockenschalen und Lehren zur Form- und Kernkontrolle (evtl. auch zur Gußstückkontrolle)
Modelleinrichtung für die Maschinenformerei	zur Modelleinrichtung gehören 2 Modellplatten (Unter- und Oberkastenplatte), auf denen sich die Modellhalbteile und das Anschnittsystem befinden, sowie die erforderlichen Kernkästen, Lehren usw.
Schabloneneinrichtung	besteht aus den Schablonenbrettern (bei Ziehschablonen zusätzlich Ziehrahmen) und aus den erforderlichen Kernkästen
Modelleinrichtung für das Maskenformverfahren	wird thermisch beansprucht (etwa 300 °C); ist sehr eng toleriert, muß sehr gute Oberflächenbeschaffenheit aufweisen und mit einer Auswerfereinrichtung (zum Trennen der Formmaske) versehen und, genau wie die Kernkästen, beheizbar sein
Spritzformen für Feinguß nach Ausschmelzmodellen	in den Spritzformen werden die Ausschmelzmodelle hergestellt; sie sind meist sehr kompliziert aufgebaut (um auch unterschnittene Konturen ausformen zu können) und müssen mit äußerster Maßhaltigkeit gefertigt sein

Der Gußbesteller gibt die Werkstattzeichnung des gewünschten Gußstücks mit Angaben über die erforderliche Abgußzahl und über spezielle Besonderheiten an die Gießerei. Vom Gießereitechnologen wird das Formverfahren usw. festgelegt, die Werkstattzeichnung wird durch gießereitechnologische Angaben (z. B. Teilung des Modells und der Form, Lage der Kerne) zur Modellbestellzeichnung ergänzt. Diese und die dazugehörige Modellbestellkarte sind die Grundlage für die Fertigung der Modelleinrichtung im Modellbaubetrieb. Die den jeweiligen Voraussetzungen entsprechende günstige Modellausführung kann nach TGL 13898 Bl. 2 festgelegt werden. Sie ist abhängig von der Anzahl der Abformungen je Modell oder Kernkasten, vom Größtmaß des Modells, von der Formverfestigungsart, vom Formverfahren und von der Genauigkeitsklasse.
Tabelle 12.4 (s. S. 260 ff.) gibt einen Überblick über *zweckmäßige Modellausführungen.*
Tabelle 12.5 enthält die Zuordnung der Genauigkeitsklassen. Beim Bau der Modelle sind die Schwindmaße besonders zu berücksichtigen, da Metalle beim Erkalten schwinden. Das Modell muß also um den entsprechenden Wert größer sein als das fertige Werkstück (s. Tabelle 12.6).
Die genaue Bestimmung des Schwindmaßes wird außer von der jeder Gußlegierung eigenen Schwindung durch die Gestalt des Gußstückes, seine Größe, die Schwindungsbehinderung durch Rippen oder Kerne sowie vom Formverfahren beeinflußt und ist mit der Gießerei von Fall zu Fall zu vereinbaren.

Tabelle 12.5: Zuordnung der Genauigkeitsklassen

Genauigkeitsklasse	Einstufung	Zuordnung der Modelle
I	sehr grob	Schaumstoffmodelle
II	grob	Holzmodelle und Holzmodelleinrichtungen
III	mittel	
IV	mittelfein	Gemischt- und Plastmodelle und -modelleinrichtungen
V	fein	Metallmodelle und Metallmodelleinrichtungen
VI	sehr fein	

Tabelle 12.6: Schwindmaße

Werkstoff	Schwindmaß %
Stahlguß, unlegiert und niedrig legiert	2
Stahlguß, hochlegierter CrNi- und Mn-Stahlguß	2···2,5
Gußeisen mit Lamellengraphit (GGL)	1
Gußeisen mit Kugelgraphit (GGG), im Gußzustand oder perlitisch geglüht	0,8···1
Gußeisen mit Kugelgraphit (GGG)	0,3
Gußeisen mit Kugelgraphit (GGG), ferritisch geglüht	0
Temperguß, weiß (GTW)	1···2
Temperguß, schwarz (GTS)	0···1
Temperguß, perlitisch (GTP)	0,5···1,5
Zinnbronze (G-CuSn)	1,5
Rotguß (G-CuSnZn)	1,5
Gußmessing (G-CuZn)	1,5
Gußsondermessing (G-CuZn)	1,6···2,2
Aluminiumbronze, Mehrstoff-Aluminiumbronze (G-CuAl)	1,6···2,2
Bleibronze, Bleizinnbronze (G-CuPb)	1,5
Kupferguß	1,85
Aluminium-Gußlegierungen (G-AlSi)	1,0···1,2
Aluminium-Gußlegierungen (G-AlMg)	1,0···1,5
Magnesium-Gußlegierungen	1,0···1,4

Holzmodelle müssen zum Schutz gegen Feuchtigkeit, zur Erzielung einer besseren Oberflächenglätte und zum Kenntlichmachen form- und gießtechnischer Besonderheiten mit einem Lackanstrich versehen sein (s. Tabelle 12.7 auf S. 262).

Tabelle 12.4: Zweckmäßige Modellausführungen (nach TGL 13898 Bl. 2)

Bauart	Merkmale	Abformungen Stück	Größtmaß ≈mm	Formverfestigungsart	Formverfahren	Genauigkeitsklasse
1.1.	Modelle aus vergasbaren Schaumstoffen, z. B. Schaumpolystyrol, gußstückgetreue Ausführung, evtl. mit Innenkernen	1	über 250	Handstampfung, chemisch aushärtende Formstoffe	Naß- oder Trockensandformverfahren	I
1.2.	Modelle aus Schaumstoffen, mit Holz oder Gips kombiniert oder verstärkt, nichtentformbare Teile aus vergasbarem Schaumstoff, evtl. mit Innenkernen	bis 6		Hand- oder Druckluftstampfung, chemisch aushärtende Formstoffe		
2.1.	Modelle und Kernkästen sowie Skelettmodelle aus Nadelholz, ohne Armierungen	bis 6	bis 2500		Naßsand-, Trockensand- oder Kernformverfahren	II
2.2.	Schablonen in einfachster Ausführung aus Nadelholz, für Lehmformen ohne Armierung, sonst Arbeitskanten mit Laubholz armiert					
2.3.	Muttermodelle (Urmodelle) aus Nadelholz zur Herstellung von Metallmodellen und Metallmodelleinrichtungen sowie Stützkörpermodelle für Epoxidharzmodelle, bei vorwiegend ebenen Flächen aus Nadelholz, bei vorwiegend konturenreichen Flächen aus Laubholz (Erle)		bis 2000			
2.4.	Modelle und Kernkästen sowie Skelettmodelle in stabiler Ausführung aus Nadelholz, ohne Armierungen		über 2500		Schamotte-, Naßsand-, Trockensand- oder Kernformverfahren	
2.5.	Modelle und Kernkästen in stabiler Ausführung aus Nadelholz, ohne Armierungen	bis 40	bis 2500			
2.6.	Modelle und Kernkästen in stabiler Ausführung aus Nadelholz, Konturen aus Laubholz (Erle), ohne Armierungen		über 800			
2.7.	Modelle und Kernkästen in stabiler Ausführung aus Nadelholz, verschleißbeanspruchte Stellen mit Laubholz (Ahorn) armiert					
2.8.	Schablonen und Schablonen-einrichtungen aus Nadelholz, Arbeitskanten mit PVC-hart oder Al-hart armiert		über 600			III
3.1.	Modelle und Kernkästen in einfacher Ausführung aus Laubholz (Erle), ohne Armierungen	bis 40	bis 800	Hand- oder Druckluftstampfen, Rütteln, Pressen, Slingern, chemisch aushärtende Formstoffe	Schamotte-, Naßsand-, Trockensand- oder Kernformverfahren	
3.2.	Modelle und Kernkästen in stabiler Ausführung aus Laubholz, verschleißbeanspruchte Stellen mit PVC-hart, Epoxidharz, Schichtpreßstoff HP armiert	bis 120	bis 1000			
3.3.	Modelle und Kernkästen in stabiler Ausführung, Grundkörper aus Nadelholz, konturengebende Teile und Abstreichflächen aus Laubholz, verschleißbeanspruchte Flächen wie vorher armiert		über 1000			
3.4.	Schablonen und Schablonen-einrichtungen aus Nadelholz, Arbeitskanten mit PVC-hart, Schichtpreßstoff HP oder Stahlblech armiert		über 600			

Tabelle 12.4 (Fortsetzung)

Bauart	Merkmale	Abformungen Stück	Größtmaß ≈mm	Formverfestigungsart	Formverfahren	Genauigkeitsklasse
4.1.	Modelle und Modelleinrichtungen in massiver Ausführung aus Laubholz, Oberflächen mit Epoxidharzanstrich geschützt, verschleißbeanspruchte Teile aus Epoxidharz oder Leichtmetall, verschleißbeanspruchte Stellen und Abstreichflächen mit Stahlblech armiert, nicht auf Modellplatte montiert	bis 400	bis 1000	Druckluftstampfung, Rütteln, Pressen, Slingern, chemisch aushärtende Formstoffe	Schamotte-, Naßsand-, Trockensand- oder Kernformverfahren (außer Harzbinder)	IV
4.2.	Modelle und Modelleinrichtungen in massiver Ausführung, Grundkörper aus Nadelholz, konturengebende Teile aus Laubholz, Oberflächen mit Epoxidharzanstrich geschützt, verschleißbeanspruchte Teile aus Epoxidharz oder Leichtmetall, verschleißbeanspruchte Stellen und Abstreichflächen mit Stahlblech armiert, nicht auf Modellplatte montiert		über 1000			
4.3.	Modelle und Modelleinrichtungen aus harzgetränktem Holz, Oberfläche mit Epoxidharzanstrich geschützt, nicht auf Modellplatte montiert					
4.4.	wie 4.1. bis 4.3., aber auf Modellplatte montiert	bis 650				
5.1.	Modelle und Modelleinrichtungen aus Nadel- oder Laubholz mit PVC-hart, Aluminium oder Stahlblech belegt	bis 1200	über 400	Druckluftstampfen, Rütteln, Pressen, Slingern, chemisch aushärtende Formstoffe, Blasen, Schießen		
5.2.	Modelle und Modelleinrichtungen aus PVC-hart in Massiv- oder Hohlbauweise, nicht auf Modellplatte montiert	bis 2500	bis 1000			
5.3.	sperrige (verzugsempfindliche) Modelle aus PVC-hart, auf Modellplatte montiert		bis 2000			
6.1.	Modelle aus Epoxidharz, Volumen bis 1 dm^3, ohne Stützkörper, auf Modellplatte aufgegossen, ohne Armierungen	bis 7500	bis 400	Rütteln, Pressen, Slingern, Hochdruckpressen, chemisch aushärtende Formstoffe, Blasen, Schießen	Naßsand-, Trockensand- oder Kernformverfahren (außer Harzbinder)	
6.2.	wie vorher, aber verschleißbeanspruchte Stellen mit Stahlblech armiert	bis 10000				
6.3.	Modelle und Kernkästen aus Epoxidharz über Stützkörper gegossen, ohne Armierungen	bis 7500	bis 2000			
6.4.	wie vorher, aber verschleißbeanspruchte Stellen mit Stahlblech armiert	bis 10000				
7.1.	Modelle und Modelleinrichtungen aus Aluminiumgußlegierungen, evtl. mit Epoxidharz kombiniert, ohne Armierungen	bis 10000	bis 2000	Rütteln, Pressen, Slingern, Hochdruckpressen, chemisch aushärtende Formstoffe, Blasen, Schießen	Naßsand-, Trockensand- oder Kernformverfahren	V
7.2.	wie 7.1., verschleißbeanspruchte Stellen mit Stahlblech armiert	bis 12500	bis 1000			
7.3.	Modelle und Modelleinrichtungen aus Aluminium- oder Magnesiumgußlegierungen, verschleißbeanspruchte Teile aus St, GS oder GGL, verschleißbeanspruchte Stellen und Abstreichflächen mit Stahlblech armiert	bis 20000	bis 2000	Rütteln, Pressen, Hochdruckpressen, Blasen, Schießen, chemisch aushärtende Formstoffe		

Tabelle 12.4 (Fortsetzung)

Bauart	Merkmale	Abformungen Stück	Größtmaß ≈mm	Formverfestigungsart	Formverfahren	Genauigkeitsklasse
7.4.	Modelle und Modelleinrichtungen aus Aluminium- oder Magnesiumgußlegierungen, bei denen verschleißbeanspruchte Teile (wie 7.3.) auswechselbar sein müssen					
8.1.	Modelle und Modelleinrichtungen aus Gußeisen, Kupferguß, Messing oder Stahl mit oder ohne Abstreifkamm, auch im Metallspritzverfahren hergestellt	bis 30000	bis 800	chemisch oder thermisch aushärtende Formstoffe, Hochdruckpressen, Blasen, Schießen	Maskenformverfahren, Hot-box-, No-bake-Formverfahren	VI
8.2.	Modelle und Modelleinrichtungen aus Gußeisen, Kupferguß, Messing oder Stahl, bei denen verschleißbeanspruchte Teile austauschbar sein müssen					
8.3.	Modelle und Modelleinrichtungen aus Kupferguß, Gußeisen, Stahlguß oder Stahl, auch im Metallspritzverfahren hergestellt, auch Oberflächen veredelt					

Tabelle 12.7: Farbkennzeichnung für Holzmodelle und -einrichtungen (nach TGL 13898)

Flächen oder Flächenteile		Farbkennzeichnung
Grundfarbe für Flächen am Modell und im Kernkasten, die am Gußteil unbearbeitet bleiben		rot
am Gußteil zu bearbeitende Flächen		gelb oder rot mit gelber Schraffur
Sitzstellen von Ansteckteilen am Modell und im Kernkasten		grün
für Schrauben von losen Teilen		schwarz umrandet
Kernmarken und Kerndurchbrüche		schwarz
Stellen für Abschreckplatten und Marken für einzulegende Dorne		blau
Hohlkehlen, die nicht angebracht werden können		schwarzer Strich mit Angaben des Halbmessers
verlorene Köpfe, Zugaben aus gieß- oder formtechnischen Gründen, Probestäbe		rot mit entsprechender schwarzer Beschriftung, Probestäbe zusätzlich mit »P« gekennzeichnet
Dämmleisten, Versteifungen, abzudämmende Teile an Kernmarken		schwarz mit gelber Schraffur
Lage der Kerne auf Teilungsflächen	bei einem Kern	schwarz oder rot mit schwarzem unterbrochenem Begrenzungsstrich
	bei mehreren sich berührenden Kernen	schwarz mit gelbem unterbrochenem Begrenzungsstrich
Dreh- oder Ziehschablonen	Arbeitskanten	rot
	sonstige Flächen	farblos

Dauerformen

Beim Gießen in verlorene Formen müssen die Sandformen jeweils zum Herausnehmen des Gußstückes zerstört werden. Für jedes Gußstück ist eine neue Form erforderlich. Deshalb ist man bestrebt, Seriengußteile immer mehr in metallischen Dauerformen, mit denen man eine große Anzahl von Gußstücken herstellen kann, abzugießen. Die metallischen Dauerformen, *Kokillen* und beim Druckguß *Druckgießwerkzeuge* genannt, sind für die moderne Gußfertigung nicht mehr zu entbehren, obgleich sich nicht alle Gußteile für die Herstellung in Dauerformen eignen (Tabelle 12.8).

Wichtigster Kokillenwerkstoff ist hochwertiges Gußeisen (GGL-25), das perlitisches Grundgefüge, feine Graphitausscheidung und geringen Phosphor- und Schwefelgehalt aufweisen soll. Auch Cr- und CrMo-stabilisiertes Gußeisen wird verwendet (speziell für Kokillengrauguß). Ferner kann auch Stahl als Kokillenwerkstoff eingesetzt werden. Kokillenteile aus Gußeisen müssen vor der Bearbeitung spannungsfrei geglüht werden, um das Verziehen beim Einsatz der Kokillen zu vermeiden bzw. einzuschränken. Beim Bau der Kokillen ist einfache Gestaltung anzustreben, wobei zu beachten ist, daß sie während des Gießens den größten Teil der Wärme des eingegossenen Metalls aufnehmen. Eventuell müssen die Kokillen zusätzlich beheizt oder gekühlt werden, damit gutes Gelingen der Gußstücke möglich ist.

Druckgießwerkzeuge werden auf Grund der hohen Beanspruchung aus Warmarbeitsstahl (hauptsächlich 30WCrV179, 30WCrV3411 und 38CrMoV2114) hergestellt. Sie werden vor ihrem Einsatz einer Warmbehandlung unterzogen.

Tabelle 12.9 führt die Werkstoffe für Urformwerkzeuge auf.

Formherstellung

Die verlorenen Formen werden aus *Formstoffen* hergestellt, deren Zusammensetzung dem jeweiligen Verwendungszweck und Formverfahren entspricht. Hauptbestandteil aller Formstoffe ist *Quarz* und vielfach auch Ton (Tabelle 12.10).

Nach dem Verwendungszweck werden Modellsande, Füllsande, Einheitssande und Altsande unterschieden.

Der Gebrauchssand wird entsprechend seiner Verwendung zusammengesetzt, d. h. durch Mischen von Natursanden, von Natursanden und Altsanden oder von Altsand und Bindemitteln in gebrauchsfähigen Zustand gebracht. Besonders hohe Anforderungen werden an die Kernformstoffe gestellt, da die Kerne (meist allseitig vom Gießmetall umgeben) noch

Tabelle 12.8: Arten der Dauerformen

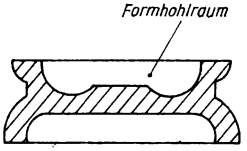
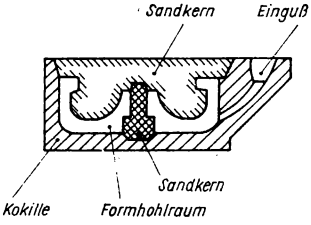
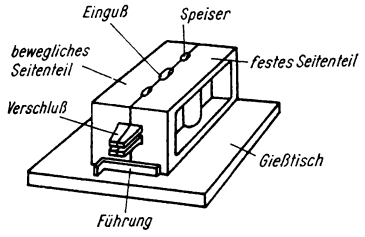
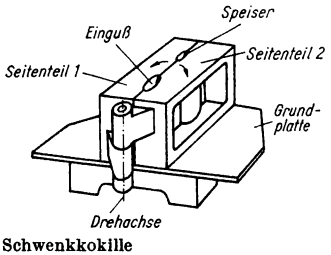
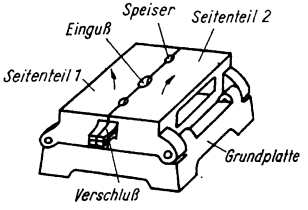
Bezeichnung	Schema	Charakteristik
offene ein- und mehrteilige Kokillen	 offene Kokille	für Gußstücke, deren eine Seite an der Atmosphäre erstarren kann; es wird direkt in die Kokille gegossen, Kreislaufmaterial entfällt; nur zweidimensionale Maßgenauigkeit zu erreichen; werden für Masseln, Platten, Barren usw. sowie für Strang- und Blockguß verwendet
Halbkokillen	 Halbkokille (2teilig)	komplizierte und durch Aufschrumpfung spannungsgefährdete Konturen werden durch Kerne (Abdeckkerne) bzw. Sandformen gebildet; werden ausschließlich auf dem Kokillengrau- bzw. -stahlgußsektor verwendet; bei Kokillenstahlguß nur Halbkokillen möglich, da das gesamte Anschnittsystem in den Kern gelegt werden muß
geschlossene Kokillen (Formgußkokillen): horizontal bewegt	 Schiebekokille	werden auch Schiebekokillen genannt, da die Seitenteile auf einem Gießtisch oder einer Grundplatte von Hand, mechanisch, hydraulisch oder pneumatisch bewegt werden; zu unterscheiden: zweiteilige (ein Seitenteil fest, eins beweglich oder beide Seitenteile beweglich) und mehrteilige (drei- und vierteilige) Schiebekokillen, letztere bei komplizierten Gußteilen verwendet; horizontal bewegte Kokillen zur Mechanisierung gut geeignet und hauptsächlich im NE-Metallguß benutzt
vertikal bewegt		werden auch Hubkokillen genannt und entsprechen im Prinzip horizontal bewegten Kokillen (aber nur zweiteilige Formen); werden z. B. verwendet für Bremsnaben, Radkörper und ähnliche Gußteile
mit Seitenteilen, die eine Drehbewegung ausführen	 Schwenkkokille	Schwenkkokillen auch drei- und mehrteilig ausgeführt; Nachteile: Gußstückkonturen müssen dem Schwenkradius entsprechen, Mechanisierungsmaßnahmen sind erschwert
	 Klappkokille	meist nur dann verwendet, wenn formtechnische oder andere Schwierigkeiten nicht erlauben, andere Kokillenausführungen zu wählen; Mechanisierungsmaßnahmen ebenfalls erschwert

Tabelle 12.8 (Fortsetzung)

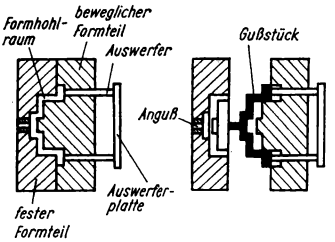
Bezeichnung	Schema	Charakteristik
Druckgießwerkzeuge	 Druckgießwerkzeug a) geschlossen, b) geöffnet	werden durch die hohen Schließdrücke und durch das unter Druck einströmende Gießmetall besonders mechanisch, aber auch thermisch beansprucht; sind sehr kompliziert aufgebaut und müssen mit hoher Präzision gefertigt werden; bestehen immer aus einem festen (auf dem Maschinentisch fest angebrachten) und einem beweglichen Formteil; Formen werden so konstruiert, daß das Gußstück auf dem beweglichen Formteil etwas aufschrumpft, so daß es beim Öffnen des Werkzeugs von diesem mitgenommen und durch die Auswerfer von ihm getrennt wird

Tabelle 12.9: Werkstoffe für Urformwerkzeuge

	Bezeichnung	Anwendung
nichtmetallische Werkstoffe	Holz	Erle, Ahorn, Birnbaum, Kiefer, Fichte, Verbundplatten, Schichtholz und harzgetränktes Holz für Modelle und Modelleinrichtungen Rotbuche, Eiche, Esche, Rüster und Weißbuche für nichtkonturengebende und hochbeanspruchte Teile
	Plaste	Epoxidharzgemische auf der Basis von EGK 19, PVC-hart, Polystyrol, Schaumpolystyrol und Schichtpreßstoff für Modelle und Modelleinrichtungen PVC-hart und Schichtpreßstoff als Beschlagmaterial
	Gips und Steinmassen	für Modellplatten mit Modellen, die einfache Konturen aufweisen und nicht sehr hoch beansprucht werden
metallische Werkstoffe	Stahl	für verschleißbeanspruchte Modellteile, Dauerformen und für Hilfsteile
	Warmarbeitsstahl	für thermisch beanspruchte Modelle und Modelleinrichtungen und Druckgießwerkzeuge
	Gußeisen (GGL)	Modellplatten, Maskenformeinrichtungen, Dauerformen (Kokillen), in Sonderfällen für Modelle und Kernkästen
	Aluminiumgußlegierungen	wichtigster Werkstoff für Metallmodelle und Metallmodelleinrichtungen (besonders G-AlSi7Cu1 und G-AlSi5MgLW)
	Kupfergußlegierungen	für besonders beanspruchte Modelle und Modelleinrichtungen

höher beansprucht werden als die Formen. Kerne können gefertigt werden aus Gebrauchsformstoffen (Grünsand, Masse, Lehm) oder aus reinen Quarzsanden, die mit speziellen Kernbindemitteln vermischt werden. Als Bindemittel kommen für letztere anorganische Stoffe (z. B. Zement, Wasserglas) oder organische Stoffe (z. B. Öle, Sulfitlauge, Kunstharze) in Frage. In Tabelle 12.11 sind die Kerne nach den Kernformstoffen eingeteilt.

Form- und Kernüberzugsstoffe

Um das Anbrennen von Formstoff an das Gußstück beim Gießen zu vermeiden und um bei grobkörnigen Formstoffen Oberflächenglättung zu erzielen, werden die Formen und Kerne mit Überzugsstoffen überzogen, wozu bei Grüngußformen hauptsächlich staubförmige und bei getrockneten Formen breiige Überzugsstoffe verwendet werden (Tabelle 12.12).

Formerwerkzeuge

Die zur Formherstellung benötigten Werkzeuge können je nach dem Verwendungszweck aufgegliedert werden in Stampfwerkzeuge, Schneid- und Polierwerkzeuge und allgemeine Werkzeuge.

Die *Stampfwerkzeuge* dienen zum Verdichten des Formstoffes bei der Handformerei. Dabei werden Handstampfer (Bild 12.10) und Druckluftstampfer unterschieden. Bei diesem bewegt die Druckluft einen Schlagkolben, dessen Schläge auf den Stampferfuß übertragen werden. Die *Schneid- und*

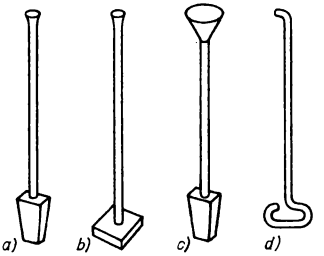


Bild 12.10. Handstampfer
a) Spitzstampfer, b) Plattstampfer, c) kombinierter Spitz- und Plattstampfer, d) Hakenstampfer

Polierwerkzeuge (Bild 12.11) dienen zum Glätten der Formpartien, zum Schneiden des Anschnittsystems und zum Ausbessern beschädigter Formkanten. *Allgemeine Werkzeuge* sind z. B. Handsieb, Schaufel, Streichschiene und Luftspieß.

Das *Anschnittsystem* ist ein Kanalsystem, das von außen zum Formhohlraum führt und einwandfreie Formfüllung ermöglicht. Bild 12.12 zeigt ein solches Anschnittsystem und

Tabelle 12.10: Formstoffe für verlorene Formen

Bezeichnung	Charakteristik
Formsand (TGL 8262)	Er muß gut gasdurchlässig, bildsam, grünstandfest und feuerbeständig sein. Natursand ist Verwitterungsprodukt quarzhaltiger Gesteine und besteht aus Quarz, Ton und Beimengungen. Die Quarzkörner bilden im Formsand das Gerippe, und die bindenden Bestandteile des Tones bewirken den Zusammenhalt. Nach den Korngrößeanteilen werden unterschieden: *grob-, mittel-* und *feinkörnige* und nach den Tonanteilen *fette* (mehr als 20 % Ton), *mittelfette* (8···20 % Ton) und *magere* (weniger als 8 % Ton) Formsande. Formsande werden beim Grünguß (Naßgut) verwendet.
Formmasse	Formmassen werden zur Formherstellung im Trockenguß für dickwandige und meist größere Gußstücke verwendet. *Graugußmasse* besteht aus Formsand mit etwa 20 % Ton, Magerungsmitteln (Häcksel, Sägespäne usw.) und Kohlenstaub. Die Formtrocknung erfolgt bei etwa 300 °C. *Stahlgußmasse* besteht aus Schamotte (Korngröße 1···5 mm), Ton, Graphit und Altsand als Magerungsmittel. Das Trocknen der Formen erfolgt bei etwa 500···600 °C.
Formlehm	Lehm ist stark verunreinigter, quarzhaltiger Ton, Formlehm enthält etwa 55···70 % Schlämmstoffanteile und zur Verbesserung der Gasdurchlässigkeit Magerungsmittel wie Häcksel, Sägespäne oder Altsand. Es werden unterschieden *Mauer-, Abzieh-* und *Schlichtlehm.*
synthetischer Formsand	Quarzsand und Ton sind in genau bestimmten Mengen gemischt, so daß der Formsand immer gleichmäßige Zusammensetzung aufweist. Es werden nur reiner Quarzsand und Bindeton (etwa 3···7 %) verwendet.
zementgebundener Formstoff	Er besteht aus reinem Quarzsand und Portlandzement (etwa 10 %), der unter Wassereinfluß abbindet. Er wird zu Formen für Mittel- und Großgußstücke mit besonderen Forderungen an die Oberflächenqualität verwendet.
wasserglasgebundener Formstoff	Der Formstoff besteht aus reinem Quarzsand, dem Wasserglas und evtl. auch Ton beigegeben ist. Die Formen härten entweder durch CO_2-Begasung oder durch den CO_2-Gehalt der Luft aus.
kunstharzgebundener Formstoff	Der Formstoff besteht aus Quarzsand und Kunstharzbinder und härtet je nach Binderart unter Hitzeeinwirkung oder auch kalt aus.

Tabelle 12.11: Einteilung der Kerne nach den Kernformstoffen

Bezeichnung	Charakteristik
Grünsandkerne	bestehen aus normalem Naßgußformstoff; sind sehr wirtschaftlich, aber nur bedingt einsetzbar
Massekerne	Zusammensetzung entspricht der Formmasse; werden beim Grau- und Stahlguß, wenn sie den zu erwartenden Anforderungen genügen, wirtschaftlich angewendet
Lehmkerne	Zusammensetzung entspricht dem Formlehm; werden besonders beim Großguß von masseintensiven, dickwandigen Gußstücken verwendet (hauptsächlich bei Schablonenformarbeiten)
Ölsandkerne	bestehen aus reinem Quarzsand und meist etwa 3 % Kernöl, weisen gute Festigkeit auf, sind nach dem Trocknen ausreichend gasdurchlässig und lassen sich nach dem Abgießen verhältnismäßig leicht aus dem Gußstück entfernen
Stärkesandkerne	bestehen aus reinem Quarzsand und meist etwa 3···8 % Stärkebinder, sind hygroskopisch und müssen daher schnell verarbeitet werden; haben hohe Grünstandfestigkeit und zerfallen sofort nach dem Gießen, so daß sie besonders für rißempfindliche Gußteile und auch für Metalle mit verhältnismäßig niedrigen Schmelzpunkten verwendet werden
Zementsandkerne	bestehen aus reinem Quarzsand, dem etwa 6···12 % Zement und etwa bis zu 6 % Melasse oder Sulfitlauge als Binder zugemischt werden; binden von selbst ab und werden hauptsächlich im Großguß (meist Grubenformerei) verwendet
Wasserglassandkerne	bestehen aus Quarzsand, Altsand und Auflockerungsmittel und etwa 5 % Wasserglas; sind schnell herstellbar, da sie durch CO_2-Begasung sofort abbinden
kunstharzgebundene Kerne	bestehen aus reinem Quarzsand und aus Kunstharzbindern, deren Anteil vom jeweiligen Beanspruchungsgrad der Kerne abhängig ist; je nach verwendeten Bindern Aushärtung der Kerne heiß (Hot-box-Verfahren) oder kalt (Cold-box-Verfahren)

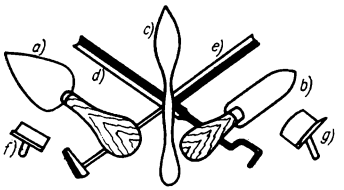


Bild 12.11. Polier- und Schneidwerkzeuge
a), b) Streichbleche (Poliereisen), b) auch Putzeisen oder Truffel genannt; c) Polierblech (Lanzette oder Löffel); d), e) Sandhaken (Polierfüße); f), g) Kantenglätter (Winkelknöpfe) für gerade und runde Kanten

Tabelle 12.12: Form- und Kernüberzugsstoffe

Bezeichnung	Charakteristik
trockene Überzugsstoffe	
Holzkohlenstaub	Die Form wird eingestäubt. Verwendung bei feinem und dünnwandigem Guß. Der entstehende Gasfilm verhindert Einbrennen.
Graphitstaub	Die Form wird eingestäubt. Verwendung bei größeren Abgüssen. Er bildet feuerfeste Schutzschicht zwischen Formstoff und Gießmetall.
Ruß	Die Rußschicht wird durch stark rußende Flamme auf die Formwände aufgebracht. Sie bildet Isolierschicht zwischen Formstoff und Gießmetall.
Talkum	Es kommt nur für Formen für den G-Al-Guß in Frage; es wird aufgestäubt.
Zement	Die Form wird eingestäubt. Durch Einwirkung des Feuchtigkeitsgehalts des Formstoffs bildet sich eine dünne, harte Formkruste.
nasse Überzugsstoffe	
Schwärze	Sie besteht hauptsächlich aus Wasser, Graphit, Ton und Koksstaub; sie wird aufgestrichen, aufgesprüht, oder die Kerne werden eingetaucht. Verwendung hauptsächlich bei Grauguß. Ist im Formstoff Harnstoffbinder oder Wasserglas enthalten, wird anstelle von Wasser Spiritus als Flüssigkeit verwendet.
Schlichte	Sie besteht hauptsächlich aus Schamottemehl, Graphit, Quarz, Ton und Wasser und dient gleichzeitig zur Oberflächenglättung und zur Erhöhung der Feuerbeständigkeit. Sie wird aufgetragen wie Schwärze.

Tabelle 12.13: Gegenüberstellung von Naß- und Trockenguß

Besonderheiten	Naßguß	Trockenguß
Herstellung	Naßgußformen werden in dem feuchten Zustand, in dem sie sich nach der Herstellung befinden, mit dem flüssigen Gießmetall gefüllt	Trockengußformen werden vor dem Abgießen in Trockenkammern oder stationär durch transportable Trockenöfen getrocknet und so vom größten Teil der Feuchtigkeit befreit
Vorteile	durch den Wegfall der Trocknung weniger Arbeit bei der Herstellung, leichteres Ausleeren der Formen	geringere Ausschußgefahr, kein Treiben der Gußstücke, leichteres Putzen, keine harte Gußhaut
Nachteile	durch die größere Gießgasentwicklung erhöhte Ausschußgefahr; da die Formen lockerer gestampft sind, treiben sie leichter; harte Gußhaut	erhöhter Aufwand durch Heizmaterial für Trockenaggregate, längere Herstellungszeit, erschwertes Ausleeren der Formen
Anwendung	für kleinere bis mittlere sowie dünnwandige und sperrige Gußstücke; Gußeisen, Temperguß und Aluminium-Gußlegierungen werden meist im Naßgußverfahren vergossen	für große Gußstücke und solche mit großen Wanddicken sowie für Gußstücke, an deren Oberflächenbeschaffenheit besondere Anforderungen gestellt werden; Stahlguß wird fast ausschließlich in Trockengußformen vergossen

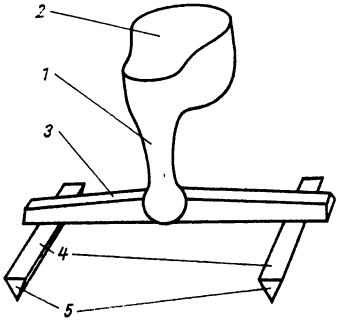


Bild 12.12. Anschnittsystem (für Gußeisen)
1 Einlauf, 2 Eingußtümpel, 3 Querlauf, 4 Zulauf, 5 Auslauf

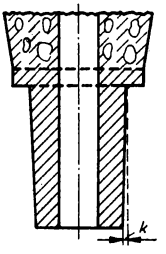


Bild 12.13. Verlorener Kopf
k Aushebeschräge

seine einzelnen Teile, deren Abmessungen genau errechnet werden müssen. Bei Stahlguß-Trockenguß wird oft durch den Speiser gegossen, so daß dort ein Anschnittsystem entfällt. *Speiser* dienen als Metallreserve zum Nachspeisen, damit im Gußstück keine Hohlräume (Lunker) entstehen. Sie müssen länger flüssig bleiben als das Gießmetall in der Form und werden besonders an die Stellen gesetzt, wo sich Materialanhäufungen befinden. Es werden unterschieden *Blindspeiser* (befinden sich im Oberkasten) und *offene Speiser* (reichen bis zur Formoberfläche) sowie Sonderarten, z. B. *Kerbspeiser, Atmosphärenspeiser*. Rohre, Zylinder, Buchsen u. dgl., die aufrecht (stehend) gegossen werden müssen, erhalten zur Vermeidung von Lunkerstellen eine Zugabe von Werkstoff durch Aufsetzen eines *verlorenen Kopfes* (Bild 12.13), in dem sich auch die nach oben steigenden Gasblasen sammeln; durch Aushebeschrägen k ist ein leichtes Ausheben des Modells aus dem Sand möglich.

Sand- und Masseformerei

In Tabelle 12.13 werden *Naß- und Trockenguß* einander gegenübergestellt.

12.3.2. Hand-, Herd-, Kasten-, Schablonen-, Lehm-, Maschinenformerei und spezielle Formverfahren

Handformerei

Bei der Handformerei erfolgen alle Arbeitsgänge der Formherstellung von Hand. Sie wird bei geringen Losgrößen und bei der Fertigung von Einzelstücken oder großer und komplizierter Abgüsse in Formkästen, im Herd oder in Formgruben angewendet. Bei der Sandformerei erhält der unmittelbar auf die Modelloberfläche gesiebte Sand besondere Beimengungen von Steinkohlenstaub, damit er nicht am Gießwerkstoff anbrennt. Außerdem werden die Modellflächen mit Formpuder bestreut, um das Anhaften zu verhüten. Das Modell löst sich alsdann glatt vom Formstoff.

Die aus dem Kohlesand und noch mehr aus den Bindemitteln der Kernmasse entweichenden *Gase* (»Luft«) sind brennbar (bläuliche Flamme). Damit die Gase entweichen können, sticht der Former mit dünnem Draht (Luftspieß) *Luftlöcher* in die Form. Es wird unterschieden Gießen in *nassem* und in *trockenem* Formstoff. Der Trockenguß ist für dickwandige Maschinenteile zuverlässiger. Um den (nassen) Formen besseren Halt zu geben, steckt der Former stählerne *Formstifte* (40 bis 200 mm lang, 0,9 bis 2,5 mm dick) hinein. Bei größeren Formen hängt er an den Enden umgebogene Stahlstücke (Sandeisen) in die Kästen und formt sie in den Sand mit ein. Vor dem Guß erhalten die inneren Formflächen der trockenen Sandformen zur Erzeugung glatter Gußoberflächen einen Anstrich mit »Schwärze« (Graphit- und Koksstaub mit Wasser) bei Gußeisen oder »Schlichte« bei Stahlguß.

Damit die einzelnen Sandballen der Kästen nicht aneinander haften, siebt man getrockneten Sand oder stäubt Formpuder auf die Berührungsflächen.

Die *Kerne* sollen den gewünschten Hohlraum in dem zu gießenden Stück aussparen. Sie werden in den Kernlagern gelagert (Kernmarken). Man nimmt zur Herstellung der Kerne fetten Sand, Lehm oder mageren Formsand, mit Kernbindern gemischt. Die Kerne müssen deshalb meist getrocknet werden. Zur Versteifung (Haltbarkeit) dienen Kerneisen.

Beispiel: Herstellung einer Lagerbuchse (Bild 12.14). Der aus dem zweiteiligen Modell vorragende Teil m ist die *Kernmarke*, die schwarz lackiert ist, sie dient zur Lagerung des *Kerns* in der Form. Bild 12.14 zeigt *Kernkasten*, *Kern* und fertiges *Gußstück* im Schnitt. Viele Modelle werden zur Erleichterung des Einformens zwei- und mehrteilig hergestellt. Die Teile werden durch Dübel d so gegeneinander gesichert, daß ein Verschieben der einzelnen Teile beim Einformen ausgeschlossen ist.

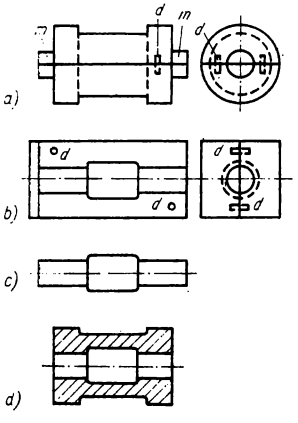


Bild 12.14. Handformerei
a) Holzmodell,
b) Kernkasten,
c) Kern,
d) Gußstück

Herdformerei

Im *offenen Herdguß* werden einfache Gußstücke hergestellt, bei denen es auf Genauigkeit, besonders der Oberflächen, weniger ankommt (Herd-, Ofenplatten, Roststäbe u. dgl.). – Die Gießereisohle besteht aus grobem Koks, darüber liegt eine Schicht Kleinkoks, hierüber grober Formsand, der mit Modellsand überdeckt ist. In der obersten Schicht werden Gußformen durch waagerechtes Einklopfen des Modells hergestellt.

Verdeckter Herdguß (Bild 12.15) findet Anwendung beim Abgießen größerer Gußstücke. Die Form wird durch eine dicke Platte p oder durch einen Kasten abgedeckt, zuweilen noch mit Massestücken beschwert (belastet); Leisten l dienen zum Auflegen der Platte; es bedeuten k Kerne, e Einguß, s Speiser

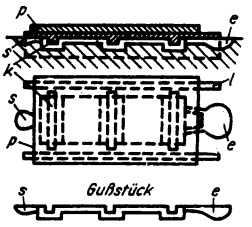


Bild 12.15. Verdeckter Herdguß

Kastenformerei

Sie ist die gebräuchlichste Art der Formherstellung für Klein- und Mittelguß.

Die Formkästen (metallische Rahmen) geben dem darin verdichteten Formstoff Halt, begrenzen das Volumen der verlorenen Form und nehmen den Seitendruck des flüssigen Gießmetalls auf. Sie ermöglichen ferner mehrteilige Formfertigung, Wenden, Transportieren und Stapeln der Formen und finden sowohl bei der Handformerei als auch bei der Maschinenformerei Anwendung. Unterschieden werden Bankformkästen, Maschinenformkästen, Mittelgußkästen und Krankästen (werden aus einzelnen Teilen entsprechend der gewünschten Größe zusammengesetzt).

Einformbeispiele

Einformen einer Stufenscheibe (Bild 12.16). Das Modell wird in Unterkasten u eingestampft (Bild 12.16a), wobei die obere Seite auf einem Brett b liegt. Kasten u wird gewendet, die modellfreie Sandfläche durch Übersieben von Trockensand isoliert und Oberkasten o auf u gesetzt. Speiser s und Einguß e (aus Holz vorgearbeitet) werden eingesetzt, und der Oberkasten wird aufgestampft. Dann werden Speiser- und Eingußtrichter angeschnitten und das Speiser- und Eingußmodell entfernt (Bild 12.16b). Nach vorsichtigem Abheben des Oberkastens wird dieser zur Seite gestellt und das Modell aus dem Unterkasten ausgehoben (Bild 12.16c). Die Formhälften werden dann durch Stecken der Formstifte gefestigt und durch Ausblasen von Unreinigkeiten gesäubert. Hierauf werden Kern k in den Unterkasten u eingesetzt und der Oberkasten o vorsichtig aufgesetzt (Bild 12.16d). Speiser und Einguß werden bis zum Guß abgedeckt, damit kein Sand oder andere Verunreinigungen in den Formhohlraum gelangen können.

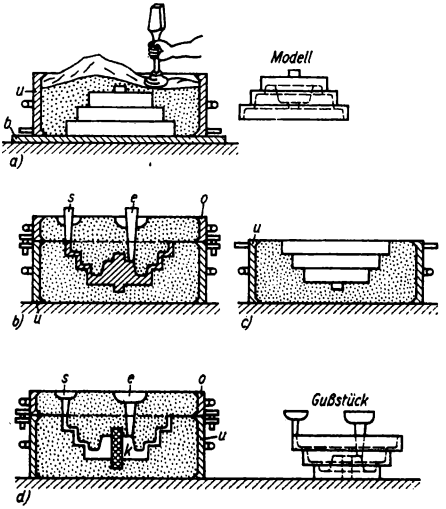


Bild 12.16. Einformen einer Stufenscheibe

Herstellen eines komplizierten Gußteils in 3 Kästen (Bild 12.17). Das Modell muß zweiteilig (in der Mitte geteilt) sein. Zuerst wird das Modell auf den Aufstampfboden aufgelegt, der Mittelkasten m darübergesetzt und danach ausgerichtet und dann aufgestampft. Nun wird der Unterkasten u aufgesetzt und aufgestampft. Dann werden u und m zugleich geschwenkt (gewendet), der Oberkasten o aufgesetzt, Einguß- und Speisermodelle angesetzt und der Oberkasten o aufgestampft. Anschließend wird der Oberkasten o abgehoben, das Einguß- und Speisermodell entfernt und die Modellhälfte a_1 ausgehoben. Nach dem Abheben des Mittelkastens m wird die Modellhälfte a_2 ausgehoben, das Anschnittsystem fertiggestellt, und die Form wird wieder zusammengebaut. Nach Aufbringen der Belastung B kann abgegossen werden. Bild 12.18 zeigt das fertige Gußstück mit dem Anschnittsystem.

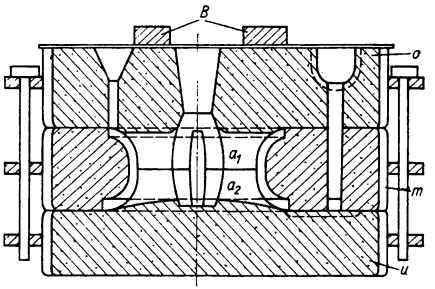


Bild 12.17. Herstellen eines komplizierten Gußteiles

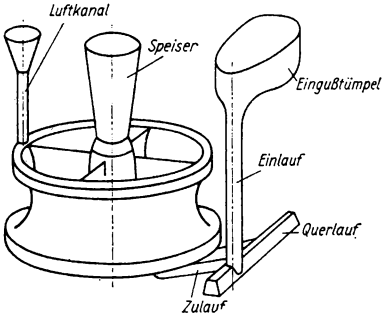


Bild 12.18. Gußstück mit Anschnittsystem

Schablonenformerei

Sie ist bei größeren Stücken (Schwung- und Zahnrädern, Seil- und Riemenscheiben) üblich. Die Schablone ist billiger als ein Holzmodell, bedingt aber mehr Formerarbeit.
Formen eines Zahnrades mit Gußzähnen (Bild 12.19). Die formschneidende Kante der beiden Schablonen ist mit Blech beschlagen. Naben und Arme sind Modellstücke, die eingesetzt und im Oberkasten festgestampft werden. Hier schneidet s_1 die äußere Form, die lediglich hergestellt wird, um einen Oberkasten aufzusetzen und vollzustampfen. Der volle Oberkasten wird abgenommen, und darauf schneidet s_2 die untere Form bis zum Zahnfuß. Rahmen r wird zur gleichmäßigen Verteilung der Arme eingesetzt. Zum Eindrücken der Zähne dient Zahnboden z mit 3 bis 5 Zähnen (Zahnlücken).

Lehmformerei

Sie wird bei großen, selten gebrauchten Teilen angewandt. Als Formmasse werden zur äußeren Begrenzung mit Lehm aufgemauerte poröse Ziegelsteine benutzt, als Unterlage zerkleinerter Koks und als Bindemittel gekneteter Formlehm, dem Lockerungsmittel beigemischt sind. Ein Überzug von Schwärze gibt der Formoberfläche die erforderliche Hitzebeständigkeit. Die Lehmformerei ergibt saubere Abgüsse.

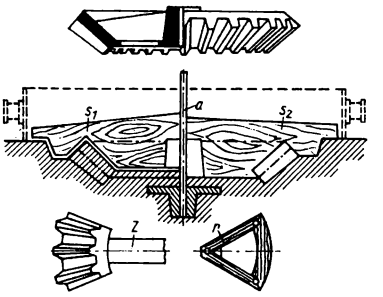


Bild 12.19. Zahnradeinformung

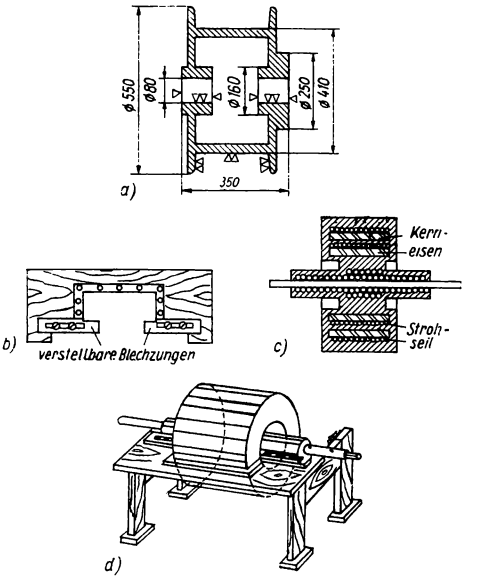


Bild 12.20. Lehmkernherstellung
a) Werkzeichnung (Maße unvollständig), b) Kernschablone, c) Kernaufbau, d) Kerndrehbank

Beispiel: Herstellung eines Lehmkernes (Bild 12.20).
Arbeitsgänge für den Kern:

1. Spindel einlegen,
2. Kernschablone aufspannen,
3. Strohseile aufwickeln, abwechselnd mit Lehmschicht,
4. Blechzungen an Schablone einstellen,
5. Lehm auftragen, Kerneisen auflegen, Strohseile abwechselnd mit Lehmschicht aufwickeln,
6. Fertigschablonieren mit dünnflüssigem Lehm,
7. Herausnehmen aus der Drehbank,
8. Kern trocknen,
9. Nachprüfen, schwärzen, nachtrocknen.

Maschinenformerei

Sie findet Anwendung bei *Massenfertigung* (Lager, Riemenscheiben, Armaturen usw.). Diese Formmaschinen bringen große Vorteile durch Vereinfachung und Wegfall bestimmter Arbeitsgänge. Die Formstoffverdichtung, das Ausheben des Modells und das Abheben der Formkästen erfolgen maschinell. Dadurch entfällt schwere körperliche Arbeit, Arbeitszeit wird eingespart und weitgehende Übereinstimmung der einzelnen Abgüsse erreicht. Die für die Maschinenformerei benötigten *Modellplatten* (Werkstoff: Grauguß, Aluminium-Gußlegierungen, Plaste oder Gips) tragen Modellhalbteile und

auch das Anschnittsystem. Nach der Art der Trennung von Modell und Formstoff werden unterschieden: *Abhebe-*, *Absenk-*, *Wendeplatten-*, *Wende-*, *Umroll-* und *Durchziehformmaschinen*. Nach der Art der Sandverdichtung werden unterschieden: Preß-, Rüttel-, Rüttel-Preßformmaschinen und Sandslinger. Formmaschinentypen modernerer Bauart zeigen die Schemadarstellungen Bild 12.21 und Bild 12.22.
Moderne Formautomaten (z. B. Multomatic) erzeugen als Höchstleistungen bis 280 Formteile je Stunde. Durch Einordnung der Formmaschinen in mechanisierte Formanlagen (Bild 12.23) wird die Wirtschaftlichkeit der Formherstellung erheblich gesteigert. Auch die *Kernherstellung* erfolgt bei größeren Serien maschinell, wobei nach den Kernverdichtungsverfahren *Kernstopf-*, *Kernpreß-*, *Kernrüttel-*, *Kernblas-* und *Kernschießmaschinen* unterschieden werden. Die Kernverfestigung kann dabei thermisch (z. B. Hot-box- und CRONING-Verfahren oder thermische Verfestigung im Ofen) bzw. durch chemische Umsetzungen erfolgen (z. B. CO_2-Wasserglas-Verfahren, No-bake- und Cold-box-Verfahren).
Durch den Einsatz von Form- und Kernformmaschinen wird die Arbeitsproduktivität erhöht, schwere körperliche Arbeit fällt weg, es werden weniger Arbeitskräfte und kleinere Produktionsflächen benötigt, und gleichbleibende Form- und Kernqualität sind gewährleistet.

Spezielle Formverfahren

Das *Zementsandformverfahren* wird hauptsächlich bei Grauguß zur Herstellung größerer Formen angewendet. Als Formstoff dient *Quarzsand*, dem *Portlandzement* als Binder beigemischt ist (Zement zu Quarzsand etwa 1:8), der erforder-

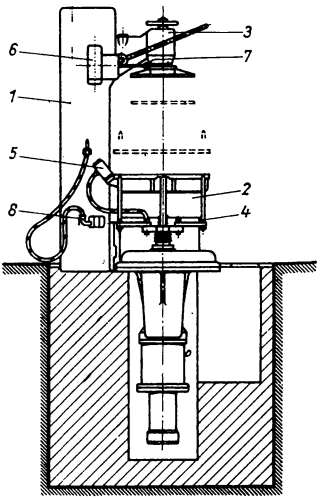


Bild 12.21. Rüttel-Preßformmaschine
1 Ständer, 2 Preßkolben, 3 Preßholm, 4 Stiftabhebung, 5 Vibrator, 6 Steuerventil, 7 Kugelgelenkschaltung, 8 Druckluftanschluß

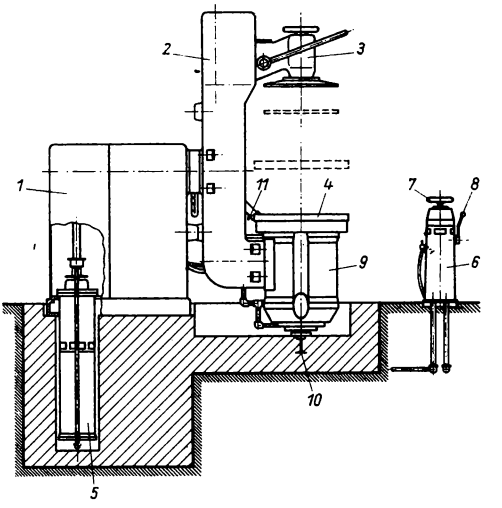


Bild 12.22. Rüttel-Preß- und Wendeformmaschine
1 Ständer, 2 Wendearm, 3 Preßholm, 4 Rüttler mit Preßkolben, 5 Wendezylinder, 6 Steuersäule, 7 Handrad, 8 Kugelgriff, 9 Preßzylinder, 10 Abstützvorrichtung, 11 Rüttlereinstellung

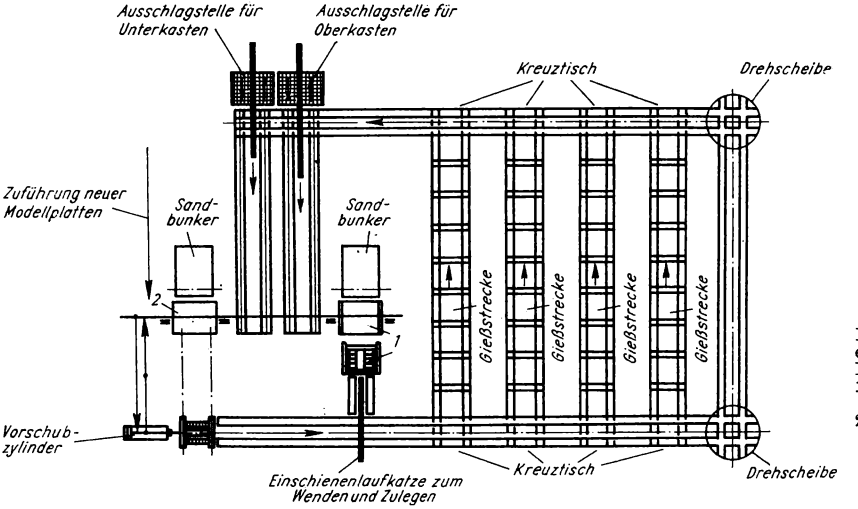


Bild 12.23. Schema einer mechanisierten Formanlage
1 Formmaschine für Oberkasten,
2 Formmaschine für Unterkasten

liche Wassergehalt liegt bei 5 %. Der hydraulische Binder Zement härtet durch chemisches Abbinden des Wassers aus, und die Formen erreichen, ohne daß eine Trocknung notwendig ist, nach etwa 24 h die notwendige Standfestigkeit. Es wird nur eine dünne, etwa 10···20 mm dicke Zementsandschicht an das Modell angelegt und dann mit Füllsand hinterstampft. Da Zementsandformen sehr standfest sind, erzielt man maßgenaue Gußstücke mit guter Oberflächenqualität, so daß die nachfolgende spanende Bearbeitung verringert werden kann. Ein besonderer Vorteil gegenüber dem Trockenguß ist der Wegfall des Trockenvorgangs, ferner wird weniger Armierungsmaterial für die Form- und Kernherstellung benötigt.

Das *Kohlensäure-Wasserglas-Formverfahren (CO_2-Verfahren)* bringt bei der Herstellung von Formen und Kernen viele Vorteile. Formen und Kerne können sofort nach der Herstellung abgegossen werden, ohne daß ein vorheriger Trockenprozeß erforderlich ist. Außerdem wird durch das sofortige Härten im Kernkasten oder am Modell gute Maßgenauigkeit der Formen und somit der Gußstücke erreicht, was zu nur geringen erforderlichen Bearbeitungszugaben führt. Dem Quarz- oder Formsand (Quarzsand für Stahl- und Gußeisen, Formsand teilweise auch für NE-Metallgießereien) wird Natriumwasserglas (Na_2SiO_3) beigemischt. Da die ausgehärteten CO_2-Sande gute Druckfestigkeit aufweisen, braucht nur eine dünne Schicht Formstoff in den Kernkasten eingedrückt bzw. an das Modell angelegt zu werden. Durch Einleiten von CO_2 findet dann der Abbindevorgang statt. Das Einleiten wird, abhängig von der Größe der herzustellenden Kerne oder Formen, mit einer CO_2-Brause-, CO_2-Einsteckdüse oder Abdeckplatte und bei der Formherstellung besonders durch das Modell bzw. Modellhalbteil durchgeführt (Bild 12.24).

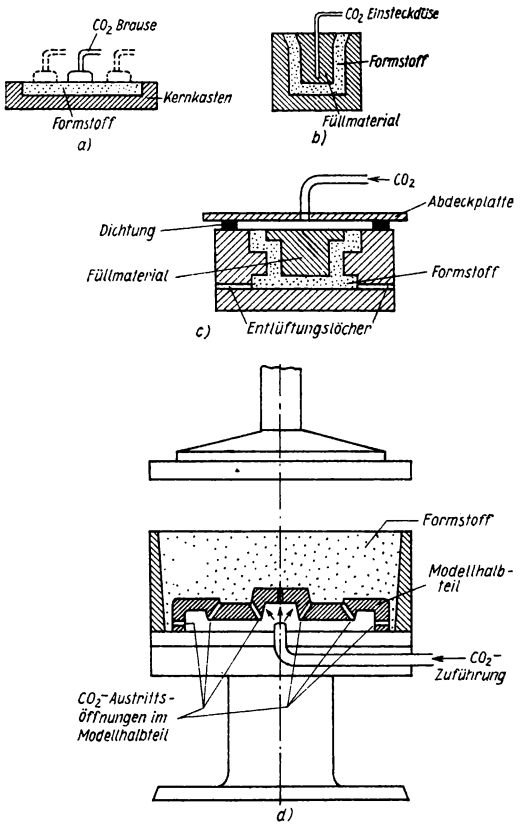


Bild 12.24. CO_2-Verfahren
a) Härten mit CO_2-Brause, b) Härten mit CO_2-Einsteckdüse, c) Härten mit Abdeckplatte, d) CO_2-Einleitung durch das Modell

Besonders geeignet ist das CO_2-Verfahren für die Herstellung von kastenlosem Stapelguß. Hierbei wird nur CO_2-Sand verwendet, damit die Formteile die erforderliche Festigkeit erreichen.

Das *Ton-Wasserglas-Verfahren* stellt eine Erweiterung des CO_2-Wasserglas-Verfahrens dar. Es wird hauptsächlich bei der Formherstellung angewendet und ermöglicht auch die Fertigung von Formen mit komplizierteren Konturen. Der Formstoff besteht aus Quarzsand, hochwertigem Ton und Wasserglas, er besitzt gute Grünstandfestigkeit. Das Abbinden des Wasserglases erfolgt durch den CO_2-Anteil der Luft und ist, je nach der Größe der Formen, in 12···24 h beendet. Gegenüber dem CO_2-Wasserglas-Verfahren entfällt also eine CO_2-Begasung. Nach diesem Verfahren werden große Gußstücke (bis zu 12 t Stückmasse) gefertigt.

Durch das *Maskenformverfahren* (nach CRONING) wird – im Gegensatz zu den sonst gebräuchlichen Blockformen – unter Verwendung eines geeigneten Formstoffgemisches eine sogenannte Formmaske hergestellt. Diese besteht aus einer wenige Millimeter dicken Formstoffschicht und umgibt den Formhohlraum schalenförmig. Dem Quarzsand werden als Bindemittel feinstvermahlene Novolake mit einem Hexamethylentetraminzusatz beigegeben. Die Mischung besteht dann aus etwa 93···96 Masseanteilen trockenen Quarzsands und etwa 7···4 Masseanteilen des genannten Kunstharzpulvers. Dieses Sand-Kunstharz-Gemisch wird auf die erhitzte Modellplatte aufgeschüttet bzw. aufgeblasen oder in den erhitzten Kernkasten eingeblasen.
Durch die Hitzeeinwirkung wird das dicht auf der Modellplatte liegende Harz aufgeschmolzen, und die Quarzkörner werden miteinander verkittet. Aus der Dauer der Einwirkung ergibt sich dann die Dicke der sich bildenden Maske. Nach Entfernung des überschüssigen Formstoffes wird die Modellplatte mit der teilweise noch plastischen Maske in einen Härteofen gebracht und bei etwa 500 °C 40···70 s ausgehärtet (Bild 12.25). Anschließend wird die Maske von der Modellplatte abgehoben, und die Formmaskenhälften werden miteinander verklebt. Die fertigen Maskenformen kommen dann zum Abgießen in spezielle Abgießvorrichtungen. Vorteile des Formmaskenverfahrens liegen in der wirtschaftlichen Fertigung, der hohen Maßgenauigkeit und Oberflächengüte, mit der man die Gußstücke herstellen kann. Es werden Toleranzen ±0,15 % des Nennmaßes eingehalten, und die zu erreichende Oberflächenrauheit liegt bei Verwendung von Feinschichtmassen bei 10···35 µm. Das Maskenformverfahren wird zu den Genaugußverfahren gerechnet.

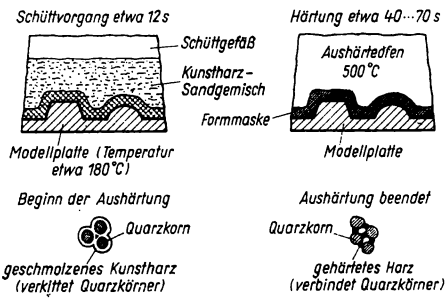


Bild 12.25. Maskenformverfahren

Bei *Feinguß nach Ausschmelzmodellen* können Gußstücke mit einer Maßgenauigkeit hergestellt werden, wie sie bei keinem anderen Gießverfahren zu erreichen ist. Dasselbe gilt für die zu erzielende Oberflächenrauheit, die etwa zwischen 10 und 20 µm liegen kann (s. Tabelle 12.14).

Tabelle 12.14: Normal erreichbare Längentoleranzen an Feingußteilen

Prozentangabe	Abmessungen
±0,1	für Nennmaße bis 20 mm
±0,2	für Nennmaße von 20···50 mm
±0,3	für Nennmaße von 50···75 mm
±0,7	für Nennmaße über 75 mm
±30′	für Winkel

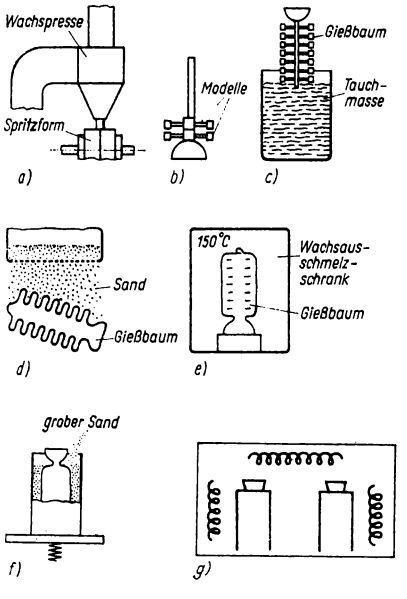


Bild 12.26. Feinguß nach Ausschmelzmodellen
a) Spritzen des Modells, b) Montage des Gießbaumes, c) Tauchen des Gießbaumes, d) Bestreuen mit Sand, e) Ausschmelzen des Wachses, f) Einpacken und Rütteln, g) Glühen, h) Abgießen

In besonderen Spritzformen werden die Ausschmelzmodelle aus Wachs oder aus Polystyrol (für kleine Werkstücke und solche mit dünnsten Wanddicken) hergestellt (Bild 12.26). Diese werden nach dem Abspritzen und Erkalten zu sogenannten Gießbäumen zusammengesetzt (b). Die Gießbäume werden dann in eine Tauchmasse getaucht, die aus etwa 90 % Quarzmehl und 10 % Tonerde mit hydrolysiertem Äthylsilikat besteht, und dann mit Sand (c, d) bestreut. Nachdem man durch etwa vier- bis fünfmaliges Wiederholen dieses Arbeitsganges eine genügend dicke Überzugsschicht erhalten hat, wird das Wachs in einem Wachsausschmelzschrank oder durch Lösungsmittel (e) entfernt. Die Bäume werden in Glühtöpfe eingebracht und mit grobem Sand (f) hinterrüttelt. Anschließend wird die keramische Formhülle etwa 8···10 h bei etwa 1000 °C geglüht (g). Abgießen (h) erfolgt in die noch heißen Formen. Nach dem Auspacken und Entfernen der Überzüge werden die einzelnen Gußteile mit mechanischen Einrichtungen vom Einguß abgetrennt und die Trennstellen verschliffen.
Vorteilhaft für die Anwendung des Feingußverfahrens ist eine große Stückzahl, da die zur Herstellung der Ausschmelzmodelle erforderlichen Spritzgußformen sehr teuer sind.

12.4. Spezielle Gießverfahren in Dauerformen

NE-Metall-Kokillenguß. Die physikalischen und technologischen Eigenschaften der Aluminium- und Magnesiumlegierungen machen diese für den Kokillenguß besonders geeignet. Auch einige Kupfergußlegierungen, z. B. Messing, Sondermessing und Aluminiumbronze, sind gut in Kokillen vergießbar.
Vor Beginn des Abgießens sollen die Kokillen auf etwa 150 °C erwärmt werden. Sie erhalten einen Schlichteüberzug, der die Kokillen vor Zerstörung schützt, den Wärmehaushalt beeinflußt und leichteres Entfernen der Gußstücke ermöglicht.

Die Vorteile des Kokillengusses liegen in der durch die rasche Abkühlung erzielten Gefügeverbesserung, der guten Oberflächengüte und Maßgenauigkeit der Gußstücke. Durch die Gefügeverbesserung erreicht man höhere Festigkeitswerte, die es wiederum ermöglichen, die Querschnitte zu vermindern (Materialeinsparung gegenüber dem Sandguß). Bei Aluminium-Gußlegierungen können bis zu 60000, bei Magnesium-Gußlegierungen bis zu 120000 und bei Kupferlegierungen bis zu 30000 Abgüsse aus einer einzigen Form hergestellt werden. Mit der gleichen Anzahl von Arbeitskräften kann man beim Kokillengußverfahren die 3- bis 4fache Produktion im Vergleich zum Sandguß erzielen. Durch den Einsatz moderner Kokillengußmaschinen (Bild 12.27), in die die Kokillen eingespannt werden, wobei dann das elektrohydraulische Steuerprogramm das Schließen der Kokille, das Einfahren der Kerne, das Zuhalten der Kokille bis zur Erstarrung des Metalls, das Ziehen der Kerne und das Öffnen der Kokille umfaßt, ist besonders wirtschaftliches Arbeiten möglich.

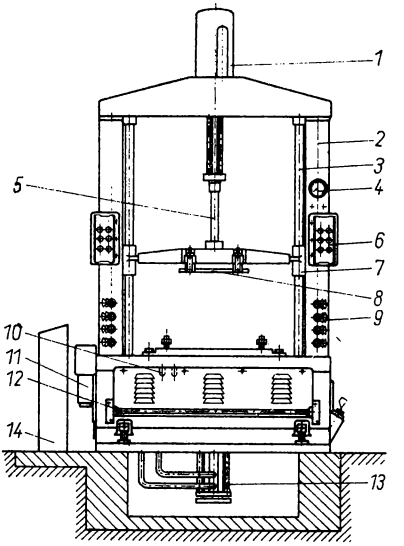


Bild 12.27. Kokillengußmaschine
1 Zylinder (Öffnen der Kokille), 2 Tragsäulen, 3 Führungssäulen, 4 Öldruckmanometer, 5 Kupplungsstange, 6 Elektroautomatik, 7 Führungsschlitten, 8 Kokillenträger, 9 Gas- und Luftanschlüsse, 10 Anschlüsse für seitliche Kernzüge, 11 hydraulische Aggregate, 12 Fuß-Stopp-Bügel, 13 Zylinder (Kernzug nach unten), 14 elektrische Steuereinrichtung

Eisen-Kokillenguß bringt neben den besseren Werkstoffeigenschaften noch Erhöhung des Ausbringens, Senkung des Ausschusses, der Kreislaufmaterialmenge, der Fertigungslöhne und Selbstkosten, den Wegfall des Formkastenparks und physische Erleichterung für die Arbeiter. Nicht alle Gußteile sind für den Kokillenguß geeignet, evtl. ist Umkonstruieren der Werkstücke erforderlich.
Das Verfahren eignet sich besonders für kompakte, dickwandige Teile. Tabelle 12.15 gibt einen Überblick über die Anwendungsbereiche.

Tabelle 12.15: Anwendungsbereiche des Eisen-Kokillengusses

Werkstoff	Gußstückmasse kg	Wanddickenbereiche mm
Gußeisen	0,05···≈9500	≈ 9···400
Stahlguß	≈20···1800	≈16···180
Temperguß	bis ≈2,8	≈ 3··· 15

Niederdruck-Kokillenguß. Während beim allgemeinen Kokillenguß die Formfüllung unter Einfluß der Schwerkraft und die Erstarrung unter normalem Luftdruck erfolgt, wird beim Niederdruck-Kokillenguß ein Gasdruck von ≈0,2 bis 0,3 kp/cm² bei der Formfüllung und Erstarrung angewendet. Die Schmelze befindet sich im luftdicht abgeschlossenen Tiegel eines Warmhalteofens (Bild 12.28). Bei Beaufschlagung des Metallspiegels mit Druckluft steigt das flüssige Metall im Steigrohr nach oben und füllt somit die auf der Abdeckplatte befestigte Kokille. Nach vollständiger Erstarrung des Gußteils wird der Druck weggenommen, und das Gußstück kann aus der Kokille entnommen werden. Die Gußstücke sind von hoher Qualität.

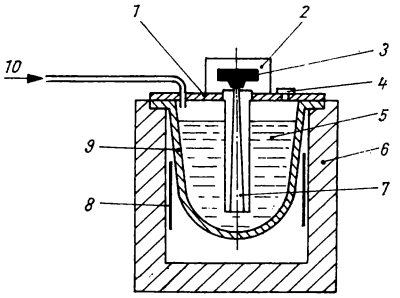


Bild 12.28. Niederdruck-Kokillenguß
1 Abdeckplatte, 2 Kokille, 3 Gußstück, 4 Nachfüllöffnung, 5 Schmelze, 6 Ofenmantel, 7 Steigrohr, 8 Heizwiderstände, 9 Tiegel, 10 Luft ($p \approx 0{,}2$ kp/cm²)

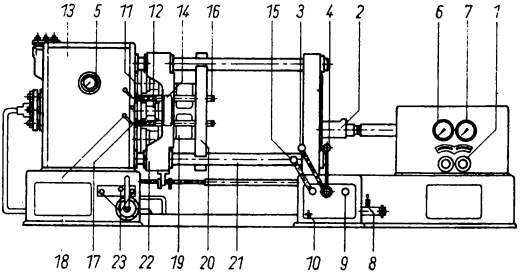


Bild 12.29. Druckgußmaschine
1 Druckstufenregler für Preßzylinder, 2 Füllzylinder und Preßkolben, 3 Handsteuerhebel (Öffnen und Schließen), 4 Handsteuerhebel (Preßkolben), 5 Manometer (Pumpendruck), 6 Fernthermometer, 7 Preßdruck-Manometer, 8 hydraulisches Relais, 9 Nadelventil, 10 Stoppedal, 11 Schließzylinder, 12 Vorschubzylinder, 13 Ausgleichbehälter, 14 Anschlüsse für hydraulische Kernzüge, 15 Handsteuerhebel für hydraulische Kernzüge, 16 Ausstoßstange, 17 und 18 Spannorgane für Ausstoßstangen, 19 Distanzbock, 20 Aufspannplatte, beweglich, 21 Säulenführung, 22 Führungsschlitten, 23 Drosselorgane (Geschwindigkeitsregelung)

Unter *Druckguß* (früher Spritz- und Preßguß genannt) versteht man ein Gießverfahren, bei dem das Metall in flüssigem (Warmkammerverfahren) oder in teigigem Zustand (Kaltkammerverfahren) unter hohem Druck in eine Stahlform gebracht wird. Mit diesem Verfahren können einbaufertige Werkstücke mit Stückmassen vom Bruchteil eines Grammes bis zu mehreren Kilogramm mit saubersten Oberfläche und höchster Genauigkeit hergestellt werden. Dünnste Wanddicken (bei Zn-Legierungen ab 0,5 mm, bei Al-Legierungen ab 0,8 mm) können gegossen werden. Besonders für die Fertigung von Gußteilen komplizierter Form ist der Druckguß geeignet. Die wichtigsten Druckgußwerkstoffe (Gießmetalle) sind Aluminiumlegierungen, Zinklegierungen und Magnesiumlegierungen. Die Druckgußformen, die durch die hohen Schießdrücke und durch das unter Druck eindringende Metall besonders mechanisch, aber auch thermisch beansprucht werden, fertigt man aus legiertem Stahl an. Da diese Formen sehr kompliziert aufgebaut sind und mit hoher Genauigkeit hergestellt werden müssen, sind sie sehr teuer, so daß Druckguß nur für große Gußstückserien angewendet wird (Bild 12.29).
Tabelle 12.16 enthält einige *Werte für den Druckguß.*

Schleuderguß. Schleudergußteile zeigen besonders hochwertige Eigenschaften, die durch das Einwirken der Zentrifugalkraft auf das flüssige Gießmetall und die hohe Abkühlungsgeschwindigkeit erreicht werden. Das geschleuderte Gußgefüge ist frei von Poren und Mikrolunkern. Im Schleudergußverfahren (Tabelle 12.17) werden verarbeitet: Gußeisen (z. B. Rohrherstellung), Schwermetallegierungen und auch Leichtmetallegierungen. Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens liegt im Wegfall der gesamten Sandwirtschaft und des Formkastenparks, in der Materialeinsparung durch geringere Bearbeitungszugaben und im Wegfall von Seigern und Eingüssen. Ein weiterer Vorteil ist, daß gegenüber dem Kokillenguß alle Schwermetallegierungen verarbeitet werden können.

Stranggguß dient zur Herstellung von Halbzeugen (Gießprofile verschiedenen Querschnitts) aus Gußeisen, Stahl oder NE-Metallen. Das Gießmetall wird in wassergekühlte Kokillen, die unten und oben offen sind, gegossen und tritt aus der Kokille als Strang mit erstarrter Randschale aus und wird durch Führungs- und Vorschubwalzen weitergeführt. Die vollständige Erstarrung erfolgt auf einer Nachkühlstrecke. Beim kontinuierlichen Gießen werden die Stränge durch Sägen, Brennschneiden oder Scheren auf die gewünschten Längen gebracht. Beim schubweisen Gießen ergibt sich die Stranglänge aus dem eingebrachten Gießmetall. Es werden unterschieden *vertikale Strangführung*, die speziell bei Stahl und NE-Metallen angewendet wird, und *horizontale Strangführung*, die bei Gußeisen (Grauguß) zur Anwendung kommt. Moderne Stranggießanlagen für Stahl sind als *Bogen-Stranggußanlagen* (Bild 12.30) ausgebildet. Die Kokille steht vertikal, auf der Nachkühlstrecke wird der Strang in die horizontale Richtung überführt. Dort erfolgen Richten und anschließend Trennen. In der Sowjetunion wird nach einem ähnlichen Prinzip die Herstellung dünner Bleche, z. B. aus Grauguß (evtl. Impfen mit Zn oder Mg), vorgenommen. Das aus der Kokille austretende Material wird dabei von wassergekühlten Druckwalzen auf Dicken von 0,6···1,2 mm ausgewalzt.

Tabelle 12.16: Werte für Druckguß

Gußart	Aluminiumdruckguß	Magnesiumdruckguß	Zinkdruckguß
Ausbringezahl je Druckgußform (Schuß)	25000···50000	80000···150000	150000···1000000
durchschnittl. äußerste Stückgrößen			
Länge in mm	750	750	750
Breite in mm	500	500	500
Tiefe in mm	450	450	450
erreichbare Genauigkeit des Sollmaßes	bis 13,5 mm 0,03 mm über 13,5 mm 0,2···0,3 %	bis 13,5 mm 0,02 mm über 13,5 mm 0,1···0,2 %	bis 13,5 mm 0,01 mm über 13,5 mm 0,1 %
Bohrungsdurchmesser in mm	ab 2	ab 2	ab 0,6
durchschnittliche Stückmasse in kg	0,002···4,5	0,005···3	0,001···12

Tabelle 12.17: Verschiedene Verfahren des Schleudergusses

Bezeichnung	Art der herzustellenden Gußstücke	Prinzip
Schleuderformguß	beliebig ausgebildete Gußstücke	Dauerformen oder verlorene Formen werden sternförmig um einen zentralen Einguß angeordnet. Durch Drehung des ganzen Systems wird das Gießmetall über die Anschnitte in die Formen gedrückt.
unechter Schleuderguß	Rotationskörper mit nicht symmetrischen oder nicht zylindrischen Hohlräumen	Das Gießmetall wird in die um eine Achse rotierende Form (Kokille) gefüllt. Hohlräume werden durch eingelegte Sand- oder Metallkerne gebildet.
echter Schleuderguß	rotationssymmetrische Gußstücke mit zylindrischen konzentrierten Hohlräumen	Gießmetall wird in eine um ihre Achse rotierende rohr- oder ringförmige Kokille eingebracht, die bis zum Erstarrungsende in Drehbewegung bleibt. Es werden keine Kerne verwendet. Der echte Schleuderguß ist das am weitesten verbreitete Verfahren. Je nach Anordnung der Rotationsachse unterscheidet man Vertikal- und Horizontal-Schleuderguß.

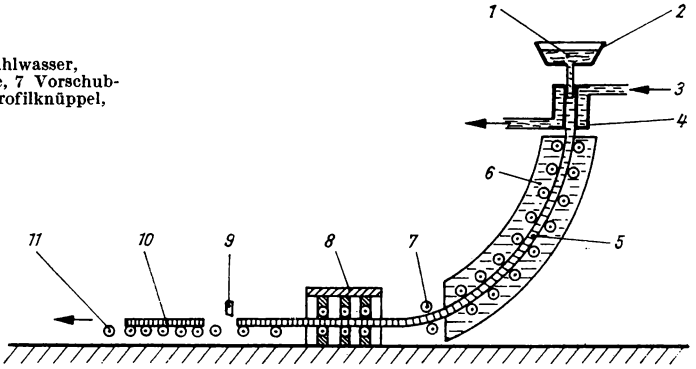


Bild 12.30. Bogen-Stranggußanlage
1 flüssiges Metall, 2 Zwischenpfanne, 3 Kühlwasser, 4 Kokille, 5 Gußstrang, 6 Nachkühlstrecke, 7 Vorschubwalzen, 8 Richtmaschine, 9 Trennen, 10 Profilknüppel, 11 Transportwalzen

Moderne Höchstleistungs-Stranggußanlagen können Gießgeschwindigkeiten bis 1,2 m/min und größte Stranggußquerschnitte bis 400 mm Durchmesser erreichen und sind vielfach so aufgebaut, daß gleichzeitig mehrere Stränge gegossen werden können.
Strangguß zeigt dichtes, feines und lunkerfreies Gefüge, läßt sich gut bearbeiten, polieren und oberflächenveredeln.

12.5. Gußputzen, Gußfehler, Gußfehlerbehebung

Putzen der Gußstücke

Nach dem Ausformen (Entfernen des Rohgußstückes aus der verlorenen oder Dauerform) wird in der Gußputzerei der Rohguß vom Kreislaufmaterial (Anschnittsystem und Speiser) und vom Gußgrat befreit, Sandkerne sowie anhaftender Formstoff müssen entfernt werden. Tabelle 12.18 gibt einen Überblick über *Arbeitstechniken* in der Gußputzerei.

Tabelle 12.18: Arbeitstechniken in der Gußputzerei

Bezeichnung	Charakteristik
Entkernen	Sandkerne werden manuell oder mechanisch aus dem Gußstück entfernt. Dabei wird mit Vibrationsmaschinen, mit Druckluft hämmern mit meißelartigen Einsätzen oder nach der hydraulischen Methode gearbeitet, wobei sich das Gußstück in einer abgeschlossenen Kammer befindet und der Kern durch einen starken Wasserstrahl aus dem Gußstück herausgespült wird (Naßputzen – keine Staubentwicklung.)

Tabelle 12.18 (Fortsetzung)

Bezeichnung	Charakteristik
Strahlen	Durch das Strahlen wird an der Oberfläche des Rohgußstückes haftender Formstoff entfernt. Hartes, körniges Strahlmaterial wird durch Druckluft oder Schleuderräder auf die Gußstückoberfläche geschleudert. Beim Naßputzen (Wasserstrahlputzen) erfolgt die Oberflächensäuberung durch einen starken Wasserstrahl mit oder ohne Strahlmittelzusatz.
Abtrennen des Kreislaufmaterials	Das Abtrennen des Kreislaufmaterials kann bei kleineren Gußstücken (vor allem bei Gußeisen) von Hand durch Abschlagen mit dem Hammer oder mittels Maschinen geschehen. Als Abtrennmaschinen werden Abgratpressen, Kreis- und Bandsägen und Trennschleifmaschinen verwendet. Bei großen, massenintensiven Gußstücken erfolgt das Abtrennen in den Stahl- und Eisengießereien durch Brennschneiden.
Schleifen und Fräsen	Nach dem Abtrennen am Gußstück verbliebene Rückstände sowie Gußnähte und Grat und evtl. auch Oberflächenunebenheiten werden durch Schleifen mit Handschleifmaschinen mit biegsamer Welle, mit Ständerschleifmaschinen, Bandschleifmaschinen oder Pendelschleifmaschinen entfernt. Bei Leichtmetallgußlegierungen wird hauptsächlich gefräst (biegsame Welle).

Tabelle 12.19: Gußfehlerklassifizierung (nach TGL 21237)

Benennung des Fehlers	Charakteristik	Feststellung durch	Auftreten des Fehlers
Fehlerklasse 100: Fehlerhafte Oberflächen und Gestaltabweichungen			
Fehlergruppe 110 (aus Metalloxiden oder Schmelzrückständen bestehende Oberflächenschichten) *Oxydierte Flächen*			
Oxidhäute	zum Teil gefärbte, faltige Oberflächenpartien	Sichtprüfung	jeder Gußwerkstoff
Fließbahnen	aus Oxiden und/oder Mikrolunkern bestehende Streifen oder Figuren im Bereich des Hauptfließweges	Sichtprüfung, Polieren	Aluminium-Gußwerkstoffe, Magnesium-Gußwerkstoffe
Kastenrost	interkristalline Rostbildung, stellenweise oder umfassend auftretend	Sichtprüfung	Gußeisenwerkstoffe, vorwiegend bei geringen Wanddicken
korrodierte Oberfläche	trockene, weißgraue, meist gleichmäßig verteilte Ausscheidungen	Sichtprüfung	kupferhaltige Aluminium-Gußwerkstoffe, Magnesium-Gußwerkstoffe
Salzausblühungen	vorwiegend nach dem Anodisieren bearbeiteter Flächen an feinen Poren auftretende, meist weiße Salzausscheidungen	Sichtprüfung	Aluminium-Gußwerkstoffe, Magnesium-Gußwerkstoffe
Zunder	Oxidschichten, die meist nach Wärmebehandlung in Erscheinung treten, blättern bei Schlag- oder Biegebeanspruchung ab	Sichtprüfung	Eisen-Gußwerkstoffe, Gußwerkstoffe, Reinkupfer und Chromkupfer
Fehlergruppe 120 (aus Formstoff, Metall-Formstoff-Gemenge oder Tempererz bestehende Oberflächenveränderungen) *Anhaftungen*			
Schwärzeschülpen	flacher, über die Oberflächenebene hinausstehender, zungenförmiger Metallansatz, welcher mit dem Gußstück verbunden ist	Sichtprüfung	jeder Gußwerkstoff in geschwärzten oder geschlichteten Formen
Sandschülpen	über die Oberflächenebene hinausstehender, zungenförmiger Metallansatz, welcher mit dem Gußstück verbunden ist	Sichtprüfung	jeder Gußwerkstoff in Sandformen
Schalen	dünne Schalen aus Metall auf einem Teil der Oberfläche, mit oder ohne feste Verbindung zum Gußstück	Sichtprüfung	jeder Gußwerkstoff
anhaftender Formstoff	dünne, fest haftende Krusten von mehr oder weniger stark geschmolzenem Formstoff oder angebrannter Formstoff	Sichtprüfung	Eisen-Gußwerkstoffe
anhaftendes Tempererz	fest haftende Krusten von mehr oder weniger stark gesintertem Tempererz	Sichtprüfung	Tempergußwerkstoffe
Fehlergruppe 130 (aus dem Grundmetall bestehende oder stammende unregelmäßige Verdickungen oder Vorsprünge) *Auswüchse*			
Grat	flache, messerartige Vorsprünge oder flache Auswüchse von unregelmäßiger Form, meist senkrecht zu einer Fläche des Gußstückes, an Formteilungen und Kernmarken	Sichtprüfung	jeder Gußwerkstoff in mehrteiligen Formen oder in Formen mit Kern
Blattrippen	unregelmäßige, dünne gratartige Vorsprünge, senkrecht zur Oberfläche stehend	Sichtprüfung	jeder Gußwerkstoff
Schlichtemarken	flache flächenartige Verdickungen unterschiedlicher Ausdehnung	Sichtprüfung, Messen	in Metallformen gegossene Werkstoffe
Treibstellen	stellenweise unregelmäßige Verdickungen	Sichtprüfung, Messen	jeder Grundwerkstoff in Formen ohne Trocknung und Aushärtung
Formbeschädigungen	unregelmäßige Auswüchse anstelle fehlender Form- oder Kernteile	Sichtprüfung	jeder Gußwerkstoff
Schwitzperlen	von der Zusammensetzung des Grundmetalls abweichende tropfenförmige Ausscheidungen	Sichtprüfung	Gußeisen-Werkstoffe, Schwermetall-Gußwerkstoffe, Leichtmetall-Gußwerkstoffe
eingebranntes Metall	rauhe, unregelmäßige Verdickungen durch sehr fest am Gußstück haftendes Gemenge von Formstoff und Metall	Sichtprüfung	Eisen-Gußwerkstoffe, Schwermetall-Gußwerkstoffe

Tabelle 12.19 (Fortsetzung)

Benennung des Fehlers	Charakteristik	Feststellung durch	Auftreten des Fehlers
Fehlergruppe 140 (Abweichungen des Gußstückes oder bei Teilen des Gußstückes von Gestalt oder Abmessungen) *Gestaltabweichungen*			
Versatz	gleichmäßige oder ungleichmäßige Verschiebung der Konturen in der Ebene der Formteilung	Sichtprüfung Messen	jeder Gußwerkstoff in mehrteiligen Formen
Verstampfungen	falsche Konturen durch verstampfte Ansteckteile	Sichtprüfung Messen	jeder Gußwerkstoff in Sandformen
Maßabweichungen	von Sollmaßen abweichende Abmessungen des Gußstückes	Sichtprüfung Messen	jeder Gußwerkstoff
Kernverlagerungen	abweichende, unterschiedliche Wanddicken, Wanddurchbrüche	Sichtprüfung Messen	jeder Gußwerkstoff
verzogener Guß	bei richtiger Masse teilweise oder vollständige Verformung	Sichtprüfung Messen	jeder Gußwerkstoff
beschädigter Guß	veränderte Konturen durch unsachgemäßes Behandeln der Gußstücke beim Entleeren, Putzen und Transport	Sichtprüfung Messen	jeder Gußwerkstoff
unvollständiger Guß	Abrundungen anstelle von Kanten; nicht vollständig gefüllte Form; anstelle der fehlenden Teile vertiefte Flächen mit Randgrat	Sichtprüfung Messen	jeder Gußwerkstoff
abgeschmolzener Guß	fehlende Teile oder veränderte Konturen am Gußstück nach dem Wärmebehandeln	Sichtprüfung Messen	jeder Gußwerkstoff
Brandstellen	Veränderung der Konturen durch Verbrennen des Metalls in der Form oder beim Wärmebehandeln	Sichtprüfung	Magnesium-Gußwerkstoffe, Aluminium-Magnesium-Gußwerkstoffe
Fehlerklasse 200: fehlerbehaftete Querschnitte und Werkstoffabweichungen *Blasen und Poren*			
Fehlergruppe 250 (ungleichmäßig verteilte, kantengerundete, glatte Hohlräume unterschiedlicher Größe)			
Blasen	zur Oberfläche des Gußstückes hin offene oder verdeckte, ungleichmäßig verteilte, kantengerundete, glatte Hohlräume unterschiedlicher Größe	Sichtprüfung Bearbeiten Röntgenprüfung Gammadefektoskopie	jeder Gußwerkstoff
Blasen an eingegossenen Teilen	in der Nähe oder an Berührungsstellen zwischen eingegossenen Teilen und Gußwerkstoff befindliche, ungleichmäßig verteilte, glatte Hohlräume unterschiedlicher Größe	Sichtprüfung Bearbeiten Röntgenprüfung Gammadefektoskopie	jeder Gußwerkstoff
Schaumstellen	blasige, schwammähnliche, mit Oxydationsprodukten (Schlacken) durchsetzte Stellen	Sichtprüfung Bearbeiten Röntgenprüfung Gammadefektoskopie	jeder Gußwerkstoff
Poren	glattwandige, nach dem Inneren des Gußstückes tropfenförmig erweiterte Kanäle bis 2 mm Durchmesser	Sichtprüfung, Bearbeiten, Röntgenprüfung bedingt, Gammadefektoskopie bedingt	jeder Gußwerkstoff
Fehlergruppe 260 (ungleichmäßig verteilte Hohlräume unterschiedlicher Größe mit rauher oder dendritischer (verästelter) *Lunker* Oberfläche)			
Einfallstellen	glattwandige, flache Oberflächenvertiefungen	Sichtprüfung Messen	jeder Gußwerkstoff
Makrolunker	zur Oberfläche des Gußstückes hin offene oder verdeckte Hohlräume mit rauher oder dendritischer Oberfläche, ohne optische Hilfsmittel erkennbar	Sichtprüfung Bearbeiten Röntgenprüfung Gammadefektoskopie	jeder Gußwerkstoff
Mikrolunker	fein verteilte, mit normalsichtigem Auge nicht erkennbare, interkristalline Hohlräume	metallographische Prüfung Röntgenprüfung Abdrückversuch	jeder Gußwerkstoff

Tabelle 12.19 (Fortsetzung)

Benennung des Fehlers	Charakteristik	Feststellung durch	Auftreten des Fehlers
Fehlergruppe 270 Einschlüsse	(nichtmetallische, fremdmetallische oder aus dem Grundmetall bestehende, mit dem Gußstück nicht verbundene Einlagerungen)		
Spritzkugeln	mit dem Gußstück nicht verbundene Einschlüsse mit der chemischen Zusammensetzung des Grundmetalls	Sichtprüfung, Bearbeiten, Röntgenprüfung bedingt, Gammadefektoskopie	jeder Gußwerkstoff
Formstoffeinschlüsse	aus Formstoff bestehende, einzelne oder in Anhäufungen vorkommende Einschlüsse unterschiedlicher Größe und Form	Sichtprüfung, Bearbeiten, Röntgenprüfung bedingt, Gammadefektoskopie bedingt	jeder in nichtmetallische Formen gegossene Werkstoff
Schlackeneinschlüsse	aus Schlacke oder Krätze bestehende oder in Anhäufungen vorkommende Einschlüsse unterschiedlicher Größe und Form	Sichtprüfung, Bearbeiten, Röntgenprüfung bedingt, Gammadefektoskopie	jeder Gußwerkstoff
Salzeinschlüsse	aus Schmelzbehandlungsmitteln bestehende, einzeln oder in Anhäufungen vorkommende Einschlüsse unterschiedlicher Größe und Form, an der Bildung dunkelfärbender Feuchtstellen erkennbar	Sichtprüfung Bearbeiten Röntgenprüfung bedingt	vorwiegend Magnesium-Gußwerkstoffe
Metalloxide	aus dem Grundmetall oder den Legierungselementen stammende harte Oxydationsprodukte unterschiedlicher Verteilung	Sichtprüfung, Bearbeiten, metallographische Prüfung	Nichteisen-Gußwerkstoffe
sonstige Einschlüsse	unter den in der Fehlergruppe 270 bisher beschriebenen nicht erfaßte metallische oder nichtmetallische Einschlüsse	Sichtprüfung, Bearbeiten, Röntgenprüfung bedingt, Gammadefektoskopie bedingt	jeder Gußwerkstoff
Fehlergruppe 280 Unterbrechungen	(teilweise oder vollständige Trennung des Gußstückes)		
Warmrisse	den Zusammenhang teilweise oder vollständig trennende Spalten mit oxydierten Flächen	Sichtprüfung, Klangprüfung, Magnetpulververfahren (ferromagnetische Werkstoffe), Eindringverfahren, Abdrückversuch	jeder Gußwerkstoff
Kaltrisse	teilweise oder vollständige Trennung, mit scharfen Rändern und metallischen Flächen	wie bei Warmrisse	jeder Gußwerkstoff
Kaltlaufdurchbrüche	den Zusammenhang trennende Durchbrüche mit abgerundeten Kanten	Sichtprüfung	jeder Gußwerkstoff
Kaltlaufkerben	den Zusammenhang unterbrechende Kerben unterschiedlicher Länge mit abgerundeten Kanten	Sichtprüfung	jeder Gußwerkstoff
Kerngratkerben	den Zusammenhang unterbrechende Kerben in den Ebenen der Kernteilung	Sichtprüfung	jeder Gußwerkstoff
Riefen	unregelmäßige fadenförmige Vertiefungen	Sichtprüfung	jeder Gußwerkstoff
Verbundfehler Gußwerkstoff/ Verbundteile	ungenügender oder unvollständiger Verbund zwischen Gußwerkstoff und eingegossenen Teilen	Ultraschallprüfung metallographische Prüfung Abdrückversuch	jeder Gußwerkstoff
Verbundfehler Gußwerkstoff/ Formhilfsmittel	fehlender oder unvollständiger metallischer Verbund zwischen Gußwerkstoff und Formhilfsmitteln	metallographische Prüfung Abdrückversuch	jeder Gußwerkstoff
Fehlergruppe 290 Werkstoffehler	(vom Standard oder Liefervertrag abweichende Werkstoffeigenschaften im Gußstück)		
abweichende Zusammensetzung	vom Standard oder Liefervertrag abweichende chemische Zusammensetzung	Werkstoffanalyse	jeder Gußwerkstoff
abweichende Festigkeitswerte	vom Standard oder Liefervertrag abweichende Festigkeitswerte	Festigkeitsprüfung	jeder Gußwerkstoff
abweichende Gefügestruktur	vom Standard oder Liefervertrag abweichende Gefügestruktur	technologische Prüfung, metallographische Prüfung	jeder Gußwerkstoff
abweichende physikalische Werte	vom Standard oder Liefervertrag abweichende physikalische Werte	physikalische Prüfung	jeder Gußwerkstoff

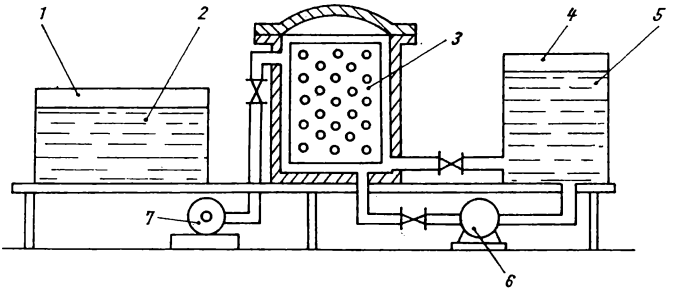


Bild 12.31. Vakuum-Druckanlage
1 Spülbehälter, 2 Spülflüssigkeit, 3 Autoklav mit Einsatzkorb, 4 Imprägniermittelbehälter, 5 Imprägniermittel, 6 Druckpumpe, 7 Vakuumpumpe

Gußfehler und Möglichkeiten der Gußfehlerbehebung

Alle möglichen Gußfehler sind in TGL 21237 zusammengefaßt und klassifiziert. Dadurch sind systematische Ausschußforschung unter Anwendung mathematisch-statistischer Methoden und gute Verständigung zwischen Gußbesteller und Gußhersteller möglich. Aus TGL 14412 ist ersichtlich, wie durch Imprägnieren eine teilweise Gußfehlerbehebung möglich ist. Tabelle 12.19 gibt einen Überblick über die *Gußfehlerklassifizierung* nach TGL 21237.
Gußfehlerbehebung ist möglich durch Imprägnieren mit Epoxid- und Polyesterharzen, Lacken, Monostyrol oder Wasserglas (mit organischen Komponenten und ohne sie). Das Imprägnieren kann nach dem Umwälz-Druck- oder dem *Vakuum-Druckverfahren* erfolgen. Bei letzterem werden die fertigbearbeiteten, sauberen und fettfreien Gußstücke im Einsatzkorb in den Autoklaven gebracht (Bild 12.31). Dieser wird auf weniger als 20 Torr Druck evakuiert. Nachdem das Vakuum etwa 20···30 min gehalten worden ist, wird umgeschaltet und das Imprägniermittel eingeleitet, welches beim Druck von etwa 5···7 kp/cm² etwa 10···20 min auf das Gußstück einwirkt. Damit wird das Abdichten der Gußstücke erreicht. So behandelte Teile eignen sich besonders für hochvakuum- oder hochdruckbeanspruchten Einsatz.

12.6. Pulvermetallurgie

Unter Pulvermetallurgie werden die Metallpulvergewinnung und die Weiterverarbeitung der Pulver zu Fertigteilen oder Halbzeugen durch Formgebung und Wärmebehandlung *(Sintern)* verstanden. Sinterwerkstoffe können erzeugt werden aus Pulvern von Metallen, Metallegierungen, Metalloiden, Metalloxiden und deren Mischungen mit Nichtmetallen. Daraus lassen sich herstellen: Formteile aus Legierungen mit hohem Anteil an hochschmelzenden Metallen; Formteile, bestehend aus Komponenten, die im flüssigen Zustand nicht mischbar sind oder sehr unterschiedliche Schmelzpunkte haben. Außerdem können Formteile aus Mischungen von Metallen und Nichtmetallen und, je nach dem Preßdruck, poröse Metallformteile für Lager, Filter usw. gefertigt werden.

Die *Pulverherstellung* kann mechanisch erfolgen durch Zerkleinern fester Stoffe oder durch Gewinnung aus der Schmelze (Granulieren, Verspritzen, Zerstäuben oder Verdüsen). Wichtige chemische Pulvergewinnungsverfahren sind das Karbonylverfahren, die Reduktion von Oxiden, die Mischfällung oder die Pulvergewinnung durch interkristalline Korrosion. Auch elektrochemische oder physikalische Pulvergewinnung kann angewendet werden.
Die Rohpulver werden vor der Weiterverarbeitung oft noch aufbereitet. Das geschieht durch Glühbehandlung in Schutzgasatmosphäre oder im Vakuum. Dadurch werden die Pulver-

Tabelle 12.20: Wichtige pulvermetallurgische Werkstoffe

Werkstoff	Anwendungsbeispiele
Sintereisen mit großer Porigkeit	selbstschmierende Gleitlager (Porigkeit bei 20 %)
Sintereisen mit geringer Porigkeit und Sinterstahl	Weicheisenteile für Gleichstromtechnik, Massenformteile (z. T. nachträglich vergütbar oder oberflächenhärtbar)
legierte Sinterstähle	hauptsächlich für korrosionsbeständige Formteile
gesinterte Eisen-Graphit-Werkstoffe	Reibwerkstoff für Bremsbeläge und Kupplungen, wartungsfreie Gleitlager, Kontaktstücke, z. B. für Stromabnehmer
Tränklegierungen	aus Sinterstahl und Kupferlegierungen für Maschinenteile mit hohen Festigkeitsforderungen; aus hochschmelzenden und gut leitenden Metallen für Kontakte (Hochleistungsschalter)
Sinterbronze	Metallfilter
gesinterte hochschmelzende Metalle (W, Mo, Nb, Ta)	Kontakte, Röhrenelektroden, Wendel für Glühlampen, Spinndüsen
gesinterte Hartmetalle	Werkzeuge für die Zerspanung, besonders beanspruchte Teile von Schnitt- und Umformwerkzeugen
gesinterte Diamantmetalle	Diamantwerkzeuge, Diamantschleifscheiben
Sintertonerde mit metallischen Zusätzen	Schneidkeramik
Cermets (Metalloxid-Metall-Keramik)	Höchsttemperaturwerkstoffe, Heißleiter (Halbleiter)
gesinterte Metallkohlen	hauptsächlich Schleifkontakte
gesinterte Dauermagnetwerkstoffe (Si-legiertes Sintereisen, Fe-Si-Al-Legierungen, Fe-Ni-Al-Legierungen)	Haftmagnete, Meßgeräte usw.
gesinterte Reinmetalle	Sonderwerkstoffe, Vakuumtechnik usw.

teilchen zum Weichglühen gebracht und gleichzeitig Oxide und andere Verunreinigungen entfernt. Außerdem werden die Rohpulver durch Sieben, Schlämmen oder Sichten klassiert (Trennen nach verschiedenen Kornklassen).

Die *Formgebung* erfolgt bei Formteilen durch Pressen, bei der Herstellung von Halbzeugen durch Strangpressen oder durch Auswalzen des Pulvers.

Das *Kaltpressen* erfolgt bei Raumtemperatur. Entsprechend dem Preßdruck werden mehr oder weniger poröse Formteile erhalten. Beim *Heißpressen* (Drucksintern), angewendet bei schwer verpreßbaren Pulvern, wird mit erhöhten Temperaturen gearbeitet. Das ergibt fast porenfreie Formteile. Die Preßdrücke liegen im allgemeinen zwischen 2 und 10 Mp/cm². Beim *Sintervorgang*, der bei Temperaturen durchgeführt wird, die etwa $^2/_3$ bis $^3/_4$ der Schmelztemperatur des Hauptbestandteils der Pulvermischung betragen, erfolgt Oberflächen- und auch Gitterdiffusion sich berührender Pulverteilchen.

Herstellung von Sintereisen. Metallpulver wird in eine Form gepreßt und bis dicht unter den Schmelzpunkt erwärmt, so daß die einzelnen Metallteilchen zusammenbacken. Bei der Herstellung werden drei Teilstufen unterschieden: Herstellen des Eisenpulvers, Pressen der Teile und Wärmebehandlung.
Die Herstellung des Eisenpulvers erfolgt durch mechanische Zerkleinerung in Wirbelschlagmühlen oder durch Reduktion von Eisenoxid. Das Pressen der Teile geschieht in Preßwerkzeugen aus Edelstahl bei Preßdrücken zwischen 2 und 10 Mp/cm², und die Wärmebehandlung wird meist in elektrischen Durchlauföfen vorgenommen. Die Durchlaufzeit solcher Öfen beträgt etwa 24 h, wobei die Sintertemperatur von 1000···1100 °C etwa 2 h einwirkt. Um eine Oxydation zu vermeiden, muß die Sinterung unter einer Schutzgasatmosphäre durchgeführt werden.
Die Zugfestigkeit von Sinterteilen liegt zwischen 10 und 30 kp/mm². Durch Sintern von kohlenstoffhaltigen Pulvern oder in kohlenstoffabgebender Atmosphäre erhält man den sogenannten Sinterstahl, der größere Härte und höheren Verschleißwiderstand aufweist. Der Vorteil von Sinterteilen liegt in der großen Maßgenauigkeit, wodurch weitere Bearbeitung entfällt. Außerdem sind Sinterteile sehr porenreich und können daher leicht mit anderen Stoffen getränkt werden (z. B. Tränken mit Öl und Verwendung als selbstschmierende Gleitlager).

Herstellung der Sinterhartmetalle. Sie werden durch Mischen, Pressen und Sintern (Zusammenbacken) von Karbid- und Metallpulvern hergestellt. Sinterhartmetalle, fast diamanthart, eignen sich zur Bearbeitung aller Werkstoffe und werden als Plättchen auf die Werkzeuge aufgelötet; Schnittgeschwindigkeit bis zu 100 % höher als bei Schnellarbeitsstählen; besondere Schleifscheiben sind notwendig.
Sinterhartmetalle können beim Arbeiten hellrot (über 900 °C) werden, ohne daß die Schneide an Schärfe verliert.
Reine metallische Werkstoffe, z. B. Beryllium, Zirkonium, Chrom und Titan, die für die Raumfahrt- und Kerntechnik große Bedeutung besitzen, können erst durch die Pulvermetallurgie als Konstruktionswerkstoff verwendet werden (Tabelle 12.20 auf S. 277).
Auch der anisotrope pyrolytische Graphit, der für die Raketen auf Grund seiner hervorragenden Wärmeleitfähigkeit und Warmfestigkeit wichtig ist, wird pulvermetallurgisch verarbeitet.

13. Schmieden, Schweißen, Metallkleben, Löten

13.1. Schmieden

Unter dem Einfluß von Druck, Zug und Biegung ändern sämtliche Metalle ihre Form. Die Formänderung kann im kalten oder im warmen (knetbaren) Zustand geschehen. Das Werkstoffgefüge leidet dabei weniger im warmen Zustand. Diese Formänderung wird *Schmieden* genannt. Weicher Schmiedestahl soll bei 1200···1300 °C (»Weißglut«), harter Stahl bei 900···1000 °C (»Gelbglut«) bearbeitet werden. Bei etwa 400 °C wird Schmiedestahl »blaubrüchig«, spröde, bekommt beim Hämmern Risse und bricht leicht. »Verbrannt« ist er, wenn bei sehr hoher Temperatur (1200 °C) viel Sauerstoff aufgenommen wurde und eine Entkohlung der äußeren Schichten erfolgt ist; der Stahl muß eingeschmolzen werden. – »Hammerschlag« bildet sich bei glühendem Stahl als äußere Haut durch Aufnahme von Sauerstoff. Hammerschlag läßt sich leicht entfernen.

Schmiedbare Metalle sind: Flußstahl, Al 99,5 (490 °C), Al-Legierungen (je nach Legierung zwischen 330 und 480 °C), Messing, Kupfer (dunkelrotglühend), Deltametall (rotglühend), Zink (etwa 150 °C), Bronze (500 °C). – Erhitztes Kupfer und erhitzte Bronze werden durch plötzliches Abkühlen geschmeidig, während Stahl hart und spröde wird.

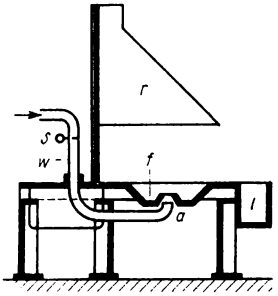


Bild 13.1. Schmiedeherd

Der *stählerne Schmiedeherd* (Bild 13.1) ist leicht umzusetzen und frei stehend. Durch Windzuführung von unten erfolgt bessere Windverteilung. Der Gebläsewind ist durch Schieber s zu regeln und gelangt durch die Windleitung w und Düse a in die Feuergrube f zur Förderung der Verbrennung (Koks, Kohle, Holzkohle). Die Verbrennungsgase (Rauch) gelangen durch den Rauchfang r in den Schornstein. Löschtrog l ist mit Wasser gefüllt zum Bespritzen der Kohle (gut backende Steinkohle) sowie zum Ablöschen der Schmiedestücke durch *Löschspieß* (Bild 13.2) und *Löschwedelhalter* (Bild 13.3). Weitere Herdgeräte sind *Herdschaufel* (Bild 13.4) und *Herdhaken* (Bild 13.5).

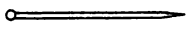


Bild 13.2. Löschspieß



Bild 13.3. Löschwedelhalter

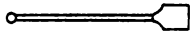


Bild 13.4. Herdschaufel

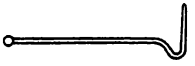


Bild 13.5. Herdhaken

Bild 13.6 zeigt die Einrichtung eines *Schmiedefeuers*. Ascheschieber und Schieberstange liegen hinter dem Schlackenbrecher. – Die Erwärmung großer Schmiedestücke erfolgt in *Koksöfen* oder in *Flammöfen* mit Gasfeuerung, bei Erwärmung bis zur Weißglut (Schweißhitze) Schweißöfen genannt. –

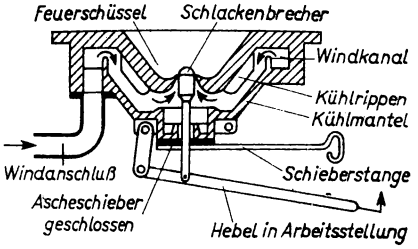


Bild 13.6. Schmiedefeuereinrichtung

Andere Öfen sind Roll- und Stoßöfen; allmähliche Durchführung der Schmiedeblöcke durch den Ofen (zum heißeren Teil) mittels Roll- oder Stoßvorrichtung; s. a. Tieföfen.

Wirkung des Schmiedens (Bild 13.7). Das Schmiedestück vom quadratischen Querschnitt I wird auf den Querschnitt II gestaucht; Verschiebung der Fasern 1, 2, 3, 4 usw. ist zu erkennen. Die strichpunktierten Diagonalen deuten oben und unten die »Rutschkörper« (Druckpyramiden) an, die allein eine geringe Verdichtung erfahren. Die Teile a und b haben die gleiche Dichte beibehalten. Je dichter die Hammerschläge, desto dichter liegen die Druckkörper beieinander. Gute Durcharbeitung des grobkörnigen Rohstoffes zu einem feinkörnigen Gefüge durch Wenden des Werkstückes während des Schmiedens ist erforderlich.

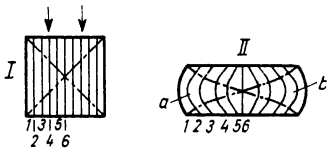


Bild 13.7. Werkstoffverhalten beim Schmieden

Das *Strecken* (Bild 13.8) (Verlängerung des Werkstückes, Verringerung des Querschnittes) kann geschehen auf der Amboßbahn mit der Finne des Handhammers oder des Kreuzschlaghammers (Finne parallel zum Stiel), Masse 2 bis 3 kg, oder mittels Amboßkante und Bahn des Hammers (Bild 13.9) bei beginnender Weißgluthitze. Unebenheiten werden durch den Setzhammer (s. Bild 13.17) beseitigt. Der Amboß ist ein Block aus Flußstahl mit verstählter Bahn. Zum Biegen dienen 2 Hörner h_1 und h_2 mit viereckigem und rundem Querschnitt oder auch 2 senkrecht durch den Amboß gehende Löcher, die in der Hauptsache zur Aufnahme von Gesenken und anderen Werkzeugen geeignet sind.

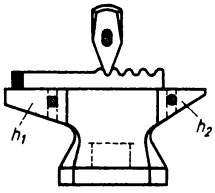


Bild 13.8. Strecken

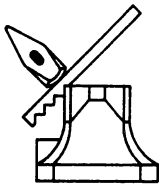


Bild 13.9. Strecken über Amboßkante

Stauchen (Bild 13.10). Umgekehrter Arbeitsgang wie beim Strecken. Der an einer bestimmten Stelle erwärmte Stab a wird durch Hammerschläge in axialer Richtung bearbeitet; Verstärken des Stabes an der erwärmten Stelle a_1. Das Stauchen geschieht bei kleinen Werkstücken auf der Amboßbahn (im Bild auf dem Stauchklotz), bei größeren Schmiedestücken auf einer besonderen Stauchplatte, die in den Erdboden der Schmiede eingelassen ist.

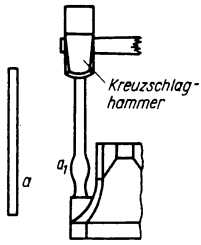


Bild 13.10. Stauchen

Biegen (Bild 13.11) geschieht mit Hilfe des Hammers auf rundem Horn (Rundbiegen) und auf viereckigem Horn (Bild 13.12) (Eckenbiegen). Schmiedestück a ist zweckmäßig an der betreffenden Stelle vor dem Biegen zu stauchen, um eine scharfe Kante des Stabes a_1 zu erhalten.
Ballhammer (Bild 13.13) mit Unterteil dient zum Schmieden von Hohlkehlen, schmalen, runden Kerben usw. Im Bild ist rechts eine andere Form mit breitem Ball abgebildet.
Scharfes *Absetzen* (Bild 13.14) bei kleinen Werkstücken. Durch einfaches Strecken mittels Hammers ist keine scharfe Kante zu erreichen, sondern nur treppenförmiger Absatz. Vor dem einseitigen (Bild 13.15) oder doppelten Absetzen (Bilder 13.16 und 13.17) wird mit dem etwas einseitig zugeschärften Schrotmeißel m vorgeteilt. Meißelschneide a würde sich festklemmen, b nach innen unterschneiden (verlaufen). Das eigentliche Absetzen (Strecken) des Werkstückes geschieht durch den *Setzhammer* (Bild 13.17), das Schlichten (Nacharbeiten) mittels Schlichthammers (Bild 13.18). Scharfes Absetzen wird verbessert durch rundes Schlichtgesenk (Bild 13.19), Vierkant- oder Sechskantgesenke (Ober- und Untergesenke). – Zur Erzielung von kleinen Einkerbungen werden Setzeisen (Formstahl) in den verschiedenen Querschnitten auf das erhitzte Schmiedestück gelegt und mit dem Hammer eingeschlagen.

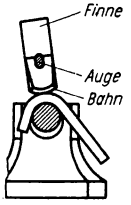


Bild 13.11. Biegen

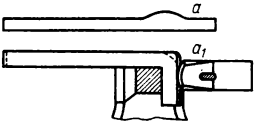
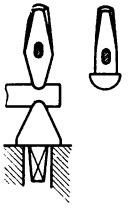


Bild 13.12. Eckenbiegen

Bild 13.13. Schmieden mit Ballhammer



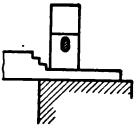
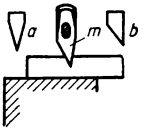


Bild 13.14. Absetzen



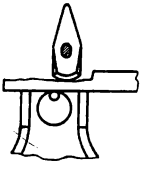


Bild 13.15. Einseitiges Absetzen

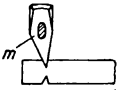


Bild 13.16.
Vorbereitendes doppeltes Absetzen



Bild 13.17.
Doppeltes Absetzen

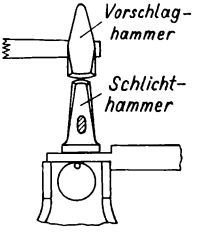


Bild 13.18. Schlichten

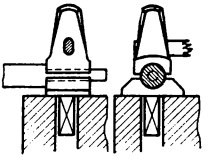


Bild 13.19. Rundschlichten

Schroten oder *Trennen* mit Schrotmeißel. Unterschieden werden *einseitiges Abschroten* mittels Meißels über die Amboßkante oder ohne Meißel über den Schrotstock und *zweiseitiges Abschroten* (Bild 13.20) durch Meißel mit Handstiel und Abschroter c (gleichzeitiges Eindringen der beiden Schneiden). Der Schrotmeißel ist halb einseitig und nicht zu scharf anzuschleifen, um Festklemmen zu vermeiden. – a zeigt einen *Warmschroter* für Handarbeit, b einen stumpfer gebauten *Kaltschroter*.

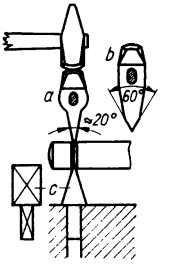


Bild 13.20. Zweiseitiges Abschroten

Lochen (Bild 13.21) mittels *Durchschlags* oder *Lochdorns*; das Loch wird von beiden Seiten des Werkstücks je zur Hälfte geschlagen. Kohlenstaubzugabe verhindert Festbrennen des Dornes, Dorn häufig abkühlen. Die Bilder a, b, c und d zeigen verschiedene *Dornquerschnitte*. – Als Unterlage dient die

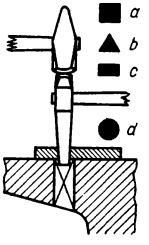


Bild 13.21. Lochen

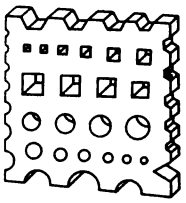


Bild 13.22. Loch- oder Gesenkplatte

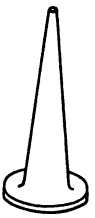


Bild 13.23. Richthorn

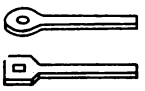


Bild 13.24. Nageleisen
a) Rundloch,
b) Vierkantloch

gelochte Amboßbahn oder die *Loch-* oder *Gesenkplatte* (Bild 13.22), ausgebildet mit Löchern verschiedenartiger Querschnitte; sie dient auch zur Aufnahme von Untergesenken. – Das *Richthorn* (Bild 13.23) wird zur Herstellung ringförmiger Körper verwendet. – *Nageleisen* mit rundem (Bild 13.24a) oder mit vierkantigem Loch (Bild 13.24b) dienen zum Ausstauchen oder Aufschweißen von Köpfen an Nägel, Bolzen usw. Der Bolzen wird durch das Nageleisen (und in ein Loch der Amboßbahn) gesteckt. Einfache Nageleisen haben die Form von Flachstahl mit mehreren verschieden großen Senklöchern.

Verdrehen (Bild 13.25). Das Werkstück (Bild a) wird an einem Ende fest eingespannt, am andern Ende durch eine Kraft um den Winkel α (Verdrehungs- oder Torsionswinkel) um seine Achse verdreht (Bild b); die Fasern verdrehen sich dann schraubenförmig; hohe Erwärmung des Schmiedestückes erforderlich.

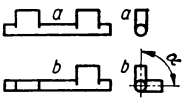


Bild 13.25. Verdrehen

Schrumpfen zur Erzeugung von Preßsitzen. Eingepreßter Durchmesser (Wellen, Zapfen) größer als Loch. *Kalter Zustand:* Welle mit Druck einpressen; *heißer Zustand:* Nabe erwärmen, Welle ohne Druck einpressen; Nabe schrumpft beim Erkalten und preßt sich selbst fest, z. B. Scheibenkupplung auf Welle.

Maschinenhämmer finden Verwendung bei schweren Schmiedearbeiten, Gesenkschmieden u. dgl. (Serienarbeit).
Strecken (Bild 13.26) mit ballhammerförmigem Hammer und Amboß; *Schlichten* (Glätten) (Bild 13.27) und *Stauchen* durch flache Hammer- und Amboßbahn.

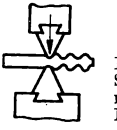


Bild 13.26. Strecken mit Maschinenhammer



Bild 13.27. Schlichten mit Maschinenhammer

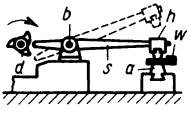


Bild 13.28. Stielhammer

Schwanzhammer, Stielhammer (Bild 13.28), älteste Art, Kraft greift am Ende an. Verwendung in kleinen Betrieben bei Herstellung von Massenwaren (Klingen, Sicheln, Sensen u. a.). Stiel s ist in b gelagert und wird durch Daumenwelle d angetrieben. Nachteil: Hammer h und Amboß a stehen nur bei bestimmter Dicke des Werkstückes w parallel.

Der *Blattfederhammer* (Bild 13.29) wird meistens durch Elektromotor angetrieben (sehr schnelle Schlagfolge). Exzenterstange und Stiel bestehen aus Blattfedern. Vielseitige Verwendung für kleinere und mittelschwere Werkstücke.
Kurbel- oder *Exzenterpresse* (Bild 13.30). Bär b wird durch Schubstange s mittels Exzenters e auf und ab bewegt. Antrieb erfolgt durch das als Riemenscheibe ausgebildete Schwungrad r, das lose auf der Antriebswelle läuft und mittels Kupplung mit dieser zu kuppeln ist.

Luftfederhammer (Bild 13.31). In dem Zylinder z wird der durch die Kurbelscheibe r angetriebene Kolben k mittels Kurbel und Schubstange auf und ab bewegt. Zwischen Kolben k und dem als Kolben ausgebildeten Bären b entsteht beim Heben des ersteren ein luftverdünnter Raum; durch die Außenluft wird der Bär nach oben gedrückt. Die durch den Regulierhahn h beim Hochgehen des Kolbens k angesaugte Luft dient als Luftkissen; hierdurch wird der Bär beim Abwärtsbewegen des Kolbens k nach unten gegen den Amboß a geschleudert.

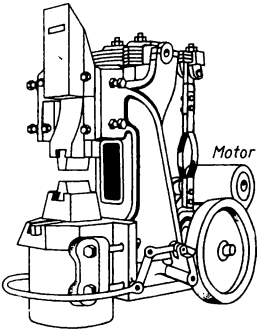


Bild 13.29. Blattfederhammer

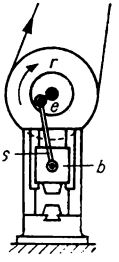


Bild 13.30. Exzenterpresse

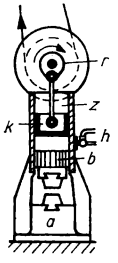


Bild 13.31. Luftfederhammer

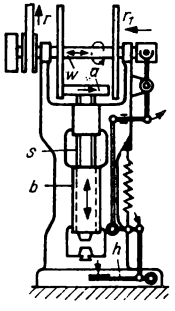


Bild 13.32. Spindelpresse

Spindelpresse (Bild 13.32) geringe Arbeitsgeschwindigkeit, jedoch anhaltender, ruhiger, kräftiger Druck; vorzüglich zum Stauchen kurzer Stücke geeignet. Durch Herabdrücken des Fußhebels h wird Antriebswelle w mit den Reibtellern r und r_1 nach links gedrückt. Dadurch kommt der Reibteller r_1 mit dem schweren Schwungrad a in Berührung, wodurch die an dem Schwungrad festsitzende Spindel s den Bären b nach unten preßt. Im Bild bewegt sich der Bär nach oben (r reibt an a).

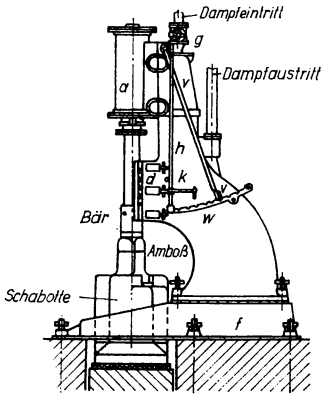


Bild 13.33. Dampfhammer
a Zylinder, d Führung, f Fußplatte, g Absperrschieber, h Stange für g, k Steuerhebel für g, v Steuerhebel, w gezahnter Bogen für Einrastung von v

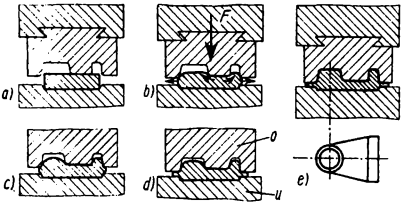


Bild 13.34. Gesenkschmieden eines Augenlagers
a) . . . d) schrittweise Fertigung des Augenlagers,
e) fertiges Augenlager

Dampfhämmer (Bild 13.33) werden mit Bärmassen von 50···500 kg für kleinere Schmiedeteile und mit 500···2000 kg für große Schmiedeteile gebaut (in Einzelfällen sogar bis 50000 kg). Die Auftreffgeschwindigkeit des Bären beträgt 5···7 m/s. Für Fallhämmer mit Unterdampf soll die Masse der Schabotte etwa dem 12fachen der Bärmasse entsprechen. – Dampfzuführungs- und Auspuffrohr, Schieberstange und zugehöriger Kasten sind nicht sichtbar.
Zum *Gesenkschmieden* eignen sich am besten Fallhämmer. Gesenkschmieden eines Augenlagers zeigt Bild 13.34. Der auf Weißglut gebrachte Werkstoff drückt sich in die Aussparungen des Obergesenkes besser ein als in die des Untergesenkes; daher erhält möglichst das Obergesenk o die Aussparungen (Formgesenk), während das Untergesenk u als Auflager dient. Meist sind 2 oder 3 (Paar) Gesenke erforderlich (Vor- und Fertig-Gesenke).

Behandlung des Werkzeugstahls s. Härten und Vergüten (S. 196 ff.).
Werkzeuge zum Anfassen (Greifen) *und Festhalten* der Schmiedestücke s. S. 370 ff. Längere Werkstücke werden u. U. mit der Hand gehalten.
Im Vergleich zum wirtschaftlichen Gesenkschmieden für die Serienproduktion zeigt das Beispiel *Schmieden einer Radehacke* (Bild 13.35), daß zum Freiformschmieden längere handwerkliche Übung und Erfahrung gehören und die einzelnen Arbeitsgänge mit den erforderlichen Zwischenerwärmungen viel Zeit beanspruchen.

13.2. Schweißen

13.2.1. Begriff, Unterteilung

Schweißen ist die Verbindung gleichartiger oder ähnlicher metallischer Werkstoffe (Grundmaterial) unter Anwendung von Wärme oder Druck oder beiden mit oder ohne Zugabe artgleichen Werkstoffs (Zusatzwerkstoff). Zusatzwerkstoff und Grundmaterial müssen gleichen oder nahezu gleichen Schmelzbereich haben. Grundwerkstoff und Schweißnaht sollen möglichst ein gleichwertiges, durchgehendes Ganzes bilden.
Tabelle 13.1 zeigt Möglichkeiten der Unterteilung des Schweißens.

Tabelle 13.1: Unterteilung des Schweißens

Bezeichnung	Erläuterung
Unterteilung nach der Art der Fertigung (TGL 14904)	
Handschweißen	Das Schweißgerät wird von Hand geführt und geregelt.
mechanisiertes Schweißen	Das Schweißgerät wird von Hand geführt. Einzelne Regelungsvorgänge (Drahtzuführung, Werkstückbewegung) erfolgen automatisch.
teilautomatisches Schweißen	Die Schweißvorgänge laufen automatisch ab, wobei Beginn, Kontrolle, Korrektur und Ende in der Hand des Schweißers liegen.
automatisches Schweißen	Der Schweißvorgang läuft vollkommen automatisch ab und kontrolliert und korrigiert sich selbsttätig. Der Beginn wird durch den Schweißer eingestellt.
Unterteilung nach dem Zweck	
Verbindungsschweißen	Verbindung von zwei oder mehreren Teilen zu einem unlösbaren Ganzen
Auftragsschweißen	örtlicher Auftrag von Zusatzwerkstoffen zur Ergänzung eines Querschnitts oder für die Oberflächenbehandlung von Werkstücken (Verschleißschichten, Korrosionsschutz)

Tabelle 13.2 gibt einen Überblick über die Vor- und Nachteile des Schweißens.

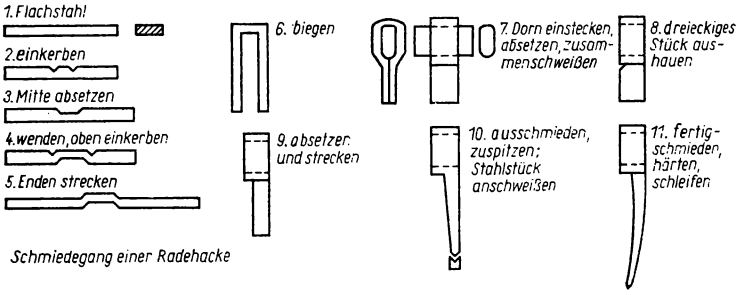


Bild 13.35.
Schmieden einer Radehacke

Tabelle 13.2: Vorteile und Nachteile des Schweißens

Vorteile	Nachteile
Materialeinsparung durch: Wegfall von Verbindungsmitteln und konstruktiven Überlappungen, Wegfall von Querschnittsschwächungen (Nietlöcher), höhere Wertigkeit der Schweißverbindung hinsichtlich der Festigkeit und damit höhere Belastbarkeit; geringere Fertigungszeiten durch einfachere Vorbereitung und schnelleres Fertigungsverfahren	unlösbare Verbindung und damit schwierigere Auswechselbarkeit einzelner Teile; Wärmeeintragung führt zu: Gefügeveränderungen, Eigenspannungen und Schrumpfungen; höhere Anforderungen an die Grundwerkstoffgüte (Zusammensetzung); Mehraufwand für die Beseitigung der Eigenspannungen durch Normalglühen o. ä.; höherer Aufwand für Prüfung; höherer Anschaffungspreis der Schweißanlagen

13.2.2. Schweißverfahren

Bild 13.36 (S. 284) gibt einen Überblick über die Schmelzschweißverfahren.

Aluminothermisches Schmelzschweißen

(Thermit-Schweißverfahren) (Bild 13.37)

Die Schmelze entsteht durch die Wärmeentwicklung bei der chemischen Umsetzung von Al und Fe_2O_3 zu Ferriteisen und Al_2O_3 (Wärmemenge 850 kcal/kg Thermit). Sie dient entweder als Schweiß-Zusatzwerkstoff (Gießmetall) in Verbindung mit dem Aufschmelzen der Nahtflanken beim Eindringen in die Nahtfuge *(AT-Schmelzschweißen, AT-Gießschweißen)* oder als Wärmeübertrager zur Plastifizierung der zu verschweißenden Werkstückflächen, die durch Druck zusammengefügt werden *(AT-Preßschweißen)*. Das Aluminiumoxid bildet eine Schutzschlacke gegen äußere Einflüsse (Oxydation des aufgeschmolzenen Metalls). Die Reaktion erfolgt bei etwa 3000 °C unter Verwendung von feuerfesten Keramik- oder Schamotteformen oder von Lehm.

Anwendung: Stumpfschweißen von Querschnitten, Volumen bis 3000 cm^3; Schienenschweißung; Reparatur von Maschinenteilen, Wellen, Walzen; Ausbesserung fehlerhafter Guß- und Schmiedestücke; Schweißen von Bewehrungseisen im Stahlbetonbau.

Vielfach werden die Werkstücke auf 900···1000 °C vorgewärmt.

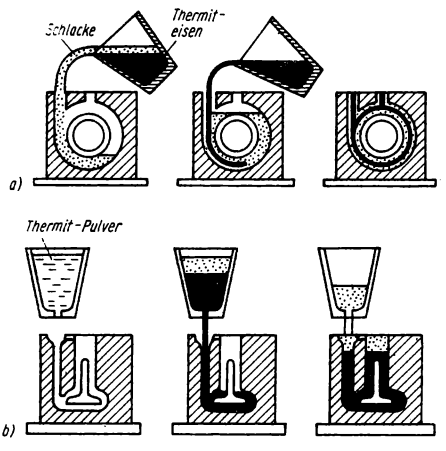


Bild 13.37. Aluminothermisches Schmelzschweißen
a) mit Schutzschlacke, b) mit Thermitpulver

Lichtbogenschmelzschweißen

Die Schmelzwärme wird durch einen elektrischen Lichtbogen zwischen Werkstück und Elektrode erzeugt. Dabei ist zwischen abschmelzender und nichtabschmelzender Elektrode zu unterscheiden. Es tritt örtliche Erwärmung des Werkstücks und des Zusatzwerkstoffs auf Schmelztemperatur und höher ein. Zusatzwerkstoffe sind blanke Schweißdrähte, verschieden dick umhüllte Stabelektroden, Seelenelektroden u. ä. Blanke Drähte oder Elektroden werden unter Einsatz von Schweißpulvern *(UP-Schweißverfahren)* oder Schutzgasen wie CO_2-Schutzgas oder inerten (chemisch trägen) Gasen verarbeitet. Umhüllung, Schweißpulver und Schutzgas haben die Aufgabe, das Schmelzbad vor Oxydation mit dem Luftsauerstoff zu schützen, die metallurgischen und physikalischen Eigenschaften der Schmelze zu verändern und den Wärmehaushalt zu regulieren.

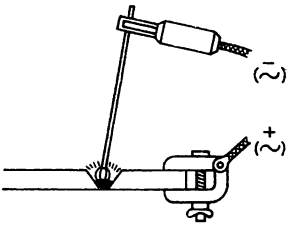
Lichtbogenhandschweißen

(Verfahren nach SLAWIANOW) (Bild 13.38)

Der Lichtbogen brennt frei in der Atmosphäre. Der Schutz des Schmelzbades erfolgt durch das gleichzeitige Abschmelzen der Elektrodenumhüllung. Energiequelle: Gleich- oder Wechselstrom.

Anwendung: für Blechdicken von 2···30 mm bei Stumpf- und Kehlnähten; in fast allen metallverarbeitenden Industriezweigen umfangreich eingesetzt; geeignet für Verbindungs- und Auftragsschweißung. Die Arbeitstechnik richtet sich weitgehend nach den zu verschweißenden Grundwerkstoffarten sowie nach Nahtform und Bauteil.

Bild 13.38. Lichtbogenhandschweißung

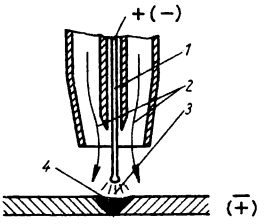


Lichtbogenschmelzschweißen unter Schutzgas

(Schutzgaslichtbogenschweißen) (Bild 13.39)

Der Lichtbogen, der in Tropfenform abschmelzende Zusatzwerkstoff und das Schmelzbad des Grundwerkstoffes werden durch Gas vor den für die Schweißung schädlichen Bestandteilen der Atmosphäre geschützt. Die Auswahl der Gasart erfolgt in Abhängigkeit vom Grundwerkstoff.

Bild 13.39. Schutzgaslichtbogenschweißen
1 Zusatzdraht oder Wolframelektrode,
2 Schutzgasstrom,
3 Lichtbogen,
4 Schweißnaht



CO_2-Schutzgas-Lichtbogenschweißung

Schutzgas: CO_2 (Kohlendioxid) oder Gemische aus CO_2, O_2 und Ar. Der Lichtbogen brennt zwischen einer abschmelzenden Drahtelektrode und dem Werkstück. Energieart: Gleichstrom. Dissoziation des Kohlendioxids im Lichtbogen führt zu Abbrandverlusten. Zur Verminderung dieser Verluste ist die chemische Zusammensetzung der Schweißdrähte so zu wählen, daß in entsprechendem Umfang Legierungselemente und Desoxydationsmittel (Mn, Si, Al, Ti) der Schmelze zugeführt werden können.

Polung: Pluspol am Zusatzdraht für Verbindungsschweißung (gute Einbrandtiefe, geringere Abschmelzleistung),
Minuspol am Zusatzdraht für Auftragsschweißung (geringere Einbrandtiefe, höhere Abschmelzleistung).

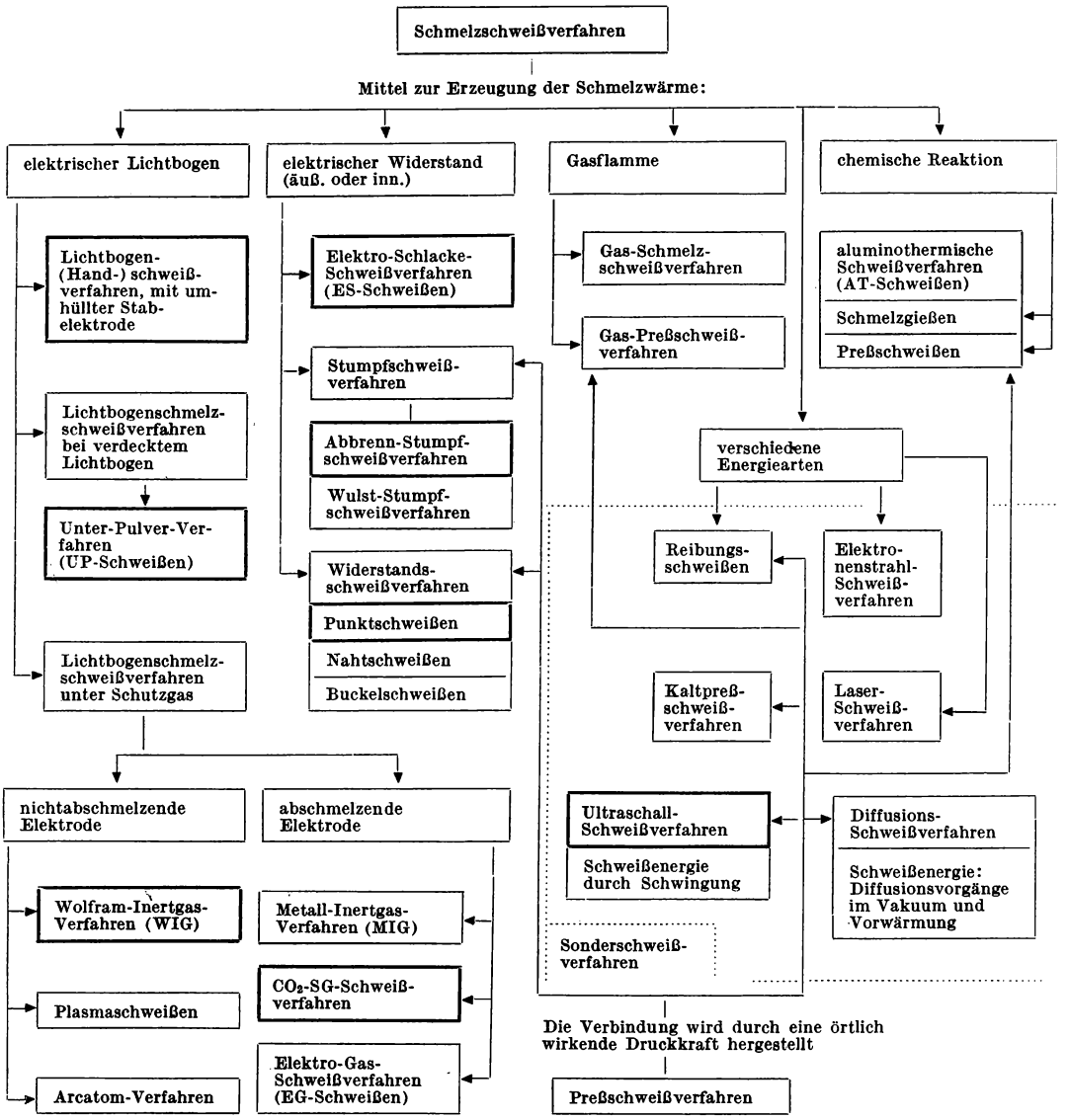


Bild 13.36. Schmelzschweißverfahren

Günstige Schweißparameter: Schweißspannung $U_s = 20$ bis 30 V, Stromdichte zwischen 100 und 200 A/mm², Verbrauch an Schutzgas: 5···16 l/min.

Anwendung: alle Schweißpositionen, alle Nahtarten (bei dünneren Blechen bis 12 mm vorwiegend I-Naht). CO_2-SG-Schweißung ist vorwiegend für Schweißarbeiten an unlegierten und einigen niedriglegierten Stählen wirtschaftlich einzusetzen; nicht wirtschaftlich für hochlegierte Stähle (Abbrand) sowie Leichtmetall und Kupferlegierungen.

Für Bleche $0{,}5 \leqq s \leqq 3$ mm oder hitzeempfindliche Werkstoffe kann die *Kurzlichtbogentechnik* angewendet werden, bei der durch Verkürzung des Lichtbogens der Wärmeeintrag verringert wird. (Zu beachten ist die genaue Abstimmung der Schweißparameter.)

Die *Hochstromtechnik* ermöglicht bei Stromdichten von mehr als 300 A/mm² höhere Abschmelzleistungen und Einbrandtiefen, Verringerung der Spritz- und Abbrandverluste. Drahtdurchmesser 1,2···2,0 mm, Abschmelzleistungen liegen bei 14···17 kg/h; vorteilhaft für dicke Bleche. Nachteilig sind große Nahtüberhöhung und unsaubere Nahtoberfläche.
Die Schutzgasart beeinflußt die Lichtbogenstabilität, die Abschmelzleistung, die metallurgischen Reaktionen, den Werkstoffübergang und die Schweißnahtausbildung. Tabelle 13.3 gibt einen Überblick über die verwendeten Gasgemische.

Metall-Inertgas-Verfahren (MIG-Schweißverfahren)

Das MIG-Verfahren arbeitet grundsätzlich nach den gleichen Prinzipien wie das CO_2-SG-Verfahren. Als Schutzgas werden jedoch Argon (inertes Gas) oder Argon-Gasgemische ($Ar + O_2$,

Tabelle 13.3: Gasgemische für das CO_2-SG-Schweißen

Gasgemisch	Stahlart	Bemerkung
Ar + 3 % O_2	unlegierte Stähle	beruhigte, weiche C-Stähle; Einlagenschweißung
Ar + 5 % O_2		unberuhigte und beruhigte C-Stähle; Mehrlagenschweißung
Ar + 20···30 % CO_2 75 % Ar, 22 % CO_2, 3 % O_2 80 % Ar, 15 % CO_2, 5 % O_2	unlegierte und niedriglegierte Stähle	Verbesserung der Einbrandform und -tiefe und der Nahtoberfläche
CO_2 + 20···30 % O_2		CS-Verfahren (Japan): Drähte mit Ti ≙ 0,3 % (Si, Mn), stärkerer Abbrand, größere Einbrandtiefe und Abschmelzleistung, gute Kerbschlagzähigkeit
Ar + 15 % H_2	hochlegierte Stähle und NE-Metalle	austenitische Cr-Ni-Stähle, Al
Ar + 6 % H_2		Reinnickel; höhere Reinheit hinsichtlich Oxideinschlüssen, bessere Einbrandverhältnisse
Ar + 0,2 % N_2		Al-Legierungen (außer Al-Mg); Steigerung der Lichtbogenleistung
Ar + 20 % N_2		Cu-Legierungen; verbesserte Nahtoberfläche

$Ar+CO_2$, $Ar+CO_2+O_2$) verwendet. Gerätetechnisch bestehen keine Unterschiede.
Bei Pluspolung wirkt der Lichtbogen reinigend, was vor allem beim Vorhandensein hochschmelzender Oxidschichten vorteilhaft ist, während bei Minuspolung größere Spritzverluste und instabile Arbeitsbedingungen, dafür aber höhere Abschmelzleistung und verminderte Einbrandtiefe auftreten.

Anwendung: Verbindungsschweißen legierter Stähle, Al, Cu, Ni und deren Legierungen und für Blechdicken ≧6 mm; Gasgemisch: Ar + 1 % O_2 für legierte Stähle, Ar für NE-Metalle; Auftragsschweißen;
bei Verwendung der Kurzlichtbogentechnik für Blechdicken ab 0,8 mm (Elektrodendraht-Durchmesser 0,5 mm).
Kohlenstoffstähle werden mit kohlenstoffarmen, gut desoxydierenden Zusatzdrähten geschweißt.

Vorteile des Verfahrens: hohe Abschmelzleistung, tiefer, fingerförmiger Einbrand, große Schweißgeschwindigkeit, geringer Verzug, große Einschaltdauer, geringe Abbrand- und Spritzverluste (bei Pluspolung), einschluß- und porenfreies Schweißgut mit hoher mechanischer Güte.

Nachteile: intensive Lichtbogenstrahlung, teures Schutzgas.

Wolfram-Inertgas-Verfahren (WIG-Schweißverfahren)

Als Wärmequelle dient der in Helium- oder Argon-Atmosphäre zwischen der Wolframelektrode und dem Werkstück brennende Lichtbogen. Je nach Blechdicke und Nahtart kann mit oder ohne Zusatzwerkstoff geschweißt werden. Schutzgasverbrauch 4···15 l/min.

Vorteile: Anwendbar für fast alle Metalle und Metallkombinationen; Vermeidung von metallurgischen und chemischen Reaktionen der Schmelze; sehr gute mechanische Gütewerte; geeignet für alle Schweißpositionen und Nahtarten; konzentrierter Wärmeeintrag, dadurch geringe Verwerfungen.

Im Unterschied zum WIG-Schweißen zeigt das *Plasmaschweißen* höhere Schweißleistung, schmaleren und tieferen Einbrand und höhere Schweißgeschwindigkeit. Beide Verfahren ähneln einander sehr stark; sie unterscheiden sich in der Düsengestaltung (Doppeldüse), einigen physikalischen Besonderheiten und dem beim Plasmaschweißverfahren höheren Wärmeeintrag.

Arcatom-Verfahren (Bild 13.40)

Zwischen zwei Wolframelektroden brennt in einer Wasserstoff-Atmosphäre ein Lichtbogen (Wechselstrom). Das Wasserstoffgas dissoziiert im Lichtbogen, nimmt dabei Wärme auf und leitet sie auf das Werkstück und den Zusatzwerkstoff weiter (Aufschmelzung). Gleichzeitig schützt der Wasserstoffstrahl die Schmelze und kühlt die Elektroden. Als Energieerzeuger werden Spezialtransformatoren mit Leerlaufspannungen von 250···300 V (100 bis max. 150 A) verwendet. Die Schweißspannung liegt bei 60···100 V, der Lichtbogen ist sehr stabil.

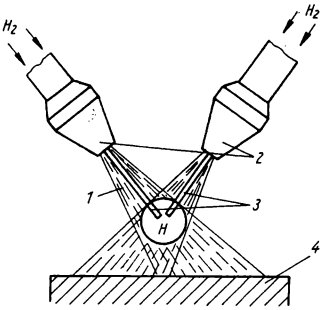


Bild 13.40. Arcatom-Verfahren
1 Wasserstoffstrom, 2 Ringdüsen, 3 Wolframelektroden, 4 Werkstück

Anwendung: Dünnblechverbindungsschweißung von Hand oder mechanisiert, mit oder ohne Zusatzwerkstoff; Reparaturschweißung, Instandsetzung durch Auftragsschweißung; nicht günstig für Zink, Kupfer und deren Legierungen.

Vorteile: hohe Schweißgeschwindigkeit bei guter Nahtoberfläche sowie poren- und oxidfreiem Schweißgut.

Elektro-Gas-Schweißverfahren (*EG-Verfahren*) (Bild 13.41)

Ein offener Lichtbogen unter CO_2-Schutz dient als Wärmequelle. Schweißen in senkrechter Position. Schweißbadbegrenzung durch Werkstück und wassergekühlte Cu-Gleitschuhe. Der Zusatzdraht schmilzt durch die Lichtbogenwärme ab. Die Schmelze füllt den Schweißspalt und schmilzt die Nahtflanken auf, so daß eine Verbindung erfolgt.

Zusatzdrähte: 10 MnSi 6, 10 MnSi 8, Pulverdrähte.
Einsatzbereich: s = 10···60 mm, I-Naht (möglich sind auch Y- und V-Nähte), Spaltbreiten 10···15 mm (begrenzt durch Drahtzuführung), hohe Schweißgeschwindigkeit durch geringes Nahtvolumen,
Schweißstromquelle: fallende oder flache Strom-Spannungs-Charakteristik.
Strombelastbarkeit: 120···200 A/mm², Gasverbrauch 15 (s = 12 mm) bis 20 (s = 20 mm) l/min.

Anwendung: Schiff-, Behälter- und Stahlbau (lange Nähte).

Nachteil: Ungünstige Gefügeausbildung in der Naht und damit schlechte Kerbschlagzähigkeit.

Unter-Pulver-Schweißverfahren

(UP-Verfahren) (Bild 13.42)

Ein nackter Schweißdraht wird unter einer im Nahtbereich aufgeschütteten Schweißpulverschicht durch einen Lichtbogen (zwischen Elektrode und Grundwerkstoff) in einer

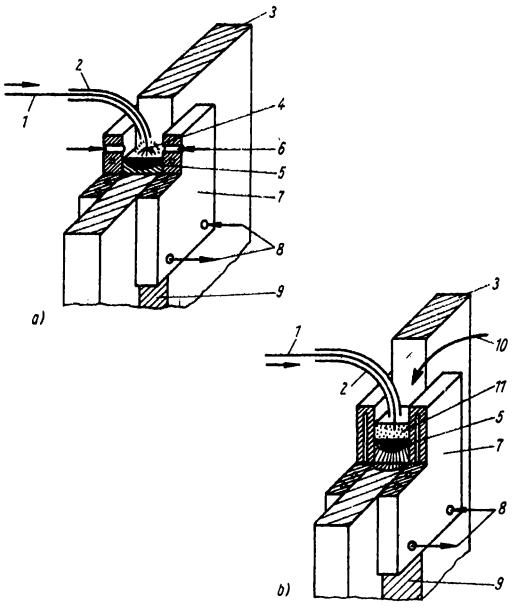


Bild 13.41. Elektroschweißverfahren
a) EG-Verfahren, b) ES-Verfahren
1 Schweißdraht, 2 Schweißdrahtzuführung (Führungsrohr), 3 Werkstück, 4 Lichtbogen, 5 Schmelzbad, 6 Schutzgaszuführung, 7 Gleitschuh (Cu), 8 Wasserkühlung, 9 Schweißnaht, 10 Pulverzugabe nach Bedarf, 11 flüssige Schlacke

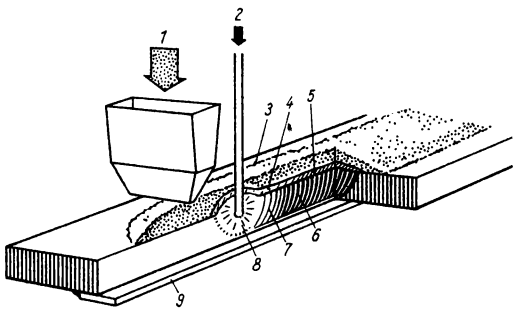


Bild 13.42. Unter-Pulver-Schweißverfahren (UP)
1 kontinuierliche Pulverzugabe, 2 Schweißdraht, 3 Pulverlage, 4 flüssige Schlacke, 5 erstarrte Schlacke, 6 Schweißnaht, 7 Schmelzbad, 8 Kaverne, Lichtbogen, 9 Schweißbadsicherung (Blechstreifen, Pulver o. ä.)

Kaverne (Hohlraum) abgeschmolzen. Gleichzeitig wird durch die Lichtbogenwärme das Schweißpulver aufgeschmolzen und bildet eine Schlackenschicht, die sowohl metallurgische als auch Schutzaufgaben für das Schweißbad erfüllt.
Allgemein ergibt das UP-Verfahren hohe Abschmelzleistungen, gute Qualität der Schweißverbindung und stabilen, kontinuierlichen Ablauf der Schweißung. Diese Eigenschaften können durch *Mehrdraht-* oder *Bandschweißung*, *Tandem-* oder *Schnellschweißung* mit unterschiedlichen Lichtbogenleistungen, *Parralleldrahtschweißung* u. a. noch verbessert werden. Das Verfahren ist sehr variationsfähig: I_s = 100 bis 5000 A, U_s = 20···70 V, v_s = 10···300 m/h, Stromdichte 20···200 A/mm².

Anwendung: UP-Verfahren kann mechanisiert, teilautomatisiert oder automatisiert angewendet werden. Es kann eingesetzt werden für Verbindungs- und Auftragsschweißung bei Massenbaustählen, mittel- und hochlegierten Baustählen und bei NE-Metallen.
Erschwertes Arbeiten für *Blechdicken unter* 4 mm, wegen hoher Abschmelzleistung, Einbrandtiefe und nicht visuell kontrollierbarem Lichtbogen. Daher: Badsicherung durch untergelegte Cu-Streifen oder Pulverkissen, Drahtdurchmesser maximal 2 mm, geringe I_s und U_s, hohe v_s, Pluspolung, grobkörniges Schweißpulver.
Für *große Blechdicken* bei Baustählen besteht wegen der Inhomogenität der Stahlzusammensetzung durch das große Schweißbad erhöhte Rißgefahr. Daher: besonders bei Wurzellage U_s = 38···40 V, I_s < 900 A bei 5,0 mm Drahtdurchmesser, $I_s \leqq$ 1000 A bei 6,0 mm Drahtdurchmesser; normalkörniges Pulver.
Bei höher legierten Stählen muß der Zubrand von Mn, Mo oder anderen Legierungselementen durch entsprechende Pulver- oder Zusatzwerkstoffwahl garantiert sein. Minimaler Anteil am aufgeschmolzenen Grundwerkstoff im Schweißbad ist anzustreben (Nahtform bzw. -vorbereitung); Vor- und Nachwärmen.

Elektro-Schlacke-Schweißverfahren (ES-Verfahren)

Das Verfahren ähnelt sowohl dem UP-Verfahren als auch dem EG-Verfahren (Bild 13.41b), jedoch erfolgt die Aufschmelzung des Grund- und Zusatzwerkstoffs nicht mit Lichtbogenenergie, sondern beim Stromdurchgang durch die geschmolzene Schlacke (Zündung durch Lichtbogen). Die Naht wird von wassergekühlten Cu-Gleitschuhen geformt (Zwangslage) und gleichzeitig gekühlt. Die technologischen Vorteile liegen in der Anwendbarkeit für Nahtquerschnitte bis 2000 mm² in einer Lage, aber auch für Blechdicken von nur 12 mm. Die für das Verfahren verwendeten Schweißdrähte (nackt) entsprechen denen des UP-Verfahrens, jedoch mit einem höheren Mn-Gehalt (10Mn5, 10Mn8, 10Mn8Al), verwendet werden auch Röhrchen- oder Pulverdrähte für hochlegierte Stähle mit notwendiger Auflegierung im Schmelzbad.
Nachteilig ist die geringe Kerbschlagzähigkeit (bedingt durch die Gefügeform) bei tieferen Temperaturen, deshalb Zulegierung geringer Mengen Titan, Aluminium oder Vanadin.
Anwendung: Das ES-Verfahren wird ausschließlich in vertikalsteigender Position angewendet. Nahtform: I-Naht mit Spaltbreite 15···30 mm.
Vorbereitung: Heften der Teile durch Anschweißen von Montagebügeln im Abstand von 500···600 mm auf der der Strom- bzw. Drahtzuführung abgewandten Seite. Bei größeren Materialdicken kann mit mehreren Drähten oder mit Pendeln eines Drahtes gearbeitet werden (s = 50 bis 100 mm: zwei Drähte; s = 100···150 mm: drei Drähte; s > 150 mm: Pendeln mehrerer Drähte). Verwendung von Ein- und Auslaufblechen.
Mit dem ES-Verfahren können sowohl gerade als auch Rundnähte (entsprechend geformte Gleitschuhe) hergestellt werden, ebenso auch gerade, aber in sich gekrümmte Nähte (z. B. bei kugelförmigen Behältern).

Widerstandsschweißen

(Punkt-, Naht-, Buckel- und Stumpfschweißen) (Bild 13.43) Die Verfahren beruhen auf der Ausnutzung der Stromwärme, die durch Wechselstromstärken bis zu mehreren 100000 A bei Schweißspannungen <16 V erzeugt wird. Durchfließen derartig hohe Ströme einen zu klein bemessenen Leiter, so erhitzt sich dieser sowohl durch den inneren Widerstand des Materials als auch durch den Kontaktwiderstand zwischen den zu schweißenden Teilen. Die erforderliche Pressenkraft F wird ebenfalls über die Elektroden eingeleitet. In der Berührungsfläche schmilzt durch die Stromwärme eine dünne Materialschicht, wodurch die Verbindung erzielt wird.
Widerstandspunktschweißen (Bild 13.43a). Verwendet werden stabförmige Cu-Elektroden. Nach Einleitung der erforderlichen Pressenkraft F wird der Schweißstrom eingeschaltet. Durch die Wärmeentwicklung entsteht eine kreisförmige Aufschmelzung S des Grundmaterials, umgeben von einer plastischen Zone. Die Pressenkraft muß so lange wirksam bleiben, bis die Schweißung beendet ist.
Pressenkraft 0,5···1000 kp, Schweißzeit 0,001 bis mehrere Sekunden (je nach Materialdicke).
Verbindungsform: Überlappnaht, ein- oder mehrreihige Punktanordnung.
Anwendung: Metallfolien und Feindrähte ab 8 µm Dicke bis Gesamtblechdicken von 40 mm bzw. 900 cm² Verbindungsfläche;
Flugzeugindustrie, Elektrotechnik, Schiffbau, Kraftwagenindustrie, Waggonbau;
Verbindung verschiedenartiger Materialien;

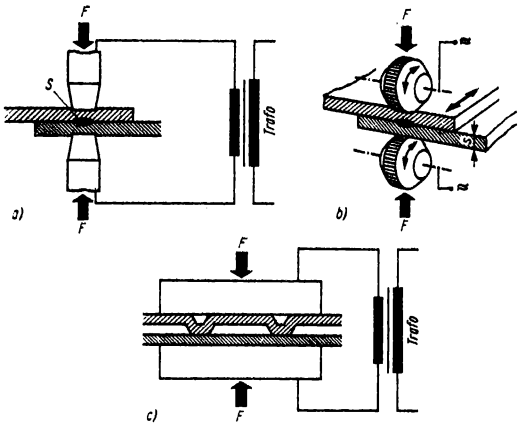


Bild 13.43. Widerstandspreßschweißen
a) Punktschweißen, b) Nahtschweißen, c) Buckelschweißen

Widerstandsnahtschweißen (Bild 13.43 b). Die Stabelektroden werden durch Rollen ersetzt, die außer der Stromzuführung und Eintragung des Anpreßdrucks die Funktion des Werkstücktransports übernehmen. Nahtform: Steppnähte (großer Punktabstand), dichte Nähte (Überlappung der Schweißpunkte), maximale Blechdicke: 4 mm; Verbindungsform: überwiegend Überlappungsnähte. Überlappung = $5s$.

Buckelschweißen (Bild 13.43 c). In eines der zu schweißenden Werkstücke (Bleche) werden Sicken oder Buckel gedrückt, durch die der Schweißstrom fließt und eine eng begrenzte örtliche Aufschmelzung hervorruft. Großflächiger Elektrodendruck bewirkt Verbindungen in mehreren Punkten (Buckeln) gleichzeitig.
Anwendung: Massenartikel-Produktion.

Wulst-Stumpfschweißen (Bild 13.44)

Für einfach-geometrische, gleichgroße Querschnitte bis 200 mm² einsetzbar. Die eingespannten Werkstückenden werden zusammengepreßt und die Berührungsflächen N durch die Stromwärme auf 850···1250 °C je nach Materialart erhitzt. Anschließend erfolgt das Stauchen; es entsteht dabei eine Schweißwulst (plastische Verformung ohne Aufschmelzung).

Nachteile: aufwendige Vorbereitung (planparallele Stirnflächen), geringe Festigkeit der Verbindung, z. T. durch Einschlüsse u. ä. hervorgerufen;
Bearbeitung der fertigen Verbindung (Abarbeiten der Wulst) ist aufwendig und schwierig.

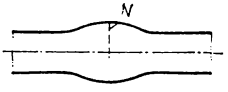


Bild 13.44.
Wulst-Stumpfschweißen

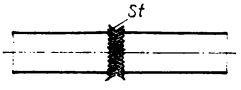


Bild 13.45.
Abbrenn-Stumpfschweißen

Abbrenn-Stumpfschweißen (Bild 13.45)

Bei diesem Verfahren ist eine Bearbeitung der Stoßflächen nicht erforderlich. Infolge der hohen Stromdichte und des großen Kontaktwiderstands schmilzt das Material an den nur unter leichtem Berührungsdruck stehenden Stoßstellen. Verbranntes Material wird unter starker Funkenbildung aus der Fuge geschleudert. Sind die Stoßflächen gleichmäßig aufgeschmolzen, erfolgt das Stauchen. Es bildet sich dabei ein Stauchgrat St (leicht entfernbar). Bei größeren Querschnitten (maximal bis 900 cm²) wird das Material durch Widerstandserhitzung vorgewärmt.

Vorteile: Verbindung großer Querschnitte bei guter bis sehr guter Festigkeit (auch bei dynamischer Beanspruchung); saubere, nicht durch Einschlüsse verunreinigte Naht.

Gasschweißen

Gasschweißen wird sowohl zum Schmelzschweißen als auch zum Preßschweißen eingesetzt. Die Flammentemperatur beträgt je nach Gas- oder Gasgemischart 2000···3200 °C. Als Gas werden vorwiegend Sauerstoff, Wasserstoff und Azetylen verwendet. Sauerstoff und Wasserstoff werden in Stahlflaschen oder über Ringleitungen geliefert. Die Herstellung des Azetylens (Brenngas) erfolgt beim Verbraucher in Azetylenentwicklern (Bild 13.46) aus Kalziumkarbid (CaC_2) und Wasser (250···300 l/kg CaC_2). Azetylen (C_2H_2) ist äußerst druck- und temperaturempfindlich und reagiert mit Cu explosiv (keine Cu-Armaturen). Die Mischung der Gase erfolgt im *Schweißbrenner* (Bild 13.47) (Verhältnis 1:1 ≙ neutraler Flamme). Bild 13.48 zeigt verschiedene Formen der *Flammenbildung*.

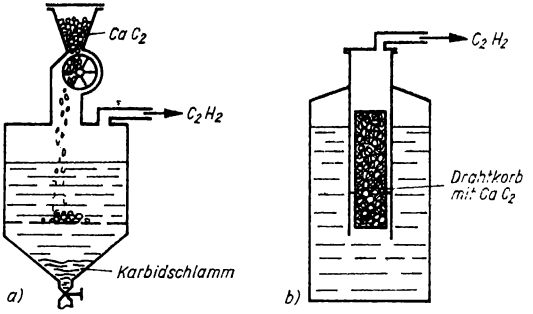


Bild 13.46. Azetylenentwickler
a) Einfallentwickler, b) Verdrängungsentwickler

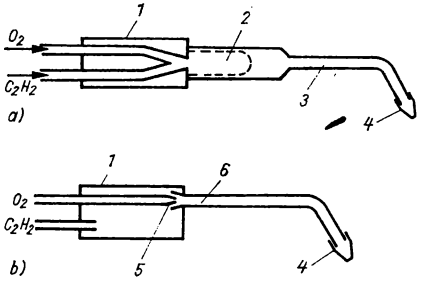


Bild 13.47. Schweißbrenner
a) Gleichdruckbrenner, b) Injektorbrenner
1 Griff, 2 Mischkammer, 3 Mischrohr, 4 auswechselbare Düse, 5 Injektordüse, 6 Mischdüse und -rohr

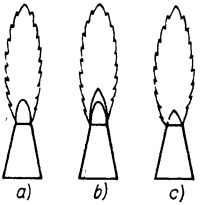


Bild 13.48. Flammenbildung
a) neutral, b) Azetylenüberschuß (Reduktionsflamme), c) Sauerstoffüberschuß (Oxydationsflamme)

Arbeitstechnik beim Gasschweißen

Für Blechdicken < 3 mm wird *Nach-links-Schweißung* angewendet, bei der die Gasflamme nicht direkt auf das Schweißgut gerichtet ist und deshalb geringerer Wärmeeintrag (Durchsacken der Naht) erfolgt. Für größere Blechdicken wird die *Nach-rechts-Schweißung* bevorzugt. Bild 13.49 zeigt die Schweißrichtungen.

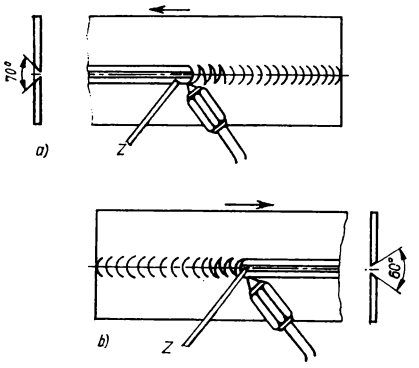


Bild 13.49. Schweißrichtungen
a) Nach-links-Schweißen, b) Nach-rechts-Schweißen, (Z Zusatzwerkstoff)

Geschweißt wird mit neutraler Flamme, bei unlegierten Stählen mit reduzierender Flamme, d. h. mit Brenngasüberschuß bzw. Sauerstoffmangel. Nahtform: Bördelnaht ($s \leqq 2$ mm), I-Naht ($s = 2 \cdots 5$ mm, Spalt $\leqq 2$ mm), V-Naht ($s = 5 \cdots 20$ mm, Spalt $= 2 \cdots 4$ mm, $\alpha = 50 \cdots 60°$).
Gasschweißung ist wirtschaftlich bis $s = 5 \cdots 8$ mm (darüber hinaus elektrische Schweißverfahren).
Für das *Gaspreßschweißen* werden mehrflammige Brenner zur Erhitzung der zu schweißenden Flächen verwendet.
Zu beachtende Arbeitsschutzanordnungen: ASAO 615/1, ASAO 861, ASAO 870.

Sonderschweißverfahren

Kaltpreßschweißen ist ein Verfahren, gleich- oder verschiedenartige Metalle ohne Wärmezufuhr miteinander zu verbinden. Geschweißt werden können alle Metalle, die plastische Verformbarkeit aufweisen. Die Schweißung erfolgt erst dann, wenn bei beiden zu schweißenden Teilen ein bestimmter, von der Metallart abhängiger Verformungsgrad (Grenzwert) überschritten ist. Einwandfrei saubere Metalloberflächen sind Voraussetzung.

Anwendung: Für Querschnitte zwischen 1 und 1000 mm² (Materialabhängigkeit).
Nahtformen: Punkt-, Naht- und Stumpfschweißung.
Elektroindustrie (Schweißen von Leitungsdrähten, Anschweißen von Kontaktfahnen u. ä.); Nahtschweißen für Kastenprofile, Rohre, Behälter (gas-, flüssigkeits- und vakuumdicht); Verpackungen in verschiedenen Industriezweigen.

Ultraschallschweißen (Bild 13.50)
Verbindung gleich- oder verschiedenartiger Metalle durch Einleiten von Ultraschallschwingungen (Sch Schwingrichtung parallel zur Verbindungsebene der zu verschweißenden Teile) und einer Preßkraft F (senkrecht zur Verbindungsebene). Nicht schweißbar sind leicht verformbare Metalle (Blei).

Anwendung: besonders für Klein- und Kleinstteilschweißung. Außer der Verbindungsmöglichkeit unterschiedlicher Metalle können auch gesinterte Werkstoffe und Metalle mit Glas, Keramik oder Kunststoffen verbunden werden.
Nahtform: Punkt-, Naht- und Stumpfverbindungen (je nach Einleitung der Schwingungen).
Elektroindustrie, Feinmechanik: Herstellung von Bauelementen und -einheiten.
Flüssigkeits-, gas- und vakuumdichte Nähte (Verpackungsindustrie).

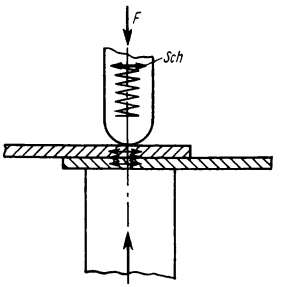


Bild 13.50. Ultraschallschweißen

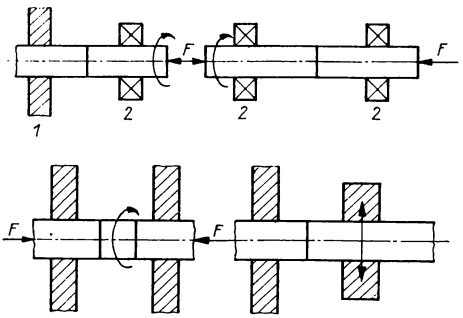


Bild 13.51. Reibschweißen
1 Einspannung, 2 Lager

Reibschweißen (Bild 13.51)
Verbindung gleich- oder ungleichartiger Metalle durch Zusammenpressen unter gleichzeitiger Wirkung gleitender Reibung. Die erforderliche Schweißhitze wird durch die Reibung erzielt. Die Verbindung kommt durch Stauchen der Teile zustande. Die Schweißnaht ist poren- und einschlußfrei. Die Güte der Schweißung ist vom Reibmoment, der Drehzahl, dem Vorwärm- und Stauchdruck, der Schweißzeit und der Stauchlänge abhängig.
Anwendung: Schweißen von Rundstählen, Rohren u. ä. (rotationssymmetrische Querschnitte); für Verbindungsschweißung (Stumpfstoß) und Auftragsschweißung (Auftragsdicke $\geqq 0{,}03$ mm) geeignet.

Diffusionsschweißen
Die Teile werden erhitzt (bis unterhalb der Soliduslinie des Metalls) und längere Zeit im Vakuum unter mechanischem Druck gehalten.

Elektronenstrahlschweißen
Die Wärme, die beim Auftreffen eines Elektronenstrahls auf eine metallische Fläche entsteht, wird ausgenutzt, um die Schweißwärme zu erzielen. Das Els-Schweißen mit und ohne Zusatzwerkstoff gewinnt zunehmend an Bedeutung, vor allem für schwerschmelzende Werkstoffe (z. B. Titan).

13.2.3. Schweißelektroden

Tabelle 13.4 gibt einen Überblick über Einteilung und allgemeinen Anwendungsbereich der *Stabelektroden*, Tabelle 13.5 über *umhüllte Elektroden* für niedrig- und unlegierte Stähle.

13.2.4. Schweißdrähte

Schweißdrähte müssen frei sein von Rost, Fett, Öl, Farbe und anderen Verunreinigungen; sie dürfen außerdem nicht geknickt werden. Zum Korrosionsschutz ist eine leichte Verkupferung (Cu-Anteil <0,15 % der Drahtmasse) zugelassen. Die Drähte werden gezogen, ab 5 mm ∅ erfolgt Weichglühen. Für die verschiedenen Schweißdrahttypen können keine allgemeinen Hinweise über Einsatzgebiet, Abschmelzleistung usw. gegeben werden, da hierbei die Art des Verfahrens (CO_2-SG-, UP-, ES-Verfahren) und die sich daraus ergebenden Schweißparameter wesentlichen Einfluß haben. Des

Tabelle 13.4: Einteilung, allgemeiner Anwendungsbereich der Stabelektroden

Elektrodentypen und Umhüllungscharakter		Anwendungsbereich	Schweißpositionen
Ti – Titandioxidtyp hoher Anteil von Titandioxid in der Umhüllung (Rutil)		vielseitig anwendbar, auch bei geringer Anpaßarbeit, geeignet für schweißempfindliche Stähle und Dünnblechschweißung, gute mechanische Eigenschaften	Gleichstrom und dünne bis mitteldicke Umhüllung: alle Positionen; Wechselstrom und starke Umhüllung: alle Positionen, außer Fallnaht
Es – Erzsaurer Typ in der Umhüllung: Eisenoxid, oft auch Manganoxid sowie Ferromangan	Elektroden mit Umhüllung	dünn umhüllte Es-Typen entsprechen nackten Elektroden, geeignet für schweißempfindliche Stähle; gute Anpaßarbeit erforderlich, mechanische Gütewerte je nach Umhüllungsdicke und -art gut bis sehr gut	dünne Umhüllung: alle Positionen, außer Fallnaht; starke (und mitteldicke) Umhüllung: waagerecht, Steignaht
Kb – Kalkbasischer Typ hoher Gehalt an Kalzium- oder anderen Erdalkalikarbonaten, Flußspat		besonders geeignet für Stähle mit höherem C-Gehalt, dicke und starre Konstruktionsformen und für Thomasstahl; gegenüber anderen Typen beste mechanische Gütewerte (Kerbschlagzähigkeit bei Temperaturen unter 0 °C); wegen hygroskopischer Umhüllung: Elektroden trocken lagern und vor Gebrauch 2 h bei 250 °C im Ofen trocknen	mitteldicke Umhüllung: alle Positionen; starke Umhüllung: alle Positionen, außer Fallnaht
Ze – Zellulosetyp mehr als 10 % brennbare organische Verbindungen in der Umhüllung		für Zwangslagenschweißung geeignet, gute mechanische Gütewerte bei geringer Anpaßarbeit, starke Rauchentwicklung	alle Positionen
Tf Ti Tf Es Tf Ze	umhüllte Hochleistungselektroden	Tiefeinbrandelektroden. Sie müssen eine I-Naht an Blechen doppelter Dicke des Elektrodendurchmessers (Kerndraht) mit einem Spalt von 0,25 mm von beiden Seiten ohne Fehlstelle in der Blechmitte verschweißen. Umhüllungscharakter wie bei Grundtypen.	Tf- und Fe-Elektroden sind grundsätzlich stark bis überstark umhüllt. Einordnung meist unter Ti-, Es-, Kb-Typen.
Fe Ti Fe Es Fe Kb		Eisenpulverelektroden. Sie müssen mehr als 120 % Schweißgut, bezogen auf die abgeschmolzene Kerndrahtmasse, ausbringen. Umhüllungscharakter wie bei Grundtypen mit hohem Anteil Eisenpulver.	Eigenschaften: sehr tiefer Einbrand, feintropfiger Werkstoffübergang bei geringer Spaltüberbrückbarkeit; Schweißposition: waagerecht
So		Sondertypen, die sich nicht in die Hauptgruppen Ti···Ze einordnen lassen, z. B. Unterwasserschweißelektroden, Schneid- und Wärmeelektroden.	

Ergänzungen zu Tabelle 13.4

Einteilung:

1. nach chemischer Zusammensetzung in legierte und unlegierte Elektroden und Elektroden für Stahl-, Guß- und NE-Metall-Schweißung
2. Verbindungs- und Auftragsschweißelektroden
3. Einteilung nach technologischen Besonderheiten der Elektrode (Einbrand, Schweißpositionen)
4. Einteilung nach der Herstellungsart: getauchte und Preßmantelelektroden

Aufgaben der Umhüllung:

1. Lichtbogenstabilisierung
2. Schutz des Schmelzbades vor Oxydation durch Schlackenbildung
3. metallurgische Beeinflussung des Schmelzbades durch Auflegierung

Bezeichnungsweise:

1. Angabe des Elektrodentyps (Typ der Umhüllung), z. B. Kb, Ti, Es, Tf Es, Fe Kb
2. Angabe der Elektrodenklassen, TGL 15793 Bl. 1. Diese sind nach dem Anwendungsbereich für das Schweißen niedrig- und unlegierter Stähle bzw. nach der Zugfestigkeit des reinen Schweißgutes beim Schweißen hochfester Stähle geordnet.
Klassen I···V: statisch belastbare Schweißverbindungen
Klassen VI···XIV: dynamisch belastbare Schweißverbindungen, spezialisiert nach:
VI, VII: alterungsanfällige Stähle, keine Kesselelektroden
VIII···XI: Kesselelektroden mit steigender Güte (Mn-Gehalt nimmt zu)
XII: schweißkritische Stähle
XIII, XIV: hochgekohlte Stähle
Klassen XV···XIX: hochfeste Stähle, σ_B = 70···145 kp/mm²
3. Angabe der *Umhüllungsdicke:* d dünn (120 % Gesamtdicke/Kerndrahtdicke), m mitteldick (120···140 %), s stark (>145 %)

Ergänzungen zu Tabelle 13.4 (Fortsetzung)

Bezeichnungsweise:

4. Die *Gütekennzahl* ergibt sich durch Aneinanderreihung der Kennzahlen für: Zugfestigkeit σ_B (0 ≙ keine Gewährleistung, 1 ≙ 41 kp/mm²···14 ≙ 140 kp/mm²), Bruchdehnung δ_5 (0; 1 ≙ 14 %···5 ≙ 30 %), Kerbschlagzähigkeit a_k (0; 1 ≙ 5 kp m/cm² bis 7 ≙ 17 kp m/cm²) und charakterisiert die mechanischen Eigenschaften des Schweißgutes.
5. Die *Schweißposition* wird charakterisiert durch:
a) alle Positionen (w, h, q, k, ü, s, f)
b) alle Positionen, außer Fallnaht (w, h, q, k, ü, s)
c) waagerechte Position, Steignaht (w, h, s)
d) nur Wannenlage (w)
Die *Stromkreis-Charakteristik* ist ähnlich, wobei
0, 0⁻, 0+ Gleichstrom mit Polung,
1···9 Wechselstrom und Gleichstrom in Abhängigkeit von der Leerlaufspannung (und der Polung)
angibt.
(Die Angaben 1.···3. entsprechen der DDR-Bezeichnung, die Hinzunahme der Angaben nach 4. ergibt die internationale Bezeichnung nach ISO.) Für Verbindungselektroden bei hochlegierten warmfesten Stählen (hitze- und korrosionsbeständig) erfolgt die Klassifizierung nach TGL 15793 Bl. 3.
Beispiel
Kb IX / Xs / 345 / 20+:
unlegierte Elektrode Typ Kb
Elektrodenklasse IX/X
Umhüllung stark
Festigkeit des Schweißgutes σ_B = 48 kp/mm² (nach Schlüsselliste)
Bruchdehnung δ_5 = 26 %
Kerbschlagzähigkeit a_k = 13 kp m/cm²
Schweißpositionen: w, h, q, ü, k, s
Stromart: Pluspolung

weiteren ergeben sich aus zusätzlich benötigten Schweißhilfsstoffen (Schweißpulver, Schutzgasgemisch u. ä.) Veränderungen sowohl metallurgischer als auch mechanischer Art. In Tabelle 13.6 sind einige der gebräuchlichsten Schweißkerndraht-Werkstoffe angegeben (nach TGL 7253).

13.2.5. Schweißpulver

Schweißpulver sind granulierte Massen unterschiedlicher Zusammensetzung.

Einteilung der Schweißpulver, allgemein:

a) nach Herstellungsart: Sinter-, Schmelz- und keramische Schweißpulver;

b) nach ihrer chemischen Zusammensetzung: saure, neutrale und basische Schweißpulver (bestimmt durch die chemische Charakteristik

$$A = \frac{\Sigma \text{ Basen} + 3\ Al_2O_3}{\Sigma \text{ Säuren}} \text{ in g mol};\quad A < 1 \triangleq \text{sauer},$$

$A = 1 \cdots 2 \triangleq$ neutral, $A > 2 \triangleq$ basisch);

c) nach ihrer Viskosität:

stark viskos – Mehrlagenschweißung,
mittel viskos – Wannenlage,
wenig viskos – Dünnblechschweißung;

d) nach TGL 7437:

Strombelastbarkeit, Stromart und Polung, Leerlaufspannung, Legierungseffekt, Klassen A . . . D und Anwendungsbereiche.

Aufgaben der Schweißpulver: analog Umhüllung der Elektroden

a) Schutz des Schmelzbades vor Oxydation, Schlackenbildung,
b) metallurgische Beeinflussung durch die im Pulver enthaltenen Komponenten (Bestandteile),
c) Stabilisierung des Lichtbogens,
d) Formung der Schweißraupe durch entsprechende Viskosität und Oberflächenspannung der Schlacke.

In Tabelle 13.7 sind Schweißpulversorten aufgeführt.

13.2.6. Schweißstromquellen

Sie haben die Aufgabe, die für das Schweißen erforderlichen hohen Stromstärken bei verhältnismäßig geringen Spannungen zu erzeugen. Nach der Konstruktionsart werden 3 Typen unterschieden:
Schweißgenerator, Schweißgleichrichter und *Schweißtransformator.*
Aus den besonderen Bedingungen des Schweißens werden an die Schweißstromquellen bestimmte Forderungen hinsichtlich ihres Arbeitsverhaltens gestellt. Auskunft darüber geben die statischen und dynamischen Kennlinien. Je nach Verfahren usw. sind Schweißstromquellen mit stark oder schwach geneigten Kennlinien zu verwenden. Grundsätzlich gilt, daß für das Lichtbogenhandschweißen Stromquellen mit stark fallenden statischen Kennlinien verwendet, während bei fast allen Hochleistungsschweißverfahren horizontale oder schwach geneigte Kennlinientypen bevorzugt werden.
Die Bilder 13.52···13.54 zeigen jeweils Prinzip und statische Kennlinie für den Schweißtransformator (Bild 13.52), für den Schweißgenerator (Bild 13.53) und für den Schweißgleichrichter (Bild 13.54).
Tabelle 13.8 enthält die gebräuchlichsten Typen der Schwei stromquellen.

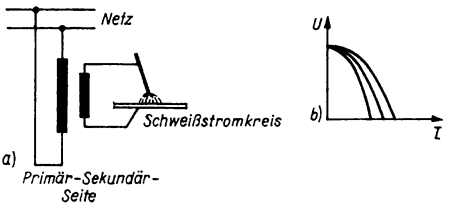


Bild 13.52. Schweißtransformator
a) Prinzip, b) statische Kennlinie
Netz: hohe Spannung, niedrige Stromstärke
Schweißstromkreis: hohe Stromstärke, niedrige Spannung

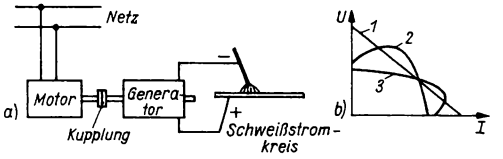


Bild 13.53. Schweißgenerator
a) Prinzip, b) statische Kennlinie für fremderregten Generator (1), Querfeld-Generator (2), Streufeld-Generator (3)

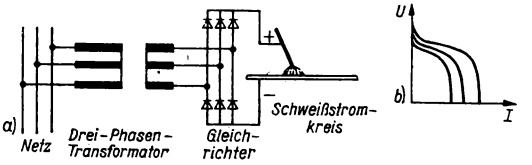


Bild 13.54. Schweißgleichrichter
a) Prinzip, b) statische Kennlinie

Tabelle 13.5: Umhüllte Elektroden für niedrig- und unlegierte Stähle

Typenbezeichnung	Farbkennzeichen	Eigenschaften und Verarbeitungsrichtlinien	Einsatzmöglichkeit bei: (Stahlmarken *))	Mechanische Gütewerte des Schweißgutes **)				Technologische Angaben		
								Biegewinkel für alle Elektrodentypen: 180°		
				σ_s kp/mm²	σ_z kp/mm²	δ %	a_k kp/cm²	Ø mm	I_s A	N_{ab} kg/h
Es VIIIs	grün	feintropfig; heißgehend; hohe Schweißgeschwindigkeit; ruhiger, stabiler Lichtbogen; hoch strombelastbar; tiefer Einbrand; geringe Spritzverluste; feine Nahtzeichnung bei leicht entfernbarer Schlacke; Schweißposition vorwiegend horizontal, Stromart: ~, = (Minuspol)	A: St34, 38, 42, 52 C: I···III D: Mu9, Mu13, Mb13 E: St35, St45 F: C10, C15 (alle Marken unbedingt schweißbar)	38 ⋮ 42	45 ⋮ 52	26 ⋮ 30	9 ⋮ 12	2 2,5 3,25 4 5 6	50··· 80 70···100 130···160 180···220 230···280 300···360	— — 1,05···1,60 1,85···2,40 2,20···2,90 3,00···3,90
Ti VIIm	weiß	universell für Verbindung und Heftung; besonders für Montageschweißung in *allen* Positionen anwendbar; großtropfig, gute Spaltüberbrückbarkeit; bis —20 °C verschweißbar; sehr zündfreudig, leichte Schlackenentfernbarkeit, Stromart: = (Minuspol), ~	A: St34, 38, 42, 52 bedingt St33, 50 C: I···III E: St35, 45, 52 F: C10, C15	42 ⋮ 48	48 ⋮ 54	22 ⋮ 26	8 ⋮ 11	2 2,5 3,25 4 5 6	50··· 70 60··· 90 100···130 140···180 180···230 240···290	— — 0,95···1,10 1,25···1,35 1,80···2,15 2,35···2,75
Ti VIIIs	rot	feintropfig; geringe Spritzverluste; glatte, feinschuppige Nähte mit kerbfreiem Übergang; in allen Positionen, außer fallend, verschweißbar; kleine Durchmesser besonders geeignet für Dünnblecharbeiten; Anwendung auch als Decklagenelektroden; bis —20 °C verschweißbar; Stromart: = (Minuspol), ~	A: St34, 38, 42, 52 bedingt: St33, 50 C: I···III D: Mug, Mu13, Mb13 E: St35, 45, 52 F: C10, C15	38 ⋮ 43	45 ⋮ 52	25 ⋮ 28	8 ⋮ 12	2 2,5 3,25 4 5 6	50··· 80 70···100 120···160 160···200 210···260 280···360	— — 0,75···1,20 1,10···1,60 1,50···2,05 2,10···2,90
Kb IX/Xs	blau	mitteltropfige Allzweckelektrode; gutes Zünden (anstreichen, nicht aufstoßen); geringe Spritzverluste, gute Nahtübergänge ohne Kerben; hohe Desoxydationsfähigkeit erlaubt sichere Schweißung auch an Stählen mit höherem P-, S- und C-Gehalt; sehr gute mechanische Eigenschaften und hohe Zähigkeit bei tiefen Temperaturen, Verwendung bei dynamischer Beanspruchung; bis —20 °C verschweißbar; nur trockene Elektroden verwenden (Ofentrocknung); Stromart: = (Pluspol)	A: St34, 38, 42, 50, 52, bedingt St33, 60 B: bedingt C: I···III bedingt IV/V D: Mu9, Mu13, Mb13, Mb16, Mb19, 17 Mn4 bedingt 19 Mn5 E: St35, 45, 52 bedingt St55 F: C10, C15, C25, C35 bedingt C45 G: Gs-40, Gs-45, bedingt Gs-50	43 ⋮ 48	50 ⋮ 55	28 ⋮ 35	16 ⋮ 20	2 2,5 3,25 4 5 6	60··· 90 120···160 160···200 180···230 220···270 290···360	— 1,10···1,35 1,55···1,90 1,85···2,25 2,30···2,60 3,00···3,50
	braun	Spezialelektrode für Positionsschweißung; vorwiegend vertikal steigend; sehr gute mechanische und physikalische Eigenschaften; Ausbringung 110 %; leichtes Zünden; besonders geeignet für Binnenschiffbau und Behälter; bis —20 °C verschweißbar, Elektroden trocknen, Lichtbogen kurz	A: St34, 38, 42, 50, 52 bedingt St33 B: bedingt C: I···IV/V D: Mu9, Mu13, Mb13, Mb16, Mb19, 17 Mn4 bedingt 19 Mn5 E: St35, 45, 52, bedingt St55	wie Kb IX/Xs (blau)				2 2,5 3,25 4 5 6	— — 120···150 160···200 210···260 —	— — 1,15···1,40 1,60···1,95 2,20···2,75 —

Fußnoten s. S. 292.

Tabelle 13.5 (Fortsetzung)

Typenbezeichnung	Farbkennzeichen	Eigenschaften und Verarbeitungsrichtlinien	Einsatzmöglichkeit bei: (Stahlmarken*))	Mechanische Gütewerte des Schweißgutes**)				Technologische Angaben		
								Biegewinkel für alle Elektrodentypen: 180°		
				σ_s kp/mm²	σ_z kp/mm²	δ %	a_k kp/cm²	∅ mm	I_s A	N_{ab} kg/h
	noch braun	halten, Stromart: = (Pluspol), ~ verschweißbar an Trafo mit 70 V Leerlaufspannung	F: C10, C15, C25, C35 bedingt C45 G: Gs-40, Gs-45, bedingt Gs-50							
Kb IX/XIIs	weiß	Kb-Fallnaht-Elektrode; gutes Zünden, kein Kleben; geringe Spritzverluste; keine Einbrandkerben; auch in anderen Positionen verwendbar; saubere, feingeschuppte Naht; Ausbringung 105 %, besonders hohe Kerbschlagzähigkeit; bis —20 °C verschweißbar; nur trockene Elektroden verwenden; Lichtbogen kurz halten, Stromart: = (Pluspol), ~, verschweißbar an Trafo mit 70 V Leerlaufspannung	A: St34, 38, 42, 50, 52 bedingt St33, 60, 70 B: bedingt C: I···III bedingt IV/V D: Mu9, Mu13, Mb13, Mb16, Mb19, 17Mn4 bedingt 19Mn5 E: St35, 45, 52, bedingt St55 F: C10, C15, C25, C35 bedingt C45 G: Gs-40, Gs-45, bedingt Gs-50	42 ⋮ 47	50 ⋮ 55	26 ⋮ 34	16 ⋮ 20	2 2,5 3,25 4 5 6	— — 120···150 160···200 — —	— — 1,15···1,30 1,50···1,80 — —
Kb XI/XIIs	violett	Kb-Typ für höhere Festigkeit; durch höheren Mn- und Si-Gehalt verbesserte statische Festigkeiten; Verarbeitung wie Kb IX/Xs (blau); Ausbringung 105 %; gutes Nahtaussehen; geringe Spritzverluste; besonders geeignet für Kesselstähle und THOMASstahl; bis —20 °C verschweißbar; nur trockene Elektroden verwenden; Lichtbogen kurz halten, Stromart: = (Pluspol)	A: St34, 38, 42, 50, 52 bedingt St33, 60, 70 B: unbedingt I···III. bedingt IV/V D: Mu9, Mu13, Mb13, Mb16, Mb19, 17Mn4, 19Mn5 bedingt 15Mo3 E: St35, 15, 55, bedingt St52 F: C10, 15, 25, 35, 45 bedingt C60 G: Gs-40, Gs-45, bedingt Gs-50	50 ⋮ 55	56 ⋮ 62	26 ⋮ 30	16 ⋮ 19	2 2,5 3,25 4 5 6	— — 120···150 160···200 210···260 280···350	— — 1,15···1,35 1,60···1,90 2,35···2,70 3,10···3,45
Fe Kb IX/X	hellblau	Hochleistungselektrode; Ausbringung 155 %; hohe Strombelastbarkeit; als Füllelektrode in w-Position; mit großen Kehlnahtdicken; in kleineren Durchmessern bedingt in Zwangslage schweißbar; Schlacke hebt sich von selbst ab; Naht: feinschuppig, röntgensicher, porenfrei; bis —20 °C verschweißbar; Elektrode nur trocken verwenden; Stromart: = (Pluspol), ~; verschweißbar an Trafos mit 70 V Leerlaufspannung	A: St34, 38, 42, 50, 52 bedingt St33, 60 B: bedingt C: I···III D: Mu9, Mu13, Mb13, Mb16, Mb19, 17Mn4 bedingt 19Mn5 E: St35, 45, 52, bedingt St55 F: C10, 15, 25, 35 G: Gs-40, Gs-45	46 ⋮ 50	50 ⋮ 55	26 ⋮ 30	16 ⋮ 20	2 2,5 3,25 4 5 6	— — 140···170 180···220 260···310 330···380	— — 1,60···1,80 2,05···2,50 3,0 ···3,60 4,0 ···4,60

*) Bezeichnung der Stahlarten:
A ≙ Allgemeine Baustähle, TGL 7960;
B ≙ Hochbaustahl, TGL 101-014;
C ≙ Schiffbaustähle, DSRK 8;
D ≙ Kesselbleche, TGL 14507;
E ≙ Rohrstähle, TGL 9413;
F ≙ Einsatzstähle, TGL 6546, Vergütungsstähle, TGL 6547;
G ≙ Stahlguß, TGL 14315.

**) σ_s Festigkeit, σ_z Zugfestigkeit, δ Bruchdehnung, a_k Kerbschlagzähigkeit.

Tabelle 13.6: Gebräuchliche Schweißkerndraht-Werkstoffe

Elektrodenmaterial (Stahlmarke)	Verfahren	Zusammensetzung									
		C	Si	Mn	P_{max}	S_{max}	Cr	Mo	Ni	V	Sonst.
Einsatzgebiet: allgemeine Baustähle, TGL 7960; niedriglegierte Baustähle, TGL 14509; Stähle ähnlicher Zusammensetzung											
MbK 8 (GI) 8MnNi4 (GII) 17MnNi4 (GIII) MbK 10	Gas-, UP-	0,07 bis 0,12	0,07 bis 0,15	0,5 bis 0,7	0,035	0,035					
MbK 10S			0,15 bis 0,25		0,030	0,030					
10Mn4	UP-	0,06 bis 0,12	0,15 bis 0,25	0,9 bis 1,3							
10Mn4Al			0,05 bis 0,15								Al ≦ 0,03
8Mn6	UP- ES-		Spuren	1,4 bis 1,8							
10Mn6			0,15 bis 0,25	1,3 bis 1,7							
10Mn6Al			0,05 bis 0,15								Al ≦ 0,03
10Mn8			0,05 bis 0,15	1,7 bis 2,1							
10Mn8Al											Al ≦ 0,03
10MnSi6	CO_2-		0,8 bis 1,0	1,5 bis 1,6							
10MnSi8				1,7 bis 2,1							
Einsatzgebiet: warmfeste Stähle, z. B. TGL 14183 (Rohre mit gewährleisteten Warmfestigkeitseigenschaften); TGL 15089 (Flansche und Bunde mit gewährleisteten Warmfestigkeitseigenschaften); TGL 13872 (Warmfeste Stähle für Federn); TGL 7961 (Warmfeste Stähle für Schrauben und Muttern)											
9CrMo4.5	UP-	0,07 bis 0,12	0,15 bis 0,30	0,6 bis 0,8	0,025	0,025	1,0 bis 1,3	0,4 bis 0,6			
7CrMo12.10		≦0,1	0,20 bis 0,35	0,4 bis 0,7			2,8 bis 3,2	0,9 bis 1,1			
Einsatzgebiet: rost- und säurebeständige Stähle (nach TGL 7143), z. B. TGL 13795 (Feinbleche aus rost- und säurebeständigen Stählen); TGL 13811 (Grobbleche aus rost- und säurebeständigen Stählen); TGL 15196 (Kaltgewalzte Bänder aus rost- und säurebeständigen Stählen); TGL 14187 (Rost- und säurebeständige Stähle für Federn)											
X8CrNiNb19.9	UP- MIG-	≦0,10	0,5 bis 0,8	1,0 bis 1,5	0,030	0,020	18,5 bis 20,5	2,0 bis 2,5	8,5 bis 10,5		Nb mind. 12 × (% C)
X8CrNiMoNb19.10	UP-						18,0 bis 20,0		9,5 bis 11,5		
X8CrNiMoNb19.12								2,6 bis 3,2	11,5 bis 13,5		
Einsatzgebiet: hitze- und zunderbeständige Stähle, TGL 7061, z. B. TGL 15194 (Feinbleche aus hitze- und zunderbeständigen Stählen)											
X12CrNi25.20	UP-	≦0,15	0,90 bis 1,20	1,8 bis 2,5	0,030	0,020	24,00 bis 26,00		19,0 bis 21,0		
Schweißdrähte für austenitische und verschleißfeste Schweißungen											
X15CrNiMn18.8.6	UP-	≦0,15	≦1,5	5,5 bis 7,5	0,035	0,020	17,00 bis 20.0		7,5 bis 9,5		

Tabelle 13.7: Schweißpulversorten

Typenbezeichnung (Pulversorte)	Verfahren	Herstellungsart	Hersteller	Chemische Zusammensetzung in % (Hauptbestandteile)							Besondere Eigenschaften
				MnO	CaO	MgO	Al_2O_3	CaF_2	SiO_2	TiO_2	FeSi	
Pie 18 UP	UP-Hochleistungsschweißverfahren	Schmelzpulver	VEB Stickstoffwerk Piesteritz	17 bis 18	19 bis 21	6 bis 7	1,5 bis 2	5	45 bis 46	—	—	siehe „Einteilung" und „Aufgaben"
Pie 40 UP				42	2 bis 3	Rest	9 bis 11	2	38 bis 40	—	—	
SPC Mn 33/100		Sinterpulver	VEB Neuglas Weißwasser	18	21	6,5	—	6	48	—	—	Pulverkörnungen: 0,2…3,0 mm
SPC Mn 40/360				14 bis 15	11 bis 12	5 bis 6	40	8	30	—	—	
SPC Mn 100/100				48	—	—	—	—	33	11	3	
SPC Mn 40 Ti/360				12	11	5	34	8	20	7	3	
ESP 500–TiO_2	ES-Hochleistungsschweißverfahren			—	19,5	—	17,7	40,6	16,7	5,5	—	*)
ESP Mn 70/135–TiO_2				30,2	10,0	—	6,5	14,0	29,5	9,8	—	

*) Technologisch bedingt sind: niedriger Schmelzpunkt, hoher Siedepunkt, geringe Lichtbogenstabilität der Schlacke und mittlere Viskosität, ausreichende elektrische Leitfähigkeit zur Gewährleistung des Schweißvorgangs bei geringer Schweißspannung, ESP 500–TiO_2: =, ESP Mn 70/135–TiO_2: =.

Tabelle 13.8: Gebräuchlichste Typen der Schweißstromquellen

Typ	Stromart	Bezeichnung	
Schweißgenerator	Gleichstromschweißung	KW 280 KW 360 KW 510 KW 1000	KW 400 VC KW 510 VC KW 700 VC
Schweißgleichrichter		SG 221 Zis-G-127/60	SG 361
Schweißtransformator	Wechselstromschweißung	KTN 180 KTN 260 KTN 510 FT-350	KTDV 1000 DB Rekord II Rekord III

13.2.7. Nachbehandlung geschweißter Teile, Spannungen, Schrumpfungen, Schweißfolgeplan

Durch die örtliche Wärmeeintragung entstehen im fertiggeschweißten Bauteil z. T. beträchtliche Eigenspannungen und durch vorherrschende Kristallisationsrichtungen in der Naht Abminderungen der Festigkeiten (z. B. Kerbschlagzähigkeit). Durch besondere *Nachbehandlung* können diese ungünstigen Einflüsse abgebaut werden:

a) Niedrigtemperaturentspannen
Mit Hilfe von Gasbrennern wird die der Schweißnaht benachbarte Zone beidseitig der Naht auf etwa 200 °C erwärmt. Die anschließende Abkühlung mit Wasser (Brausen) führt zu einem Temperaturgefälle, bei dem den Eigenspannungen entgegengesetzte Spannungen entstehen, so daß die Eigenspannungsspitzen stark abgebaut werden. *Brennergeschwindigkeit* bei $s = 6$ mm: $v_{Br} \approx 70$ cm/min; bei $s = 40$ mm: $v_{Br} \approx 8$ cm/min.

b) Spannungsarmglühen
Das gesamte Werkstück wird auf 550…650 °C erwärmt und dann gleichmäßig abgekühlt. Neben dem Abbau der Eigenspannungen werden auch noch die Versprödungserscheinungen und Aufhärtungen im Schweißnahtbereich beseitigt. Damit ist eine Verbesserung der Kerbschlagzähigkeit verbunden. Das Verfahren ist in der Anwendung von der Bauteilgröße stark abhängig.

c) Normalglühen
Das gesamte Werkstück wird auf etwa 900 °C (materialabhängig) erwärmt und langsam abgekühlt. Die maximale Temperatur ist mindestens 20…30 min zu halten. Bei Werkstoffdicken ab 10…12 mm beträgt die Haltezeit etwa 2 bis 3 min/mm Dicke.

d) Mechanische Belastung
Liegt gut verformbarer Schweißgutwerkstoff vor, können die Eigenspannungen auch durch mechanische Belastung bis σ_S (Streckgrenze) abgebaut werden.

Spannungen und Schrumpfungen

Aus dem örtlichen Wärmeeintrag ergeben sich thermische Belastungen des Bauteils, die sich in Deformationen äußern. Hervorgerufen werden sie durch das Wirken der Wärmedehnung (Wärmedehnungskoeffizient) und die Veränderung des Elastizitätsmoduls und der Streckgrenze in Abhängigkeit von der Temperatur.

Schrumpfspannungen treten nur bei behinderter Schrumpfung auf (Längsschrumpfung, Querschrumpfung).

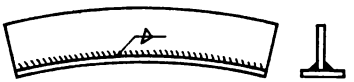
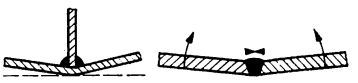
Tabelle 13.9 gibt einen Überblick über die Schrumpfungsarten.

Der *Schweißfolgeplan* berücksichtigt das Schrumpfverhalten und gibt die Reihenfolge der einzelnen Schweißabschnitte an. Es ergeben sich dabei typische Schweißfolgen und Richtlinien:

a) *Heften:* Die Heftstellen (Abstand 20…30 × Blechdicke, Länge 2…3 × Blechdicke) sichern einmal eine formbeständige Lage der Einzelteile zueinander, zum anderen übernehmen sie Formänderungskräfte.

b) Bei Blechtafelkonstruktionen sind immer *zuerst die Quer-, dann die Längsnähte* zu schweißen. Treten Stumpf- und Kehlnähte in einem Bereich auf, sind die Stumpfnähte zuerst zu schweißen.

Tabelle 13.9: Arten der Schrumpfung

Schrumpfungsart	Bild	Gegenmaßnahmen
Längsschrumpfungen treten in jeder Naht auf und wirken in Nahtrichtung. Die Behinderung der Schrumpfung ergibt sich aus dem thermisch nicht gleichmäßig beanspruchten Querschnitt der Einzelteile.	 Krümmung infolge Längsschrumpfung bei unsymmetrischer Nahtanordnung (Schrumpfmoment)	vorzugsweise schnellarbeitende Schweißverfahren (UP-Schweißen); Spannungsfrei- oder Normalglühen; Einhalten des Schweißfolgeplans
Querschrumpfungen entstehen durch das räumliche Schrumpfverhalten des Schweißgutes und rufen überall dort, wo die Schrumpfung behindert ist, Spannungen hervor.	 Krümmung infolge Längs- und Querschrumpfung (Quernähte an den Aussteifungsblechen)	vorzugsweise geringer Nahtquerschnitt; Anordnung der Nähte und Reihenfolge ihrer Ausführung so, daß eine freie Querschrumpfung möglich ist
Winkelschrumpfungen entstehen durch unsymmetrische Nahtformen bei der Verbindung von Blechen u. ä. oder bei Kehlnähten für den Anschluß der Gurtbleche an den Trägersteg.		vorzuziehen sind symmetrische Nahtformen, z. B. X-Naht, ||-Naht. Die Anzahl der Lagen und die Größe des Nahtöffnungswinkels sind so gering wie möglich zu halten; gute Heftung der Teile; Vorknicken der Teile um den Winkel α (Erfahrungswert)

c) *Winkelschrumpfungen* können fast vollständig ausgeschlossen werden, wenn
bei symmetrischen Nähten von der einen Seite zur Hälfte, von der Gegenseite voll und dann von der ersten Seite fertiggeschweißt wird;
bei unsymmetrischen Nahtformen die Wurzel gegengeschweißt wird, bevor der größere Nahtteil fertiggeschweißt ist;
bei doppelten Kehlnähten an T-Verbindungen die Blechdicke groß ist; der Steg muß beim Legen der ersten Naht um das zu erwartende Schrumpfmaß geneigt werden.

d) Zur Erzielung kleiner Schrumpfungen kann im *Pilgerschritt-Verfahren* (Bild 13.55) gearbeitet werden. Die erste Lage wird streckenweise (Länge etwa 2···3 Elektrodenabbrennlängen), die weiteren Lagen bei Stumpfnähten werden durchlaufend geschweißt, jedoch ist bei jeder Lage die Schweißrichtung umzukehren. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Anwendung der *Kaskaden-Schweißfolge* (Bild 13.55).

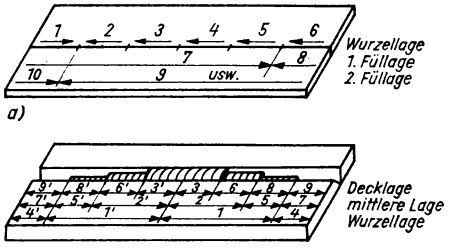


Bild 13.55. Schrumpfarmes Schweißen
a) Pilgerschritt-Verfahren, b) Kaskadenschweißung

13.2.8. Darstellung geschweißter Konstruktionen, Nahtformen

Besonderheiten der Darstellung geschweißter Konstruktionen
Die vielfältigen Möglichkeiten der Verfahrens- und Zusatzwerkstoffauswahl, der technologischen Bedingungen usw. erfordern auf den Ausführungszeichnungen genaue Angaben über alle schweißtechnischen Einzelheiten. Sofern für alle auf einer Zeichnung vorkommenden Schweißnähte gültig, sind im *Schriftblock* grundsätzlich zu vermerken:

a) Schweißverfahren (TGL 14904),
b) Zusatzwerkstoff,
c) TGL-Vorschrift für Ausführung und Abnahme (Prüfung),
d) Ausführungsklasse (TGL 11776),
e) eventuelle Wärmebehandlung,
f) Hinweis auf Schweißfolge.

Gelten für die verschiedenen Nähte unterschiedliche Angaben, so sind diese jeweils der Nahtdarstellung zuzuordnen.
Tabelle 13.10 (S. 296 ff.) gibt eine Übersicht über gebräuchliche Nahtformen (Einsatzbereich, Nahtvorbereitung).

13.2.9. Berechnung der Schweißverbindungen

Für die Berechnung der Schweißverbindungen und für die konstruktive Gestaltung von Schweißteilen sind die verschiedenen Standards zu beachten. Die wichtigsten Standards sind in Tabelle 13.11 zusammengestellt.

Tabelle 13.11: Wichtigste Standards für Berechnung und Gestaltung

TGL	Anwendungsgebiet
13500	Stahltragwerke, allgemein
13501	Stahlrohr- und Dünnblechtragwerke
13503 (0-4114)	Stabilitätsfälle (Vorschriften und Richtlinien)
13450	Stahltragwerke im Hochbau
13460	Stahltragwerke im Brückenbau (Stählerne Straßenbrücken)
13470/71	Stahltragwerke für Krane und Kranbahnen
13472	Stahltragwerke für Tagebau-Großgeräte
13490	Stahltragwerke im Stahlwasserbau
18-2030	Geschweißte Maschinenbau-Elemente

Grundformeln

Zugbeanspruchung: $\sigma_z = \frac{F_z}{A}$ in kp/cm²,

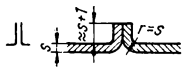
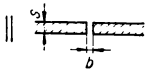
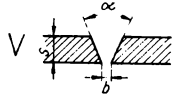
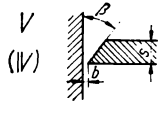
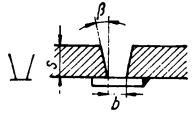
wobei F_z Zugkraft, A Querschnittsfläche.

Druckbeanspruchung: $\sigma_d = \frac{F_{Dr}}{A}$;

bei Stabilitätsfällen $\sigma_d = \omega \frac{F_{Dr}}{A}$,

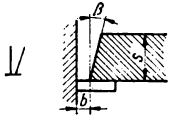
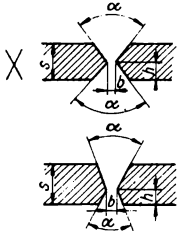
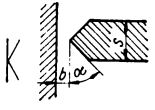
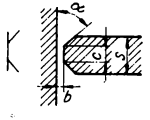
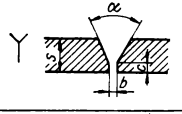
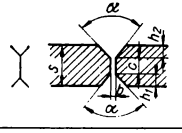
ω Knickbeiwert, aus Tabellen zu entnehmen, unterschiedlich für Materialart und Querschnittsform.

Tabelle 13.10: Gebräuchliche Nahtformen (Einsatzbereich, Nahtvorbereitung)

Bezeichnung	Symbol / Nahtform	Verfahren	Schweißung	Für Blechdicken s mm	α, β °	Stegabstand b mm	Steghöhe c mm	Flankenhöhe h	Bemerkungen
Bördelnaht		LBH[1])	einseitig	≦2	—	—	—	—	ohne Zusatzwerkstoff
		G[2])	einseitig	≦1,5	—	—	—	—	
I-Naht		LBH	einseitig	≦3	—	≈s	—	—	Unterlage zweckmäßig
			beidseitig	3 ··· 5	—	≈s/2	—	—	
		G	einseitig	<1 ··· 8	—	0 ··· 2	—	—	
			beidseitig	5 ··· 10	—	≈4	—	—	beide Seiten gleichzeitig schweißen
		Tf[3])	einseitig	5 ··· 6	—	0 ··· 2	—	—	Unterlage notwendig, Nahtwurzel leicht nach innen gewölbt
			beidseitig	6 ··· 16	—	0 ··· 3	—	—	
		UP[4])	einseitig	1,5 ··· 8	—	≦1,5	—	—	vollständiges Durchschweißen auf Cu-Unterlage nur bis 4,0 mm möglich
				4 ··· 15	—	2 ··· 4	—	—	mit Pulverkissen als Badsicherung
			beidseitig	3 ··· 20	—	≦1,5	—	—	üblich für zu röntgende Nähte
				12 ··· 40	—	4 ··· 8	—	—	mit Pulverkissen als Badsicherung
V-Naht		LBH	einseitig	3 ··· 20	≈60	≈2	—	—	Unterlage zweckmäßig
			beidseitig	5 ··· 20					Wurzel ausarbeiten, Kapplage
		G	einseitig	3 ··· 12	≈60	2 ··· 4	—	—	
		UP	einseitig	4 ··· 20	30 ··· 50	0 ··· 3	—	—	Unterlage erforderlich
halbe V-Naht		LBH	einseitig	3 ··· 16	45 ··· 60	0 ··· 3	—	—	meist in Verbindung mit Kehlnähten
Steilflankennaht		LBH	einseitig	>10	≈10	6 ··· 10	—	—	Unterlage erforderlich
		UP	einseitig	>20	5 ··· 10	10 ··· 16	—	—	auf Unterlage, mehrlagig schweißen

Fußnoten s. S. 299.

Tabelle 13.10 (Fortsetzung)

Bezeichnung	Symbol / Nahtform	Verfahren	Schweißung	Für Blechdicken s mm	α, β °	Stegabstand b mm	Steghöhe c mm	Flankenhöhe h	Bemerkungen
halbe Steilflankennaht		LBH	einseitig	15···30	15···30	6···10	—	—	Unterlage notwendig, meist in Verbindung mit Kehlnähten
X-Naht		LBH	beidseitig	16···40	≈60	2	—	$s/2$, $s/3$[5])	
		G	beidseitig	>12	50	4	—	$s/2$	für Sonderfälle beim Nach-rechts-Schweißen und bei gleichzeitigem Schweißen beider Nahthälften
		UP	einseitig	10···50	50···90[6]) 50···60	1,5···3	—	$s/2$, $s/3$[7])	Unterseite ist in LBH herzustellen
K-Naht		LBH	beidseitig	16···40	45···60	0···2	—	—	auch als $^2/_3$-Naht, meist in Verbindung mit Kehlnähten
K-Steg-Naht		Tf	beidseitig	10 >16	45 45	0 3	2 7	— —	
Y-Naht		LBH	beidseitig	8···20	60	0···2	2··· 4	—	Wurzel ausarbeiten, Kapplage
		Tf	beidseitig	10···20	90	0···3	7···13	—	
		UP	einseitig	15···30	40···90	≦1,5	3···12	—	gegengeschweißte Wurzel
Doppel-Y-Naht		Tf	beidseitig	>12 >18	90 90	0 3	4 10	— —	
		UP	beidseitig	>15	40···90	≦1,5	5··· 9	—	$h_1 = h_2$ oder $h_1 \neq h_2$

Fußnoten s. S. 299.

Tabelle 13.10 (Fortsetzung)

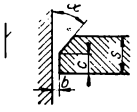
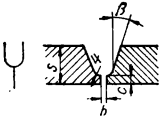
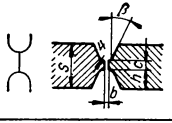
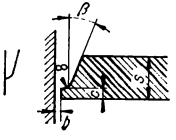
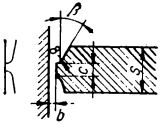
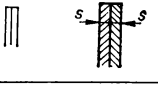
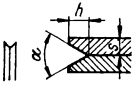
Bezeichnung	Symbol / Nahtform	Verfahren	Schweißung	Für Blechdicken s mm	α, β °	Stegabstand b mm	Steghöhe c mm	Flankenhöhe h	Bemerkungen
halbe Y-Naht		Tf	einseitig	<12	45	0…3	2…4	—	s<8 mm: Unterlage zweckmäßig
			beidseitig	>10	45	0…3	5…10	—	
U-Naht Tulpennaht		LBH	einseitig	>16	≈10	2	2	—	in Sonderfällen auch für s < 16 mm
			beidseitig	>16	≈10	0…2	3	—	Wurzel ausarbeiten, Kapplage
		UP	von einer Seite	>30	5…10	<1,5	5…10	—	mehrlagige Schweißnaht, mit beliebigem Verfahren gegenschweißen
Doppel-U-Naht		LBH	beidseitig	>30	10	0…3	3	≈s/2	auch als $^2/_3$-Naht
		UP	beidseitig	>50	5…10	<1,5	6	—	jede Seite mehrlagige Naht
J-Naht		LBH	einseitig	>16	20	2	2	—	meist in Verbindung mit Kehlnähten
			beidseitig						
		UP	von einer Seite	>30	5…10	<1,5	5…10	—	mehrlagige Naht, mit beliebigem Verfahren gegengeschweißt
Doppel-J-Naht		LBH	beidseitig	>30	20	2	2	—	auch als $^2/_3$-Naht, in Verbindung mit Kehlnähten
		UP	beidseitig	>50	5…10	<1,5	6	—	mehrlagige Naht
Stirnflachnaht		LBH	einseitig	>3	—	—	—	—	—
		G	einseitig	<5	—	—	—	—	—
Stirnfugennaht		LBH	einseitig	>4	60	—	—	5…1,2s	—
		G	einseitig	>3	60	—	—	≈s	—

Tabelle 13.10 (Fortsetzung)

Bezeichnung	Symbol / Nahtform	Verfahren	Schweißung	Für Blechdicken s mm	α, β °	Stegabstand b mm	Steghöhe c mm	Flankenhöhe h	Bemerkungen
Kehlnaht	**sichtbar a···d, nicht sichtbar e···g**		**3 mm ≦ a ≦ 0,7s in mm**						**(a = 6 mm Anzahl der Teilungen: 10 Nahtlänge l = 50 mm Teilung: $l + z$ = 50 + 150 = 200)**
Doppelkehlnaht									

[1]) Lichtbogen-Handschweißung. [2]) Gasschweißen. [3]) Elektroschweißen mit Tiefeinbrand-Elektrode. Bei Schweißnahtbezeichnung durch Voranstellen vor das Nahtsymbol kennzeichnen. [4]) Werte für Unter-Pulver-Schweißverfahren (UP-Schweißen). [5]) $U = s/3$ gilt für $^2/_3$-X-Naht. [6]) α-Werte für Ober- und Unterseite der Naht. [7]) Es können auch Abweichungen zwischen 4 und 15 mm bei s = 10···50 mm auftreten. Die Nahtform ist allgemein gesondert darzustellen.

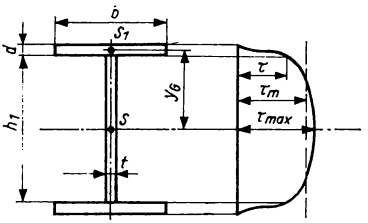


Bild 13.56. Schubbeanspruchung

Schubbeanspruchung (Abscheren) (Bild 13.56):

$\tau = \frac{F_s}{A_s} = \frac{\text{Schubkraft}}{\text{Schubfläche}}$ in kp/cm²,

$\tau = \frac{F_Q S}{It}$ (Schubspannungsverlauf am Querschnitt infolge Querkraft (F_Q), erforderlich z. B. bei Berechnung der Halsnähte an geschweißten Biegeträgern),

$\tau_m = \frac{F_Q}{A_{Steg}}$; $A_{Steg} = h_1 t$ (für Schubspannungsnachweis bei I-Profilen);

$S = A_G y_G$ in cm³, statisches Moment der anzuschließenden Fläche, bezogen auf den Gesamtschwerpunkt
I Gesamtträgheitsmoment,
$t = \sum$ Kehlnahtdicken bei Doppelkehlnaht,
$= \sum$ Stegblechdicken bei Stumpfanschluß.

Biegebeanspruchung:

$\sigma_{bz} = \frac{M}{W} = \frac{\text{Biegemoment}}{\text{Widerstandsmoment}}$

in kp/cm²; $W = \frac{I}{e}$.

Torsionsbeanspruchung (Verdrehen):

$\sigma_t = \frac{M_t}{W_t} = \frac{\text{Torsionsmoment}}{\text{Torsions-Widerstandsmoment}}$ in kp/cm².

Alle errechneten Spannungen müssen den in den Standards angegebenen *zulässigen Spannungen* gegenübergestellt werden:

$\sigma_{vorh} \leqq \sigma_{zul}$, $\tau_{vorh} \leqq \tau_{zul}$.

Wirken mehrere Spannungsarten in verschiedene Richtungen, sind die *Gesamtspannungszustände* nach Vorschrift zu ermitteln und den entsprechenden zulässigen Spannungen gegenüberzustellen. Wirken gleichartige Spannungen in verschiedene Richtungen, so können diese im allgemeinen zu einer *resultierenden Spannung* zusammengefaßt werden:

$\sigma_r = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$, $\tau_r = \sqrt{\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2}$,

Ermittlung der zulässigen und erforderlichen *Nahtlängen* bei Flankenkehlnähten (Beanspruchung auf Abscheren):

$l_{erf} = \frac{F}{\tau_{zul} \sum a}$, $l_{ausgef} = l_{erf} + 2a$ (bei Verwendung von Entkraterblechen: $l_{ausgef} = l_{erf}$)

für Flankennähte nach TGL 13500:

$l_{zul} < 60a$; l_{zul}: $>15a$ für Ausführungsgruppen A, B,
$>10a$ für Ausführungsgruppe C.

Schweißnahtflächen: $A_{schw} = \sum la$.

Bei Schubbeanspruchung sind nur die Schweißnähte anzusetzen, die, bedingt durch ihre Lage, vorwiegend zur Kraftübertragung in Frage kommen (meist: Nahtrichtung parallel Schubkraftrichtung).

Das Zusammenwirken verschiedener Nahtarten (z. B. Flankenkehlnähte und Querstumpfnähte) ist gemäß TGL 13500 durch Abminderung der Fläche zu berücksichtigen und darf auch nicht in jedem Fall angewendet werden.

Für Bauteile, die einem *ständigen Lastwechsel* unterworfen sind (Schwell- oder Wechselbeanspruchung), muß je nach Umfang der Lastwechsel Dauer-, Zeit- oder Betriebsfestigkeit nachgewiesen werden. Dazu werden die Bauteile nach Art und Lage der Schweißnähte, nach erfolgter oder nicht erfolgter Bearbeitung (Verschleifen) der Nahtübergänge u. ä. Gesichtspunkten klassifiziert (TGL 13500, Dauerfestigkeit), ein dementsprechend abgeminderter zulässiger Spannungsbereich wird festgelegt. Damit erfolgt der Spannungsnachweis in gleicher Form wie bisher:

$\sigma_{D\,vorh} \leqq \sigma_{D\,zul}$ bzw. $\tau_{D\,vorh} \leqq \tau_{D\,zul}$.

13.2.10. Ausführungsklassen der Schweißnähte, Gestaltungsrichtlinien

Ausführungsklassen der Schweißnähte (nach TGL 11776)

IA: Befähigungsnachweis mindestens B II oder R II nach TGL 2847 Bl. 1; alle Schweißpositionen; gegengeschweißte Wurzel; Verwendung von Kraterblechen; Heftstellen ausarbeiten oder voll aufschmelzen; Einbrandkerben verschleifen; RÖNTGEN-Prüfung mit Mindestnote 2; Nahtüberhöhungen sind abzuarbeiten.

IB: wie IA, Nahtüberhöhungen können bei Einhaltung der zulässigen Toleranzen belassen werden.

IIA: Befähigungsnachweis mindestens B I oder R I; Heftstellen ausarbeiten oder vollständig aufschmelzen; Kraterbleche nur im Kesselbau oder bei dynamischer Beanspruchung erforderlich; alle Schweißpositionen; Wurzel gegengeschweißt: Kontrollprüfungen können angeordnet werden; Nahtüberhöhungen bei zulässiger Toleranz belassen.

IIB: wie IIA; Kraterbleche nur im Kesselbau; einseitige Schweißung zulässig; Querschnitt voll durchschweißen; Nahtbearbeitung nicht erforderlich.

III: Befähigungsnachweis: mindestens Grundprüfung nach TGL 2847; wie IIB; keine Kontrollprüfungen.

Gestaltungsrichtlinien

Herstellung allmählicher *Übergänge bei Breiten- oder Dickenwechsel* (Bild 13.57).

Bild 13.58 zeigt *Stumpfstöße* übereinanderliegender Bleche.

Kehlnähte dürfen an einem Querschnitt nur dann einander gegenüberliegen, wenn dieser Teil mindestens die 1,5fache Kehlnahtdicke besitzt, andernfalls sind die Nähte um 2fache Blechdicke gegeneinander zu versetzen (Bild 13.59).

Unterbrochene Nähte dürfen bei Gefährdung durch Korrosion nicht angewendet werden.

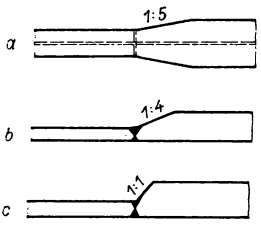


Bild 13.57. Übergänge bei Breiten- und Dickenwechsel
a) Ausf.-Gr. A; b) Ausf.-Gr. A,B; Ausf.-Kl. IA, IB; c) Ausf.-Gr. C, A, B; Ausf.-Kl. II



Bild 13.58. Stumpfstöße

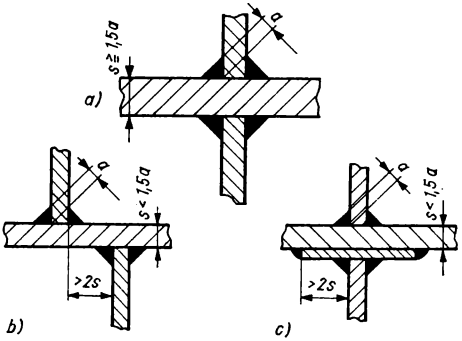


Bild 13.59. Kehlnähte
a) gegenüberliegend, b) versetzt, c) mit eingeschweißter Aussteifung

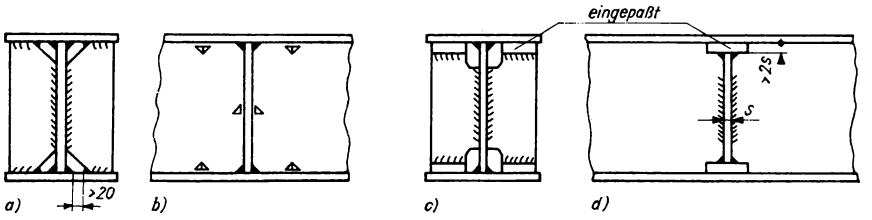


Bild 13.60.
Beulsteifen bei Vollwandträgern
a), b) ohne, c), d) mit Druckplättchen.

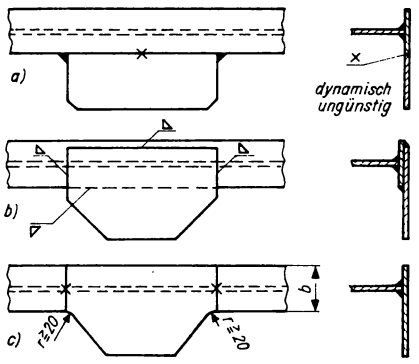


Bild 13.61. Schweißnähte und Ausrundungen an Knotenblechen
(Ausrundungsradien bis $r > 60$ mm bzw. $r > b/4$)

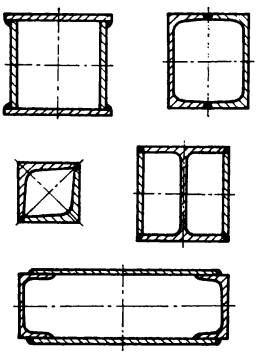


Bild 13.62.
Kastenquerschnitte

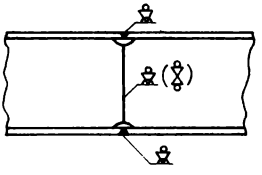


Bild 13.63. Trägerstoß bei dynamischer Beanspruchung

Einschweißen von *Aussteifungen* (Dicke s) vermindert die Dauerfestigkeit des Bauteils. Vielfach werden im Bereich von Gurten die Aussteifungsbleche nicht angeschweißt, sondern durch scharf angepaßte, mindestens $2s$ dicke Plättchen kraftschlüssig angeschlossen (Bild 13.60).
Besondere Beachtung ist der *Lage der Schweißnähte* und den *Ausrundungen* von Knotenblechen (angesetzt oder eingesetzt) zu schenken (Bild 13.61).
Bild 13.62 zeigt *Kastenquerschnitte*, Bild 13.63 den *Trägerstoß* bei dynamischer Beanspruchung und Bild 13.64 den *Trägeranschluß* an Knotenblech.

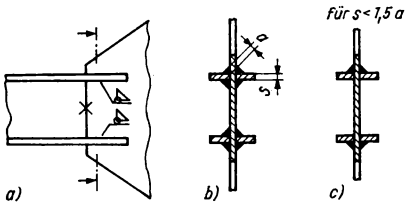


Bild 13.64. Trägeranschluß an Knotenblech

13.3. Metallkleben

13.3.1. Allgemeines

Das Metallkleben ist ein Fügeverfahren zur Herstellung einer festen, nicht lösbaren Verbindung zweier Teile aus metallischem oder nichtmetallischem Werkstoff durch einen synthetischen Klebstoff. Die Bindung zwischen den Werkstoffflächen erfolgt durch Oberflächenhaftung (Adhäsion) und innere Festigkeit (Kohäsion) des Klebstoffs. Nach der zur Aushärtung des Klebers erforderlichen Temperatur unterscheidet man *Kalt-* und *Warmklebeverfahren*. Klebeverbindungen sind sowohl für schwerste statische als auch für dynamische Belastung anwendbar. Ihr Anwendungsbereich erstreckt sich im wesentlichen auf dünnblechverarbeitende Industriezweige und den Maschinenbau.

Anwendungsbeispiele
Allgemeiner Maschinenbau: Bremsbeläge, Kugellager und Buchsen, Spinnspulen, kleine Behälter, Beschläge, Metallbänder, Meßdosen, Luftverdichterschaufeln, Formverkleidungen;
Fahrzeugbau: Vergaserschwimmer, Gepäckträger, Luftpumpen, Zellenbauteile im Flugzeugbau, Sandwich- und Wabenbauweise;
Elektrotechnik: Trafobleche, Kondensatoren, Motorläufer, Ringkerne;
Reparaturklebung hochwertiger Bauteile (Risse, Durchschläge).
Der *Temperatur-Einsatzbereich* der Klebeverbindungen liegt bei konventioneller Technik zwischen —60 und +150 °C. Als Extremwerte wurden jedoch schon —90 und +350 °C erreicht.
Tabelle 13.12 stellt *Vor- und Nachteile der Klebetechnik* einander gegenüber.

13.3.2. Klebstoffe, Vorbehandlungen

Klebstoffe (nach TGL 0-16920)

Kontaktkleber
Einstreichen beider zu verbindender Klebeteile, Verdunstung der Lösungsmittelhauptmenge, Zusammenfügen der Teile unter leichtem Druck mit sofortiger Klebwirkung.
Chemische Basis: synthetischer Kautschuk (Polychlorbutadien, Kopolymere von Akrylnitrit und Butadien).
Für Kleben von Metall, Kunststoffen, Holz u. a.

Chemisch aktivierbare Klebstoffe
Meist Zweikomponentenkleber, die durch chemische Reaktion der beiden Komponenten (Klebstoff und Härter) aushärten (warm- oder kalthärtend); Klebung unter Druck.
Chemische Basis: Epoxidharze, Melanin, Phenole u. a. Für Kleben von wasser- und kochfesten Holz-, Metall-Keramik- und Kunststoffverbindungen.

Tabelle 13.12: Vor- und Nachteile der Klebetechnik

Vorteile	Nachteile
durch Flächenverbindung gleichmäßige Spannungsverteilung (günstig bei dynamischer Belastung)	geringe Biege- und Schälfestigkeit der Verbindungen, geringe Temperaturfestigkeit oberhalb 100 °C
keine Beulspannungen	Kriechneigung
Zugscherfestigkeit des Grundwerkstoffs kann in der Klebfuge erreicht werden	Aushärtung des Klebers beim Warmverfahren erfordert Druck und Wärme
keine thermische Beeinflussung des Grundwerkstoffs – keine Schrumpfung	lange Aushärtungszeiten
Schwingungsdämpfung durch elastische Eigenschaften des Klebers	großer technischer Aufwand für Wärme- und Pressenanlagen, Kleberverarbeitung und Klebflächenvorbereitung
der Klebstoff isoliert elektrisch – Vermeidung von Spaltkorrosion	besondere Haftgrundvorbereitung
Verbindung unterschiedlicher Werkstoffe möglich, z. B. Stahl mit Glas, Beton, Kunststoff, Keramik	nicht oder nur schwer lösbare Verbindung (lösbar durch Lösungsmittel oder Erwärmung über 400 °C)
glatte Konstruktionsflächen und minimale Konstruktionsmasse	keine zerstörungsfreie Güteprüfung der Verbindung
Schichtenbauweise möglich	Einwirkungen atmosphärischer Einflüsse (Wasserdampf, Wasser, Säuren) sind zu beachten (z. T. sind Kleber gut korrosionsfest)
niedrige Herstellungskosten, keine besondere Qualifizieruug der Werktätigen erforderlich.	

Tabelle 13.13: Richtwerte der Klebstoffe der DDR-Produktion

Klebstoff	Härter	Mischungsverhältnis	Aushärtung		
			Temperatur °C	Zeit h	Druck kp/cm²
Epilox EK 10 (pulverförmig)	—	—	180 (130)	2	1···3
Epilox EK 26	H 7	100:40	180	2	1···3
Epilox EG 34	warm H 105 kalt EH 9	100:33 100:50···120	130	2	1···3
Epilox EKS 11	H 5 H 3	100:2,5 100:3	20 anschl. 90	24 2	0···1
Epilox EKS 125 (Spachtelmasse)	EH 9	100:70···90	kalt und heiß härtend		
Epilox EGK 19	H 3 H 5 H 9	100:11 100:9 100:55···80	20 anschl. 90	24 2	0···1
Mökodur L 5001	H 11, H 12	1:1	20	48	0···1
Plastaphenal N + : PVF	—	—	135···165	0,7···0,5	10···20
Plastaphenal E (flüssig)	—	—	165	0,5	1···5
Hartgummimasse, weiß (kittförmig)	—	—	130···170	1	0,1···3
Hartgummimasse N	—	—	110	2	0,1···3
Polyester G	Zyklohexanonperoxidpaste und Kobaltbeschl.	100:2:2	20		
Polyester GS					
Transportbandkleber M 4 (flüssig)	H 4	100:8	20		

Das Angebot der Klebstoffindustrie ist so umfangreich, daß eine vollständige Aufführung der verschiedenen Erzeugnisse nicht mehr möglich ist. In Tabelle 13.13 sind die wichtigsten in der DDR produzierten Klebstoffe genannt. Deren Hersteller sind:

Epilox: VEB Leuna-Werke »Walter Ulbricht«;
Polyester G, GS: VEB Chemische Werke Buna, Schkopau;
Mökodur: VEB Schuhchemie, Mölkau bei Leipzig;
Plastaphenal: VEB Plasta, Erkner bei Berlin;
Transportbandkleber M 4: VEB Technische Industrie-Erzeugnisse Helmsdorf.

Technologie des Metallklebens

Vorbereitung und Vorbehandlung der Klebflächen: Klebflächen müssen eben sein und gut zusammenpassen (Gehrungen, Falz, Nut); Grate an Stanzteilen sind zu entfernen; zur Verbesserung der Maßhaltigkeit der Verbindung können Bünde oder Anschläge verwendet werden. Klebflächen müssen sauber, fett- und ölfrei sowie trocken sein; Oxidschichten sind zu entfernen.
Maßnahmen zur Klebflächenvorbereitung sind die Arbeitsgänge *Aufrauhen, Entfetten* oder *Aktivieren, Spülen* und *Trocknen.* Für spezielle Verbindungen und Werkstoffe ist der Arbeitsgang *Anodisieren* möglich.
Grobreinigung: Entfernen von grober Verschmutzung, Rost, Zunder u. ä.
Aufrauhen: Für die Flächenaufrauhung bestehen grundsätzlich 2 Verfahren:
Die *mechanische Aufrauhung* eignet sich infolge der Kerbwirkung (Mikrokerben) meist nur für statische Beanspruchung. Methoden sind: Sandstrahlen mit feinem Sand oder Stahlkies; Schmirgeln (bei Warmkleber Körnung 100); Bürsten, Schaben, Feilen (▽▽), Stahl- oder Aluminiumwolle für Leicht- und Buntmetalle. Zu starke Aufrauhung ist zu vermeiden.
Die *chemische Aufrauhung* erfolgt durch Beizen und ermöglicht beste Verbindungsergebnisse. Die Metalloberfläche wird in adhäsiver Hinsicht aktiviert. Das Beizen erfolgt nach dem Arbeitsgang Entfetten.

Entfetten: Lösungsmittel sind Azeton, Benzin, Benzol; Petroleum für Handreinigung (Vorsicht! Bildung explosiver Dämpfe!), Tri- und Perchloräthylen (narkotische Gase – nicht rauchen!) sowie wäßrige alkalische Reinigungsmittel (gründlich nachspülen) bei maschineller Entfettung mit warmen Bädern, Dampf, Strahl- oder Abkochungsanlagen; Handentfettung ist nur bei guter Entlüftung durch Absaugvorrichtungen durchzuführen.
Die Reinigungswirkung der herkömmlichen Entfettungsbäder wird durch Kombination mit kurzzeitiger Ultraschalleinwirkung (Schallstärke 5···10 W/cm²) wesentlich verbessert.

Spülen: Spülmittel ist destilliertes oder weiches (Leitungs-) Wasser, besonders wichtig nach Entfettung mit alkalischen Reinigungsmitteln und Beizen (oder anderen Behandlungsmaßnahmen auf chemischer Basis).

Trocknen: In reiner Atmosphäre und möglichst schnell, um erneute Oxidschichtbildung zu vermeiden.

Tabelle 13.14 gibt einen Überblick über bewährte Beispiele für die chemische Vorbehandlung.

Chemische Basis	Temperaturbeständigkeit °C	Verwendungsbeispiele
Epoxidharze (geringe Schrumpfung, ≈1 %)	bis 100	Klebstoffe für Metall, Duroplaste, Keramik
	bis 140	EK 10: hochbeanspruchte Verbindungen
	bis 70	EG 34: unter Wasser
	bis 60	EGK 19: Einkleben von Wälzlagern und Buchsen
Polyesterharze	bis 60	Klebstoff für Metall, Duroplast, Keramik
Phenolharze	bis 80	Kleben von Metall hoher technologischer Aufwand
Silikonkautschuke	—60 bis +180	Silikonkautschuk; Silikongummi ist elastisch bei hoher Wärme- und Kältebeständigkeit und elektrischem Isoliervermögen; z. B. Dichtungen für Kühlschränke und bei Flugzeugen, Kabel mit Wärmeeinwirkung
Polyesterharz, ungesättigt	bis 60	Einkleben von Wälzlagern, Buchsen, Verstärkung durch Glasfasereinlagen, Kfz-Karosserien, Bootskörper, Flugzeugbau usw.
Gummikleber	bis 90	Verbindung Stahl-Gummi, Reifenindustrie usw.

Tabelle 13.14: Chemische Vorbehandlung (Beispiele) *)

Arbeitsgang	Kohlenstoff- und nichtrostende Stähle	Kohlenstoffstähle	Nichtrostende Stähle
alkalische Entfettung	×	×	×
Entfettung durch Trichloräthylen			
gründlich spülen	Kaltwasser	Kaltwasser	Kaltwasser
Beizlösungsbestandteile:			
Schwefelsäure H_2SO_4 Konzentr.	10 M.T.	10 V.T.	—
Oxalsäure $(COOH)_2$	10 M.T.	—	—
Salzsäure HCl	—	—	30 M.T.
Natriumdichromat $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$	—	—	—
Natriumfluorid NaF	—	—	—
Salpetersäure HNO_3	—	—	—
Kaliumdichromat $K_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$	—	—	—
Wasser	80 M.T.	90 V.T.	70 M.T.
Badtemperatur in °C	60	80	20
Badzeit in min	30	10	15
Spülen/Neutralisieren mit Sodalösung		Sodalösung	
Spülen	Kaltwasser	Methanol	Kaltwasser
Entfernen der Oxidschicht	Dampfstrahl		
Trocknen			

*) M.T. Masseteile; V.T. Volumenteile.

13.3.3. Technologie, Konstruktion, Arbeitsschutz

Klebstoffverarbeitung

Grundsätzlich sind die Verarbeitungsvorschriften des Herstellers zu beachten.
Allgemein gilt: Klebstoffe kommen in flüssiger, pastenförmiger oder fester Form auf den Markt (TGL 0-16920). Die meisten Klebstoffe bestehen aus mehreren Komponenten, die z. T. bereits durch den Hersteller gemischt wurden, z. T. aber auch durch den Verbraucher entsprechend den Verarbeitungsvorschriften zu mischen sind. Mit der Mischung setzt die chemische Reaktion ein (Mischen unmittelbar vor Verwendung des Klebers). Die Verwendungsdauer (Topfzeit) ist in den meisten Fällen sehr kurz.
Das *Mischen* ist gründlich durchzuführen. Das vom Hersteller angegebene Mischungsverhältnis muß unbedingt eingehalten werden (auch bei Kleinstmengen), da sonst Verschlechterung der Klebereigenschaften eintritt. Die Gebrauchsdauer fertig gemischter Kleber kann durch Unterkühlung wesentlich vergrößert werden.

Reinigen der Mischgefäße aus
Glas, Steingut: Reinigung mit Lösungsmitteln, solange noch nichtausgehärtete Klebstoffreste zu entfernen sind;
Metall: Ausbrennen des ausgehärteten Klebers;
Weichgummi, PVC-weich, Polyäthylen: Entfernen der ausgehärteten Reste durch Walken;
imprägnierter Pappe: nach einmaligem Gebrauch verbrennen (wirtschaftlich und hygienisch günstigste Art).

Auftragen
Spachteln: Werkzeuge aus Glas, Metall, Holz; gut zu reinigen;
Pinseln: Pinsel sind sofort nach Gebrauch durch Lösungsmittel zu reinigen; haarende Pinsel beeinträchtigen die Güte der Verbindung;
Spritzen: für große Flächen; Klebstoffe mit längerer Topfzeit oder Zwei-Komponenten-Kleber verwenden; durch beschleunigte Verdunstung des Lösungsmittels (schnellere Trocknung) entstehen erhöhte Gefährdung der Gesundheit und Brandgefahr;
Tauchen: schlecht zu kontrollierender Auftrag.

Grundregeln der Klebung

1. Beide Teile sind mit Kleber zu benetzen. Klebstoffe in festem Zustand (Stangen) werden aufgesiegelt; pulverförmige werden gleichmäßig aufgestreut und durch Wärme aufgeschmolzen oder mit Wärmespritzapparat aufgesprüht.

2. Bei Kaltklebern setzt der Aushärtungsprozeß unmittelbar nach dem Mischen ein. Sofortiges Auftragen und Verbinden der Teile ist erforderlich.

3. Höchstmögliche Aushärtungstemperaturen führen zu kürzesten Härtezeiten, aber auch zu größter Versprödung des Klebstoffs. Verbesserung der Elastizität des ausgehärteten Klebers wird durch Senkung der Härtetemperaturen erreicht.

4. Um zu vermeiden, daß der Klebstoff von senkrechten Flächen abläuft, wird er mit 1···2 % Füllstoffen, z. B. Mischgel K 60 (Hersteller VEB Chemische Fabrik Fährbrücke/Sa.), versetzt.

5. Jedes Abweichen von den Verarbeitungsbedingungen der zur Wahl stehenden Klebstoffe beeinflußt die Eigenschaften der Klebverbindungen und kann zu völligem Mißerfolg führen.

6. Bei großen, warmgehärteten Klebflächen empfiehlt sich langsame Abkühlung, um Wärmespannungen infolge der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten zu vermeiden.

7. Für Verklebung von Metall- mit Nichtmetallwerkstoffen sind die besonderen Eigenschaften der verwendeten Materialien bei der Wahl der Klebemethode unbedingt zu berücksichtigen.

Verbinden der Teile

Die für das Zusammenfügen der Teile erforderlichen Vorrichtungen müssen die Teile in der geforderten Lage halten und, unabhängig von der Aushärtungstemperatur, auf die gesamte Klebfläche gleichbleibenden Druck ausüben können. Die erforderliche Stärke des Druckes ist von der Klebstoffart abhängig. Der Druck ist flächig aufzubringen. Die Bilder 13.65···13.70 stellen schematisch die wichtigsten Prinzipien dazu dar.

Al und Al-Legierungen			Magnesium	Schwermetalle (außer Stahl)
			×	×
Dampf, 5 min				
Warmwasser 60 °C, 20 min, 2× Kaltwasser, 5 min				
	Schnellbeizungs-verfahren	»Pickeln« nach BRUYNE		
—	30 M.T.	27,3 M.T.	—	27,5 M.T.
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	8 M.T.	7,5 M.T.	—	—
4 M.T.	—	—	—	7,5 M.T.
25 M.T.	—	—	20 M.T.	—
—	—	—	15 M.T.	—
71 M.T.	62 M.T.	65,2 M.T.	65 M.T.	65 M.T.
20	60	60	Raumtemp.	Raumtemp.
1	1	20	1	5
Kaltwasser				
Kaltwasser	Kaltwasser	Wasser 60 °C	Kaltwasser	Kaltwasser
×	×	Warmluft 60 °C, 30 min		

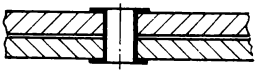


Bild 13.65. Heftniet (Hohl- oder Vollniet)

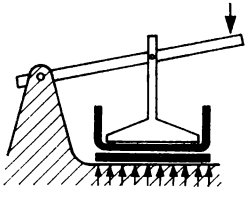


Bild 13.66. Hebelprinzip

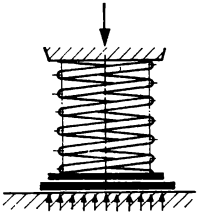


Bild 13.67. Federprinzip

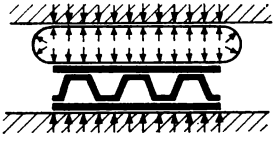


Bild 13.68. Preßluftsack-Prinzip

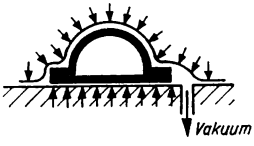


Bild 13.69. Vakuumprinzip

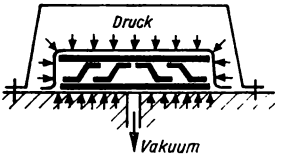


Bild 13.70. Autoklavenprinzip

Grundregeln der Konstruktion von Klebeverbindungen

1. Flächenhafte Verbindungen sind zu schaffen.
2. Klebfläche nach Möglichkeit nur auf Schub beanspruchen.
3. Vermeidung außermittiger Verbindungen (Schäl- und Biegebeanspruchungen).
4. Bei Rundverbindungen ist zwischen den Teilen ein Spiel von 0,1···0,3 mm vorzusehen (Klebflächenvorbereitung).
5. Für zentrische Anschlüsse sind Zentrieransätze mit geringer Toleranz anzuordnen.
6. Zur Vermeidung von Beulspannungen können die Bauteile unter einer der Gebrauchslast entgegenwirkenden Vorspannung verklebt werden.
7. Für die Festigkeit der Verbindung ist das Überlappungsverhältnis $k = \frac{\text{Überlappungslänge}}{\text{Blechdicke}}$ maßgebend. $k_{opt} = 10$ bis 15 (als Richtwert).

Die Tabellen 13.15···13.17 enthalten Angaben zur Konstruktion von Klebeverbindungen.

Tabelle 13.15: Erreichbare statische Festigkeiten

Werkstoff	Bruch bei τ_{Br} kp/cm²
Stahl	230···540
Leichtmetall	240···570
Kupfer (Kleber Araldit)	210···440
Phosphorbronze	220···530
Messing	200···460
Holz	60···120

Tabelle 13.16: Konstruktionselemente und -prinzipien

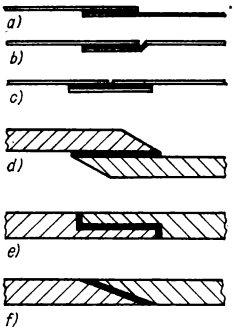
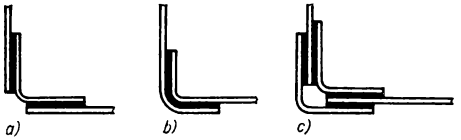
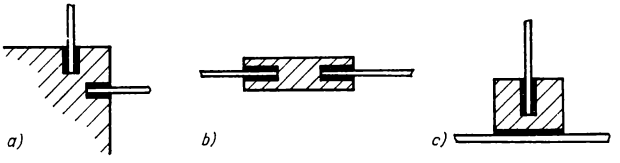
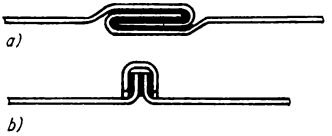
Bezeichnung und Bild	Erläuterung
einschnittige Verbindungen  	Formen a), b) und c): hohe Spannungsspitzen und Schälkräfte; Formen d), e) und f): nur bei größeren Materialdicken; teuer in der Vorbereitung (geschäftete Verbindung); keine zusätzlichen Biege- und Schälbeanspruchungen
zweischnittige Verbindungen 	unterschiedliche Dehnung des Grundmaterials beachten
Eckverbindungen  	a) gute Steifigkeit b) und c) Formung der Bleche vor dem Kleben oder durch Abkanten der geklebten Verbindung
Beiwinkelanschlüsse 	
Nutverbindungen  	
Falzverbindungen  	

Tabelle 13.16 (Fortsetzung)

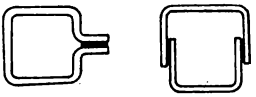
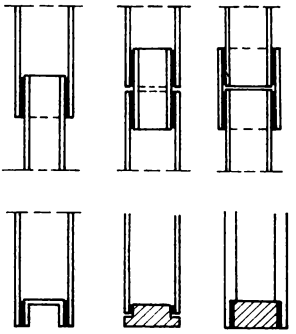
Bezeichnung und Bild	Erläuterung
Kastenquerschnitte 	
Rundverbindungen 	für Rundverbindungen nur drucklos aushärtende Kleber verwenden

Tabelle 13.17: Spezielle klebgerechte Konstruktionen

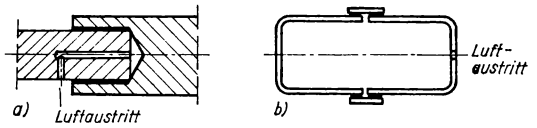
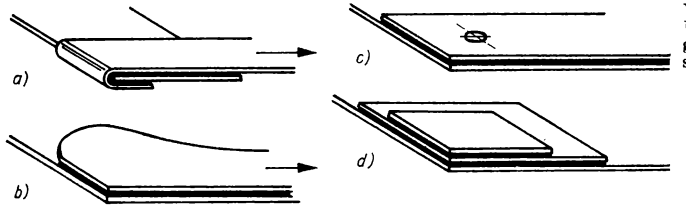
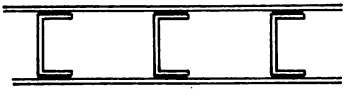
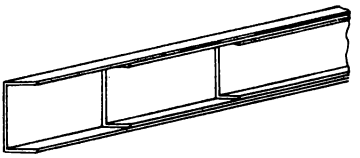
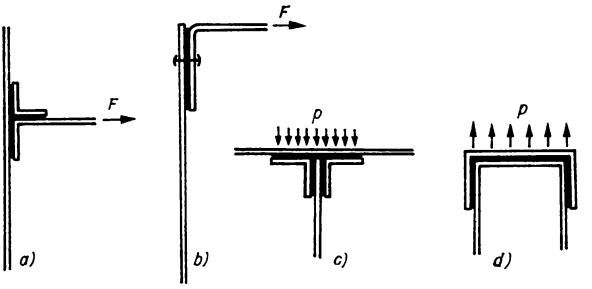
Bild	Erläuterung
	bei Sacklöchern (a) und geschlossenen Konstruktionen (b) Luftaustrittsöffnungen vorsehen, um das Eindringen der Luft in die Klebefuge zu vermeiden
	Vermeidung der Schälneigung durch Umbördelung (a), Klebeflächenvergrößerung (b), Heftniet (c) oder Versteifung (d)
	Schichten- und Schalenbauweise
	Form der Aussteifungsrippen bei Blechfeldern

Tabelle 13.17 (Fortsetzung)

Bild	Erläuterung
	Biegeträger gleicher Festigkeit
	Maßnahmen zur Verringerung der Schälneigung bei Konstruktionsformen mit spezieller Belastung

Arbeitsschutzvorschriften

ASAO Nr. 726 Verarbeitung von Epoxidharzen:
Besondere Beachtung finden alle Maßnahmen, die eine Berührung des Epoxidharzes mit der Haut oder ständige Einwirkung des Lösungsmittels auf die Arbeitskräfte (Verdunstung) verhindern.
ASAO Nr. 622/1 Verarbeitung von staubförmigen Füllstoffen,
ASAO Nr. 850 Verarbeitung von Polvesterharzen,
ASAO Nr. 728.

Weitere bei Polyesterverarbeitung evtl. zu beachtende Arbeitsschutzvorschriften:
ASAO Nr. 31 Feuer- und explosionsgefährdete Räume (GBl. 1953, S. 355), (GBl. 1953, S. 1075), (GBl. 1954, S. 945),
ASAO Nr. 613 Anstricharbeiten einschließlich Spritz- und Tauchverfahren (Ausgabe 1952),
ASAO Nr. 614 Lacktrockenöfen (Ausgabe 1952),
ASAO Nr. 725 Klebstoffe mit leichtflüssigen, brennbaren Lösemitteln (Ausgabe 1953),
ASAO Nr. 728 Kennzeichnung der Löse- und Verdünnungsmittel (GBl. 1952, S. 543), (GBl. 1962, S. 732),
ASAO Nr. 830 Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten (Ausgabe 1952).

In jedem Fall sind die vom Hersteller gegebenen Hinweise über die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen zu beachten.

13.4. Löten

Unter Löten versteht man das unlösbare Verbinden fester, metallischer Werkstücke durch geschmolzene metallische Bindemittel. Die Grundwerkstoffe werden beim Löten nicht flüssig (wie beim Schweißen), sondern lösen sich in mehr oder weniger geringer Menge im Lot auf. Es spielt sich also ein *Legierungsvorgang* ab. Man unterscheidet durch Abgrenzung der Arbeitstemperatur *Weich-* und *Hartlöten*. Die Arbeitstemperatur beim Weichlöten liegt bei maximal 420 °C. Beim Hartlöten ist die niedrigste Arbeitstemperatur 450 °C. Die Schmelzpunkte der Weich- und Hartlote liegen i. allg. unter dem Schmelzpunkt der zu lötenden Metalle. Lötnähte müssen metallisch rein sein; Reinigen mit Schabern usw. (seltener mit Messern) oder mit Säuren.

Weichlöten

Schwermetalle
Das *Weichlot* (Schnellot, Weißlot) wird mit heißen, kupfernen *Lötkolben* (gute Wärmeleitung) geschmolzen und an die Lötnaht gebracht. Die Erhitzung der *Flachkolben* (Bild 13.71) oder *Spitzkolben* (Bild 13.72) erfolgt im (schwefelfreien) Holzkohlenfeuer (Koksfeuer), im *Lötofen* oder mit *Lötgebläse*, *Lötlampe* (Bild 13.73) wird mit Benzin, Spiritus oder Petroleum gespeist; der Brennstoff wird mittels Luftpumpen vergast und saugt Luft an nach Art des Bunsenbrenners. Nach Entzündung und Erwärmung geht die Vergasung selbsttätig weiter. Aus dem Brennerrohr tritt eine kräftige, lange Stichflamme aus; die innen liegende Düse kann durch die Regulierschraube verstellt werden. Füllung von 2 l brennt $1^1/_4$ h lang. Praktischer sind *Leuchtgas-* oder *Azetylenlötkolben* und *elektrische Lötkolben*. Das Weichlöten findet hauptsächlich in der Klempnerei zum Löten von Zink-, Weiß-, Messingblechen u. dgl. Verwendung.
Zur Reinigung der Lötstellen und zur besseren Adhäsion (Anhaften) des Weichlots dient Lötwasser, das mit einem Pinsel aufgetragen wird. *Lötwasser* entsteht durch Auflösen von Zinkabfällen in Salzsäure unter Zusatz von etwas Salmiak. Lötwasser, das Metalle nicht angreift, stellt man aus 1 T. zitronensaurem Ammonium, 2 T. Glyzerin und etwas Salizylsäure her. Lötfette und Lötpasten, die Lot in Pulverform enthalten, werden hauptsächlich in der Elektrotechnik verwendet. Gute Adhäsion des Zinns am Kupfer bewirkt Salmiak; deshalb reibt man den Lötkolben vor dem Löten auf einem Salmiakstück und streut vor dem Verzinnen Salmiakpulver auf das zu verzinnende Metall.

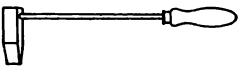


Bild 13.71

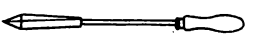


Bild 13.72

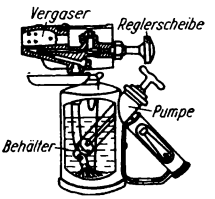


Bild 13.73. Lötlampe

Zinnlote (Lötzinn) werden meist in Stangen geliefert.
Zinnlot 25 (LSn 25) nur für Flammenlötung,
Zinnlot 30 (LSn 30) für Spachtellötungen,
Zinnlot 33 (LSn 33) für Zinkblech und verzinkte Bleche,
Zinnlot 40 (LSn 40) für Messing- und Weißbleche,
Zinnlot 50 (LSn 50) für Messing, Konservenbüchsen,
Zinnlot 60 (LSn 60) für leichtschmelzende Metalle,
Zinnlot 90 (LSn 90) für Nahrungsmittelbehälter.
Zinnlot muß frei von Aluminium und Zink sein. Die zulässigen Abweichungen des Zinngehaltes vom angegebenen Wert betragen ±0,5 %.
Sickerlot nennt man leichtflüssige Weichlote zum Ausgießen von Rissen und Fugen: 35 % Blei, 65 % Zinn.

Leichtmetalle

Reinaluminium und Al-Knetlegierungen werden nach dem *Reib-* und *Reaktionsverfahren* weichgelötet. Aus Gründen der Korrosionsbeständigkeit sind reine Zink-Aluminium- und besonders hochkadmiumhaltige Lote zu verwenden.
Neuerdings wird auch mit Hilfe des *Ultraschallverfahrens* gelötet. Ein Zinnbad unterliegt dem Einfluß der Ultraschallwellen. Die zu lötenden Stellen werden in das Zinnbad getaucht. Die Ultraschallwellen zerstören die anhaftende Oxidhaut und bewirken die Verzinnung. Danach kann ganz normal wie bei anderen Lötungen weitergelötet werden.
Elektrolytisches Verzinnen von Blechen ergibt gleichmäßige Zinnverteilung, geringsten Metallverbrauch, Vermeidung von Spannungen.

Bleilöten

Da Blei bereits bei 327 °C schmilzt, erfordert das Löten besondere Sorgfalt. Meist wird Bleiblech deshalb mit dem bis über den Schmelzpunkt des Bleies erhitzten Kolben unter Beigabe von Kolophonium zusammengeschmolzen, d. h. (überlappt) geschweißt. Auch das *Stumpflöten* ist, da Blei als Lot dient, eigentlich ein autogenes Schweißen. Mit der Gebläseflamme müssen regelmäßige Kreisbewegungen quer zur Naht (Bild 13.74) ausgeführt werden. Die *Verschmelzung* hat ganz hindurchzugehen wie in Bild 13.75; falsch ist es in Bild 13.76. Um das Durchsickern (Bild 13.77) zu verhindern, legt man Stahlblech unter und erhält eine richtige Naht nach Bild 13.78, indem man Blei zufließen läßt.
Bild 13.79 zeigt die Entstehung einer *Bleirohrlötung*. Bei c) schmilzt die zu dünne Rohrwandung ab. Das aufzusteckende Rohrstück wird mit einem Innenfräser (Versenker) oder durch Auftreiben mit einem Holzkegel (oder einer Aufweitzange) vorbereitet.
Sonderlote s. Tabelle 13.18

Hartlöten

Stahlteile werden im Schmiedefeuer, besser Holzkohlenfeuer, am besten im Gasofen auf Rotglut erhitzt. Die zu lötenden Stellen werden mit Boraxpulver bestreut, dann wird *Hartlot (Schlaglot)* in Körnerform hinzugefügt. Zusammensetzung der Lote siehe Tabelle 13.19. Je höher der Cu-Gehalt, desto besser läßt sich die gelötete Stelle hämmern, desto schwerer ist aber auch das Lot schmelzbar.
Bandsägen halten gut mit sog. *Silberlot*, Flußmittel: Borsäure.
Rotes Kupferlot enthält 80 % Kupfer und 20 % Blei.
Hartlot für Silber auf Silber: Kupfer und wenig Messing.
Hartlot für Gold auf Gold: Silber und Kupfer, etwas Zink.
Hartlot für Neusilber: Kupfer mit Zink oder Kupfer mit Gold.
Tabelle 13.19 gibt einen Überblick über *Legierungen zum Löten der Leicht- und Schwermetalle.*

Tabelle 13.19: Legierungen zum Löten der Leicht- und Schwermetalle

Benennung (Arbeitstemp. mind. °C)	Kurzzeichen (Dichte ϱ in kg/dm³)	Zusammensetzung etwa %	Verwendung
Hartlot (450)	LZnAl 30	Al 29,5···32,5 Zn 67···70	Aluminium und Al-Legierungen
Cd-Weichlot (265)	LCdZn 30	Cd 65···70 Zn 30···35	
Weichlot (200)	LSnZn 40	Sn 50···70 Zn 30···50	
Weichlot (165)	LZnSnCd 25	Sn 35···38 Zn 36···39 Cd 24···27	
Kupfer-Hartlot (1070)	LCu	Cu ≧99 Zn bis 0,5 Sn bis 0,5 P bis 0,05	Kupfer
Messinglot 60 (890)	LMs 60 (8,4)	Cu 58···62 Si 0,1···0,3 Zn ≧38	Cu-Werkstoffe, Stahl, Temperguß
Kupfer-Phosphor-Hartlot (710)	LCuP 8	P 7,5···8,5 Cu Rest	Kupfer, Messing

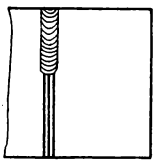


Bild 13.74

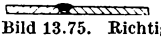


Bild 13.75. Richtige Verschmelzung

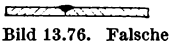


Bild 13.76. Falsche Verschmelzung

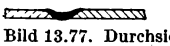


Bild 13.77. Durchsickern

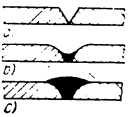
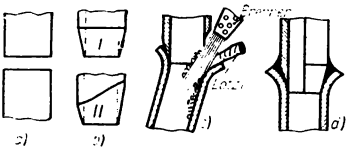


Bild 13.78. Richtige Naht durch Bleizufluß



a) Bleirohrenden,
b I) richtiges,
b II) falsches Zuschärfen (Raspeln oder Fräsen),
c) falsches (schiefes),
d) richtiges Zusammenschmelzen

Bild 13.79. Entstehung einer Bleirohrlötung

Tabelle 13.18: Leichtschmelzende Sonderlote

Nr.	Chemische Zusammensetzung in %						Schmelzpunkt in °C		Bemerkung
	Sn	Pb	Bi	Cd	Zn	Sonstige Beimengungen	unterer	oberer	
1	13,3	26,7	50	10			60		LIPOWITZ-Metall
2	13	26	48	13			70		WOODS-Metall
3		43	50	7			92	115	
4	24,5	23,5	52				96		ROSES-Metall
5	19	31	50				96	100	n. E. J. DANIELS
6	13	63,4	23			0,1 As; 0,5 Sb	100	200	n. USA-Patent 2351477
7	25	25	50				121		ROSES-Metall
8	50	32		18			145	145	n. E. E. SCHUHMACHER
9	50	25		25			150		
10	30			50	20		157	277	n. N. F. BUDGEN
11	5			65	30		299	294	n. N. F. BUDGEN

14. Anreißen, Messen, Passungen, Betriebsmeßtechnik

14.1. Anreißen

Der Anreißer hat nach der Werkstattzeichnung die Maße auf das Werkstück zu übertragen als Vorbereitung für das Bohren, Fräsen usw. Die Brauchbarkeit der gefertigten Arbeitsstücke und die Wirtschaftlichkeit des Betriebs hängen wesentlich davon ab, wie gewissenhaft diese Arbeit ausgeführt wird.
Bild 14.1 zeigt einen *Reißstock* im Gebrauch. Mit dem Reißstock kann jedes beliebige Höhenmaß vom Maßständer abgenommen und auf das Werkstück übertragen werden.
Eine genau gehobelte und tuschierte *Anreißplatte*, mit Wasserwaage ausgerichtet, dient als Unterlage für anzureißende Werkstücke.

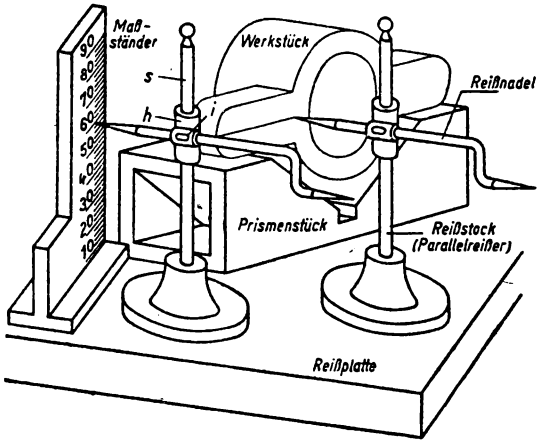


Bild 14.1. Reißstock
h Hülse, senkrecht auf Stange s verstellbar; i Hülse, trägt Reißnadel und kann winklig zu Hülse h verstellt werden

Runde Körper werden in *Prismenstücke* gelagert.

Den *Spitzzirkel* (Bild 14.2) benutzt man zum mittelbaren Übertragen der Maße vom *Stahlmaßstab* auf das Arbeitsstück und zum Schlagen von Kreisen.

Die *Reißnadel* (Bild 14.3) für unbearbeitete Flächen besteht aus Stahl, für bearbeitete Flächen aus Messing (zur Vermeidung von Rissen).

Winkel dienen zum Anreißen von (rechten) Winkeln. Bild 14.4 zeigt einen *Anschlagwinkel*, dessen umgebogener Schenkel (Anschlag) an eine Kante des Werkstücks angelegt werden kann.

Stangenzirkel (Bild 14.5) dienen zum Abgreifen und Übertragen größerer Abmessungen.

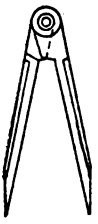


Bild 14.2

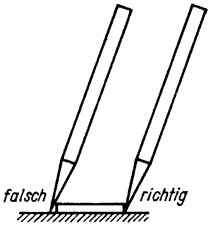


Bild 14.3

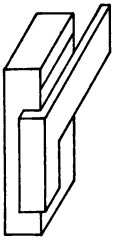


Bild 14.4

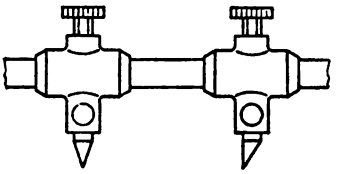


Bild 14.5

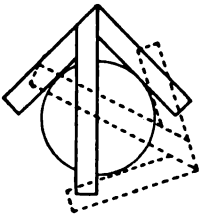


Bild 14.6



Bild 14.7

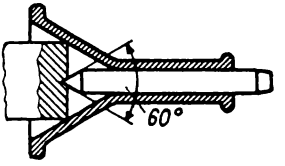


Bild 14.8

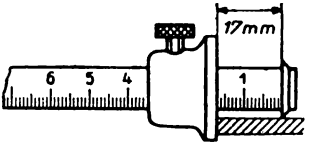


Bild 14.9

Zentrierwinkel (Bild 14.6) verwendet man zum genauen Bestimmen von Wellenmitten, Anschlag erfolgt zweimal kreuzweise.
Zum Ankörnen von Bohrungen und angerissenen Linien nimmt man den *Handkörner* (Bild 14.7).

Mit der *Zentrierglocke* (Bild 14.8) werden die Mitten kleinerer Wellen bestimmt und angekörnt.

Das *Streichmaß* (Bild 14.9) dient zum Anreißen gerader Linien parallel zur Kante des Werkstücks. Der Läufer (Anschlag) ist verstellbar.

Schablonen und *Vorrichtungen* ersetzen das Anreißen bei Massenfertigungen und gestatten schnelleres und genaueres

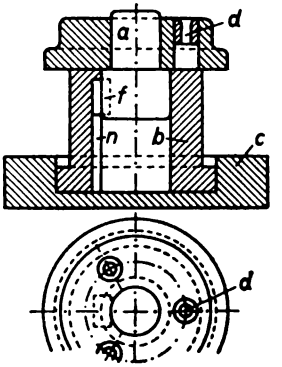


Bild 14.10.
Bohrvorrichtung
für 3 Löcher

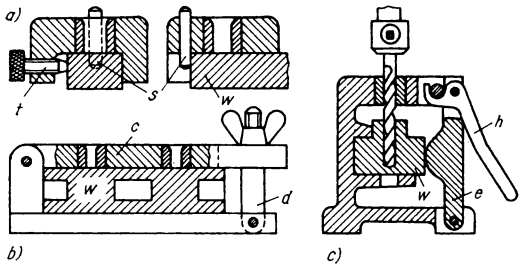


Bild 14.11. Verschiedene Bohrvorrichtungen

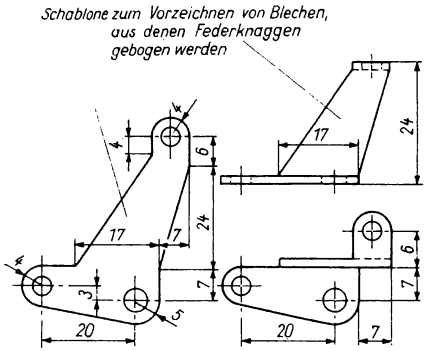


Bild 14.12. Schablonen zum Vorzeichnen von Blechen für Federknaggen

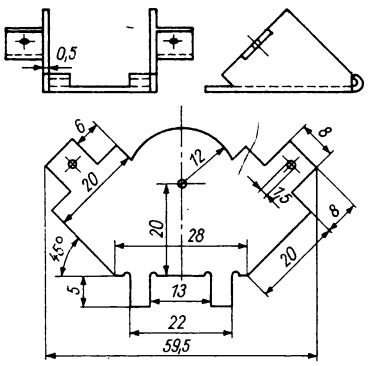


Bild 14.13. Stanzteil: Prismenhalter

Arbeiten. Bild 14.10 zeigt als Beispiel eine *Bohrvorrichtung* zum Bohren von 3 Löchern in eine Lagerbuchse. In die Nuten der Lagerbuchse b greift als Sicherung gegen Verdrehen die Nutenfeder f ein, die in dem Zentrierzapfen a befestigt ist. Die Bohrpatrone d besteht aus gehärtetem Stahlguß, ist genau geschliffen und dient zur sicheren Führung des Bohrers. Unterlage c wird auf dem Bohrmaschinentisch befestigt. Andere Bohrvorrichtungen stellt Bild 14.11 dar. In 14.11a wird das Arbeitsstück w bis an den abgeflachten Stift s geschoben, der als Anschlag dient. Durch Schraube t wird das Werkstück festgeklemmt. In 14.11b wird das Werkstück w durch Bügel c festgehalten, welcher seinerseits durch die Flügelmutter der Klappschraube d auf das Werkstück drückt.

Bei 14.11c wird das Werkstück w durch den Bügel e mittels Daumenhebels (Exzenterhebels h) gehalten. Ähnliche Vorrichtungen gibt es für Fräs-, Schleifarbeiten usw.

Schablonen erhöhen die Arbeitsproduktivität bei sich wiederholenden Anreißarbeiten (Bild 14.12). Durch *Stanzvorrichtungen* kann häufig Anreißarbeit eingespart werden (Bild 14.13).

14.2. Messen und Meßzeuge

Gute Meßzeuge bilden die Grundlage für jede Fertigung. Nicht selten werden Genauigkeiten von $^1/_{100}$ mm oder gar $^1/_{1000}$ mm (0,01 mm bzw. 0,001 mm) verlangt. Die zur Unterstützung des Auges gebrauchten *Feinmeßapparate* bedingen daher allerbeste Präzisionsarbeit, besondere Sorgfalt in Handhabung, Aufbewahrung und Instandhaltung.

Die SI-Einheit der Länge ist das *Meter* (m).

1 m = 100 cm = 1000 mm.

Während die englische Industrie sich jetzt auch auf SI-Einheiten umstellt, arbeitet die Industrie der USA noch nach dem *Zollmaßsystem:*

1 englischer Zoll (1″) = 25,4 mm.

Einfache Meßzeuge sind das *Metermaß*, der *Gliedermaßstab* (aus Holz oder Stahl), das *Bandmaß* (aus Leinen oder Stahl), der *Außentaster* (Bild 14.14) und der *Innentaster* (Bild 14.15); Genauigkeit bis 0,25 mm. Die Bilder 14.16 und 14.17 zeigen weitere Taster.

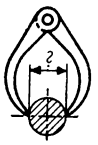


Bild 14.14

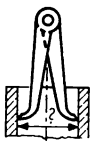


Bild 14.15

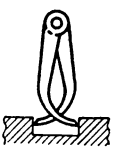


Bild 14.16

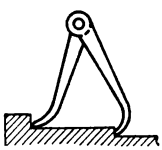


Bild 14.17

Messen auf 0,1···0,05 mm Genauigkeit gestatten die mit einem Nonius n versehenen *Meßschieber* (Bild 14.18).

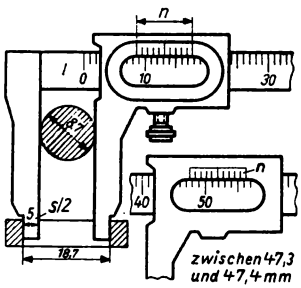


Bild 14.18. Meßschieber

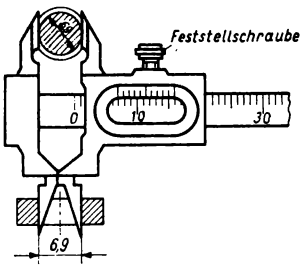


Bild 14.19. Kolumbusmeßschieber

10 Noniusteile zus. = 9 mm, 1 Noniusteil = 0,9 mm. Auf Lineal l die ganzen mm ablesen: 8 mm; dann feststellen, welche Teilstriche von Lineal und Nonius eine Gerade bilden, im dargestellten Fall der 7. Teilstrich des Nonius, also $^7/_{10}$ mm mehr als 8 mm oder 8,7 mm als Maß. – Bei Innenmessung muß die doppelte Schenkeldicke *s* hinzugerechnet werden, also Maß = 8,7 + (2 · 5) = 18,7 mm. – *Kolumbusmeßschieber* (Bild 14.19) gestatten Ablesen von Gewindekern-

durchmessern und Innenmaß gleich Außenmaß, *Tiefenmeßschieber* (Bild 14.20) das Messen von Nuten- und Lochtiefen. Messen auf 0,01 mm Genauigkeit. Bei der *Meßschraube* (Bild 14.21) beträgt an der Meßspindel a die Gewindesteigung 0,5 mm (zuweilen 1 mm), d. h. bei einer Umdrehung die Längsbewegung ebenfalls 0,5 mm. Der Umfang der Mantelhülse ist bei *c* in 50 gleiche Teile geteilt, somit ist die Längsbewegung der Spindel bei Drehung der Hülse von Teilstrich zu Teilstrich gleich 0,01 mm.

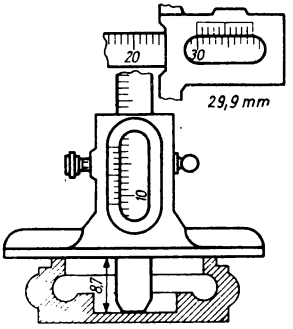


Bild 14.20. Tiefenmeßschieber

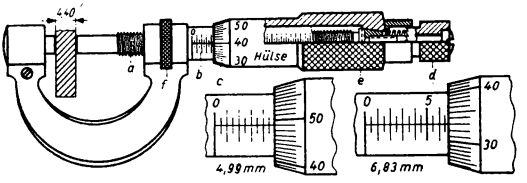


Bild 14.21. Meßschraube

Ablesung des Maßes: Auf Skale b sind 4 ganze mm aufgedeckt, Mantelhülse zeigt 40 Teile an = 0,40 mm; Maß demnach = 4 + 0,40 = 4,40 mm. – Beim 2. Beispiel sind 4,5 mm aufgedeckt, Mantelhülse zeigt 49 Teile = 0,49 mm; Maß demnach = 4,5 + 0,49 = 4,99 mm; beim 3. Beispiel werden 6,83 mm angezeigt.

Für Feinstellung (Regelung des Meßdrucks) dient Reibungs- oder Gefühlschraube d, Friktionsring f zum Festklemmen der Spindel. – Ebenso eingerichtet sind die Meßskalen an den *Zylinderstichmaßen* (Längenendmaßen) und an den *verstellbaren Lochlehren.*

Lehren sind maß- und zahlenmäßig fest eingestellte oder einstellbare, beim Messen nicht zu verstellende Meßzeuge. Durch die feste Maßeinstellung wird die Arbeitsproduktivität gegenüber der Verwendung verschiedener Meßschieber, Meßschrauben usw. beträchtlich gesteigert.

Zum Nachprüfen von Winkeln (geneigten Flächen) werden *Meßwinkel* verwendet. Die Größe des Winkelgrades ist unterschiedlich. Bild 14.22 zeigt einen *Vierkant-*, Bild 14.23 einen *Sechskantwinkel.* Ein guter Meßwinkel *(Haarwinkel)* ist in Bild 14.24 dargestellt. Schenkel s ist messerförmig zugeschärft. Verkanten der nachzumessenden Winkelneigung ist ausgeschlossen. Auch sind Messungen möglich, wo beide Schenkel nicht gleichfluchtend sind; für ungeübte Personen geeignet.

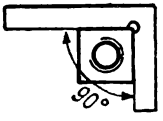


Bild 14.22

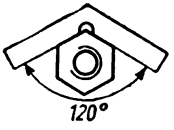


Bild 14.23

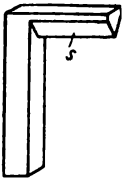


Bild 14.24

Schmiegen (Stahl) haben bewegliche Schenkel und sind auf jede beliebige Winkelgröße nach dem Winkelmesser (Transporteur) einstellbar (Bilder 14.25 und 14.26).

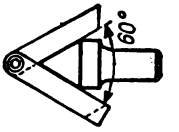


Bild 14.25

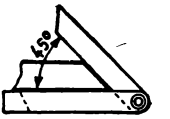


Bild 14.26

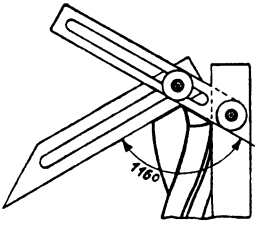
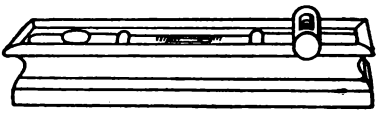


Bild 14.27

Doppelschmiegen (Bild 14.27) aus gehärtetem und geschliffenem Stahl oder Stahlguß können vielseitig verwandt werden z. B. zur Prüfung des Schneidwinkels eines Drallbohrers. Es erfolgt gleichzeitige Einstellung auf zwei verschiedene, miteinander verbundene Flächen. – Der *Universalwinkelmesser* ist aus Meßwinkel und Winkelschmiege entstanden.

Wasserwaagen nimmt man zum Ausrichten oder Einstellen von Maschinenteilen (Lagern, Wellen usw.). – Die *Wasserwaage* (Bild 14.28) mit Querlibelle ermöglicht waagerechte Messungen in 2 Richtungen. – Bild 14.29 stellt eine *Kreuzwasserwaage* dar, die waagerechte Messungen in 2 Richtungen ohne Umwenden des Instruments sowie senkrechte Messungen gestattet; auch als Winkel zu benutzen; daher sehr zweckmäßig bei Montagen. – Für schnelle Waagerechtmessungen nimmt man häufig eine runde *Dosenlibelle*, deren obere Glasfläche innen kugelförmig geschliffen ist.

Bild 14.28



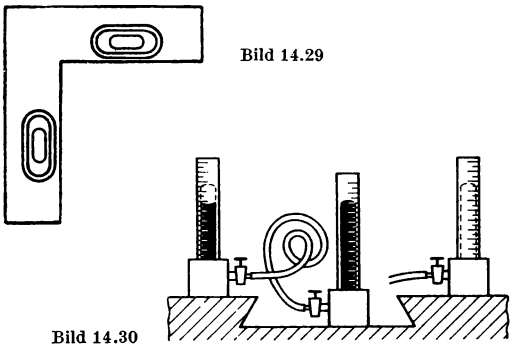


Bild 14.29

Bild 14.30

Schlauchwasserwaagen (Bild 14.30) dienen zum Messen von Höhenunterschieden. Sie bestehen aus 2 Wasserstandsgläsern, die durch einen Gummischlauch miteinander verbunden und mit Teilstrichen versehen sind. Sie werden beim Ausrichten von Wellenleitungen, bei Gründungsarbeiten (Fundierung), Wasserstandsmarken an Kesseln usw. verwandt.

Senklote (Bild 14.31) dienen zum Nachprüfen der Senkrechten insbesondere bei Montagen; zur Schonung des Lotes ist die Spitze s auswechselbar. Werkstoff: Stahlguß, Gußeisen oder Messing mit Stahlspitze.

Zum Prüfen der Ebenheit von Flächen dienen *Lineale* aus Stahl und *Tuschierplatten* (Bild 14.32) aus zähem, porenfreiem Gußeisen, die gehobelt und genau abgeschabt sind. Mit einer hauchdünnen Schicht Tusche versehen, werden sie über das zu prüfende Werkstück geschoben, kleinere Werkstücke auch über die Platte. Die Tusche haftet an erhabenen Stellen, die mittels Schabers abgeschabt werden. *Haarlineale* (Bild 14.33, Querschnittzeichnung) haben eine genau gerade geschliffene, schneidenartige Meßkante. Auf unebenen Flächen zeigen sich nach Aufsetzen des Lineals Lichtspalte.



Bild 14.31

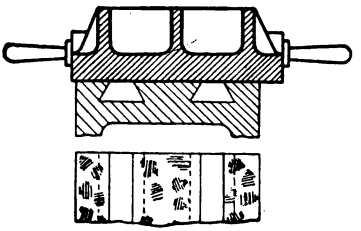


Bild 14.32



Bild 14.33

Parallelendmaße. Prismatische Meßklötzchen aus Sonderstahl (Bild 14.34) gefräst, gestempelt, glashart, vorgeschliffen, entmagnetisiert, fertiggeschliffen und justiert (auf genaues Maß). Bei Zusammensetzen (Aufsprengen) von mindestens 5 Endmaßen darf deren Gesamtmaß noch nicht $^1/_{1000}$ mm vom Sollmaß abweichen, der Fehler jedes Endmaßklötzchens darf also 0,0002 mm nicht erreichen. Bild 14.35 zeigt ihre Anwendung.

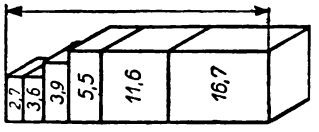


Bild 14.34

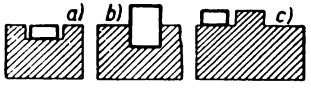


Bild 14.35. Anwendung der Endmaße als
a) Tiefenmaß, b) Breitenmaß, c) Höhenmaß

Rachenlehren (Bild 14.36) zum Ausmessen sind mit Plus- (+) und Minus- (—) Toleranz ausgestattet. *Gutseite* geht gerade über das Werkstück (Welle, Zapfen usw.), *Ausschußseite* geht nicht über das Werkstück. Die Ausschußseite ist rot gekennzeichnet. Größe der Toleranz (zulässige Abweichung) ist von Art und Verwendung des Werkstückes abhängig. – Eine andere Art zeigt Bild 14.37. Das eine Ende ist eine *Rachenlehre für Außenmessung*, das andere eine *Rundlehre für Innenmessung*. Derartige Lehren werden in der Werkstatt gern gebraucht. Sie sind aus Stahl im Gesenk geschmiedet, gehärtet und geschliffen.

Für *Gewindefeinmessung* werden Lehren nach den Bildern 14.38 und 14.39 und *Gewindelehrdorne* nach Bild 14.40 (Prüfung der Gewindesteigung in Muttern) benutzt. Zapfen z besitzt den zugehörigen Gewinde-Innendurchmesser, Zapfen z_1 den Gewinde-Außendurchmesser. Ebenso gibt es *Gewinderinge* zum Prüfen der Steigung von Außengewinden.

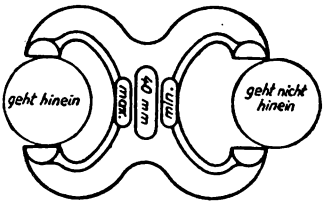


Bild 14.36. Rachenlehre

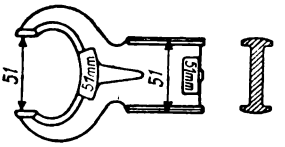


Bild 14.37



Bild 14.38

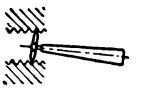


Bild 14.39

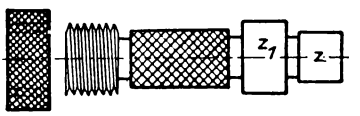


Bild 14.40

Grenzlehrdorne (Bild 14.41) sind gehärtete Grenzlehren aus gehärtetem Werkzeugstahl, bis auf 0,01 µm genau geschliffen und poliert. Das längere Ende ist die Gutseite, die sich in die Bohrung einführen läßt, das kürzere Ende ist die Ausschußseite und darf sich nicht einschieben lassen (nur »anschnäbeln«). Die Toleranz liegt zwischen beiden Maßen.

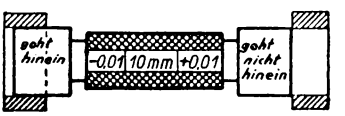


Bild 14.41

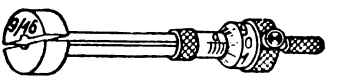


Bild 14.42

Verstellbare Lochlehren (Bild 14.42) mit Meßschraube dienen zur genauen Bestimmung des Grades einer Abweichung vom Normalmaß. Der geschlitzte Dorn wird mittels einer innenliegenden Spindel durch Drehen der Meßschraubenhülse auseinandergedrückt. Verstellbare Lochlehren eignen sich auch zum Nachprüfen der Neigung kegliger Bohrungen.

Zeigerlehren haben eine größere Zeigerübersetzung (zweiarmiger Hebel). Die *Keilnutentiefenlehre* in Bild 14.43 dient als Beispiel: Prisma p wird auf die zu messende Welle aufgesetzt. Dabei muß sich Stift a in der Nut n befinden. Wird Prisma p gegen die Welle gepreßt, so hebt sich Stift b, und der durch die Feder f gegen den Bund des Stiftes b gedrückte Zeiger z zeigt die Tiefendifferenz an. Bei Abnahme der Lehre bewegt sich Stift b durch die Feder c in die ursprüngliche Lage zurück.

Meßlehre für Zylinderbohrungen (Bild 14.44), Genauigkeitsprüfung der Bohrungen. Meßuhr m ist durch Winkel w auf Schlitten s befestigt. Dieser hat zwei gehärtete lange Schneiden a. Nach Einführung der Lehre in die Zylinderbohrung c

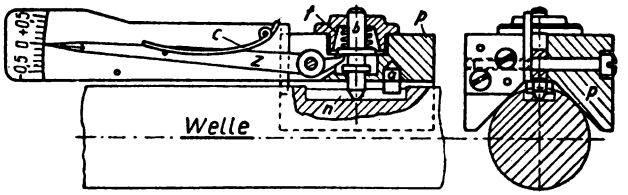


Bild 14.43. Keilnutentiefenlehre

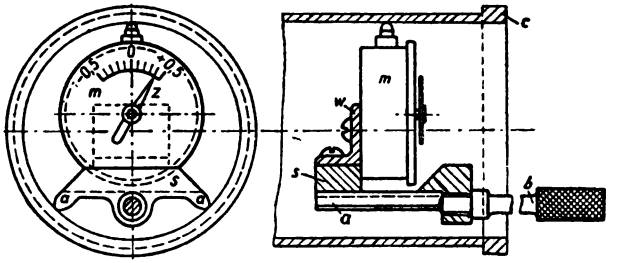


Bild 14.44. Zylinderbohrungslehre

wird durch Ausschlag des Zeigers z die Abweichung angezeigt. Die Lehre muß genau und gerade mittels Handhebels b eingeführt werden.

Konkav- und *Konvexlehren* (Bild 14.45). Genaue Nachprüfung von hohlen oder erhabenen Rundungen (s. Radiusmeißel); aus gehärtetem Stahl hergestellt. – In gleicher Ausführung gibt es *Gewindelehren* zur Prüfung des Gewindes, Ausführung wie a in Bild 14.45, aus gehärtetem Stahl; Arten und Größen der Gewinde sind verschieden. Verwendung auch zur Herstellung und Einstellung der Gewindestähle. Auch *Kegellehren* (wie b und c in Bild 14.45) zum Messen kegelförmiger (konischer) Teile (Bohrungen, Drallbohrer, Reibahlen usw.) werden nach Art von Bild 14.45 hergestellt. – *Fühllehren* dienen zum Messen von Spalten, Schlitzen usw. Anordnung der einzelnen Klingen wie bei Bild 14.45.

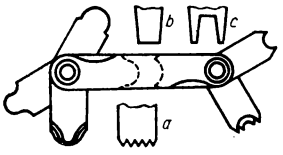


Bild 14.45

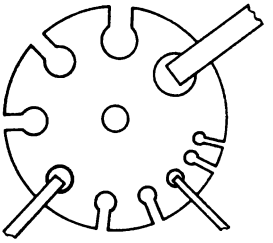


Bild 14.46

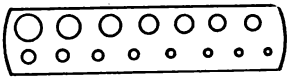


Bild 14.47

Blechlehren (Bild 14.46) werden zum Messen von Blechen gebraucht, Blechdicke um je 0,25 mm steigend; Löcher hinter den Meßschlitten dienen zur Aufnahme des Grates (durch Abschneiden des Bleches entstanden). Herstellung: Löcher bohren, dann Schlitze fräsen usw. (gehärteter Stahl).

Drahtlehren (Bild 14.47) werden zum Nachprüfen von Drahtdurchmessern, Stiften, auch kleinen Drallbohrern u. dgl. verwendet.

Die *Lochlehre* (Bild 14.48) dient zum Messen der Durchmesser von zylindrischen Bohrungen; Teilstriche stehen rechtwinklig zur Teilkante.

Die *Normallehre* (Bild 14.49) wird zum Messen von Bolzen und Muttern verwendet, die Normallehre nach Bild 14.50 zum Messen von Flachgewindestählen. Die Lehren werden im Einsatz gehärtet und auf Maß geschliffen. Die Lehre in Bild 14.49 enthält Maße für Schlüsselweite, Höhe der Mutter und des Bolzenkopfes, Bohrung der Mutter, Durchmesser des Bolzens.



Bild 14.48



Bild 14.49

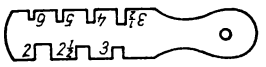


Bild 14.50

Die *Lehre für Flachgewindedrehmeißel* (Bild 14.50) hat Einschnitte zum Messen der Breite der Schneidkanten. Die Zahlen geben die Anzahl der Gänge auf 1″ engl. an. *Gewindedrehmeißellehren* (Bild 14.51) für Drehmeißel zum Schneiden von Schnecken (Evolventenverzahnung) geben genaue Form und Tiefe des Gewindes an. Zahlen auf der Lehre entsprechen der Anzahl der Gewindegänge der Schnecke auf 1″ engl.

Uhrschieblehre (Bild 14.52). Anstatt am Nonius unmittelbare Ablesung am Zeiger des Zifferblatts auf $^1/_{100}$ mm. – *Uhrschnellmesser* (Bild 14.53) für Ablesung auf $^1/_{100}$ mm. – *Winkelmesser* (Bild 14.54). Ablesung am Nonius auf $^1/_{12}$ Grad (5 Bogenminuten) genau. – *Verstellbare Rachenlehre* (Bild 14.55) mit Meßuhr zum Prüfen beim Schleifen von Wellen. –



Bild 14.51

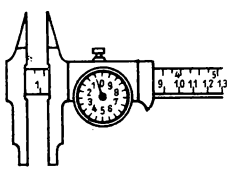


Bild 14.52

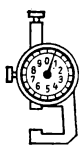


Bild 14.53

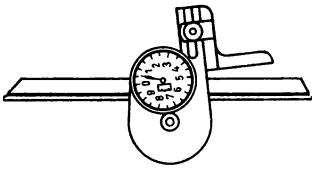


Bild 14.54

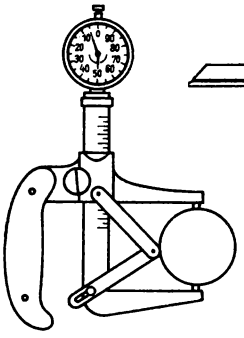


Bild 14.55

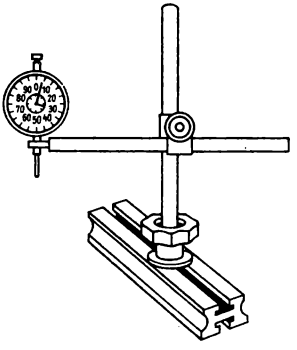


Bild 14.56

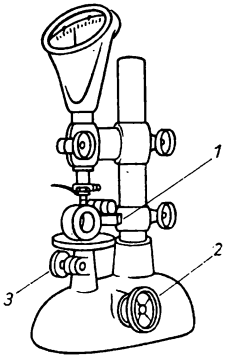


Bild 14.57. Feinmeß-Fühlhebel »Compar«
1 verstellbarer Anschlag,
2 Tisch-Feineinstellung,
3 Tischfeststellung

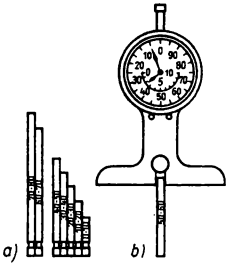


Bild 14.58. Meßuhr-Tiefenmesser
a) auswechselbare Stäbe,
b) Meßuhr

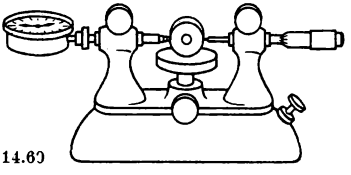


Bild 14.60

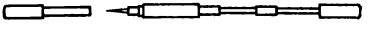


Bild 14.61

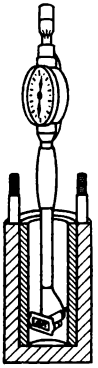


Bild 14.59

Universal-Meßständer (Bild 14.56) mit Meßuhr für Prüfarbeiten im Maschinenbau. – *Feinmeß-Fühlhebel »Compar«* (Bild 14.57) mit Stativ, lieferbar für $^1/_{100}$, $^1/_{200}$, $^1/_{500}$ und $^1/_{1000}$ mm Ablesung. – *Meßuhr-Tiefenmesser* (Bild 14.58) mit auswechselbaren Stäben. – *Innenmeßgerät* (Bild 14.59) mit Mikrometer und Meßuhr, lieferbar für 35···500 mm Durchmesser und Tiefen bis 3 m. – Eine Kleinausführung ist ab 3 mm Durchmesser verwendbar. – *Meßständer* (Bild 14.60) für Gewinde u. a. – *Düsenlehre* (Bild 14.61) mit Nonius für feine Bohrungen. Ablesung in $^1/_{100}$ mm. – *Sinus-Winkelmesser* (Bild 14.62) gestattet Ablesungen auf Bogenminuten ($^1/_{60}°$) genau.

Behandlung und Instandhaltung von Meßzeugen. Stets sorgfältig behandeln; mit Knochenöl (Rostschutz) einreiben; vor Feuchtigkeit, Staub und Sonne schützen; nicht an die Meßflächen fassen; in Kästen oder Schränken aufbewahren!

14.3. Toleranzen, Passungen

Toleranzen

»Fertige nicht so genau wie möglich, sondern nur so genau wie nötig!« Diese ökonomische Forderung wird erfüllt, wenn für eine Länge nicht ein so genaues Maß angegeben wird, das sich schwer erreichen läßt, sondern *Grenzmaße* (Größt- und Kleinstmaß) angegeben werden, zwischen denen das *Istmaß* (gemessene Länge) liegen muß. Den Unterschied zwischen dem Größt- und dem Kleinstmaß nennt man *Toleranz* (lat. tolerare = ertragen, dulden). In den Bildern 14.63 und 14.64 bedeuten D_g Größtmaß, D_k Kleinstmaß, T Toleranz, $T = D_g - D_k$.
Die Grenzmaße werden bestimmt, indem die zulässigen Abweichungen (unteres und oberes Abmaß) von einem *Nennmaß* aus angegeben werden. In Bild 14.65 bedeuten N Nennmaß, A_o oberes Abmaß, A_u unteres Abmaß, $D_g = N + A_o$, $D_k = N + A_u$.

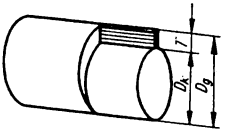


Bild 14.63

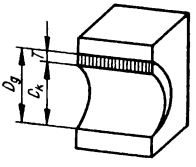


Bild 14.64

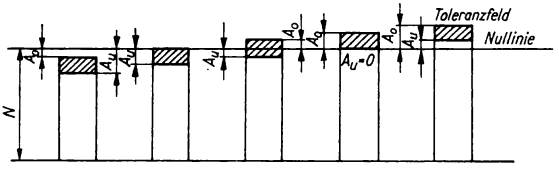


Bild 14.65

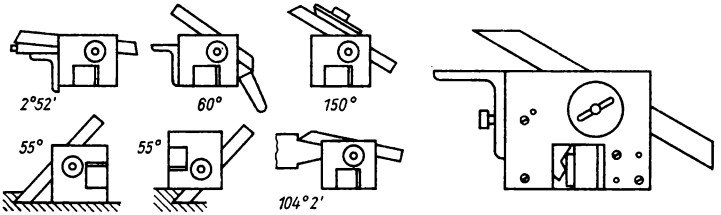


Bild 14.62

	für Lehren				für Werkstücke											
					überwiegend für Passungen							für gröbere Herstellungstoleranzen				
Qualität	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

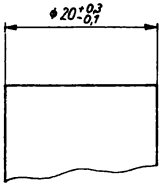


Bild 14.66

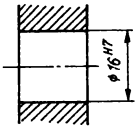


Bild 14.67

Bild 14.68. Anwendungsbereiche der Qualitäten (nach TGL 0-7150 Bl. 1)

Die Toleranzen veranschaulicht man an der *Nennmaß-* oder *Nullinie.* Diese ist die Begrenzung des Nennmaßes auf einer Seite (oben) zur Darstellung der Abmaße und Toleranzen in Form von *Toleranzfeldern.*
In Fertigungszeichnungen können Toleranzangaben in verschiedener Weise erfolgen:

a) Angabe der Abmaße durch Zahlen (Bild 14.66),
b) Toleranzangabe nach dem ISA-Toleranzsystem, d. h. mit Hilfe der ISA-Kurzzeichen (Bilder 14.67ff.) (vgl. 5.2.17. Technisches Zeichnen). Nach TGL 2897 erhalten nur funktions-, fertigungs- oder anschlußbedingte Maße Toleranzangaben. Für alle Maße, die nicht toleriert werden, gibt dieser Standard zulässige Abweichungen für vier Genauigkeitsgrade *(fein, mittel, grob, sehr grob)* an. Auf Zeichnungen sind im oder neben dem Schriftfeld Hinweise auf diesen Standard mit dem geforderten Genauigkeitsgrad aufzunehmen, z. B. »Abweichungen für Maße ohne Toleranzangabe mittels TGL 2897«.

Tabelle 14.1 enthält Abweichungen für Längenmaße und Rundungen.

ISA-Toleranzensystem

Das von der internationalen Standardisierungsorganisation ISA (1946 neu konstituiert und in ISO – International Organization for Standardization – umbenannt) erarbeitete Toleranzensystem geht von den Nennmaßen aus, die in Nennmaßbereiche eingeteilt sind. Die Toleranzen wurden aus dem Produkt eines Faktors mit der Internationalen Toleranzeinheit $i = 0{,}45\sqrt[3]{D} + 0{,}001D$ (i in µm, D in mm) berechnet. Für jeden Nennmaßbereich sind 16 Toleranzstufen vorgesehen. Diese, als *Qualitäten* bezeichnet (Bild 14.68), werden in der Toleranzangabe durch Zahlen von 1···16 gekennzeichnet.
Es gibt demnach die Grundtoleranzreihen IT 1 bis IT 16, wie aus Tabelle 14.2 ersichtlich ist (IT = ISA-Toleranzreihe).

Tabelle 14.1: Abweichungen für Längenmaße und Rundungen (Werte in mm) (nach TGL 2897)

Genauigkeitsgrad	Nennmaßbereich in mm							
	bis 6	über 6 bis 30	über 30 bis 100	über 100 bis 300	über 300 bis 1000	über 1000 bis 2000	über 2000 bis 4000	über 4000
fein	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	—	—
mittel	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3
grob	±0,2	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4	±5
sehr grob	±0,5	±1	±1,5	±2	±3	±5	±8	±10

Tabelle 14.2: Grundtoleranzen (nach TGL 0-7151)

Grundtoleranzreihe	Qualität	Nennmaßbereich in mm													Toleranzen in i
		1 bis 3	über 3 bis 6	über 6 bis 10	über 10 bis 18	über 18 bis 30	über 30 bis 50	über 50 bis 80	über 80 bis 120	über 120 bis 180	über 180 bis 250	über 250 bis 315	über 315 bis 400	über 400 bis 500	
		Werte in µm = $^1/_{1000}$ mm													
IT 1	1	1,5					2		3	4	5	6	7	8	—
IT 2	2	2					3		4	5	7	8	9	10	—
IT 3	3	3				4		5	6	8	10	12	13	15	—
IT 4	4	4			5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	—
IT 5	5	5		6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	≈7
IT 6	6	7	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	10
IT 7	7	9	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	16
IT 8	8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97	25
IT 9	9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	40
IT 10	10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250	64
IT 11	11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400	100
IT 12	12	90	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630	160
IT 13	13	140	180	250	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970	250
IT 14	14	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550	400
IT 15	15	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500	640
IT 16	16	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000	1000

(Nach ISO-Entwurfsvorschlägen soll die Anzahl der Toleranzstufen auf 18 erhöht werden, den Stufen IT 1 bis IT 16 sollen die Stufen IT 01 und IT 0 vorangestellt werden.)
Da beim Fügen z. B. von Welle und Nabe die Teile mehr oder weniger fest sitzen sollen, dürfen die Toleranzfelder der Paßflächenmaße nicht die gleiche Lage zur gemeinsamen Nullinie haben. Deshalb hat man verschiedene Toleranzfeldlagen festgelegt, die man mit Buchstaben in alphabetischer Reihenfolge bezeichnet.
Große Buchstaben kennzeichnen die *Toleranzfeldlagen der Innenmaße*, z. B. Bohrungen, kleine Buchstaben die *Toleranzfeldlagen der Außenmaße*, z. B. Wellen. Bild 14.69 stellt einen Auszug aus TGL 0-7150 dar.

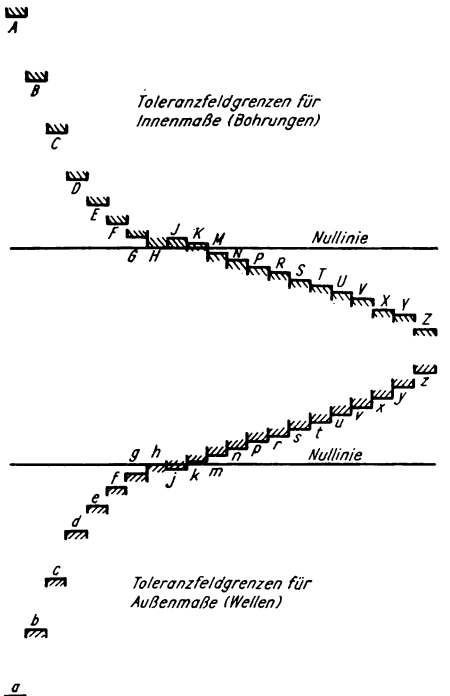


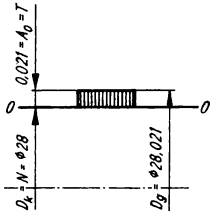
Bild 14.69. Toleranzfeldgrenzen

Bei einer ISO-Toleranzangabe wird also dem Nennmaß ein Buchstabe zur Kennzeichnung der Toleranzfeldlage und eine Zahl zur Kennzeichnung der Qualität (Toleranzgröße) hinzugefügt. Die Toleranzfeldlage und die Toleranzgröße werden durch die *Abmaße* festgelegt, die den Abstand der Toleranzfeldgrenzen von der Nullinie angeben. Diese Abmaße sind in Tabellen zusammengefaßt, in denen sie den Nennmaßbereichen und Toleranzbezeichnungen zugeordnet sind.
Den Tabellen 14.3 und 14.4 kann entnommen werden, daß bei den Toleranzfeldern mit dem Buchstaben H und h je ein Abmaß gleich 0 ist. Die Toleranzfelder liegen demnach an der Nullinie, und das Kleinstmaß bzw. Größtmaß stimmt mit dem Nennmaß überein. Hieraus erklärt sich die bevorzugte Verwendung der H-, h-Passungen. (Siehe Passungsauswahl: System Einheitsbohrung — System Einheitswelle; S. 322 f.)

Beispiel 1

$\varnothing\ 28^{H7}$

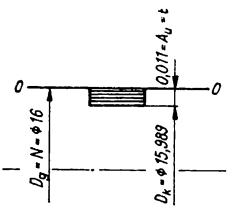
A_o	+21 µm
A_u	±0 µm
D_g	28,021 mm
D_k	28,000 mm
T	21 µm



Beispiel 2

$\varnothing\ 16_{h6}$

A_o	±0 µm
A_u	−11 µm
D_g	16,000 mm
D_k	15,989 mm
T	11 µm



Passungen

Unter Passungen versteht man die Maßbeziehungen zu fügender Teile. Die zylindrischen oder ebenen Paßflächen müssen bestimmte Maße besitzen, wenn die Teile fest oder beweglich gepaart werden sollen. Das ISA-Paßsystem, das auf dem ISA-Toleranzsystem aufbaut, sieht 3 Gruppen von Passungen vor:

Spielpassungen,
Preßpassungen,
Übergangspassungen.

Bei der *Spielpassung* (Bild 14.70) ist das Innenmaß (z. B. Bohrungsmaß) in jedem Fall größer als das Außenmaß (z. B. Wellenmaß), gleichgültig wie die Istmaße innerhalb der Grenzmaße bei der Fertigung ausfallen. Die Differenz zwischen Innen- und Außenmaß nennt man *Spiel*. Entsprechend den Grenzmaßen gibt es ein *Größt- und Kleinstspiel* (S_g und S_k).
Bei der *Preßpassung* (Bild 14.71) ist das Außenmaß in jedem Fall größer als das Innenmaß, gleichgültig wie die Istmaße innerhalb der Grenzmaße ausfallen. Die Differenz zwischen Außen- und Innenmaß nennt man hier *Übermaß*, und es gibt entsprechend den Grenzmaßen ein *Größt- und ein Kleinstübermaß* (U_g und U_k). Die Paarung der Teile wird durch die Elastizität der Werkstoffe möglich.
Eine *Übergangspassung* ist dann vorhanden, wenn Spiel *oder* Übermaß auftreten kann, je nachdem wie die Istmaße innerhalb der Grenzmaße ausfallen (Bild 14.72).

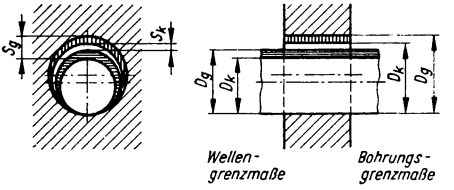


Bild 14.70. Spielpassung (Toleranzfelder der Bohrungen sind senkrecht, die der Wellen waagerecht schraffiert)

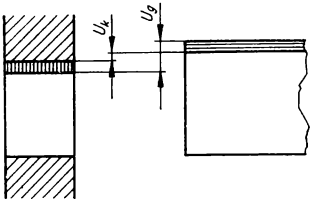


Bild 14.71. Preßpassung

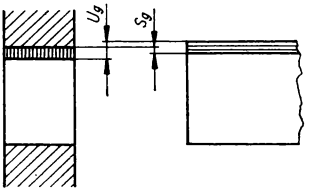
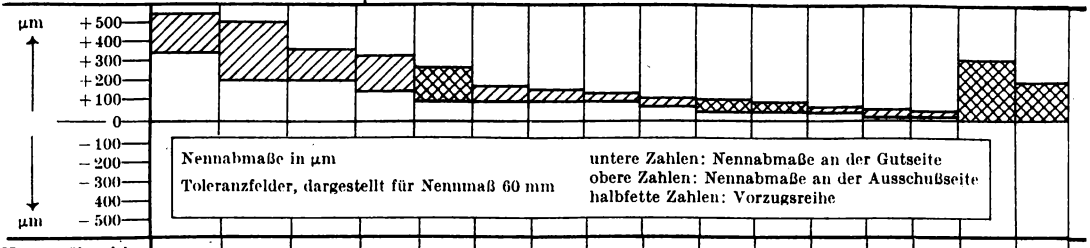
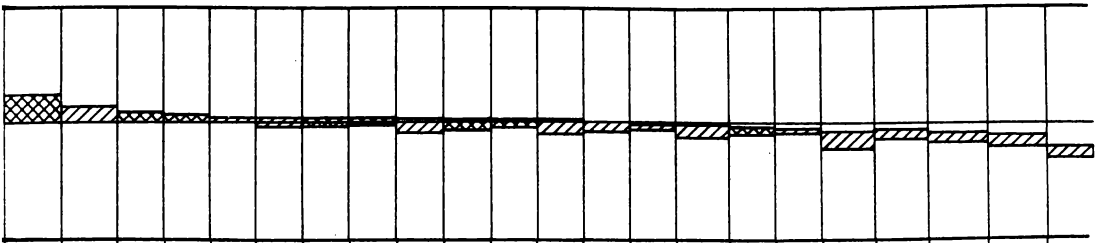


Bild 14.72. Übergangspassung

Tabelle 14.3: Innenmaße (nach TGL 8275 Bl. 1)

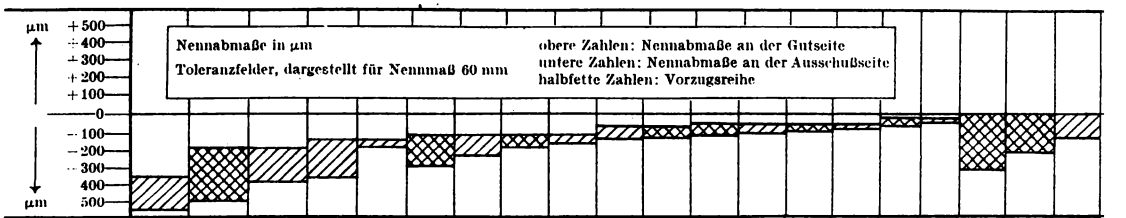


Nennmaßbereich in mm	A11	B12	B11	C11*)	**D11**	D10	D9	D8	E8	**F9**	**F8**	F7	G7	G6	**H12**	**H11**
über 1 bis 3	+ 330 + 270	+ 230 + 140	+ 200 + 140	+120 + 60	**+ 80 + 20**	+ 60 + 20	+ 45 + 20	+ 34 + 20	+ 28 + 14	**+ 32 + 7**	**+ 21 + 7**	+ 16 + 7	+12 + 3	+10 + 3	**+ 90 0**	**+ 60 0**
über 3 bis 6	+ 345 + 270	+ 260 + 140	+ 215 + 140	+145 + 70	**+105 + 30**	+ 78 + 30	+ 60 + 30	+ 48 + 30	+ 38 + 20	**+ 40 + 10**	**+ 28 + 10**	+ 22 + 10	+16 + 4	+12 + 4	**+120 0**	**+ 75 0**
über 6 bis 10	+ 370 + 280	+ 300 + 150	+ 240 + 150	+170 + 80	**+130 + 40**	+ 98 + 40	+ 76 + 40	+ 62 + 40	+ 47 + 25	**+ 49 + 13**	**+ 35 + 13**	+ 28 + 13	+20 + 5	+14 + 5	**+150 0**	**+ 90 0**
über 10 bis 14	+ 400	+ 330	+ 260	+205	**+160**	+120	+ 93	+ 77	+ 59	**+ 59**	**+ 43**	+ 34	+24	+17	**+180**	**+110**
über 14 bis 18	+ 290	+ 150	+ 150	+ 95	**+ 50**	+ 50	+ 50	+ 50	+ 32	**+ 16**	**+ 16**	+ 16	+ 6	+ 6	**0**	**0**
über 18 bis 24	+ 430	+ 370	+ 290	+240	**+195**	+149	+117	+ 98	+ 73	**+ 72**	**+ 53**	+ 41	+28	+20	**+210**	**+130**
über 24 bis 30	+ 300	+ 160	+ 160	+110	**+ 65**	+ 65	+ 65	+ 65	+ 40	**+ 20**	**+ 20**	+ 20	+ 7	+ 7	**0**	**0**
über 30 bis 40	+ 470 + 310	+ 420 + 170	+ 330 + 170	+280 +120	**+240**	+180	+142	+119	+ 89	**+ 87**	**+ 64**	+ 50	+34	+25	**+250**	**+160**
über 40 bis 50	+ 480 + 320	+ 430 + 180	+ 340 + 180	+290 +130	**+ 80**	+ 80	+ 80	+ 80	+ 50	**+ 25**	**+ 25**	+ 25	+ 9	+ 9	**0**	**0**
über 50 bis 65	+ 530 + 340	+ 490 + 190	+ 380 + 190	+330 +140	**+290**	+220	+174	+146	+106	**+104**	+ 76	+ 60	+ 40	+29	**+300**	**+190**
über 65 bis 80	+ 550 + 360	+ 500 + 200	+ 390 + 200	+340 +150	**+100**	+100	+100	+100	+ 60	**+ 30**	**+ 30**	+ 30	+10	+10	**0**	**0**
über 80 bis 100	+ 600 + 380	+ 570 + 220	+ 440 + 220	+390 +170	**+340**	+260	+207	+174	+126	**+123**	**+ 90**	+ 71	+ 47	**+34**	**+350**	**+220**
über 100 bis 120	+ 630 + 410	+ 590 + 240	+ 460 + 240	+400 +180	**+120**	+120	+120	+120	+ 72	**+ 36**	**+ 36**	+ 36	+12	+12	**0**	**0**
über 120 bis 140	+ 710 + 460	+ 660 + 260	+ 510 + 260	+450 +200												
über 140 bis 160	+ 770 + 520	+ 680 + 280	+ 530 + 280	+460 +210	**+395 +145**	+305 +145	+245 +145	+208 +145	+148 + 85	**+143 + 43**	**106 + 43**	+ 83 + 43	+54 +14	+39 +14	**+400 0**	**+250 0**
über 160 bis 180	+ 830 + 580	+ 710 + 310	+ 560 + 310	+480 +230												
über 180 bis 200	+ 950 + 660	+ 800 + 340	+ 630 + 340	+530 +240												
über 200 bis 225	+1030 + 740	+ 840 + 380	+ 670 + 380	+550 +260	**+460 +170**	+355 +170	+285 +170	+242 +170	+172 +100	**+165 + 50**	**+122 + 50**	+ 96 + 50	+61 +15	+44 +15	**+460 0**	**+290 0**
über 225 bis 250	+1110 + 820	+ 880 + 420	+ 710 + 420	+570 +280												
über 250 bis 280	+1240 + 920	+1000 + 480	+ 800 + 480	+620 +300	**+510**	+400	+320	+271	+191	**+186**	**+137**	+108	+69	+49	**+520**	**+320**
über 280 bis 315	+1370 +1050	+1060 + 540	+ 860 + 540	+650 +330	**+190**	+190	+190	+190	+110	**+ 56**	**+ 56**	+ 56	+17	+17	**0**	**0**
über 315 bis 355	+1560 +1200	+1170 + 600	+ 960 + 600	+720 +360	**+570**	+440	+350	+299	+214	**+202**	**+151**	+119	+75	+54	**+570**	**+360**
über 355 bis 400	+1710 +1350	+1250 + 680	+1040 + 680	+760 +400	**+210**	+210	+210	+210	+125	**+ 62**	**+ 62**	+ 62	+18	+18	**0**	**0**
über 400 bis 450	+1900 +1500	+1390 + 760	+1160 + 760	+840 +440	**+630**	+480	+385	+327	+232	**+223**	**+165**	+131	+83	+60	**+630**	**+400**
über 450 bis 500	+2050 +1650	+1470 + 840	+1240 + 840	+880 +480	**+230**	+230	+230	+230	+135	**+ 68**	**+ 68**	+ 68	+20	+20	**0**	**0**
Gleich oder ähnlich liegendes Maßtoleranzfeld im OST-System	H_{14}	X_8	J_{14}	—	X_4	H_{13}	H_9	H_8	J_8	X_5	X	X_1	J	J_1	C_8	C_4

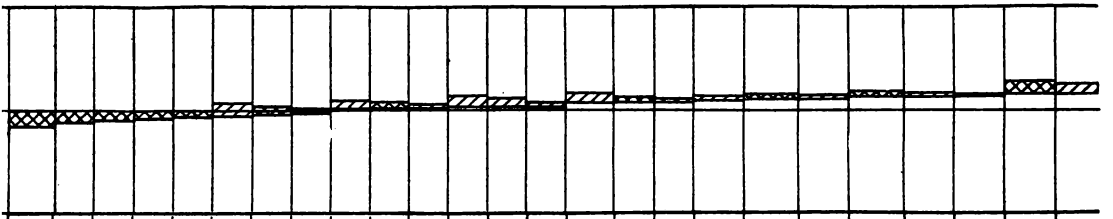


H10	H9	H8	H7	H6	J8	J7*)	J6*)	K8	K7	K6*)	M8	M7	M6	N8	N7	N6	P9*)	P7	R7	S7	U8
+ 40	+ 25	+14	+ 9	+ 7	+ 7	+ 3	+ 3	–	–	–	–	0	0	– 1	– 4	– 4	– 9	– 7	– 10	– 13	– 18
0	0	0	0	0	– 7	– 6	– 4	–	–	–	–	– 9	– 7	– 15	–13	–11	– 34	– 16	– 19	– 22	– 32
+ 48	+ 30	+18	+12	+ 8	+ 9	+ 5	+ 4	–	–	–	–	0	– 1	– 2	– 4	– 5	– 12	– 8	– 11	– 15	– 23
0	0	0	0	0	– 9	– 7	– 4	–	–	–	–	–12	– 9	– 20	–16	–13	– 42	– 20	– 23	– 27	– 41
+ 58	+ 36	+22	+15	+ 9	+12	+ 8	+ 5	+ 6	+ 5	+ 2	+ 1	0	– 3	– 3	– 4	– 7	– 15	– 9	– 13	– 17	– 28
0	0	0	0	0	–10	– 7	– 4	–16	–10	– 7	–21	–15	–12	– 25	–19	–16	– 51	– 24	28	– 32	– 50
+ 70	+ 43	+27	+18	+11	+15	+10	+ 6	+ 8	+ 6	+ 2	+ 2	0	– 4	– 3	– 5	– 9	– 18	– 11	– 16	– 21	– 33
0	0	0	0	0	–12	– 8	– 5	–19	–12	– 9	–25	–18	–15	– 30	–23	–20	– 61	– 29	– 34	39	– 60
																					– 41
84	+ 52	+33	+21	+13	+20	+12	+ 8	+10	+ 6	+ 2	+ 4	0	– 4	– 3	– 7	–11	– 22	– 14	– 20	– 27	74
0	0	0	0	0	–13	– 9	– 5	–23	–15	–11	–29	–21	–17	– 36	–28	–24	– 74	– 35	– 41	– 48	– 48
																					– 81
																					– 60
–100	+ 62	+39	+25	+16	+24	+14	+10	+12	+ 7	+ 3	+ 5	0	– 4	– 3	– 8	–12	– 26	– 17	– 25	– 34	– 99
0	0	0	0	0	–15	–11	– 6	–27	–18	–13	–34	–25	–20	– 42	–33	–28	– 88	– 42	– 50	– 59	– 70
																					–109
																			– 30	– 42	– 87
+120	+ 74	+46	+30	+19	+28	+18	+13	+14	+ 9	+ 4	+ 5	0	– 5	– 4	– 9	–14	– 32	– 21	– 60	– 72	–133
0	0	0	0	0	–18	–12	– 6	–32	–21	–15	–41	–30	–24	– 50	–39	–33	–106	– 51	– 32	– 48	–102
																			– 62	– 78	–148
																			– 38	– 58	–124
140	+ 87	+54	+35	+22	+34	+22	+16	+16	+10	+ 4	+ 6	0	– 6	– 4	–10	–16	– 37	– 24	– 73	– 93	–178
0	0	0	0	0	–20	–13	– 6	–38	–25	–18	–48	–35	–28	– 58	–45	–38	–124	– 59	41	– 66	–144
																			– 76	–101	–198
																			– 48	– 77	–170
																			– 88	–117	–233
–160	+100	+63	+40	+25	+41	+26	+18	+20	+12	+ 4	+ 8	0	– 8	– 4	–12	–20	– 43	– 28	– 50	– 85	–190
0	0	0	0	0	–22	–14	– 7	–43	–28	–21	–55	–40	–33	– 67	–52	–45	–143	– 68	– 90	–125	–253
																			– 53	– 93	–210
																			– 93	–133	–273
																			– 60	–105	–236
																			–106	–151	–308
–185	+115	+72	+46	+29	+47	+30	+22	+22	+13	+ 5	+ 9	0	– 8	– 5	–14	–22	– 50	– 33	– 63	–113	–258
0	0	0	0	0	–25	–16	– 7	–50	–33	–24	–63	–46	–37	– 77	–60	–51	–165	– 79	–109	–159	–330
																			– 67	–123	–284
																			–113	–169	–356
																			– 74	–138	–315
210	+130	+81	+52	+32	+55	+36	+25	+25	+16	+ 5	+ 9	0	– 9	– 5	–14	–25	– 56	– 36	–126	–190	–396
0	0	0	0	0	–26	–16	– 7	–56	–36	–27	–72	–52	–41	– 86	–66	–57	–186	– 88	– 78	–150	–350
																			–130	–202	–431
																			– 87	–169	–390
230	+140	+89	+57	+36	+60	+39	+29	+28	+17	+ 7	+11	0	–10	– 5	–16	–26	– 62	– 41	–144	–226	–479
0	0	0	0	0	–29	–18	– 7	–61	–40	–29	–78	–57	–46	– 94	–73	–62	–202	– 98	– 93	–187	–435
																			–150	–244	–524
																			–103	–209	–490
+250	+155	+97	+63	+40	+66	+43	+33	+29	+18	+ 8	+11	0	–10	– 6	–17	–27	– 68	– 45	–166	–272	–587
0	0	0	0	0	–31	–20	– 7	–68	–45	–32	–86	–63	–50	–103	–80	–67	–223	–108	–109	–229	–540
																			–172	–292	–637
C_{3a}	C_3	C_{2a}	C	C_1	H_{2a}	H	H_1	H_{2a}	H	H_1	T_{2a}	T	T_1	Γ_{2a}	Γ	Γ_1	ПШ	P7	$П_р$	$П_р$	$П_р 2_{2a}$

Tabelle 14.4: Außenmaße (nach TGL 8275 Bl. 1)



Nennmaßbereich in mm	a11	b12	b11	c11*)	c8	d11	d10	d9	d8	e9*)	e8	f9	f8	f7	f6	g6	g5	h12	h11	h10
über 1 bis 3	− 270 − 330	− **140** − **230**	− 140 − 200	− 60 − 120	− 60 − 74	− **20** − **80**	− 20 − 60	− **20** − **45**	− 20 − 34	− 14 − 39	− **14** − **28**	− **7** − **32**	− 7 − 21	− **7** − **16**	− 7 − 14	− **3** − **10**	− 3 − 8	**0** − **90**	**0** − **60**	0 − 40
über 3 bis 6	− 270 − 345	− **140** − **260**	− 140 − 215	− 70 − 145	− 70 − 88	− **30** − **105**	− 30 − 78	− **30** − **60**	− 30 − 48	− 20 − 50	− **20** − **38**	− **10** − **40**	− 10 − 28	− **10** − **22**	− 10 − 34	− **4** − **12**	− 4 − 9	**0** − **120**	**0** − **75**	0 − 48
über 6 bis 10	− 280 − 370	**150** − **300**	− 150 − 240	− 80 − 170	− 80 − 102	− **40** − **130**	− 40 − 98	− **40** − **76**	− 40 − 62	− 25 − 61	− **25** − **47**	− **13** − **49**	− 13 − 35	− **13** − **28**	− 13 − 22	− **5** 14	− 5 − 11	**0** − **150**	**0** − **90**	0 − 58
über 10 bis 14 über 14 bis 18	− 290 − 400	− **150** − **330**	− 150 − 260	− 95 − 205	− 95 − 122	− **50** − **160**	− 50 − 120	− **50** − **93**	− 50 − 77	− 32 − 75	− **32** − **59**	− **16** − **59**	− 16 − 43	− **16** − **34**	− 16 − 27	− **6** − **17**	− 6 − 14	**0** − **180**	**0** − **110**	0 − 70
über 18 bis 24 über 24 bis 30	− 300 − 430	− **160** − **370**	− 160 − 290	− 110 − 240	− 110 − 143	− **65** − **195**	− 65 − 149	− **65** − **117**	− 65 − 98	− 40 − 92	− **40** − **73**	− **20** − **72**	− 20 − 53	− **20** − **41**	− 20 − 33	− **7** − **20**	− 7 − 16	**0** − **210**	**0** − **130**	0 − 84
über 30 bis 40	310 470	− **170** − **420**	− 170 − 330	− 120 − 280	− 120 − 159															
über 40 bis 50	− 320 − 480	− **180** − **430**	− 180 − 340	− 130 − 290	− 130 − 169	− **80** − **240**	− 80 − 180	− **80** − **142**	− 80 − 119	− 50 − 112	− **50** − **89**	− **25** − **87**	− 25 − 64	− **25** − **50**	− 25 − 41	− **9** − **25**	− 9 − 20	**0** − **250**	**0** − **160**	0 − 100
über 50 bis 65	340 530	− **190** − **490**	− 190 − 380	− 140 − 330	− 140 − 186															
über 65 bis 80	− 360 − 550	− **200** − **500**	− 200 − 390	− 150 − 340	− 150 − 196	− **100** − **290**	− 100 − 220	− **100** − **174**	− 100 − 146	− 60 − 134	− **60** − **106**	− **30** − **104**	− 30 − 76	− **30** − **60**	− 30 − 49	− **10** − **29**	− 10 − 23	**0** − **300**	**0** − **190**	0 − 120
über 80 bis 100	380 600	− **220** − **570**	− 220 − 440	− 170 − 390	− 170 − 224															
über 100 bis 120	− 410 − 630	− **240** − **590**	− 240 − 460	− 180 − 400	− 180 − 234	− **120** − **340**	− 120 − 260	− **120** − **207**	− 120 − 174	− 72 − 159	− **72** − **126**	− **36** − **123**	− 36 − 90	− **36** − **71**	− 36 − 58	− **12** − **34**	− 12 − 27	**0** − **350**	**0** − **220**	0 − 140
über 120 bis 140	− 460 − 710	− **260** − **660**	− 260 − 510	− 200 − 450	− 200 − 263															
über 140 bis 160	− 520 − 770	− **280** − **680**	− 280 − 530	− 210 − 460	− 210 − 273	− **145** − **396**	− 145 − 305	− **145** − **245**	− 145 − 208	− 85 − 185	− **85** − **148**	− **43** − **143**	43 − 106	− **43** − **83**	− 43 − 68	− **14** − **39**	− 14 − 32	**0** − **400**	**0** − **250**	0 − 160
über 160 bis 180	− 580 − 830	− **310** − **710**	− 310 − 560	− 230 − 480	− 230 − 293															
über 180 bis 200	− 660 − 950	− **340** − **800**	− 340 − 630	− 240 − 530	− 240 − 312															
über 200 bis 225	− 740 − 1030	− **380** − **840**	− 380 − 670	− 260 − 550	− 260 − 332	− **170** − **460**	− 170 − 355	− **170** − **285**	− 170 − 242	− 100 − 215	− **100** − **172**	− **50** − **165**	− 50 − 122	− **50** − **96**	− 50 − 79	− **15** − **44**	− 15 − 35	**0** − **460**	**0** − **290**	0 − **185**
über 225 bis 250	− 820 − 1110	− **420** − **880**	− 420 − 710	− 280 − 570	− 280 − 352															
über 250 bis 280	− 920 − 1240	− **480** − **1000**	− 480 − 800	− 300 − 620	− 300 − 381	− **190** − **510**	− 190 − 400	− **190** − **320**	− 190 − 271	− 110 − 240	− **110** − **191**	− **56** − **186**	− 56 − 137	− **56** − **108**	− 56 − 88	− **17** − **49**	− 17 − 40	**0** − **520**	**0** − **320**	0 − 210
über 280 bis 315	− 1050 − 1370	− **540** − **1060**	− 540 − 860	− 330 − 650	− 330 − 411															
über 315 bis 355	− 1200 − 1560	− **600** − **1170**	− 600 − 960	− 360 − 720	− 360 − 449	− **210** − **570**	− 210 − 440	− **210** − **350**	− 210 − 299	− 125 − 265	− **125** − **214**	− **62** − **202**	− 62 − 151	− **62** − **119**	− 62 − 98	− **18** 54	− 18 − 43	**0** − **570**	**0** − **360**	0 − 230
über 355 bis 400	− 1350 − 1710	− **680** − **1250**	− 680 − 1040	− 400 − 760	− 400 − 489															
über 400 bis 450	− 1500 − 1900	− **760** − **1390**	− 760 − 1160	− 440 − 840	− 440 − 537	− **230** − **630**	− 230 − 480	− **230** − **385**	− 230 − 327	− 135 − 290	− **135** − **232**	− **68** − **223**	− 68 − 165	− **68** − **131**	− 68 − 108	− **20** **60**	− 20 − 47	**0** − **630**	**0** − **400**	0 − 250
über 450 bis 500	− 1650 − 2050	− **840** − **1470**	− 840 − 1240	− 480 − 880	− 480 − 577															
Gleich oder ähnlich liegendes Maßtoleranzfeld im OST-System	Ш4	X5	Л4	—	TX	X4	Ш3	Ш3	Ш	—	Х1	X3	X2a	X	X1	Л	Л1	C5	C4	C2a



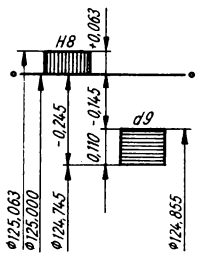
h9	h8	h7	h6	h5*)	j7	j6*)	j5	k7	k6	k5	m7	m6	m5	n7	n6	n5	p6	r6*)	r5	s7	s6	s5	u8	u7
0	0	0	0	0	+ 7	+ 6	+ 4	–	–	–	–	+ 9	+ 7	+ 15	+13	+11	+ 16	+ 19	+ 17	+ 24	+ 22	+ 20	+ 32	+ 27
– 25	–14	– 9	– 7	– 5	– 2	– 1	– 1	–	–	–	–	+ 2	+ 2	+ 6	+ 6	+ 6	+ 9	+ 12	+ 12	+ 15	+ 15	+ 15	+ 18	+ 18
0	0	0	0	0	+ 9	+ 7	+ 4	–	–	–	–	+12	+ 9	+ 20	+16	+13	+ 20	+ 23	+ 20	+ 31	+ 27	+ 24	+ 41	+ 35
– 30	–18	–12	– 8	– 5	– 3	– 1	– 1	–	–	–	–	+ 4	+ 4	+ 8	+ 8	+ 8	+ 12	+ 15	+ 15	+ 19	+ 19	+ 19	+ 23	+ 23
0	0	0	0	0	+10	+ 7	+ 4	+16	+10	+ 7	+21	+15	+12	+ 25	+19	+16	+ 24	+ 28	+ 25	+ 38	+ 32	+ 29	+ 50	+ 43
– 36	–22	–15	– 9	– 6	– 5	– 2	– 2	+ 1	+ 1	+ 1	+ 6	+ 6	+ 6	+ 10	+10	+10	+ 15	+ 19	+ 19	+ 23	+ 23	+ 23	+ 28	+ 28
0	0	0	0	0	+12	+ 8	+ 5	+19	+12	+ 9	+25	+18	+15	+ 30	+23	+20	+ 29	+ 34	+ 31	+ 46	+ 39	+ 36	+ 60	+ 51
– 43	–27	–18	–11	– 8	– 6	– 3	– 3	+ 1	+ 1	+ 1	+ 7	+ 7	+ 7	+ 12	+12	+12	+ 18	+ 23	+ 23	+ 28	+ 28	+ 28	+ 33	+ 33
																							+ 74	+ 62
0	0	0	0	0	+13	+ 9	+ 5	+23	+15	+11	+29	+21	+17	+ 36	+28	+24	+ 35	+ 41	+ 37	+ 56	+ 48	+ 44	+ 41	+ 41
– 52	–33	–21	–13	– 9	– 8	– 4	– 4	+ 2	+ 2	+ 2	+ 8	+ 8	+ 8	+ 15	+15	+15	+ 22	+ 28	+ 28	+ 35	+ 35	+ 35	+ 81	+ 69
																							+ 48	+ 48
																							+ 99	+ 85
0	0	0	0	0	+15	+11	+ 6	+27	+18	+13	+34	+25	+20	+ 42	+33	+28	+ 42	+ 50	+ 45	+ 68	+ 59	+ 54	+ 60	+ 60
– 62	–39	–25	–16	–11	–10	– 5	– 5	+ 2	+ 2	+ 2	+9	+ 9	+ 9	+ 17	+17	+17	+ 26	+ 34	+ 34	+ 43	+ 43	+ 43	+109	+ 95
																							+ 70	+ 70
																		+ 60	+ 54	+ 83	+ 72	+ 66	+133	+117
0	0	0	0	0	+18	+12	+ 6	+32	+21	+15	+41	+30	+24	+ 50	+39	+33	+ 51	+ 41	+ 41	+ 53	+ 53	+ 53	+ 87	+ 87
– 74	–46	–30	–19	–13	–12	– 7	– 7	+ 2	+ 2	+ 2	+11	+11	+11	+ 20	+20	+20	+ 32	+ 62	+ 56	+ 89	+ 78	+ 72	+148	+132
																		+ 43	+ 43	+ 59	+ 59	+ 59	+102	+102
																		+ 73	+ 66	+106	+ 93	+ 86	+178	+159
0	0	0	0	0	+20	+13	+ 6	+38	+25	+18	+48	+35	+28	+ 58	+45	+38	+ 59	+ 51	+ 51	+ 71	+ 71	+ 71	+124	+124
– 87	–54	–35	–22	–15	–15	– 9	– 9	+ 3	+ 3	+ 3	+13	+13	+13	+ 23	+23	+23	+ 37	+ 76	+ 69	+114	+101	+ 94	+198	+179
																		+ 54	+ 54	+ 79	+ 79	+ 79	+144	+144
																		+ 88	+ 81	+132	+117	+110	+233	+210
																		+ 63	+ 63	+ 92	+ 92	+ 92	+170	+170
0	0	0	0	0	+22	+14	+ 7	+43	+28	+21	+55	+40	+33	+ 67	+52	+45	+ 68	+ 90	+ 83	+140	+125	+118	+253	+230
–100	–63	–40	–25	–18	–18	–11	–11	+ 3	+ 3	+ 3	+15	+15	+15	+ 27	+27	+27	+ 43	+ 65	+ 65	+100	+100	+100	+190	+190
																		+ 93	+ 86	+148	+133	+126	+273	+250
																		+ 68	+ 68	+108	+108	+108	+210	+210
																		+106	+ 97	+168	+151	+142	+368	+282
																		+ 77	+ 77	+122	+122	+122	+236	+236
0	0	0	0	0	+25	+16	+ 7	+50	+33	+24	+63	+46	+37	+ 77	+60	+51	+ 79	+109	+100	+176	+159	+150	+330	+304
–115	–72	–46	–29	–20	–21	–13	–13	+ 4	+ 4	+ 4	+17	+17	+17	+ 31	+31	+31	+ 50	+ 80	+ 80	+130	+130	+130	+258	+258
																		+113	+104	+186	+169	+160	+356	+330
																		+ 84	+ 84	+140	+140	+140	+284	+284
																		+126	+117	+210	+190	+181	+396	+367
0	0	0	0	0	+26	+16	+ 7	+56	+36	+27	+72	+52	+43	+ 86	+66	+57	+ 88	+ 94	+ 94	+158	+158	+158	+315	+315
–130	–81	–52	–32	–23	–26	–16	–16	+ 4	+ 4	+ 4	+20	+20	+20	+ 34	+34	+34	+ 56	+130	+121	+222	+202	+193	+431	+402
																		+ 98	+ 98	+170	+170	+170	+350	+350
																		+144	+133	+247	+226	+215	+479	+447
0	0	0	0	0	+29	+18	+ 7	+61	+40	+29	+78	+57	+46	+ 94	+73	+62	+ 98	+108	+108	+190	+190	+190	+390	+390
–140	–89	–57	–36	–25	–28	–18	–18	+ 4	+ 4	+ 4	+21	+21	+21	+ 37	+37	+37	+ 62	+150	+139	+265	+244	+233	+524	+492
																		+114	+114	+208	+208	+208	+435	+435
																		+166	+153	+295	+272	+259	+587	+553
0	0	0	0	0	+31	+20	+ 7	+68	+45	+32	+86	+63	+50	+103	+80	+67	+108	+126	+126	+232	+232	+232	+490	+490
–155	–97	–63	–40	–27	–32	–20	–20	+ 5	+ 5	+ 5	+23	+23	+23	+ 40	+40	+40	+ 68	+172	+159	+315	+292	+279	+637	+603
																		+132	+132	+252	+252	+252	+540	+540

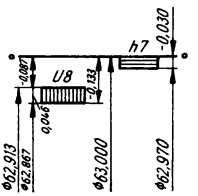
c_3	c_3	c_{2a}	c	c_1	H_{2a}	H	H_1	H_{2a}	H	H_1	T_{2a}	T	T_1	r_{2a}	r	r_1	пл	прпл	пр 1_1	пр 1_{2a}	пр	пр 2_1	пр 2_{2a}	гр

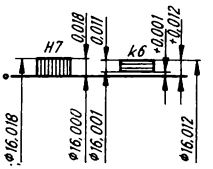
Tabelle 14.5: Passungsbeispiele

Passungsgröße	∅ 125 H 8 / d 9		∅ 63 U 8 / h 7		∅ 16 H 7 / k 6	
	Innenmaße (Bohrung)	Außenmaße (Welle)	Innenmaße (Bohrung)	Außenmaße (Welle)	Innenmaße (Bohrung)	Außenmaße (Welle)
	H 8	d 9	U 8	h 7	H 7	k 6
A_o in µm	+63	−145	− 87	0	+18	+12
A_u in µm	0	−245	−133	−30	0	+ 1
D_g in mm	125,063	124,855	62,913	63,000	16,018	16,012
D_k in mm	125,000	124,755	62,867	62,970	16,000	16,001
T in µm	63	100	46	30	18	11

Toleranzfelder an der Nullinie



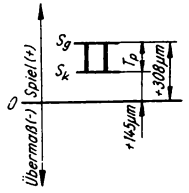




Paßtoleranzfelder

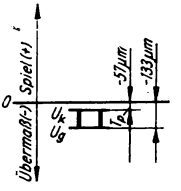
$D_{gB} - D_{kW}$
125,063 mm − 124,755 mm
= +0,308 mm

$D_{kB} - D_{gW}$
125,000 mm − 124,855 mm
= +0,145 mm



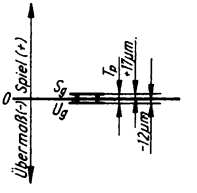
$D_{gB} - D_{kW}$
62,913 mm − 62,970 mm
= −0,057 mm

$D_{kB} - D_{gW}$
62,867 mm − 63,000 mm
= −0,133 mm



$D_{gB} - D_{kW}$
16,018 mm − 16,001 mm
= +0,017 mm

$D_{kB} - D_{gW}$
16,000 mm − 16,012 mm
= −0,012 mm



Passung	Spielpassung	Preßpassung	Übergangspassung

Paßtoleranzen
Die Paßtoleranz T_p ist die mögliche Schwankung des Spieles oder des Übermaßes zwischen den zu paarenden Teilen. Die Paßtoleranzfeldgrenzen ergeben sich jeweils aus der Differenz zweier entgegengesetzter Grenzmaße, die Paßtoleranzen selbst aus der Differenz der Größt- und Kleinstspiele bzw. Größt- und Kleinstübermaße, bei der Übergangspassung aus der Summe von Größtspiel und Größtübermaß:
$T_p = S_g - S_k = U_g - U_k = S_g + U_g$.
Bei der Darstellung der Paßtoleranzen erhalten Spiele ein positives Vorzeichen (+), Übermaße ein negatives Vorzeichen (−) (s. Tabelle 14.5).

Passungsauswahl
Werden alle Toleranzfeldlagen (A···Z und a···z) und alle Toleranzgrößen (1···16) betrachtet, dann lassen sich sehr viele Passungen bilden. Aus wirtschaftlichen Gründen (Begrenzung der Lehrenanzahl) muß man eine Auswahl zweckmäßiger Passungen treffen. Eine erste Einschränkung wird erreicht durch die Paßsysteme »Einheitsbohrung« und »Einheitswelle«.

Beim System *Einheitswelle* erreicht man entsprechend die benötigten Passungen, indem man Bohrungen verschiedener Maße (Toleranzfeldlagen) mit einer Welle verbindet. Diese Welle hat das Toleranzfeld h mit $A_o = 0$ (Bild 14.73 a).

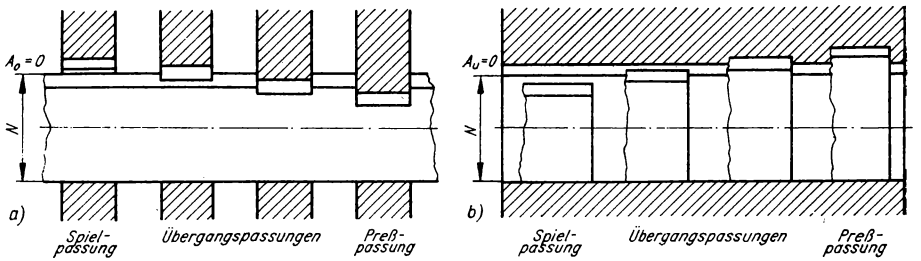


Bild 14.73. Paßsysteme
a) Einheitswelle, b) Einheitsbohrung

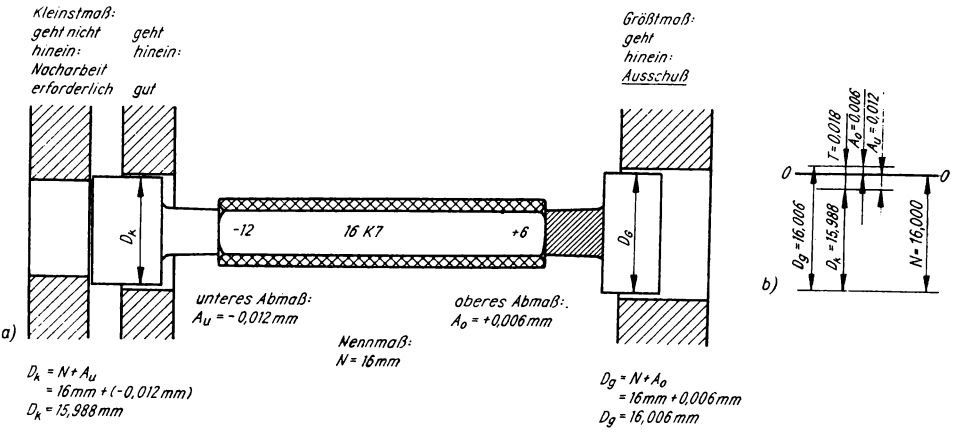


Bild 14.74. Lehre für Grenzmaße
a) Beispiele, b) Darstellung der Abmaße und Toleranz auf einer Seite (Nullinie)

Beim System *Einheitsbohrung* erreicht man die benötigten Passungen, indem man Wellen mit verschiedenen Maßen (Toleranzfeldlagen) mit einer Bohrung verbindet. Diese Bohrung hat das Toleranzfeld H mit $A_u = 0$ (Bild 14.73 b). Weiterhin hat man aus diesen Paßsystemen günstige Passungen ausgewählt und im Standard TGL 8275 verbindlich festgelegt (s. Tabellen 14.3 und 14.4).

Lehren für Grenzmaße der ISA-Passung
Als Meßgeräte bei der Herstellung und Prüfung austauschbarer Werkstücke benutzt man in erster Linie *Lehren* (Bild 14.74). Diese Lehren sind auf das ISA-Toleranzsystem abgestimmt.

Anwendungsbeispiele

Werkzeugmaschinen. System Einheitsbohrung:
H 6 für Wälzlagergehäuse.
M 7, K 7, J 7, G 7, F 7, E 8 für Zahnräder, Buchsen, Stellringe usw.
System Einheitswelle: f 8, e 9 für Ausrückstangen, Deckenvorgelege usw.

Kraftfahrzeuge, System Einheitsbohrung:
S 7, R 7, N 7, M 7, K 7, J 7, H 7, G 7, F 7, E 8 für Motoren, Getriebe, Lagerbuchsen.
H 8, F 8, E 9, D 10 für Steuerung, Bremsen usw. System Einheitswelle: h 11, d 11, c 11, b 11 für gezogene Stangen u. a.

Lokomotiven, System Einheitsbohrung:
H 7 bei Hebeln, kleinen Maschinenteilen.
H 8 für Steuerung, Triebwerk.
H 11, D 11, A 11 für Gestänge, Kesselzubehör, Federung, Bremsen.

Eisenbahnwagen, System Einheitsbohrung:
Passungswahl wie bei Lokomotiven, jedoch werden größere Toleranzen zugelassen, häufig H 11 bei weitem überschritten (fast nur geschruppte Teile).

Elektromaschinen nicht einheitlich; einzelne Firmen bevorzugen System Einheitswelle, andere Einheitsbohrung.

Feinmechanik, System Einheitswelle herrscht vor; bei Einzelanfertigungen System Einheitsbohrung.

Sonstiges, System Einheitswelle: Transmissionen, Textilmaschinen, Kellereimaschinen.
System Einheitsbohrung: Bergwerks-, Walzwerksmaschinen, Druckluftwerkzeuge.

14.4. Betriebsmeßtechnik

(s. auch Abschnitt 7.2. Steuern und Regeln)

Tabelle 14.6 enthält Symbole der Meßfühler für Baugliedpläne, Tabelle 14.7 Meßwerke und Meßfühler.
TGL 14 591 definiert den Begriff *Signal* wie folgt: „Eine von einer physikalischen Größe getragene Zeitfunktion wird Signal genannt, wenn diese Zeitfunktion einen Parameter besitzt, der den Werteverlauf einer technischen oder physikalischen Größe, die signalisierte Größe genannt wird, abbildet. Dieser Parameter heißt: *Informationsparameter* I_p. Er ist der eigentliche Träger der Information."
Bild 14.75 gibt einen Überblick über die Einteilung der Signale nach dem Verhalten des Informationsparameters I_p.

Tabelle 14.8 enthält Formen der Signale und Signalleitung, und Bild 14.81 zeigt das Schema einer Fernmeßeinrichtung.

Tabelle 14.6: Symbole der Meßfühler für Baugliedpläne (Auszug aus TGL 14091)

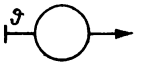
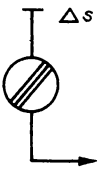
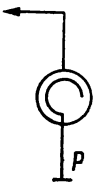
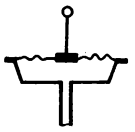
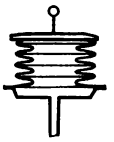
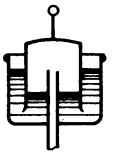
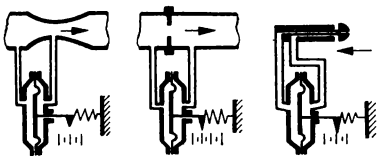
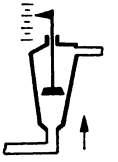
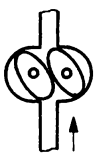
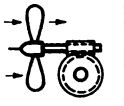
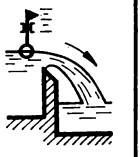
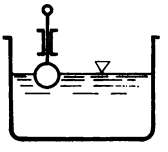
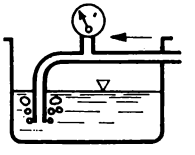
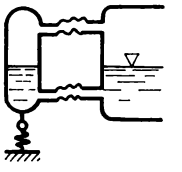
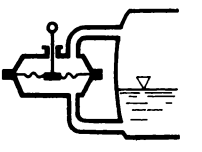
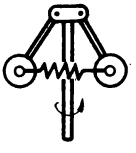
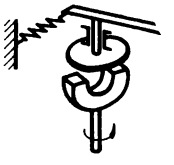
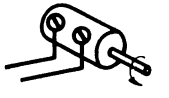
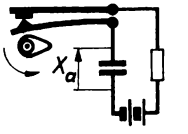
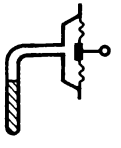
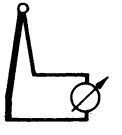
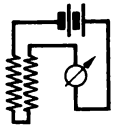
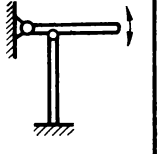
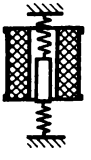
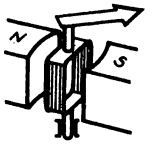
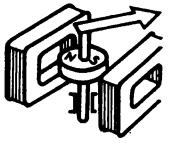
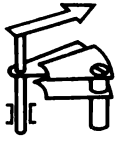
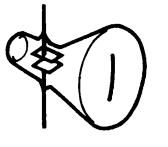
Benennung	Symbol	Bemerkung
Meßfühler, allgemein, mit Kennzeichnung der Entnahmevorrichtung und der Meßgröße, z. B. Temperatur		Das T-förmige Ende der Entnahmevorrichtung kennzeichnet gleichzeitig den Meßort. Die Verbindungslinie zwischen Entnahmevorrichtung und Meßwertgeber ist als einfache, nicht unterbrochene Linie zu zeichnen. Bei Meßeinrichtungen, die ohne eigentliche Entnahmevorrichtung in Rohrleitungen oder Apparate eingebaut sind, kann das entsprechende Symbol ohne Kennzeichnung der Entnahmevorrichtung direkt in diese eingezeichnet werden.
Federmanometer		
U-Rohr-Manometer		
Membran-Manometer		
Kapselfeder-Manometer		
Schwimmer-Manometer		
Glocken-Manometer		
Ringwaage		
Beispiele: Meßfühler für Temperatur nach dem Prinzip des Thermoelements		
Dehnungsmeßstreifen, zur Messung von Längenänderungen angewendet		In das Manometer ist zusätzlich ein Geber (induktiver oder Widerstandsgeber) eingebaut.
Druckmessung mit Federmanometer und elektrischem Ausgang		

Tabelle 14.7: Meßwerke und Meßfühler

Meßgröße	Meßwerke					
Druck	*Plattenfeder* 	*Wellrohr* 	*Rohrfeder* 	*Tauchglocke* 	*Ringwaage* 	
Durchfluß	*Differenzdruckmessung* 	*Stauscheibe* 	*Kapselmesser* 	*Flügelrad* 	*Überfall* 	
Flüssigkeitsstand	*Schwimmer* 	*Druckhöhe* 	*Gewichtskraft* 	*Differenzdruck* 		
Drehzahl	*Fliehpendel* 	*Wirbelstrom* 	*Meßdynamo* 	*Schaltkontakt mit Glättungsmitteln* 		
Temperatur	*Kontakt-Thermometer* 	*Dampfdruck-Thermometer* 	*Bimetall* 	*Thermo-Element* 	*Widerstands-Thermometer* 	*Ausdehnungsstab* 
elektrischen Strom und Spannung	*Weicheisen-Meßwerk* 	*Drehspul-Meßwerk* 	*Drehmagnet-Meßwerk* 	*elektrostatisches Meßwerk* 	*Braunsche Röhre* 	

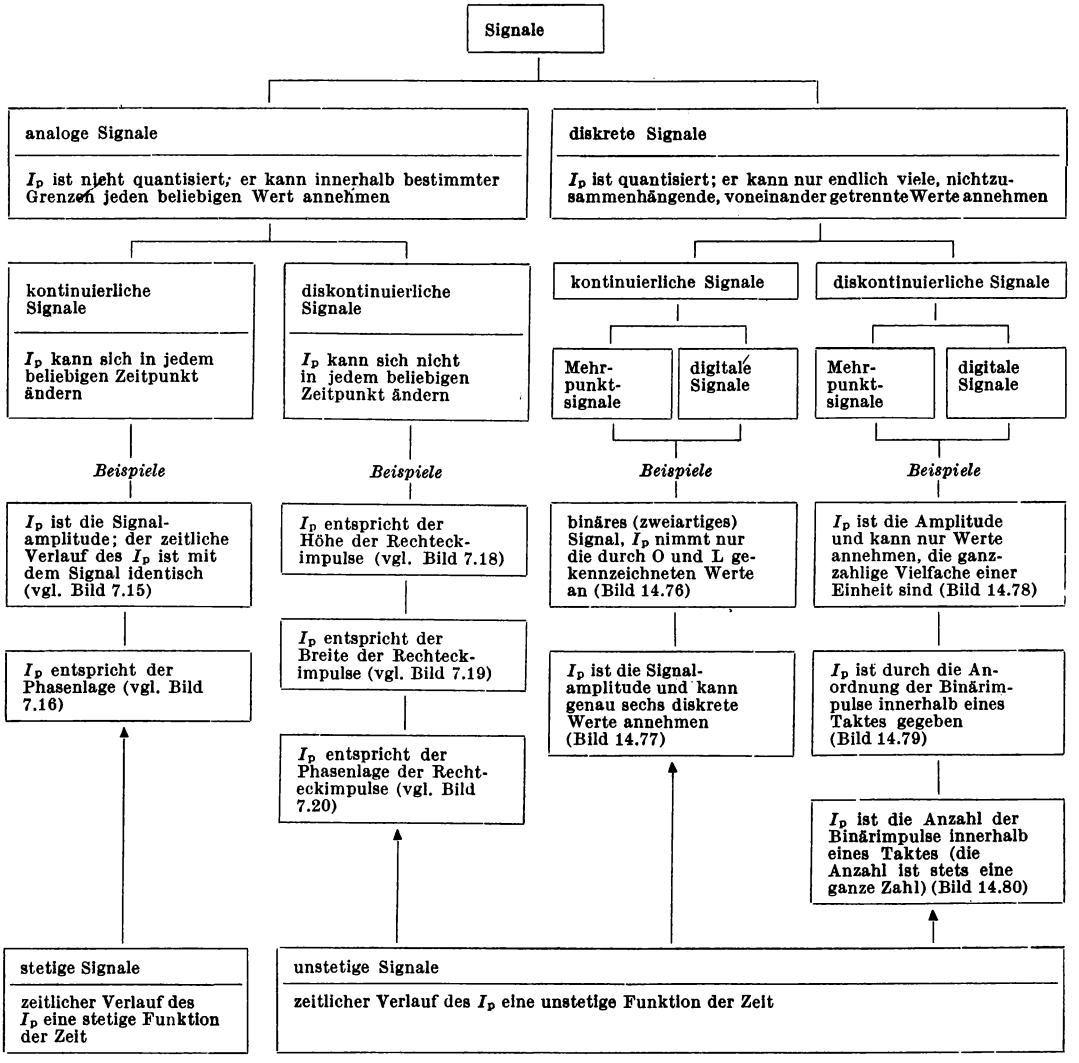


Bild 14.75. Einteilung der Signale nach dem Verhalten des Informationsparameters I_p (nach TGL 14591)

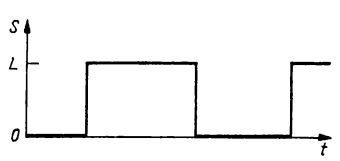


Bild 14.76. Binäres Signal

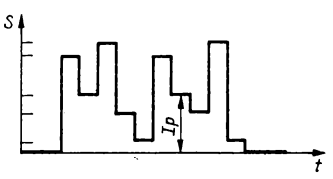


Bild 14.77.
Diskrete Amplitudenwerte

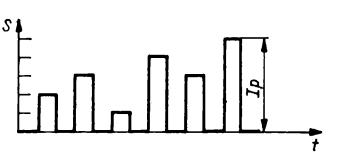


Bild 14.78.
Diskretes kontinuierliches Signal

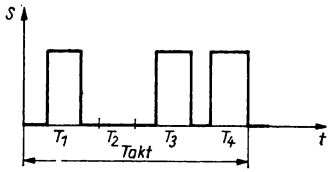


Bild 14.79. Binärimpulse eines Taktes (Anordnung)

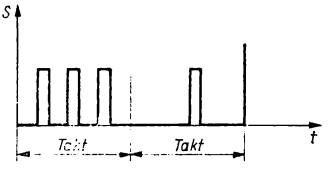


Bild 14.80. Binärimpulse eines Taktes (Anzahl)

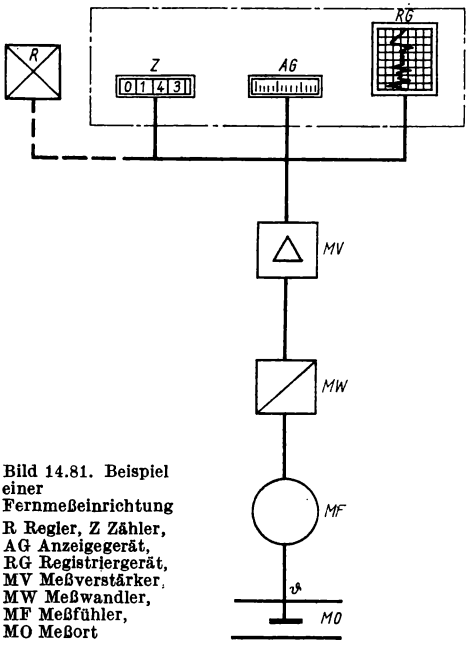


Bild 14.81. Beispiel einer Fernmeßeinrichtung
R Regler, Z Zähler, AG Anzeigegerät, RG Registriergerät, MV Meßverstärker, MW Meßwandler, MF Meßfühler, MO Meßort

Tabelle 14.8: Formen der Signale, Signalleitung (nach TGL 14091)

Kennzeichen Signalsymbol	Benennung	Bemerkung, Beispiel
	analog kontinuierlich	z. B. Gleichstrom mit Amplitude als I_p
	analog diskontinuierlich	z. B. Pulsfrequenzmodulation
O/L	Zweipunktsignal	insbesondere kontinuierlich; diskontinuierliche Zweipunktsignale besonders kennzeichnen
#	diskret	allgemein, ohne Kennzeichnung des Codes

Tabelle 14.8 (Fortsetzung)

Kennzeichen Signalsymbol	Benennung	Bemerkung, Beispiel
#10	digital	diskretes Signal mit Angabe des Codes, z. B. dezimal (Basis 10)
#2	digital	dual (Basis 2)
#10(2)	digital	dezimal – binär
#(m n)	digital	Code »n aus m«; n, m positive ganze Zahlen
#O/L	digital	binär, allgemein
	pulsförmig	allgemein, auch zur zusätzlichen Kennzeichnung diskontinuierlicher Signale
	Pulsamplitudenmodulation	PAM
	Pulslängenmodulation	PLM
	Pulsfrequenzmodulation	PFM
	Pulscodemodulation	PCM
	Pulsphasenmodulation	PPM
	Signalleitung in Signalflußplänen	Leitung zur Übertragung von Signalen im Regelkreis oder in der Steuerstrecke. Allgemein in Signalflußplänen ohne Angabe der Hilfsenergie. Kennzeichnung der Übertragungsrichtung durch Pfeil. Die Kennzeichnung der Signalform erfolgt durch Anzeichnen der Symbole nach den vorstehenden Bildern dieser Tabelle an die Signalleitung.
vgl. Bild 7.13	Signalleitung in technologischen Plänen, Baugliedplänen	a) elektrisch, b) pneumatisch, c) hydraulisch, d) mechanisch (kurze mechanische Verbindungen zwischen zusammengehörenden Baugruppen können durch einen einfachen Strich dargestellt werden)
vgl. die ersten drei Bilder in Tabelle 7.9	Leitungsverbindung-Abzweig	in Signalflußplänen, in Baugliedplänen unter Verwendung der Signalleitungen nach den ersten drei Bildern in Tabelle 7.9
vgl. das vierte Bild in Tabelle 7.9	Kreuzung ohne Verbindung	in Signalflußplänen, in Baugliedplänen unter Verwendung der Signalleitungen nach dem 4. Bild in Tabelle 7.9

15. Trennen

15.1. Allgemeines

Allgemeine Hinweise

Tabelle 15.1 gibt eine Übersicht über Schnittgeschwindigkeit und Vorschub bei verschiedenen Arbeitsgängen. Saubere Arbeit erfordert hohe Schnittgeschwindigkeit bei kleinem Vorschub.

Tabelle 15.1: Schnittgeschwindigkeit und Vorschub

Arbeitsgang	Höchste Schnittgeschwindigkeit in m/min bei Legierung			Höchster Vorschub
	weich	hart	Si-halt.	mm
Drehen u. Schruppen	1500	300	150	0,5···1,2
Hobeln, Schlichten	2500	400	250	0,05···0,2
Bohren bis 4 mm ∅	200	150	100	0,08
Bohren über 4 mm ∅	140	100	60	0,1···0,6
Sägen mit Kreissäge	1200	700	200	0,1···0,8
Sägen mit Bandsäge	4000	2500	1000	0,05···0,5
Fräsen, Schruppen	1200	800	400	0,1···1,5
Fräsen, Schlichten	1600	1100	600	0,05···0,8
Gewindeschn., Reiben	60	40	10	0,1···0,5
Schleifen Si-Karbid	2100	1600	1200	Grobkorn
zum Rundschleifen	Werkstück 12 m/min			

Als Austauschstoffe für Automatenmessing finden AlCuMg-Legierungen mit Pb-Zusatz Verwendung.

Feilen. Gewöhnliche Eisenfeilen setzen sich bei der Bearbeitung weicher Legierungen leicht zu. Hierzu eignen sich Feilen mit gekerbten oder gefrästen Zähnen und gerundetem Zahngrund.

Sägen. Bei Kreissägen müssen die Zähne von der Spitze bis zum Zahngrund hohlgeschliffen sein. Um Klemmen zu vermeiden, muß das Sägeblatt von der Zahnspitze bis zum Zahngrund dünner gehalten sein. Bandsägen aus halbhartem Sägestahl; Lötstellen nicht härten; Zähne abwechselnd links und rechts geschränkt, Sägeblattdicke 0,8···1,2 mm, Breite 40···60 mm, Teilung 14···20 mm, Zahntiefe 6···10 mm.

Bohren. Bei weichen Legierungen erhält der Bohrer Drall von 28···45° und weite Nuten. Der Spitzenwinkel beträgt etwa 140···150°. Bei weichen Leichtmetallen muß mit starkem Aufbohren gerechnet werden, u. U. bis 10 % vom Bohrer-∅. Der Spanabfluß wird durch Glätten der Nuten erleichtert. Bei Bohrern mit Zentrumspitze wird die Bohrführung verbessert. *Schnittgeschwindigkeiten:* ohne Bohrbüchse 150···400 m/min, mit Bohrbüchse 60···200 m/min.

Senken. Leichtmetall-Senker haben wie die Leichtmetallbohrer einen engen Drall. Beim Senken arbeitet man mit kleineren Schnittgeschwindigkeiten und etwas größerem Vorschub als beim Bohren.

Schmierung für Sägen, Bohren, Senken: Bohröl, Petroleum, Seifenwasser, Seifenspiritus.

Reiben. Reibahlen werden mit geraden und für größere Löcher mit schraubenförmig gewundenen Schneiden hergestellt. Das vorgebohrte Loch muß je nach dem Durchmesser 0,3···0,8 mm Bearbeitungszugabe aufweisen. *Schmierung:* Spiritus, Petroleum, Terpentinöl, Rüböl.

Drehen. Man verwendet hochwertige Schnellarbeitsstähle oder Werkzeuge mit Hartmetallschneiden.
Schnittgeschwindigkeiten: Schruppen 100···500 m/min, Schlichten 500···1200 m/min, mit Hartmetallschneide oder Diamant entsprechend höher. Je geringer der Vorschub, desto sauberer wird der Schnitt und desto geringer die Werkzeugabnutzung. *Faustformel:* Der Vorschub in mm/min soll höchstens doppelt so groß sein wie die Schnittgeschwindigkeit in m/min.

Beispiel: Wird die Schnittgeschwindigkeit mit 400 m/min gewählt, dann darf der Vorschub also höchstens 800 mm/min betragen.

Bild 15.1 zeigt die Schneidwinkel α, β und γ.
α liegt zwischen 5 und 12°.
β für weichen Werkstoff 30···35°, für mittelharten Werkstoff 35···45°, für harten Werkstoff 45···60°,
γ für weichen Werkstoff 54···45°, für mittelharten Werkstoff 49···35°, für harten Werkstoff 39···30°.

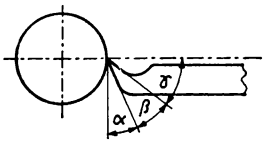


Bild 15.1. Schneidwinkel: α Freiwinkel, β Keilwinkel, γ Spanwinkel

Schmierung reichlich, wasserlösliche Bohröle (1:10), Petroleum, Seifenspiritus.

Fräsen. Leichtmetallfräser werden zweckmäßig mit schraubenförmig gewundenen Zähnen und mit großen Spanräumen ausgeführt; bei geringer Schnittgeschwindigkeit größere Zähnezahl, bei höherer Schnittgeschwindigkeit kleinere Zähnezahl. *Messerköpfe* haben Vorzug vor Walzfräsern, weil günstigere Schnittwinkel und höhere Schnittgeschwindigkeiten erreichbar sind. Um die Spanform zu verbessern, sind die Schneiden meist um 20···45° gegen die Drechachse geneigt. *Schmierung:* Bohröl, Seifenwasser.

15.2. Meißeln, Sägen, Feilen, Hobeln und Stoßen, Schaben und Räumen

Meißeln

Beim Meißeln wird durch Spanabnahme eine dauernde Formänderung hervorgerufen. Die Grundform des Meißels ist der Keil. Richtige Form, Stahlart und Haltung des Werkzeuges sind sehr wichtig.
Meißel mit zu *kleinem Keilwinkel* β (Biid 15.2) dringen gut in den Werkstoff ein, klemmen jedoch leicht fest und brechen leicht ab. Meißel mit zu *großem Keilwinkel* β (Bild 15.3) greifen zu wenig an und sind daher unbrauchbar. Der *Meißel* in Bild 15.4 hat *richtigen Keilwinkel* β, etwa 60°; das Bild zeigt Trennen eines Werkstückes bei senkrechtem Ansatz: Spanabnahme ist nicht möglich, vgl. Schroten. Die Verschiebung der einzelnen Fasern ist in Bild 15.4 zu erkennen.

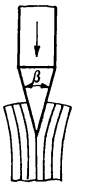


Bild 15.2

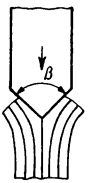


Bild 15.3

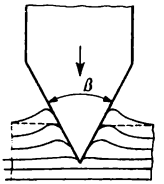


Bild 15.4

Abtrennen eines Spans (Bild 15.5). Neigung des Meißels gegen das Werkstück, dadurch Verringerung der Reibung. Der Meißel wird mittels Hammers in Pfeilrichtung in den Werkstoff eingetrieben. Dadurch werden kleine Plättchen vom Werkstück abgehoben, die noch zusammenhängen und einen Span bilden: spröder Werkstoff – kurze Späne; zäher Werkstoff – längere Späne. Es bedeuten: α Freiwinkel, β Meißel- oder Keilwinkel, δ Schnittwinkel. $\sphericalangle\alpha$ ist wenig größer als 0°.

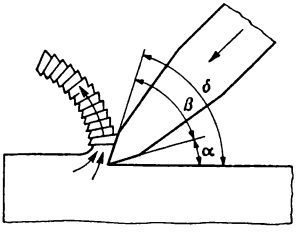


Bild 15.5

Die gebräuchlichsten Meißel sind:

Flachmeißel (Bild 15.6), $\beta = 40 \cdots 60°$, Schneide und Schaft haben gleiche Breite; *Kreuzmeißel* (Bild 15.7) zum Meißeln von Nuten, $\beta = 50 \cdots 60°$; *Rundmeißel* (Bild 15.8) zum Aushauen von kurvenförmig begrenzten Blechen. – Ähnlich ist der Schmiernutenmeißel mit schmaler, unten halbrunder Schneide. – Meißel mit anderen Schneidenformen nennt man *Formmeißel*, Meißel aus Rundstahl *Rundstahlmeißel*.

Meißel werden aus zähem Werkzeugstahl (Tiegelgußstahl) hergestellt. Die Schneiden werden gehärtet durch Abschrecken (in Regenwasser) und Anlassen. Da das Handmeißeln sehr teuer ist, verwendet man vielfach *Druckluftmeißel* (auch Drucklufthämmer). Der Meißel (Hammer) ist mit einem Druckluftzylinder verbunden, in dem ein Kolben durch Druckluft auf und ab bewegt wird. In seiner unteren Stellung schlägt der Kolben (als Hammer) auf den Meißel.

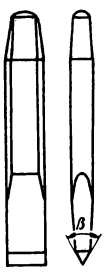


Bild 15.6

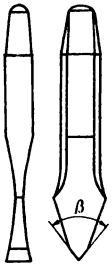


Bild 15.7

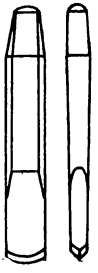


Bild 15.8

Sägen

Die Zähne der Säge können mit kleinen Meißeln verglichen werden. Die Zahnlücken dienen zur Aufnahme und Abführung der abgetrennten Späne (Bild 15.9). Größe und Form von Zahn und Zahnlücke richten sich nach der Beschaffenheit des Werkstoffs; Metallsägen haben kleine Zähne. Bild 15.10 zeigt einige Zahnformen für Holzsägen: Schneidwirkung bei a, b und c nur in einer Richtung, bei d in 2 Richtungen.

Die Zähne sind zur Vermeidung des Festklemmens bei Holzsägen geschränkt (d. h. abwechselnd nach links und rechts gebogen), bei Metallsägen entweder nach unten zu verstärkt (gestaucht) (Bild 15.11a) oder geschränkt (Bild 15.11b). Bei einer anderen Ausführung nimmt die Blattdicke nach oben ab (Bild 15.11c), oder (Bild 15.11d) das Sägeblatt ist gewellt.

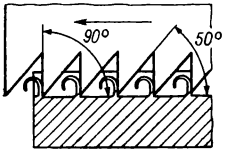


Bild 15.9

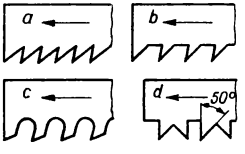


Bild 15.10

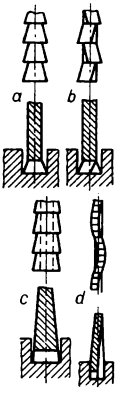


Bild 15.11

Kreissägen (Bild 15.12) ergeben beim Schneiden großen Schnittverlust (5 mm Blattdicke). Der Querschnitt zeigt ein verjüngtes und ein hohlgeschliffenes Blatt.

Kreissägeblatt mit *eingesetzten Schnellarbeitsstahlzähnen* (Bild 15.13): Schnittverlust sehr erheblich. Die Einsatzzähne e werden durch Bolzen b in dem Sägeblatt gehalten.

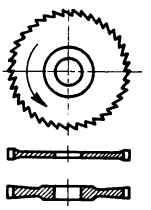


Bild 15.12

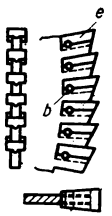


Bild 15.13

Schema einer Bandsäge (Bild 15.14). Das hartgelötete, endlose Sägeblatt s wird durch zwei Scheiben a und b (letztere zum Nachspannen verstellbar) mittels Riemenscheibe c wie ein Treibriemen in Pfeilrichtung bewegt. Die Führungsrollen r verhindern seitliches Ausweichen des Sägeblatts. Tisch t dient zur Auflage des Werkstücks.

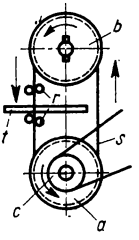


Bild 15.14

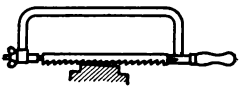


Bild 15.15

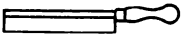


Bild 15.16

Handbügelsäge (Bild 15.15) mit Kreuzloch und Flügelmutter verwendet man zum Absägen von kleineren Werkstücken, Stangenmetall, Rohren u. dgl. Arbeitsweise auf Stoß. *Einstreichsäge* (Bild 15.16) dient zum Schlitzen von Schraubenköpfen u. dgl.

Bügelsägemaschine (Bild 15.17). Der Bügel a mit dem Sägeblatt b wird durch die Kurbelscheibe k mittels Schubstange s hin- und herbewegt. Der Hub läßt sich durch Verstellen des Steines c in der Nut d verändern. Die verstellbare Belastung g fördert den Vorschub in das Werkstück w. – Es sind auch Bügelsägen mit mehreren nebeneinander liegenden, verstellbaren Sägeblättern im Gebrauch, so daß mehrere Stücke zu gleicher Zeit abgeschnitten werden können. Arbeitsweise auf Zug.

Sägen von Rohrstücken mit der *Bügelsäge* (Bild 15.18) und mit der *Kreissäge* (Bild 15.19). Mehrere Rohre (Stangen) wer-

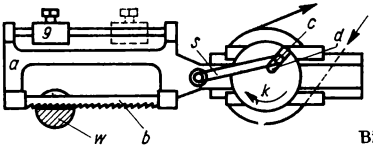


Bild 15.17

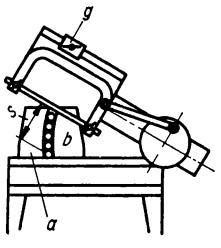


Bild 15.18

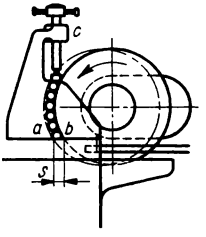


Bild 15.19

den zwischen den Backen a und b seitlich festgeklemmt; bei Bild 15.19 noch durch Spindel c. Bei der Bügelsäge beträgt die Schnittlänge s etwa das 4fache der Kreissäge. Der Vorschub wird bei der Bügelsäge durch Last g (bis zu 100 kp) erzeugt. Der Kraftbedarf der Bügelsägen ist gering, sie haben aber lange Schnittzeit, 80···120 Schnitthübe in der Minute. Die Kreissäge hat kleine Schnittlänge s, kurze Schnittzeit, große Schnittgeschwindigkeit; größere Haltbarkeit des Sägeblattes. Sie wird daher der Bügelsäge vorgezogen.

Die Sägeblätter bestehen aus Stahlblech. Die Zähne werden gestanzt (billig), meistens gefräst und danach glashart gehärtet (entweder die Zähne allein oder das ganze Sägeblatt). Zum Gebrauch muß das Sägeblatt straff angespannt werden.

Kreissägen für Leichtmetallverarbeitung (Bild 15.20) haben spitze Zähne, großen Spanwinkel, große Spanlücken, gerundeten Zahngrund. Schnittgeschwindigkeit bis 400 m/min.

Warmsägen (Bild 15.21) zerschneiden Stangen und Profile in glühendem Zustand mit etwa 8facher Leistung gegenüber Kaltsägen; sorgfältige Wasserkühlung unmittelbar hinter der Schnittstelle. Das Kühlwasser schreckt zugleich die glühenden Späne ab, so daß diese leichter abspringen und sich nicht in den Zahnlücken festsetzen.

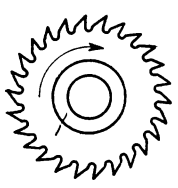


Bild 15.20

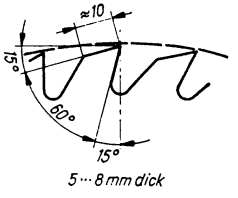


Bild 15.21

Oft wendet man besonders zum Trennen von gewalztem Formstahl *Reib-* oder *Schnelltrennsägen* an. Zahnlose, mit Kordierrädchen etwas aufgerauhte, schnell umlaufende Scheiben (Umfangsgeschwindigkeit bis 140 m/s) aus weichem, sehr zähem Stahl, mäßig gegen den zu trennenden kalten Werkstoff gedrückt, zerteilen den Werkstoff in kürzester Zeit, indem die durch die Reibung entstehende Wärme den Werkstoff an der Berührungsstelle zum Schmelzen bringt.

Es werden auch *Elektrotrennmaschinen* gebaut, bei denen zwischen Werkstück und isoliert gelagertem Sägeblatt ein elektrischer Strom eingeschaltet wird. Der hierbei entstehende Lichtbogen unterstützt die Wärmewirkung beim Schneiden beträchtlich.

Feilen

Die einzelnen Zähne der Feile wirken wie kleine Meißel. Zu den Feilen wird bester gewalzter Stahl verwandt. Nach dem Schmieden werden die Feilen geschliffen und ausgeglüht, damit sie möglichst weich werden. Alsdann werden sie von Hand oder mit Maschinen *pockenhiebig* (Bild 15.22), *einhiebig* (Bild 15.23) oder *doppelhiebig* (Bild 15.24) »gehauen«. Der Feilenhauer benutzt dazu kurze breitschneidige Meißel und einen Hammer mit nach unten gebogenem Stiel. Nach dem Hauen werden die Feilen glashart gehärtet, die Angel nachträglich wieder ausgeglüht. – Stumpfe Feilen werden ausgeglüht, geschliffen und »aufgehauen«.



Bild 15.22

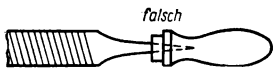


Bild 15.23



Bild 15.24

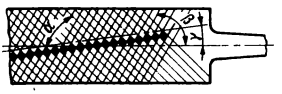


Bild 15.25

Bei doppelhiebigen Feilen (Bild 15.25) liegt der Unterhieb unter einem anderen Winkel (α) als der Oberhieb (β), die Zähne unter $\sphericalangle\gamma$ zur besseren Abführung der Späne.

Falsches Einspannen einer *Raspel* (Raspe) (Bild 15.22): Feilenangel sitzt schief im Heft. Verwendung der Raspel (halbrund) zur Bearbeitung von Holz, Horn u. dgl. – *Falsches Einspannen* einer (einhiebigen) *Feile* (Bild 15.23): Feilenangel steckt zu kurz im Heft. Einhiebige Grobfeilen werden für Blei, Zinn u. dgl. verwendet. – *Richtiges Einspannen* (Bild 15.24): Das Feilenheft wird axial vorgebohrt, mit der Angel aufgerieben, dann die Feile eingestoßen.

Tabelle 15.2 enthält Angaben zu Feilen und Raspeln.

Tabelle 15.2: Feilen- und Raspellängen mit ihren Hiebzahlen

Nennlänge (ohne Angel)	Hiebnummer der Feilen						Hiebnummer der Raspeln				
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4
mm	Anzahl der Hiebe je cm Länge						Anzahl der Hiebe je cm² Fläche				
80	—	16	25	35,5	50	71					
100	10	14	22,4	31,5	45	63					
125	9	12,5	20	28	40	56					
160	8	11,2	18	25	35,5	50	—	14	20	28	40
200	7,1	10	16	22,4	31,5	45	—	11,2	16	22,4	31,5
250	6,3	9	14	20	28	40	—	9	12,5	18	25
315	5,6	8	12,5	18	25	—	5	7,1	10	14	20
375	5	7,1	11,2	16	—	—	4	5,6	9	11,2	16
450	4,5	6,3	10	14	—	—	3,2	—	—	—	—

Zum Einspannen der zu feilenden Werkstücke dienen Feilkloben, Spannkloben, Schraubstöcke.

Richtiges horizontales Einspannen eines Werkstückes mittels Schraubstocks zeigt Bild 15.26: richtige Haltung und Lage der Feile, rechte Hand am Feilenheft (Daumen oben!), linke Hand am Feilenende. Eine geringe Wölbung in der Längsrichtung der Feile ist zur Erhaltung einer genau ebenen Fläche (gerader Strich) sehr vorteilhaft. Die zu feilende Fläche ist vor Öl oder Fett zu schützen, da sonst keine Späne abgenommen werden. Spanabnahme erfolgt beim Vorwärtsstoß. – *Falsches Einspannen* (Bild 15.27): Werkstück ist zu kurz eingespannt; ungenügender Halt. – *Richtiges vertikales Einspannen* (Bild 15.28); *falsches Einspannen* (Bild 15.29): zu kurz eingespannt, Werkstück federt, ungenügender Halt.

Wichtige *Feilenarten* sind in Bild 15.30 im Querschnitt dargestellt: a *Vierkantfeile* für Nuten, Schlitze, Vierkantlöcher u. dgl., b *Dreikantfeile* zum Schärfen von Sägeblättern und Ausfeilen von Ecken, c *Rundfeile* für Löcher, d *Flachfeile*, gebräuchlichste Art für ebene Arbeiten, e *Einstreichfeile (Schwertfeile)*, f *Halbrundfeile*, g *Vogelzunge*, h *Messerfeile*.

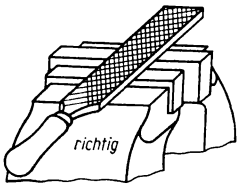


Bild 15.26

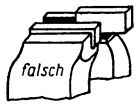


Bild 15.27

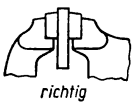


Bild 15.28

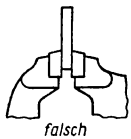


Bild 15.29

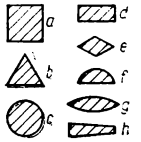


Bild 15.30

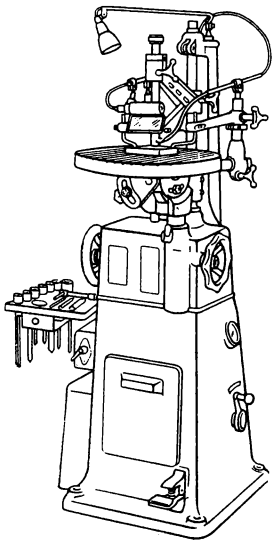


Bild 15.31
Feil- und Sägemaschine

Genauigkeits-Hub-Feil- und -Sägemaschine (Bild 15.31) gestattet die genaue Bearbeitung von Schnitten u. dgl. für Stanzwerkzeuge. In der Maschine werden Feilen bzw. Sägeblätter eingespannt, mit deren Hilfe die angerissenen auszuarbeitenden Formen genau bearbeitet werden. Eine eingebaute Optik mit Beleuchtung gestattet die Beobachtung des Arbeitsvorganges. Der Antriebsmotor und die -elemente sind völlig geschützt eingebaut. Der Arbeitstisch ist nach 4 Seiten bis 15° schwenkbar, so daß sich auch schräge Flächen (Durchbrüche an Schnitten) einwandfrei bearbeiten lassen. Das Reinigen der Feilen geschieht je nach Art der Feilspäne durch Drahtbürsten, Petroleum und Säuren.

Hobeln und Stoßen

Das Werkstück erfährt eine bleibende Formänderung durch Spanabnahme. Man unterscheidet *Senkrecht-*, *Quer-* und *Schräghobeln*. Es gibt drei verschiedene *Bewegungsarten:* 1. Werkstück macht die Arbeitsbewegung, Hobelmeißel den Vorschub, 2. umgekehrte Bewegungsart, 3. Werkstück steht still, Hobelmeißel führt gleichzeitig Arbeitsbewegung und Vorschub aus.

Einstellen des Hobelmeißels (Bild 15.32): einfache Handhabung, da trotz verschiedener Größe des Werkstückes Freiwinkel $\alpha = 4 \cdots 6°$ (höchstens 10°) und Schnittwinkel $\alpha + \beta = 50 \cdots 65°$ die gleichen bleiben. *Einspannen des Meißels* durch Spannschrauben h, möglichst kurz; der gefährdete Querschnitt des Meißels liegt bei Punkt p: Werkstück w steht still, durch Spannkloben k festgeklemmt; H bedeutet Hauptbewegung.

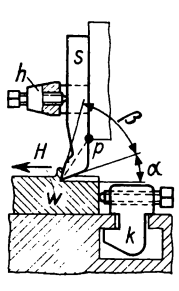


Bild 15.32

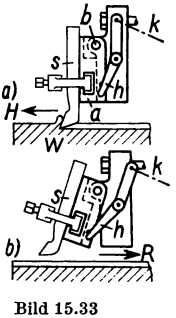


Bild 15.33

Selbsttätiges Meißelheben, Hingang (Bild 15.33a), *Rückgang* (Bild 15.33b), verhütet Meißelbeschädigung; H Hingang, R Rückgang. Aufspannvorrichtung a, die den Meißel s hält, ist durch ein Gelenk b am Support der Hobelmaschine beweglich angebracht. Beim Rückwärtsgang wird Meißel s durch die Schaltsteuerung mittels Hebels h und Kette k zwangsläufig angehoben. – Hobelmeißel und Drehmeißel sind einander ähnlich; letztere werden auch vielfach zum Hobeln benutzt.

Vorwärts gekröpfter Hobelmeißel (Bild 15.34) findet Verwendung, wenn bis dicht an eine Kante gehobelt werden muß. Beim einfachen Meißel würde Meißelhalter im Wege sein, siehe strichpunktierte Darstellung. Nachteil: leichtes Einhaken bei harten Stellen im Werkstück, Bruch des Meißels ist möglich.

Rückwärts gekröpfter Hobelmeißel (Bild 15.35) federt bei harten Stellen vom Werkstück ab; größere Haltbarkeit, auch zum Schlichten geeignet.

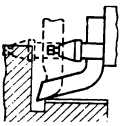


Bild 15.34

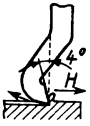


Bild 15.35

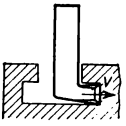


Bild 15.36

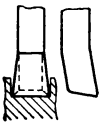


Bild 15.37

Seitlich gekröpfter Nutenmeißel (Bild 15.36) dient zum Bearbeiten vorgegossener T-Nuten; Vorhobeln mit einfachem Nutenmeißel (Bild 15.37) zum Einstechen von Nuten.

Verstellbare Nutenmeißel (Bilder 15.38 und 15.39) sind geschlitzt; die durch Nachschleifen verringerte Breite wird durch das Dazwischenkeilen eines Prismenklötzchens k oder durch eine Stellschraube s ausgeglichen.

Nuteneinstechmeißel (Bild 15.40) zum Stoßen kleiner kurzer Nuten.

Schruppmeißel (Bild 15.41) wird auch zum Schlichten verwandt.

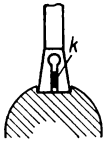


Bild 15.38

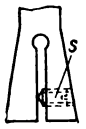


Bild 15.39

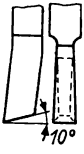


Bild 15.40

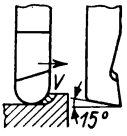


Bild 15.41

Schlichtmeißel zeigt Bild 15.42.

Hobelmeißel zum waagerechten Schruppen (Bild 15.43) senkrechter Flächen; Meißel etwas seitlich gekröpft.

Radiusmeißel werden für hohle (Bild 15.44) und erhabene Abrundungen (Bild 15.45) gebraucht sowie zum Abrunden von Ecken u. dgl. (Bild 15.46). – Radiusmeißel und andere *Formmeißel* werden meist durch Fräser ersetzt.

Stoßmeißel (Bild 15.47) (Schruppmeißel) dient zum senkrechten Schruppen.



Bild 15.42

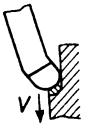


Bild 15.43

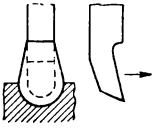


Bild 15.44

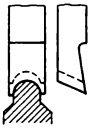


Bild 15.45

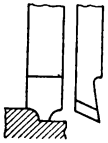


Bild 15.46

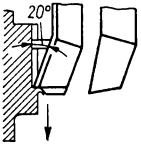


Bild 15.47

Nutenstoßmeißel (Bild 15.48) gebraucht man für kurze Nuten; α Freiwinkel; Verwendung auf Stoßmaschinen.

Meißelhalter (Bild 15.49) mit Einsatzmeißel verwendet man bei Querhobelmaschinen zum Einstoßen von Nuten in Bohrungen.

Meißelhalter für Stoßmeißel (Bild 15.50) dient auch zum Stoßen von Keilnuten in durchgehende Bohrungen. Einsatzmeißel s (angebohrt) wird in Halter h durch Schraube c festgeklemmt. – Diese Halter sind ähnlich den Meißelhaltern für Drehmeißel und den Bohrstangen.

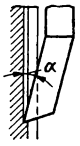


Bild 15.48

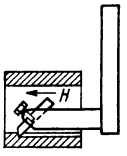


Bild 15.49

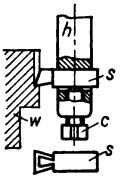


Bild 15.50

Anwendung eines verstellbaren Meißelhalters (Bild 15.51). Das verstellbare Auge a des Halters h hat radial verlaufende Nuten, in welche der Einsatzmeißel s festgeklemmt wird. I und II zeigt Querhobeln, III Senkrechthobeln; auch beim Schräghobeln ist dieser Meißelhalter zu verwenden.

Doppelmeißelhalter (Bild 15.52). Beim Vorgehen des Stößels (Meißelhalters) nimmt Schruppmeißel v einen Span ab, Schlichtmeißel n gleitet über das Werkstück; beim Rücklauf (gleiche Schnittgeschwindigkeit) ist die Arbeitsweise umgekehrt; man erreicht vollständige, fertige Bearbeitung. Der Meißelhalter besteht aus Schaft s und zwei Klappen a und b, auf Zapfen z drehbar, und ist durch Schrauben i und i_1 befestigt; die Meißel werden in den Nuten der Klappen durch Schrauben c und c_1 festgehalten.

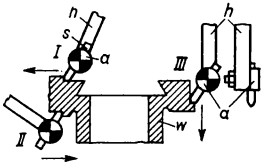


Bild 15.51

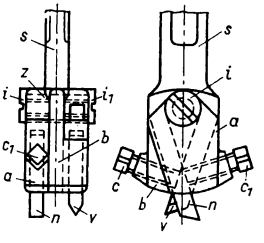


Bild 15.52

Senkrechteinstellung des Supports und des Meißels (Bild 15.53). Die Spantiefe ist mittels Spindel s durch Drehen der Handkurbel h einstellbar.

Schrägeinstellung des Supports und des Meißels (Bild 15.54) wird angewandt beim Bearbeiten schräg geneigter Flächen. Die Drehscheibe (Lyra) d ist mittels Schraube c und Kreisnut k auf beliebige Winkel α einstellbar.

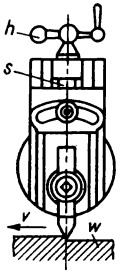


Bild 15.53

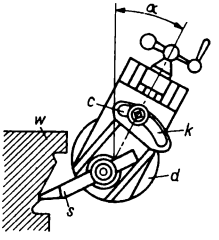


Bild 15.54

Hobeln runder Flächen (Bild 15.55). Vorschub v wird durch Schaltwerk mittels Schaltrades c, Schnecke b und der als Schneckenrad ausgebildeten Drehscheibe d selbsttätig eingeschaltet.

Keilnuthobeln (Bild 15.56) erfolgt mit langem Werkzeughalter h, der durch Muttern m mit der Klappe des Hobelschlittens fest verbunden ist; vgl. Bild 15.50.

Hobeln einer Keilnut (Bild 15.57) in das kegelige Loch einer Buchse wird auf schräger Unterlage oder schräggestelltem Tisch ausgeführt; es muß sein $\alpha = \beta$.

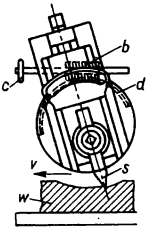


Bild 15.55

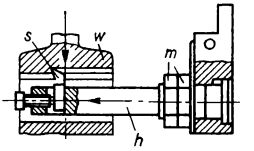


Bild 15.56

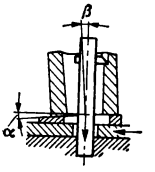


Bild 15.57

Schnittgeschwindigkeit beim *Schlichten* 20···30 m/min, beim *Schruppen* 12···20 m/min. Der Rücklauf erfolgt mit höherer Geschwindigkeit als der Arbeitsgang außer bei Verwendung von 2 Meißeln, s. Bild 15.52.

Hobel- und Stoßmaschinen

Bei *einfachen Hobelmaschinen* erfolgt der Antrieb durch Zahnrad und Zahnstange bzw. durch Schnecke und Schneckenstange, die Arbeitsbewegung durch das Werkstück. Bei *Waagerechtstoßmaschinen* erfolgt der Antrieb durch schwingende oder umlaufende Kurbelschleife, Riemenwendegetriebe und Zahnstange; die Arbeitsbewegung führt das Werkzeug durch. Sonderausführungen sind die Einständerhobelmaschine, die Bilgramkegelrad-Hobelmaschine und andere. Die Umsteuerung kann durch Riemenumsteuerung, Kupplungsumsteuerung und elektrische Umsteuerung geschehen.

Querhobelmaschine, auch *Shapingmaschine* genannt, dient zur Bearbeitung kleinerer Werkstücke. Das Werkstück macht den Vorschub und steht während des Arbeitsganges still, während der Meißel auf dem Werkzeugschlitten die hin- und hergehende Bewegung ausführt. Rücklaufzeit = halbe Zeit der Arbeitsbewegung (Bild 15.58).

Doppelständer-Hobelmaschine (Bild 15.59). An beiden Bettenden befinden sich Ölfang-Filterkästen. Das Bett hat mehr als doppelte Tischlänge, deshalb stets volle Tischauflage. Die V-förmigen Tischgleitbahnen werden durch eine automatische Öldruckpumpe bespült, die auch die Getriebe-Lagerstellen versorgt. Die Maschinenteile sind gegen Bruch durch Rutsch- und Scherkupplungen gesichert. Die Support-Vorschübe erfolgen stoßfrei und nach einstellbarer Skala. Die Schaltspindeln sind mit Nonius ausgestattet. Die Vorschubschaltung der Waagerechtsupporte ist unabhängig von derjenigen der Seitensupporte. Die Maschine kann mit einem zweiten, kräftig gebauten Waagerecht- und Seitensupport ausgestattet werden.

Durch Support-Sonderausführungen, wie Kurvenhobel, Rundhobel, Schleif-, Fräs-, Vielmeißel- und Revolversupporte, läßt sich das Anwendungsgebiet erweitern.

Bei *Stoßmaschinen* wird das Arbeitsstück nach allen Seiten in waagerechter Richtung oder durch Drehen im Kreise (Bearbeitung von runden Flächen) verschoben.

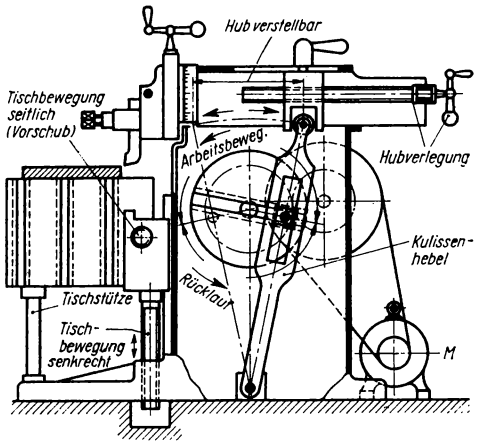


Bild 15.58. Querhobelmaschine (Shapingmaschine)

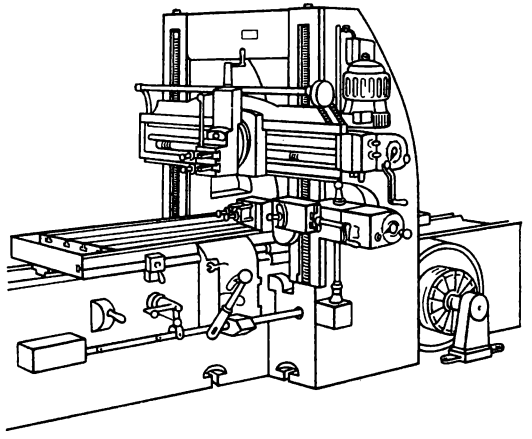


Bild 15.59. Doppelständer-Hobelmaschine

Schaben und Räumen

Flachschaber (Bild 15.60) dient zur Erhöhung der Genauigkeit (Glätten) einer gefeilten oder gehobelten ebenen Fläche. Der Schaber darf nicht in den Werkstoff eindringen.

Dreikantschaber (Bild 15.61) für runde Flächen, s. auch Abschnitt 13.4. Löten.

Handreibahle (Bild 15.62), zylindrisch, mit Vierkant, wird ausgeführt mit Drall- und geraden Nuten.

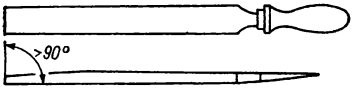


Bild 15.60

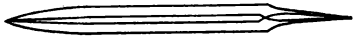


Bild 15.61



Bild 15.62

Reibahlen dienen zum Erweitern, Glätten eines vorgebohrten Loches und zum Erreichen hoher Maßgenauigkeit. Sie werden in allen Größen hergestellt. – *Querschnitt der Reibahle* (Bild 15.62b) zeigt ungerade Zähnezahl. Dies ist günstig, da einem schneidenden Zahn stets zwei Stützpunkte gegenüberliegen: Erzeugung sauberer Löcher, bessere Führung und Überwindung der »Ratterstelle«. Noch günstiger arbeiten Reibahlen mit ungleicher Teilung bei gerader Zähnezahl.

Handreibahle (Bild 15.63), mit Holzheft, vierkantig, gebraucht man für kleine Löcher in Blechen usw.; ungenaues Arbeiten.

Fertigreibahle (Bild 15.64) verwendet man für kegelige Bohrungen; Konizität ist verschieden, Nuten gerade. Anwendung von Vor-, Nach- und Schlichtreibahlen.

Nachstellbare Maschinenreibahlen (Bild 15.65) (Aufsteckreibahlen) werden in Bohrmaschinen oder Drehmaschinen eingespannt. Die Befestigung der Messer erfolgt durch Klemmstücke a mittels Schrauben b und durch Ringmuttern c und d.

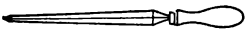


Bild 15.63



Bild 15.64

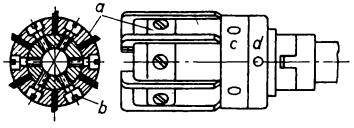


Bild 15.65

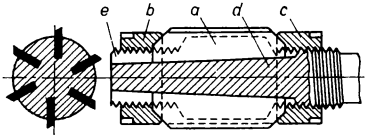


Bild 15.66

Nachstellbare Reibahle (Bild 15.66). Der Körper d hat Schlitze e, in die Messer a eingesetzt sind, welche durch Muttern b und c gehalten werden. Die Muttern werden nach links oder rechts geschraubt, wodurch die Messer auf dem Kegel d verstellt werden. Die Messer bewegen sich dabei in kegeligen Schlitzen e, die in dem Körper d angebracht sind.

Räumnadel (Bild 15.67) wird verwendet, um den kreisförmigen Querschnitt einer Bohrung in einen quadratischen (oder andern) umzuwandeln und um hohe Maßgenauigkeit zu erhalten. Die Zähne werden vom Angriffspunkt a aus allmählich größer, während ihr Querschnitt sich allmählich der gewünschten Form nähert.

Wirkungsweise der Nutenräumnadel (Bild 15.68). Freiwinkel $\alpha = 3°$, $\beta = 6 \cdots 8°$, Zahnteilung T richten sich nach Länge des auszuräumenden Loches und nach Art des Werkstoffes. Gleichzeitig im Eingriff sind bis zu 3 Zähne. – Nutenräumnadel (Bild 15.69) dient zum Ziehen (Räumen) von Keilnuten.

Bild 15.67

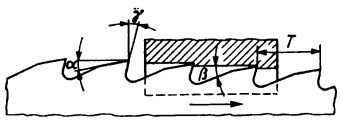


Bild 15.68

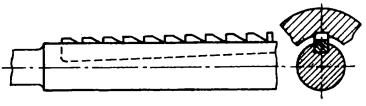


Bild 15.69

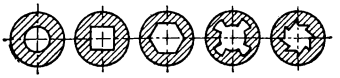


Bild 15.70

Arten von Räumlöchern bei Verwendung von Räumnadeln zeigt Bild 15.70; Herstellung auf besonderen Räummaschinen. – Werkstoff: Sorgfältig gehärteter Werkzeugstahl. Bei ungleichmäßigem Eingreifen bricht die Nadel.

15.3. Senken, Bohren, Fräsen

Senken und Bohren

Beim Bohren schneidet man ein (meist zylindrisches) Loch mittels Spanabnahme. Man bohrt durchgehende Löcher, Grundbohrungen (Sacklöcher), und bohrt vorhandene Bohrungen auf (weiter). Das Bohrwerkzeug macht zwei Bewegungen: die Drehbewegung (Hauptbewegung) und den Vorschub in axialer Richtung (Schaltbewegung). – *Werkstoff für Bohrer:* im allgemeinen Werkzeugstahl; Schnellarbeitsstahl (hohe Umlaufzahl) für harte, zähe Werkstoffe.

Spitzbohrer (Bilder 15.71a und 15.71b) dienen zum Bohren und Versenken. Diese Bohrer verlaufen leicht und ergeben ungenaue Bohrung. – *Zentrierbohrer* (Bild 15.71c) hat durch Spitze s bessere Führung. – Beim *Zapfenbohrer* (Bild 15.71d) übernimmt Zapfen z die Führung in einem schon vorgebohrten Loch; er wird auch als Versenker gebraucht (vgl. Bild 15.74); Verlaufen ist nicht möglich. – *Kronenbohrer* (Bild 15.72), Bohrring genannt, Wirkungsweise wie Kernbohrer. – *Spitzsenker* (Bild 15.73) dient zum Versenken von Bohrungen und Abnehmen des Grates, *Zapfensenker* (Bild 15.74) für zylindrische Versenkungen.

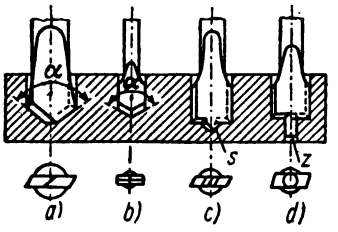


Bild 15.71. Bohrer
a), b) Spitzbohrer, c) Zentrierbohrer, d) Zapfenbohrer (untere Reihe Sicht von unten)

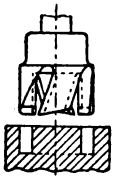


Bild 15.72

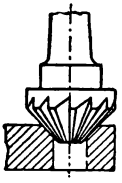


Bild 15.73

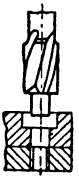


Bild 15.74

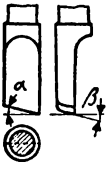


Bild 15.75

Der *Löffelbohrer* (Bild 15.75) wird auf der Drehmaschine zum Bohren bereits vorgebohrter Löcher benutzt: Hinterschliff $\beta = 6 \cdots 10°$, $\alpha \approx 10°$. – *Kernbohrer* (Hohlfräser) (Bild 15.76) mit Schneiden an der Stirnfläche dient zum Herausbohren eines zylindrischen Kernes aus dem Werkstoff bei geringer Zerspanungsarbeit.

Drallbohrer (früher Spiralbohrer) (Bild 15.77), rechtswindend, wird am häufigsten gebraucht. Schneidwinkel $\varepsilon = 116°$, $\beta = 32°$; Seelendicke $a = {}^1/_8 \cdots {}^1/_9$ des Bohrerdurchmessers. Die Schneidkanten oder -lippen *1–1, 2–2* sind hinterschliffen. Der *Anspitzschliff*, in Untersicht zu erkennen, verkürzt die Querschneide und ist nötig bei Stahl und Stahlguß, Drallbohrer befördern die Späne durch die Nuten selbsttätig hinaus. – Einwandfreies Nachschleifen abgenutzter Bohrer erfolgt auf der Schleifmaschine. Beim Schleifen von Hand kommen folgende Fehler vor:

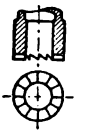


Bild 15.76

Bild 15.77

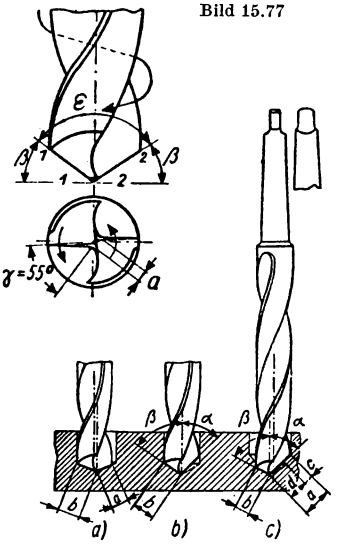


Bild 15.78. Fehler beim Schleifen der Drallbohrer von Hand a) ungleiche Seiten, b) ungleiche Winkel, c) ungleiche Seiten und ungleiche Winkel

Ungleiche Seiten (Bild 15.78a), *Bohrungs*durchmesser > *Bohrer*durchmesser. Es schneiden beide Schneidkanten, jedoch muß der äußere Teil von Schnittkante b den äußeren Bohrungsteil allein schneiden und wird bald stumpf. – *Ungleiche Winkel* (Bild 15.78b), es schneidet nur Schnittkante b. Bohrer wird bald stumpf. – *Ungleiche Seiten* und *ungleiche Winkel* (Bild 15.78c). Bohrungsdurchmesser > Bohrerdurchmesser, Schnittkante b schneidet kleine Bohrung, von Schnittkante a schneidet nur Stück c und vergrößert die Bohrung; Stück d bleibt scharf, während Schnittkante b und Stück c stumpf werden.
Größere Bohrer erhalten oben kegeligen Schaft, der, in Bohrhülsen gesteckt, für zentrischen Lauf und gute Mitnahme des Bohrers sorgt.

Merke: Zu kurzen Bohrungen benutzt man kurze Bohrer, zu langen Bohrungen lange. Vorgeschriebene Schnittgeschwindigkeiten sind einzuhalten. Zu großer Vorschub und zu kleine Schnittgeschwindigkeit führen zu Bruch, ebenso das Hineinragen des Bohrers in das Werkstück über Auslauf der Spannuten, da sich die Nuten verstopfen.

Zentrierbohrer (Bild 15.79) dient zum Herstellen der Anbohrungen und Körnerversenkungen in Werkstücken, die zwischen Spitzen aufgespannt werden. Beim Bohren von Gußeisen keine Kühlung der Bohrer. Beim Bohren von Schweiß- oder Flußstahl kühlt man mit Seifenwasser oder Bohrölemulsion.

Bohrer mit Ölrohr. Bild 15.80a zeigt den Querschnitt eines Laufbohrers, in Längsrichtung durchbohrt. Das Öl wird unter hohem Druck durch das Ölrohr ö des Bohrers b zur Schneidkante gepreßt: w Werkstück. – Verwendung finden auch wendelförmige, in Nuten eingelötete Ölrohre r (Bild 15.80b). Die Nuten sind in den Bohrer eingefräst.

Ausbohren eines Schiebergehäuses (Bild 15.81) mittels Bohrstange. Werkstück steht still, Bohrstange dreht sich. Es können mehrere Meißel hintereinander arbeiten: a Schruppmeißel, b Schlichtmeißel; Meißel c bearbeitet gleichzeitig die obere Schieberöffnung; große Zeitersparnis, Anwendung bei großen Werkstücken.

Bohren von Aluminium und anderen Leichtmetallen. Gewöhnliche Drallbohrer verlaufen leicht und brechen ab. Man verwendet Drallbohrer mit flachsteigender Wendel (Schraubenlinie) (40°, Stahlbohrer 28°) und größerem Schneidwinkel (140°, Stahlbohrer 116°) bei Schnittgeschwindigkeiten bis 150 m/min und Vorschüben bis 0,6 mm/Umdr. Der Bohrer schneidet z. B. in 10 s eine 10-mm-Bohrung von 100 mm Tiefe ohne Kühlung.



Bild 15.79

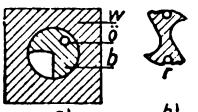


Bild 15.80

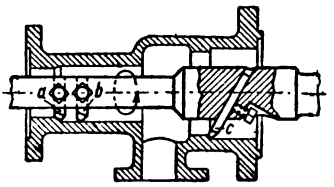


Bild 15.81

Bohrmaschinen

Die elektrische Tischbohrmaschine ist auf der Werkbank angeschraubt. Der Tisch kann feststehend oder verstellbar sein. Die verschiedenen Drehzahlen der Bohrspindel werden durch Stufenscheiben ermöglicht.
Elektrische Handbohrmaschinen arbeiten mit (hoher) konstanter Drehzahl, sie sind leicht und handlich.

Die *Bohrknarre* (Bild 15.82) arbeitet langsam und ungenau. In Gabel g des Hebels h lagert Hülse b mit Sperrad s, das durch den Hebel mittels Sperrklinke a gedreht wird und den Bohrer mitnimmt. Vorschub v erfolgt durch Nachspannen der Sechskantmutter c.

Bohrwinden (Bild 15.83) und *Brustleiern* oder *Brustbohrmaschinen* (Bild 15.84) mit Handbetrieb dienen für kleine Bohrungen und sind zuweilen mit 2 auswechselbaren Geschwindigkeiten (Kegelrädern) sowie mit Wasserwaage ausgestattet. – *Handbohrmaschinen* werden auch am Werktisch festgeschraubt, der Tisch ist in der Höhe verstellbar. Der Vorschub erfolgt von Hand durch Handrad, elektrischen Antrieb oder ist selbsttätig. – Bei *Druckluftbohrmaschinen* treiben in der Regel 2 Druckluftkolben eine Welle an, die durch Zahnradübersetzung die Bohrhülse mit dem Bohrer in Umdrehung setzt.

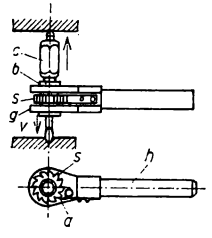


Bild 15.82

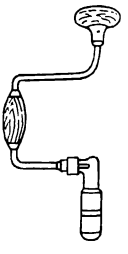


Bild 15.83

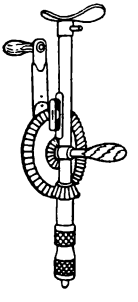


Bild 15.84

Die *elektrische Handbohrmaschine* (Bild 15.85) ist die häufigste Bohrmaschine der Kleinmechanisierung.

Bei der *Säulenbohrmaschine* (Bild 15.86) läßt sich die Umdrehungszahl $n = 63 \cdots 1000$ Umdr./min durch entsprechendes Einschalten der Getrieberäder verändern. Der Vorschub beträgt 0,08···1,25 mm/Umdr. Die Maschine besitzt durch den angeflanschten Motor Einzelantrieb. Mit der Maschine lassen sich Stahl bis 25 mm Dmr. und Gußeisen bis 32 mm Dmr. bohren. Der Bohrtisch ist in der Höhe durch Zahnstange und außerdem seitlich verstellbar. Bei begrenzter Bohrtiefe erfolgt eine selbsttätige Ausrückung des Vorschubs.

Mehrspindelige Bohrmaschine (Bild 15.87). Alle Bohrspindeln können gleichzeitig im Werkstück arbeiten. Bei Erreichung einer bestimmten Bohrtiefe schaltet der Vorschubmechanismus selbsttätig um und bewegt den Spindelstock schnell nach oben, wo er in Höchststellung stehenbleibt. Der revolverartige Aufspanntisch ist drehbar eingerichtet, so daß der Arbeiter während des Bohrens eines Werkstückes die ungebohrten Stücke auf der gegenüberliegenden Seite aufspannen



Bild 15.85

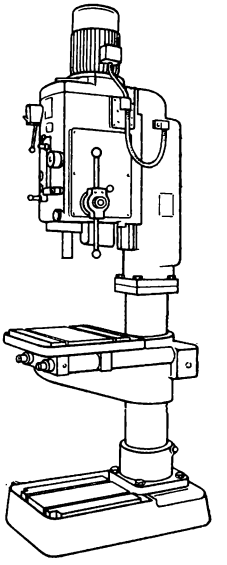


Bild 15.86

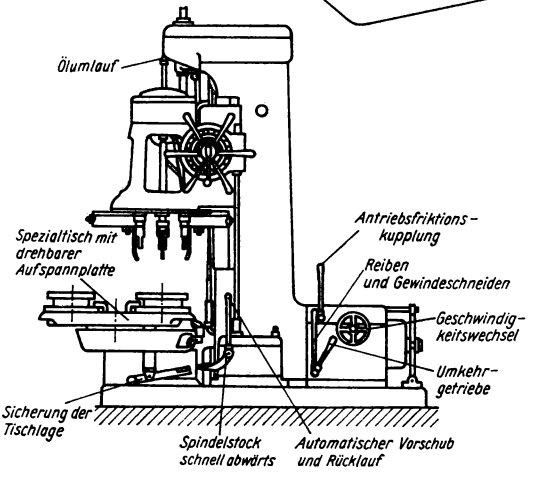


Bild 15.87. Mehrspindelige Bohrmaschine

kann; dauernde Beschäftigung des Arbeiters während des mechanischen Laufes der Maschine ist dadurch gewährleistet. Die Bohrspindeln können einzeln oder in beliebiger Anzahl in Tätigkeit gesetzt werden. Sie sind mit Gelenken versehen und können daher auf beliebige Lochkreisdurchmesser in gerader Linie oder in beliebiger anderer Anordnung eingestellt werden.
Andere Arten von Bohrmaschinen sind: *Radialbohrmaschinen*, bei denen mehrere Spindeln senkrecht zur Achse des Werkstückes stehen, *Zylinderbohrmaschinen*, *Waagerechtbohrmaschinen* und Sonderbohrmaschinen. Sie werden sowohl für außergewöhnliche Bearbeitungsaufgaben als auch in der mechanischen Fertigung eingesetzt. Die nach dem Baukastenprinzip zusammengestellten, in sich geschlossenen Baugruppen lassen sich wieder zu Baueinheiten zusammenfassen. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit, die Maschinen für die vielfältigen Fertigungsaufgaben zu verwenden. Diese horizontalen und vertikalen Einweg- und Mehrwegmaschinen eignen sich für alle groben und feinen spanabhebenden Bearbeitungen. Selbst geneigte, kreis- und sternförmige Anordnung der Arbeitseinheiten ist möglich. Die Maschinen zeichnen sich durch starren Aufbau, Schwingungsfreiheit und übersichtliche Bedienungseinrichtungen aus.

Fräsen

Das Werkstück erfährt durch Spanabnahme eine dauernde Formänderung. Das Fräswerkzeug besteht aus Stahl und ist mit einer Anzahl von Schneiden am Umfang versehen. Die Fräser arbeiten mit größerer Schnittgeschwindigkeit als Dreh- und Hobelwerkzeuge, da Zähne nur immer kurze Zeit arbeiten (geringe Erwärmung). Je mehr Zähne vorhanden sind, desto sauberer wird die Arbeit. Feingezahnte Fräser für feine Schlichtarbeiten mit geringer Schnittiefe. – Großer Fräserdurchmesser – langsamer Umlauf (teure Anschaffung, hoher Kraftbedarf); daher kleine Fräserdurchmesser mit schnellem Umlauf wählen. Unterschieden werden *spitzgezahnte* und *hinterdrehte Fräser.*

Werkstück steht still (Bild 15.88), Fräser dreht sich in Pfeilrichtung und erhält Vorschub. Verwendung bei besonderen Arbeiten; selten.

Gleichläufiges Fräsen (Bild 15.89). Vorschub des Werkstückes und Schnittrichtung sind gleichgerichtet.

Vorteil: Fräserzahn trifft sofort den vollen Spanquerschnitt und läuft auf 0 aus. Geringerer Werkzeugverbrauch und bessere Oberflächengüte sollen die Folge sein. Vorschub und Schnittgeschwindigkeit werden höher, Leistungsbedarf geringer als beim gegenläufigen Fräsen.

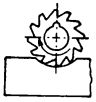


Bild 15.88

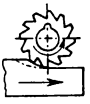


Bild 15.89

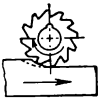


Bild 15.90

Gegenläufiges Fräsen (Bild 15.90). Am häufigsten angewendete Arbeitsweise. Fräserzahn hat erst am Ende des Eingriffes den vollen Spanquerschnitt erreicht.
Je nach Anwendung haben beide Fräsverfahren ihre Berechtigung.

Falsche Einstellung (Bild 15.91); Drehrichtung a, Fräser würgt sich fest, Zähne brechen sofort; Drehrichtung b, mit zu dickem Span angesetzt, großer Widerstand, Bruchmöglichkeit. Bild 15.92 zeigt einen *Nutenfräser,* nur auf Mantelfläche gezahnt. Seitenflächen für freies Schneiden etwas hohl geschliffen.



Bild 15.91

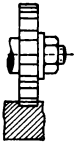


Bild 15.92

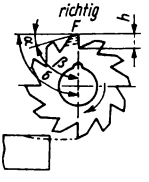


Bild 15.93

Richtige Einstellung (Bild 15.93); vorsichtiges Ansetzen des Fräsers, geringe Spantiefe, genaues Laufen. Ansetzen für neuen Span nur nach vollkommenem Zurückkurbeln des Frästisches und nach Stillstand des Fräsers. Fräser ist hinterschliffen, dadurch erhält Rücken Fase F. Freiwinkel $\alpha = 5$ bis 8°, Keilwinkel β und Freiwinkel α ergeben den Schnittwinkel $\delta = 90°$. h verringert sich beim Nachschleifen der Fase F, das Profil ändert sich. (Freiwinkel α s. Tabelle 15.3)

Tabelle 15.3: Freiwinkel α für spitzgezahnte Fräser

Arbeitsgang	Stahl	Gußeisen	Leichtmetall	Messing	Bronze
Schruppen	≈7°	bis 5°	8···25°	5°	5°
Schlichten	≈5°	bis 5°	8···25°	5°	5°

Schruppen: Schnittgeschwindigkeit klein, Vorschub groß, etwa 3···6 mm.

Schlichten: Schnittgeschwindigkeit groß, Vorschub klein, etwa 0,3···0,6 mm.

Der Vorschub ist weiter abhängig von Härte und Form des Arbeitsstückes sowie von der Aufspannung und der Bauart der Maschine.
Bei Aluminium und Leichtmetallen mit geringen Silizium- und Manganzusätzen ist mit verfügbaren Höchstgeschwindigkeiten zu arbeiten.

Fräser mit geraden Zähnen (Bild 15.94): Anschleifen radial an der Zahnbrust, allmähliche Verminderung von h auf h_1, Profil ändert sich, wird kleiner.

Fräser mit hinterdrehten Zähnen (Bild 15.95), Form- oder Fassonflächen. Rücken ist als Kreisbogen ausgebildet (hinterdreht), Mittelpunkt a liegt außerhalb der Achsenmitte des Fräsers. Bei radialem Nachschleifen bleibt h stets gleich groß ($h = h_1$). Profil ändert sich nicht, lange Lebensdauer bei rechtzeitigem Nachschleifen. Formfräser werden stets mit hinterdrehten Zähnen versehen.

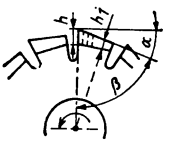


Bild 15.94

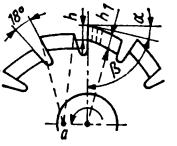


Bild 15.95



Bild 15.96

Scheibenfräser (Bild 15.96) mit Zähnen an Mantel- und Seitenfläche; meist hinterschliffen. Ähnlich sind *Winkelstirnfräser:* Zähne an Mantel- und nur einer Seitenfläche.

Walzenfräser (Bild 15.97) *(Planfräser)* für ebene Flächen; Zähne an der Mantelfläche, wendelförmig; die Schneide kommt nach und nach zur vollen Schnittwirkung (günstig). Steigungswinkel $\alpha \approx 15°$, bei zähem Werkstoff bis 25°. Anordnung von *zwei Walzenfräsern nebeneinander* (Schruppen), einmal rechts-, das andere Mal linkssteigende Schraubenlinie (Schneidkante), damit Achsendruck sich aufhebt. – Für breite Flächen gibt es *Walzenfräser mit Spanbrechernuten* (Bild 15.98). Späne werden zerkleinert, Fläche geschont; geringerer Kraftbedarf.

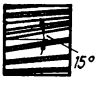


Bild 15.97

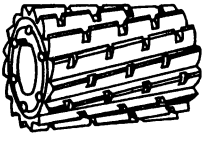


Bild 15.98



Bild 15.99

Walzenstirnfräser (Bild 15.99), Zähne an Mantel- und an einer Stirnfläche; am Mantel wendelförmig.

Fingerfräser (Bild 15.100a) für tiefe, schmale Nuten, wendelförmig gezähnt mit hinterschliffenen Zähnen auf Stirn- und Mantelfläche. – *Winkelnutenfräser* (Bild 15.100b) mit Stirnzähnen und *Nutenfräser* (Bild 15.100c) dienen zum Fräsen von Nuten u. dgl.

Form- oder Fassonfräser mit hinterdrehten Zähnen. Fräsen von Zahnlücken (Bild 15.101) bei Stirnrädern; Verwendung von *Vorfräsern* oder Fräsern mit abwechselnd gestuften und glatten Zähnen. Nachschleifen stets radial, Profil und Keilwinkel ändern sich dann nicht.

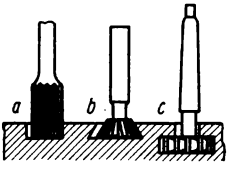


Bild 15.100

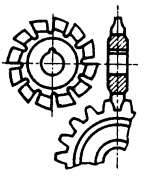


Bild 15.101



Bild 15.102



Bild 15.103

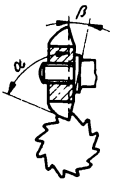


Bild 15.104



Bild 15.105

Winkelfräser (Bild 15.102), Winkel α verschieden groß, dient zum Fräsen von Schlüsseln, Nuten u. dgl., *Hohlfräser* (Bild 15.103) zum Fräsen von Handrädern.

Fräsen von Reibahlen zeigt Bild 15.104; $\sphericalangle \alpha = 60 \cdots 80°$, $\beta = 12°$.

Schraubenschlitzfräser (Bild 15.105) ist ähnlich der Kreissäge.

Fräsen eines Drallbohrers (Bild 15.106). *Fräsen eines Trapezgewindes* (Bild 15.107). Einstellung des Fräsers oder des Werkstückes auf den Neigungswinkel α; Werkstück dreht sich in Pfeilrichtung und macht gleichzeitig den Vorschub v. Der Fräser dreht sich in gleicher Richtung wie das Werkstück; er greift von unten an.

Hochleistungsfräser (Bild 15.108) hat versetzte Zähne mit Spanbrechernuten für harte, zähe Werkstoffe.

Hochleistungsfräser (Bild 15.109) besteht aus zwei Teilen, deren Kupplungsklauen ineinandergreifen. Wirkungsweise wie bei zwei zusammen arbeitenden Walzenfräsern.

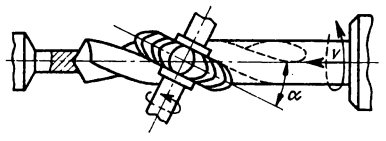


Bild 15.106

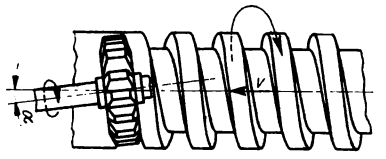


Bild 15.107

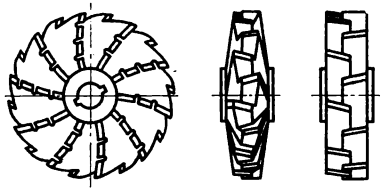


Bild 15.108

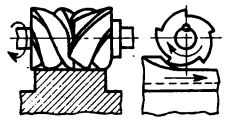


Bild 15.109



Bild 15.110

Stirnfräser mit eingesetzten Zähnen (Messern) (Bild 15.110). Die Messer werden durch kegelige Spannbuchsen b mittels Schrauben a gehalten, bei dem Messerkopf (Bild 15.111) durch Stifte c festgeklemmt. Verwendung bei groben Fräsern für schwere Schrupparbeiten. Fräsen tiefer, breiter Nuten, geringer Kraftverbrauch; Werkstoffeinsparung; Körper aus Stahlguß oder Gußeisen, Messer aus Schnellarbeitsstahl oder an Schneidkante aufgelötete Hartmetallplättchen u. dgl.; gegen Erwärmung ziemlich unempfindlich.

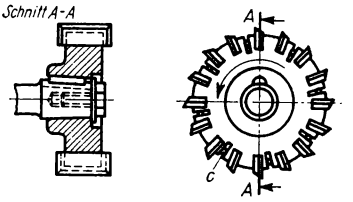


Bild 15.111

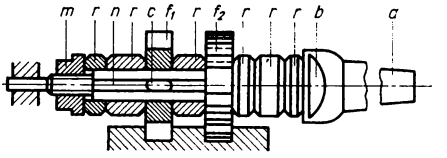


Bild 15.112. Fräsdorn

Fräsdorn (Bild 15.112) dient zum schnellen, einfachen und sicheren Aufspannen. Kegel a paßt in den Hohlkegel der Fräsmaschinenspindel, ebenso Mitnehmerfläche b zu einer anderen Fläche im Hohlkegel. Fräser f_1 und f_2 werden durch Keil c in Nut n des Dornes befestigt. Mittels verschieden dicker Ringe r werden die Fräser in den gewünschten Abstand gebracht und durch Mutter m fest angezogen.

Fräsmaschinen

Arten: Handfräsmaschine, Waagerechtfräsmaschine, Senkrechtfräsmaschine, Langfräsmaschine, Universalfräsmaschine, Rundfräsmaschine, Kopierfräsmaschine, Zahnradfräsmaschine und verschiedene Sonderausführungen.

Zubehör: Der *Teilkopf* (Bilder 15.113 und 15.114) ist ein wichtiges Zubehörteil der Fräsmaschine. Das Fräsen eines Kegelrades mit Hilfe des *Höhenreitstockes* ist in Bild 15.115 dargestellt.

Der *Teilkopf* hat drei Aufgaben zu erfüllen:

1. Weiterschaltung des zu fräsenden Werkstückes um ein bestimmtes Maß; bei Zahnrädern, Fräsern u. dgl. nach Fräsen eines Zahnes um die betreffende Teilung;

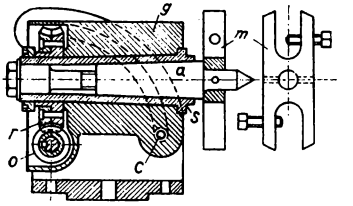


Bild 15.113. Teilkopf (Längsschnitt)

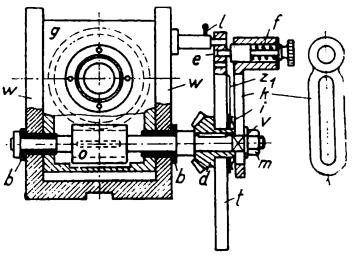


Bild 15.114. Teilkopf (Querschnitt)

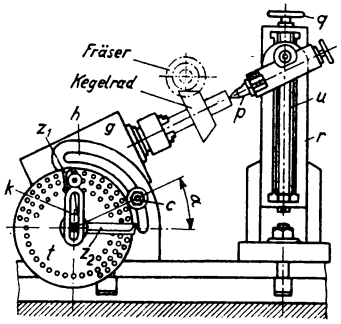


Bild 15.115. Teilkopf mit Höhenreitstock

2. Drehen (Rotierenlassen) des zu fräsenden Körpers beim Fräsen von Gewindebolzen, Reibahlen, Schnecken, wendelförmigen Nuten u. dgl.;

3. Einstellung auf einen beliebigen Winkel (bei Kegelrädern, kegeligen Reibahlen u. dgl.).

Arbeitsweise des Teilkopfes:

Im Gehäuse g ist die ausgebohrte Spindel s, die zur Aufnahme der Körnerspitze a dient, verstellbar gelagert. Auf der Spitze des Körners ist ein Mitnehmer m befestigt. Auf Spindel s ist ein Schneckenrad r aufgekeilt, in zwei Hälften geteilt, damit der bei Drehrichtungsänderung sonst eintretende tote Gang ausgeglichen werden kann. Antrieb erfolgt durch Schnecke o von Hand mittels Teilkurbel k oder selbsttätig von der Fräsmaschinenspindel mittels auswechselbarer Zahnräder und des Kegelrades d. Die Schneckenwelle ist in langen Buchsen b gelagert; Gehäuse g ist um diese Buchsen drehbar und durch eine Schraube c, die in einer kreisförmigen Führung gleitet, auf jeden beliebigen Winkel α mit Hilfe einer Skale einstellbar. Teilscheibe t, auf Schneckenradwelle lose angebracht, ist durch Riegel l mittels der Löcher des äußeren Lochkreises der Teilscheibe feststellbar. Ein Teilkopf hat mehrere Teilscheiben, die mit auf konzentrischen Kreisen liegenden Löchern versehen sind (Lochzahl jedesmal verschieden). Teilkurbel k ist mit langem Schlitz versehen und durch Mutter m in jeder Lage feststellbar; dadurch kann Stift e auf jeden Lochkreis eingestellt und mittels Feder f in einem bestimmten Loch festgehalten werden. Zwei Zeiger z_1 und z_2 vor der Teilscheibe, durch Blattfeder i gehalten, bilden die Stellschere.

Bei Bearbeitung kegelförmiger Werkstücke (Bild 15.115) kann der Reitstock mit Körnerspitze p auf beliebigen Winkel und durch Drehen der Spindel u mittels Handrades q auf bestimmte Höhe eingestellt werden. – Als Beispiel wird das *Fräsen eines Kegelrades* gezeigt, das 18 Zähne erhalten soll. Die Teilscheibe hat 6 Lochkreise (gezeichnet sind jedoch nur 3) mit 42, 36, 31, 23, 19 bzw. 15 Löchern. Die Schnecke des Teilapparates ist eingängig, das Schneckenrad hat 40 Zähne. Die Schnecke muß nach Fräsen einer Zahnlücke zum Fräsen der zweiten Zahnlücke $\frac{40}{18} = \frac{20}{9} = 2\frac{2}{9}$ Umdrehungen machen. Ein Kreis mit 9 Löchern ist nicht vorhanden; gewählt wird ein Vielfaches von 9 gleich 36 (Lochkreis vorhanden). Teilkurbel k muß also $2\frac{2}{9}$ oder $2\frac{8}{36}$ Umdrehungen machen; nach 2 ganzen Umdrehungen ist der Stift nochmals um 8 Löcher weiter, also in das 9. Loch einzurücken (Anwendung der Stellschere).

Senkrechtfräsmaschine (Bild 15.116) läßt Form und Bauart erkennen. Aus dem Schema mit nur 1 Schalthebel (Bild 15.117) sind Einzelheiten zu ersehen.

Werkstoff der Fräser: Werkzeugstahl, Schnellarbeitsstahl oder Körper aus St 60 oder St 70, Fräszähne aus SS-Stahl aufgeschweißt oder mit Hartmetall bestückt.
Dementsprechend muß zur Erzielung von *Dauerleistungen* die ganze Maschine stark gebaut sein.

Zu beachten ist:

1. Fräser muß kurz gelagert sein.

2. Schnittiefe ist so zu wählen, daß Fräser stets unter der Gußhaut arbeitet.

3. Bei allen Werkstoffen ist reichlich mit Bohrölemulsion zu kühlen.

4. Schleifscheibe zum Schleifen der Fräser muß möglichst schnell laufen (nur naß schleifen).

Gründe für Fräserbrüche: Werkstoffehler, Härtefehler, Konstruktionsfehler, zu hohe Schnittgeschwindigkeit, zu großer Vorschub, Schlagen des Fräsers bzw. Dornes.

Öfteres Schleifen ist erforderlich, besonders bei hinterdrehten Fräsern. Außer den Schneidkanten sind scharfe Ecken zu vermeiden, da sonst beim Härten leicht Risse auftreten.

Schneidenform

Die geometrische Form der Schneide beeinflußt stark die Standzeit. Den Spanungsrichtwerten liegen die in Tabelle 15.4 enthaltenen Werte für die Winkel am *Fräsmeißel* zugrunde (s. auch Bild 15.118).

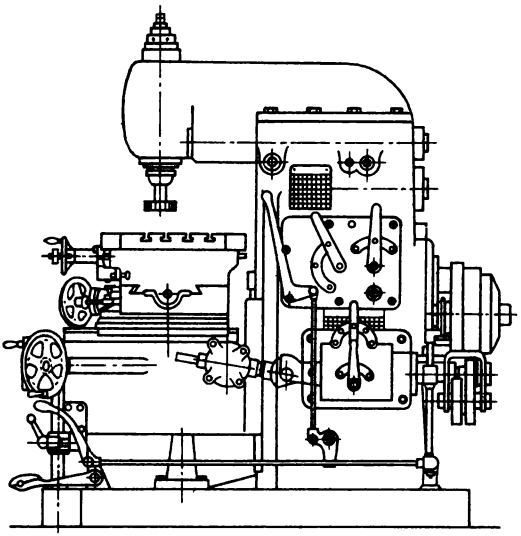


Bild 15.116. Senkrechtfräsmaschine

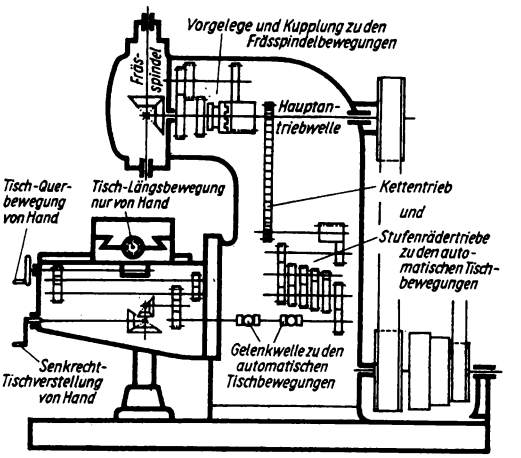


Bild 15.117. Schema einer Senkrechtfräsmaschine

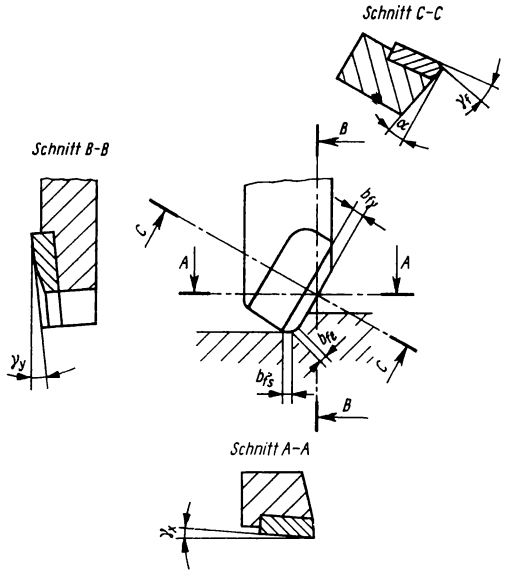


Bild 15.118. Winkel am Fräsmeißel

Tabelle 15.4: Schneidengeometrie (nach TGL 8929)

Benennung		TGL 8929 Bl. 2 ... Bl. 7	TGL 8929 Bl. 8
Freiwinkel	α	12 ... 14°	
Seiten-Spanwinkel	γ_x	6°	—20°
Rück-Spanwinkel	γ_y	0 bis —6°	— 6°
Fasenspanwinkel	γ_f	—10°	—
Breite der Spanflächenfase	$b_{f\gamma}$	0,5 mm	—
Einstellwinkel	$\varkappa$	60°	
Breite der Schlichtfase	b_{fs}	0,5 mm	
Breite der Eckenfase	b_{fe}	0,5 mm	

15.4. Drehen, Gewindeschneiden, Wechselräder

Durch den Drehmeißel, dem eine Vorschubbewegung erteilt wird, erfolgt eine dauernde Spanabnahme.

Langdrehen

Wirkungsweise des Drehens (Bild 15.119). Die resultierende Kraft F, die senkrecht zur Schneidkante wirkt, kann in die Teilkräfte F_V (parallel zur Achse a—b) und F_R (senkrecht auf die Achse) zerlegt werden. Beim Drehen entsteht durch den Zerspanungswiderstand die Kraft F_H (senkrecht nach unten). Der Vorschub v des Meißels, parallel zur Achse a—b, ergibt einen zylindrischen, wenn nicht parallel, einen kegelförmigen Körper (vgl. Kegeldrehen).

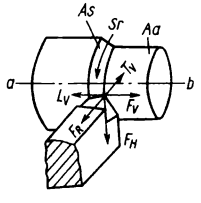


Bild 15.119. Wirkungsweise des Drehens
As Schnitt-, Aa Arbeitsfläche, Sr Schnittrichtung, T_V Tiefenvorschub, L_V Längsvorschub

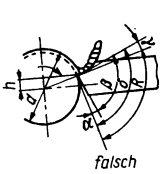


Bild 15.120

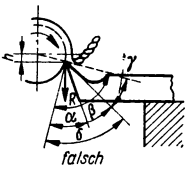


Bild 15.121

Falsche Meißelform und falsches Einspannen. Bild 15.120 zeigt zu hohes Einspannen einer zu stumpfen Schneide über Mitte, einer zu schlanken Schneide unter Mitte. *Einstellung über Mitte* darf nur erfolgen beim *Schruppen* $\left(h \text{ bis } \frac{1}{20}\,d\right)$, d. h. bei kleinem Freiwinkel α für große Spanabnahme. *Einstellen unter Mitte* (etwa 1 mm) erfolgt beim *Schlichten*, d. h. bei großem Freiwinkel α für kleine Spanabnahme. – δ ist der Schnittwinkel.
Bei Bild 15.120 ist der Keilwinkel β zu groß, der Freiwinkel α zu klein, bei Bild 15.121 umgekehrt; durch zu langes Einspannen federt der Meißel zu stark (Bruchmöglichkeit).

Richtige Meißelform und richtiges Einspannen (Bild 15.122). Abstand b ist so klein wie möglich zu wählen, damit das entstehende Biegungsmoment M nicht zu groß wird. Spandicke hat etwa die 1,5 ... 2,5fache Dicke der Spantiefe (Schnitttiefe) t. Der Drehmeißel besteht aus Kopf und Schaft; s Schneidkante, r Spanfläche, a Schneidrücken oder Freifläche. – *Einstellen genau auf Mitte Werkstück* (Bild 15.123) ist anzuwenden beim Abstechen, Gewindedrehen, Formdrehen u. dgl.

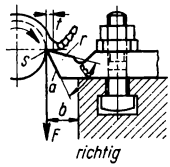


Bild 15.122

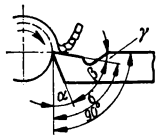


Bild 15.123

Freiwinkel α und Keilwinkel β ergeben den Schnittwinkel δ (Tabelle 15.5). Freiwinkel α ist um so größer, je weicher der Werkstoff; bei Schnellarbeitsstahl zwischen 4° und 12°, nach »Nicolson« $\alpha = 6°$, $\beta = 54°$; geringster Schnittdruck; bei Ausbohrmeißeln $\alpha = 7 \cdots 10°$ und mehr.

Geradstellung des Meißels (Bild 15.124) dient zur Erzeugung einer rechtwinkligen Ecke. *Schrägstellung des Meißels* (Bild 15.125) ist für Längsdrehen günstiger. $\varkappa = 30 \cdots 45°$; Vorschub v und Spantiefe t sind in beiden Fällen gleich groß, jedoch wird bei Schrägstellung Spandicke s kleiner und Spanbreite b größer. Das Abtrennen eines dünnen, breiten Spanes ist schwerer als das eines dicken, schmalen Spanes.

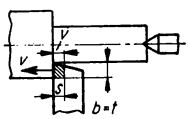


Bild 15.124

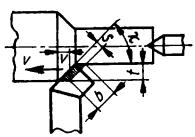


Bild 15.125

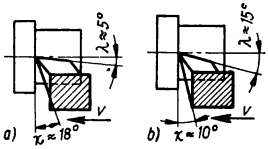
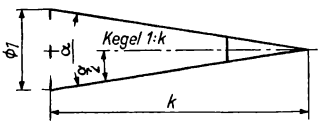


Bild 15.126

Tabelle 15.5: Freiwinkel α, Keilwinkel β, Schnittwinkel δ

Werkstoff	Freiwinkel α		Keilwinkel β		Schnittwinkel δ	
	Schruppen	Schlichten	Schruppen	Schlichten	Schruppen	Schlichten
weicher Stahl, Flußstahl	6···12°	bis 6°	54···68°	bis 70°	<90°	<90°
harter Stahl, Grauguß	5···10°	bis 5°	66···85°	bis 95°	>90°	≦90°
Hartguß	3···6°	bis 3°	85···90°	bis 100°	≧90°	90···103°

Tabelle 15.7: Kegel, Steigungen und Winkel



»Kegel 1:*k*« bedeutet: Auf die Länge *k* mm verjüngt sich der Kegel im Durchmesser um 1 mm

Kegel 1:*k*	Kegelwinkel α	Einstellwinkel an der Bearbeitungsmaschine α/2	Beispiele für die Verwendung
1:0,289	120°	60°	Schutzsenkung für Zentrierbohrungen; rohe Senkschrauben mit Vierkantansatz
1:0,350	110°	55°	
1:0,500	90°	45°	Ventilkegel, Bunde an Kolbenstangen, Körnerspitzen an der Spitze, Senkschrauben, rohe Senkholzschrauben, rohe Senkschrauben mit Nase oder Vierkantansatz, Verschlußschrauben, Senkniete
1:0,652	75°	37°30′	Senk- und Linsensenkniete, Spitzsenker
1:0,866	60°	30°	Dichtkegel für leichte Rohrverschraubungen, Zentrierbohrungen, Körnerspitzen an der Spitze, V-Nuten-Senkschrauben, Senk- und Linsensenkniete
1:1,207	45°	22°30′	Senk- und Linsensenkniete
1:1,50	36°52′12″	18°26′6″	Dichtungskegel für schwere Rohrverschraubungen
1:1,866	30°	15°	Rohe Kegelsenkschrauben, Senker
1:3	18°55′30″	9°27′45″	Im Schiffsmaschinenbau für Befestigung der Kolbenstange in dem Kolben und Kreuzkopf, Schlauchanschlußstelle für Druckluftwerkzeuge
1:5	11°25′16″	5°42′38″	Spurzapfen, Reibungskupplung, leicht abnehmbare Maschinenteile bei Beanspruchung quer zur Achse und auf Drehung
1:6	9°31′38″	4°45′49″	Kreuzkopfzapfen für Lokomotiven, Dichtkegel für Hähne, Gesenkfräser
1:10	5°43′30″	2°51′45″	Kupplungsbolzen, für nachstellbare Lagerbuchsen, Maschinenteile bei Beanspruchung quer zur Achse, auf Drehung und längs der Achse
1:15	3°49′6″	1°54′33″	Kolbenstangen für Lokomotiven, Schiffspropellernaben
Morsekegel			
1:20,02	2°51′40″	1°25′50″	Morsekegel 2: Werkzeugschäfte und Aufnahmekegel der Werkzeugmaschinenspindeln, Durchmesser nach geltenden Standards
1:30	1°54′34″	57′17″	Bohrungen der Aufsteckreibahlen und Aufstecksenker
1:50	1°8′46″	34′23″	Kegelstifte, kegeliges Rohrgewinde

Für die Darstellung des Winkels α/2 besteht bei einem 100 mm langen Sinuslineal, das die Hypotenuse bildet, und der Kathete *h*, die gleich dem Einstellwert ist, die Beziehung:

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{h}{100}; \quad h = 100 \sin\frac{\alpha}{2}.$$

Form des Drehmeißels, von hinten gesehen. Bei weichem Werkstoff (Messing) (Bild 15.126a): kleiner Neigungswinkel λ, großer Einstellwinkel ×; bei hartem Werkstoff (Stahl) (Bild 15.126b): λ groß, × klein.

Plandrehen

Stellung des Seitenmeißels, von oben gesehen (Bild 15.127a): günstig, kleine Spanabnahme, glatte Arbeitsfläche; Bild 15.127b: ungünstig, Meißel muß zu lang eingespannt werden, um bis zur Mitte drehen zu können. Zu dicker Span bewirkt Hineinziehen des Meißels in die Drehfläche (Bildung einer Hohlfläche).

Stellung des Meißels, von vorn gesehen. Vorschub erfolgte vom Rande des Werkstückes nach der Mitte zu. *Meißel auf Mitte* (Bild 15.128a) ungünstig, weil Werkstück senkrecht auf die Schneide läuft. – *Meißel unter Mitte* (Bild 15.128b) falsch; die Mitte des Werkstücks wird nicht erfaßt. Meißel stark über Mitte, Fehler ähnlich wie vorher. – *Meißel etwas über Mitte* (Bild 15.128c) arbeitet am günstigsten; kleine Mitte wird von der vorderen Schneide erfaßt. Die verschiedenen Winkel bleiben in jeder Stellung die gleichen; in seiner ganzen Länge gehärteter Vierkant- oder Dreikantdrehling (Bild 15.129) wird in einem Stützbett gehalten. Ersparnisse an Schneiden, Härten und Stahlmengen bis zu 80 %.

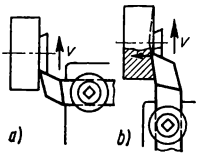


Bild 15.127

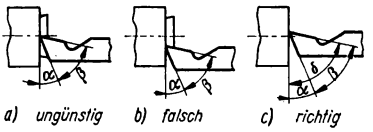


Bild 15.128

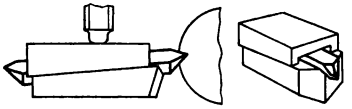


Bild 15.129

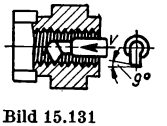


Bild 15.131

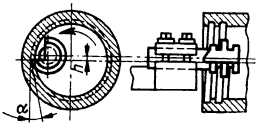


Bild 15.132

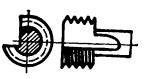


Bild 15.133

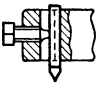


Bild 15.134

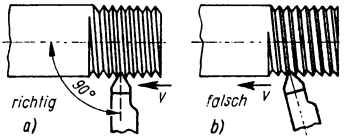


Bild 15.135

Ausdrehen (Innendrehen)

Meißel über Mitte (Bild 15.130a) ist ungünstig, da α zu groß; bei Werkstücken mit kleinem Innendurchmesser jedoch nicht vermeidbar, kleineren Vorschub wählen, sonst schräges Eindringen in den Werkstoff (siehe Draufsicht). – *Meißel etwas über Mitte* (Bild 15.130b) richtig, α günstig. Bei kleinen Durchmessern verwendet man Bohrstangen; Einsparung an teurem Werkstoff, leichtes Anschleifen. – *Meißel auf Mitte* (Bild 15.130c), günstiger Einstellwinkel; bei Werkstücken mit großem Innendurchmesser kann ein Ausdrehmeißel (Seiten- oder Schruppmeißel) verwendet werden. Zweckmäßig ist stärkeres Hinterschleifen der oberen Schneidfläche und Schneidkante.

Gewindeschneiden

Starker Vorschub des Meißels bei langsamer Umdrehung des Werkstückes erzeugt Windungen. Der Meißel muß nach dem zu schneidenden Gewindeprofil geschliffen sein.

Schneiden von Innengewinde (Bild 15.131) mit Innengewindemeißel; der Meißel wird bei einem Umlauf des Werkstückes um einen Gewindegang in Richtung v vorgeschoben. Meißel muß genau auf Mitte stehen. *Innengewindesträhler* (Bild 15.132) aus Rundstahl dient meist nur zum Vorschneiden und verkürzt die Arbeitszeit, da gleichzeitig mehrere Meißelspitzen im Eingriff sind.

Innenrundmeißel (Bild 15.133) auf *Meißelhalter* für Innengewinde ist aus einem Stück hergestellt. Wichtig ist Maß h zur Erhaltung des Freiwinkels α (Meißelschneide genau auf Mitte); vgl. Rundmeißel. – *Bohrstange* (Bild 15.134) mit Gewindemeißel verwendet man für durchgehende Bohrungen.

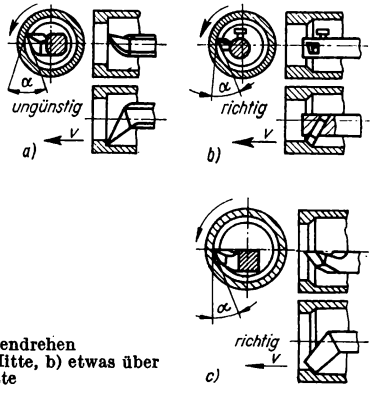


Bild 15.130. Innendrehen
a) Meißel über Mitte, b) etwas über Mitte, c) auf Mitte

Schneiden von Außengewinde. Richtige Stellung des Meißels (Bild 15.135a); Gewindemeißel genau im rechten Winkel zur Drehachse ergibt richtiges Profil. — *Falsche Stellung* (Bild 15.135b); Schrägstellung oder Verschiebung beim Drehen ergibt fehlerhaftes Gewinde.

Meißel auf Mitte (Bild 15.136a) erzeugt *richtiges Gewindeprofil* (s. Draufsicht); Meißeloberfläche genau waagerecht und Schneide genau auf Achsenmitte. Ausgeschnittenes Stück in der Ansicht zeigt in Draufsicht Gewindeflanken g an der Schnittfläche gewölbt (konvex) und verlängert. — *Meißel über Mitte* (Bild 15.136b): *falsches Gewindeprofil* (s. Draufsicht); Profilflanken g sind gehöhlt (konkav), Gewindetiefe verringert.

Arten des Gewindeschneidens: Zu- und Nachstellung des Meißels quer zur Drehachse (Bild 15.137a). – Zustellung quer zur Achse und seitliches Nachstellen bei jedem Span (Bild 15.137b).

Federnder Meißelhalter (Bild 15.138) ergibt auch bei zähem, filzigem Werkstoff saubere Gewindeflanken.

Hinterdrehter Gewindemeißel (Bild 15.139), Scheibenmeißel hat genau radiale Schneidfläche; Bolzen b steht genau auf Drehmitte.

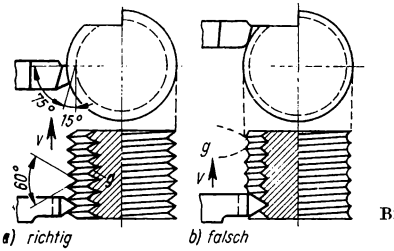


Bild 15.136

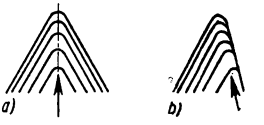


Bild 15.137

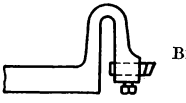


Bild 15.138

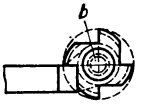


Bild 15.139

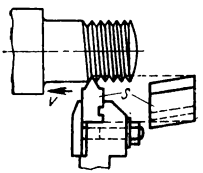


Bild 15.140

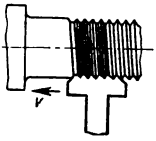
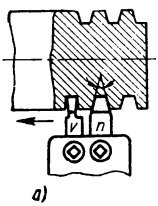


Bild 15.141

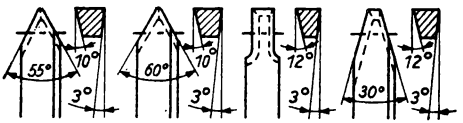
Meißelhalter mit Einsatzmeißel (Bild 15.140). Meißel s ist in der Höhe verstellbar und wird an der oberen Fläche nachgeschliffen; Einstellen auf Mitte und senkrecht zur Drehachse.

Gewindesträhler (Bild 15.141), mehrzahniger Meißel, dient zur Verringerung der Arbeitszeit. Die nach einer Seite hin etwas abgeschliffenen Zahnspitzen bewirken allmähliches Schneiden des Gewindes; bei Werkstücken mit Bund nicht zu verwenden, da die Gewindegänge nicht voll ausgeschnitten werden.

Schneiden von Trapezgewinde (Bild 15.142). Meißel v ist der *Vorschneider* (Form eines Einstechmeißels), n ist der *Nach- oder Fertigschneider* (schneidet nur Flanken); größere Schnittgeschwindigkeit und Spandicke als bei gewöhnlichem Meißel; zum Vorschneiden wird häufig auch ein Strähler verwandt. Ausrichten und genaues Einstellen der Meißelspitze wird mittels *Winkelschablone* vorgenommen. Anwendung beim Schneiden von *Innengewinde* (Bild 15.143 a), von *Außengewinde* (Bild 15.143 b). – Eine *Lehre zum Messen und Prüfen* der Drehmeißelwinkel ist in Bild 15.144 dargestellt.

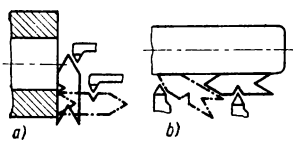


a)



b) c) d) e)

Bild 15.142. Schneiden von Gewinden
a) Gewindeschneidmeißel,
b) WHITWORTHgewinde,
c) SI-Gewinde, d) Flachgewinde,
e) Trapezgewinde



a) b)

Bild 15.143

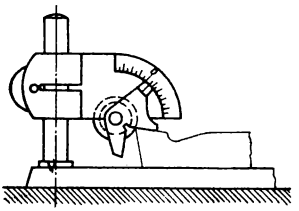


Bild 15.144

Abstechen (Bild 15.145). Der Vorschub des Meißels senkrecht zur Drehachse bewirkt eine Oberflächenform des Werkstückes entsprechend der Form der Meißelschneide (Einstellen genau auf Mitte Werkstück); Anwendung bei Serienarbeit, große Zeitersparnis! – *Formmeißel* (Bild 15.147), Drehen eines Knopfes. Man schweißt zuweilen kleine Plättchen aus Schnellarbeitsstahl auf normalen Baustahl mit niedrigem C-Gehalt auf, vgl. auch Hartmetalle. – *Radiusmeißel* (Bild 15.148) dienen zum Abrunden von Ecken und Kanten. Erzeugen von runden Eindrehungen u. dgl. *Formmeißel* (Bild 15.149), *Breitmesser* wird zum Bearbeiten von Handkurbeln gebraucht; Nachschleifen an der Spanfläche. *Formmeißelhalter* (Bild 15.150); Einsatzmeißel wird an der oberen Fläche *a*—*b* nachgeschliffen.

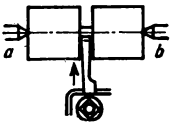


Bild 15.145

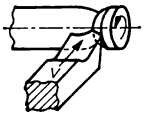


Bild 15.146

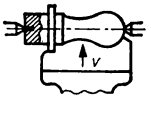


Bild 15.147

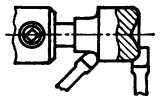


Bild 15.148

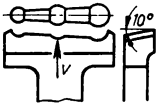


Bild 15.149

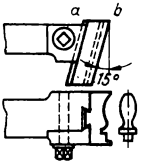


Bild 15.150

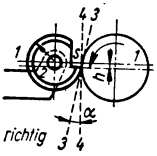


Bild 15.151

Rundmeißel werden hauptsächlich als Gewinde- und Formmeißel hergestellt; sie sind in einem Halter befestigt und auf einer Achse verstellbar.

Richtiges Einstellen und richtige Form des Meißels (Bild 15.151). Schneidfläche *s2*—*2* darf nicht mit der Achse des Rundmeißels *1*—*1* zusammenfallen; Schneidkante muß um das Stück *h* tiefer liegen als Meißelmitte und genau auf Werkstückmitte stehen. Die Tangenten *3*—*3* des Meißels und *4*—*4* des Werkstückes fallen nicht zusammen; man erhält den Freiwinkel α. Die Größe *h* richtet sich nach dem Durchmesser des Meißels und nach α; es ist $h = r \sin \alpha$. Tabelle 15.6 gibt einige Werte für die Größe *h*.

Tabelle 15.6: Werte für h in mm

Freiwinkel	Meißeldurchmesser D in mm					
α	50	60	70	80	90	100
3°	h = 1,3	1,6	1,8	2,1	2,4	2,6
5°	h = 2,2	2,6	3,1	3,5	3,9	4,4
8°	h = 3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7,0
12°	h = 5,2	6,2	7,3	8,3	9,4	10,4

Falsche Form des Meißels (Bild 15.152). Schneidfläche A_s fällt mit Meißelmitte zusammen; Keilwinkel beträgt 90°, Anstellwinkel 0°, Drehen ist ungünstig. – *Falsche Stellung* (Bild 15.153): I Meißel steht zu hoch und schief, *h* ist zu groß; II Meißel steht zu tief, *h* ist zu klein. In beiden Fällen wird falsches Profil erzeugt (α zu groß).

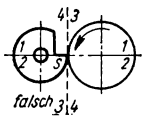


Bild 15.152

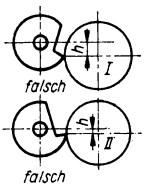


Bild 15.153

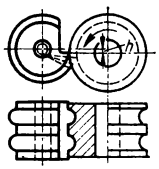


Bild 15.154

Rund-Formmeißel (Bild 15.154) hat richtige Form und Einstellung; Verwendung für Massenherstellung. – Das Nachschleifen erfolgt bei allen Rundmeißeln tangential dem gestrichelten kleinen Kreis, damit Profil nicht geändert wird.

Kegeldrehen

Seitliche Verstellung der Körnerspitze des Reitstockes (Bild 15.155) nach vorn oder hinten um Stück *e*, Werkstückachse *a—b* bildet mit der ursprünglichen Achse den Winkel α; s ist der Drehmeißel.

Schrägstellen des Längssupports (Bild 15.156) mittels Skale; genaueste Einstellung möglich. Diese Art wird am häufigsten angewandt, da genauer. Der Quersupport ist senkrecht zur Drehachse verstellbar, der Längssupport parallel zur Werkstückkante, beides durch Handkurbeln oder selbsttätig durch Räderübersetzung.

Kegelgewinde. Richtige Einstellung des Meißels (Bild 15.157a), senkrecht zur Drehachse; Steigung wird parallel zur Achse gemessen, Maß *s*, nicht s_1. – Ungünstige Einstellung zeigt Bild 15.157b, senkrecht zur Mantelfläche; seltener angewandt. *v* bedeutet Vorschub.



Bild 15.155. Kegeldrehen

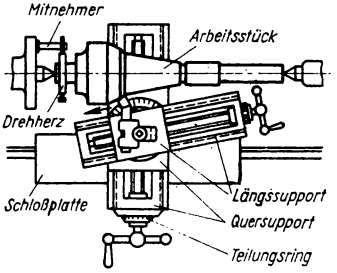


Bild 15.156. Schrägstellen des Längssupports

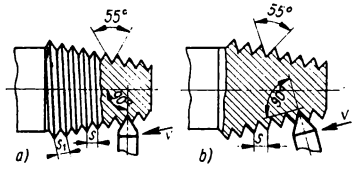


Bild 15.157. Kegelgewinde a) richtige, b) falsche Einstellung des Meißels

Ovaldrehen erfolgt auf besonderen Ovaldrehmaschinen, bei denen der Meißel entsprechend der Ovalform waagerecht (d. h. senkrecht zur Werkstückachse) seine Lage verändert. Bei der *Kopierdrehmaschine* drehen sich Werkstück und (stählernes) Modell gleichmäßig und gleichförmig. Der Drehmeißel wird durch einen ständig gegen das Modell drückenden Stift horizontal verschoben, so daß alle Vertiefungen und Querschnittsformen des Modells auf das Werkstück übertragen werden.

Hinterdrehen eines Formfräsers (Bild 15.158); dieser Zahnformfräser dient zum Fräsen von Zahnlücken. Der Formmeißel wird bei gleichzeitigem, langsamem Umlauf des Werkstücks f durch eine besondere Kopiervorrichtung nach Mitte Werkstück geleitet; er springt bei jeder Zahnlücke automatisch zurück und hinterdreht den folgenden Zahn auf gleiche Weise. Die schraffierte Fläche wird durch den Meißel weggedreht; dadurch entsteht die *Hinterdrehkurve*, vgl. hinterdrehte Fräser und deren Zweck. Das Hinterdrehen wird auf Hinterdrehmaschinen vorgenommen.

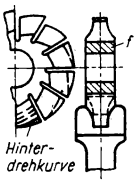


Bild 15.158

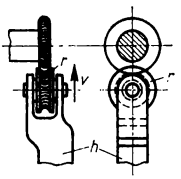


Bild 15.159

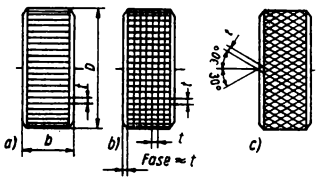


Bild 15.160. Rändel- und Kordelteilungen (nach TGL 29-5218)
a) Rändel, b) Kreuzrändel, c) Kordel

Rändern (Rändeln) oder Kordieren (Spanabnahme erfolgt nicht) (Bilder 15.159 und 15.160) wird bei Griffen, Köpfen kleiner Schrauben u. dgl. angewandt. Das Kordierrädchen r ist in dem Halter h drehbar (lose) angebracht und wird mit dem Halter gegen das Werkstück gedrückt, wodurch Rillen eingedrückt werden. – Beim *Kreuzkordieren* (»Fischhaut«) verwendet man einen Halter mit 2 Rädchen übereinander; das eine Rädchen hat links-, das andere rechtssteigende Zähne (Bild 15.160c).

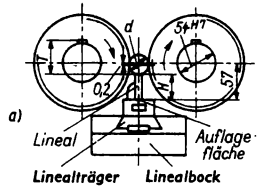




Bild 15.161. Gewinderollen a) Rollwalzen, b) eingerolltes Gewinde

Gewinderollen (Bild 15.161). Es erfolgt keine Spanabnahme. Das Gewinde wird in das Werkstück mittels hydraulisch betätigter *Rollwalzen oder -backen* eingerollt (aus bestem Chrom- bzw. Silizium-Chrom-Wolfram-Stahl). Bei Maschinen mit Rollbacken dreht sich nur das Werkstück, bei Maschinen mit Walzen bewegen sich Werkstück und Walzen. Das Gewinde wird mit hoher Genauigkeit hergestellt. Sogar Gewinde für die Spindeln von Schraublehren werden gewalzt, wobei der Steigungsverzug unter dem max. zulässigen Verzug von 0,004 mm liegt. Zu dem Vorteil der wirtschaftlichen Herstellung von Gewinden kommt noch die Erhöhung der Dauerfestigkeit von gerollten gegenüber geschnittenen Gewinden hinzu. Das Rollen von Gewinden erfolgt auf Spezialmaschinen. Gerollt werden Gewinde von M3 ··· M80.

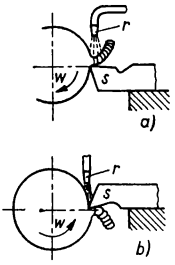


Bild 15.162. Kühlung der Drehwerkzeuge
Kühlmittel fließt
a) auf Span, b) auf Meißelspitze

Kühlung der Drehwerkzeuge zeigen die Bilder 15.162a und 15.162b; letztere Art ist seltener. Als Kühlmittel nimmt man i. allg. Bohrölemulsion, die durch Rohr r auf den Span bzw. auf die Meißelspitze fließt.

Verwendung von Meißelhaltern (Bild 15.163); Einsparung an teurem Werkstoff. a) Der Einsatzmeißel wird in der Öffnung des Halters durch eine Druckschraube festgehalten. b) Diese Bohrstange eignet sich für durchgehende Löcher. c) Die Höhenlage der Schneide des bogenförmigen Meißelstückes läßt sich in der Nut des Halters leicht verstellen. – Sondermeißelhalter für JAEGERmeißel (Bild 15.164), um α bzw. γ konstant zu halten, hat drehbaren Meißelsitz, der durch kräftige Verzahnung gegen Verdrehung gesichert ist. Er arbeitet in jeder Winkelstellung nach rechts und links oder als Bohrwerkzeug.

Hochleistungsmeißel. JAEGERmeißel (Bild 15.165) ist ein Vierkantwerkzeug zum Drehen, Hobeln und Ausbohren, dessen 4 der Länge nach durchlaufende Schneidkanten 4 rechten und 4 linken Schneiden entsprechen. Es bedeuten α Einstellwinkel, β Keilwinkel. Meißel s zeigt das Normalprofil; kleiner Vorschub, hohe Schnittgeschwindigkeit; gute Kühlung erforderlich. *Werkstoff:* erstklassiger Schnellarbeitsstahl

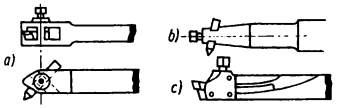


Bild 15.163

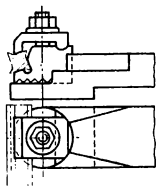


Bild 15.164

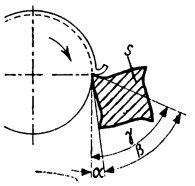


Bild 15.165

oder aufgesetzte Hartmetallschneiden (siehe unten!). Das Nachschleifen wird mit besonderen Schleifvorrichtungen vorgenommen. – Besonders kräftig gebaute Meißelhalter erfordern die *Hartmetallwerkzeuge*, mit denen die fünf- bis achtfache Schnittgeschwindigkeit der Schnellarbeitsstahl-Werkzeuge bei gleichem Spanquerschnitt erzielt wird (bei der Bearbeitung von Stahl und Nichteisen-Schwermetallen). Bild 15.166 zeigt einen Drehmeißel (rechter Seitenschlichtmeißel), Bild 15.167 das *Messer eines Fräskopfes* mit aufgelöteter Hartmetallplatte. Hierbei beträgt der Anstellwinkel etwa 6···8°, der Spanwinkel ≈9° für Gußeisen und 15° für SM-Stahl.

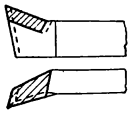


Bild 15.166

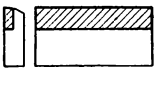


Bild 15.167

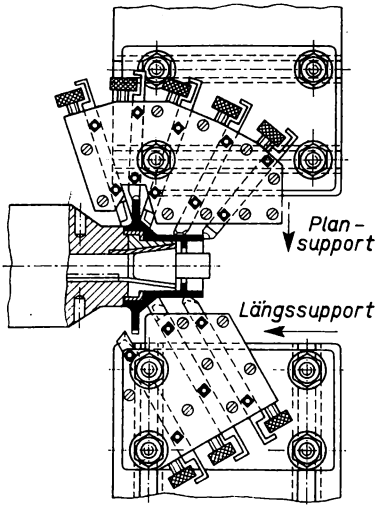


Bild 15.168. Herstellung einer Kfz-Radnabe auf der Vielmeißeldrehmaschine

Hartmetall arbeitet am besten bei leichter Rotglut der Schneiden, wobei es seine ursprüngliche Härte nicht verliert. Trotz hoher Mehrleistung gegenüber Schnellarbeitsstählen äußerst geringer Verschleiß und unbedeutender Mehrpreis.

Arbeitsweise der Vielmeißelbank (Bild 15.168). Gleichzeitige Anwendung mehrerer Meißel und gleichzeitiges Längs- und Plandrehen: große Leistungen, Zeitersparnis; einfache Bedienung. Anwendung bei Massenherstellung.

Kegel, Steigungen und Winkel (nach TGL 10600)

Kegeldrehen durch Teilverschiebung am Support

Bei Verhältnis $\frac{D-d}{l} < 0{,}6$ ergeben folgende vereinfachte Formeln ausreichende Genauigkeit:

1. *Tellerverschiebung in Graden:*

$$\alpha = \left(115{,}3° - 6° \frac{D-d}{l}\right) \frac{D-d}{4l}$$

$$= \left(115{,}3° - 6° \frac{140-80}{120}\right) \frac{140-80}{4 \cdot 120}$$

$$= (115{,}3° - 3°)\ 1/8 = 112{,}3° : 8 = 14{,}0375°$$

$$= 14° + \frac{37{,}5 \cdot 60}{1000}\text{Min.} = 14°\ 2'15''.$$

2. *Tellerverschiebung in* mm

$$a = \frac{\text{Tellerdmr. } T \times \text{Steigung } (D-d)}{4{,}05 \times \text{Kegellänge}}$$

$$= \frac{T\ (D-d)}{4{,}05 \cdot l} = \frac{170\text{ mm } (140\text{ mm} - 80\text{ mm})}{4{,}05 \cdot 120\text{ mm}} = 21\text{ mm}.$$

Bild 15.169 gibt die Tellerverschiebung wieder, Bild 15.170 Verjüngung, Neigung und Winkel.

$$1.\ \text{Verjüngung} = \frac{a-b}{l}$$

$$= \frac{40\text{ mm} - 30\text{ mm}}{70\text{ mm}} = \frac{10\text{ mm}}{70\text{ mm}} = 1:7.$$

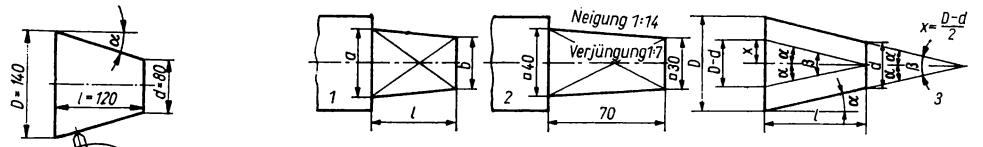


Bild 15.170. Verjüngung, Neigung, Winkel

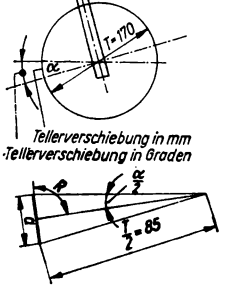


Bild 15.169.
Tellerverschiebung

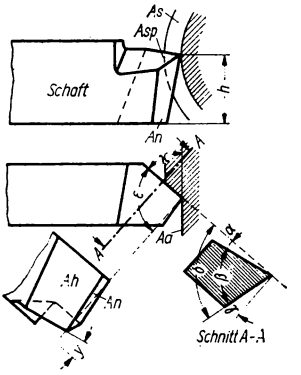


Bild 15.171. Winkel und Flächen an Drehmeißeln
α Frei-, β Keil-, γ Span-, δ Schnitt-, ε Spitzen-, $\varkappa$ Einstell-, λ Neigungswinkel; Asp Span-, As Schnitt-, Aa Arbeitsfläche, Ah Freifläche der Hauptschneide, An Freifläche der Nebenschneide

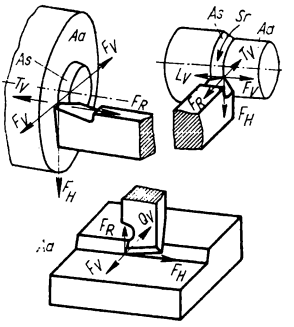


Bild 15.172. Kräfte an Drehmeißeln
F_H Hauptschnittkraft, L_V Längsvorschub, P_V Planvorschub, Q_V Quervorschub, F_R Rückkraft, T_V Tiefenvorschub, F_V Vorschubkraft, Aa Arbeitsfläche, As Schnittfläche, Sr Schnittrichtung

2. Neigung $= \dfrac{a-b}{2} : l$

$$= \frac{40\text{ mm} - 30\text{ mm}}{2} : 70\text{ mm} =$$

$$= \frac{5\text{ mm}}{70\text{ mm}} = 1:14.$$

Es gilt

$$\frac{D-d}{2} : l = \tan\alpha;$$

α Einstellwinkel der Bank

$\beta = 2\alpha =$ Kegelwinkel.

Beispiel:

$D = 30$ mm, $d = 20$ mm und $l = 100$ mm

$$\tan\alpha = \frac{D-d}{2} : l$$

$$= \frac{30\text{ mm} - 20\text{ mm}}{2} : 100\text{ mm} = 5\text{ mm} : 100\text{ mm} = 0{,}05;$$

$\alpha = 2°52'$ (n. Tafel 3).

Kegelwinkel $\beta = 2\alpha = 2 \cdot (2°52') = 5°44'$.

Tabelle 15.7 (s. S. 340) gibt einen Überblick über Kegel, Steigungen und Winkel.

Die gebräuchlichsten Drehmeißelformen zeigt Tabelle 15.8.

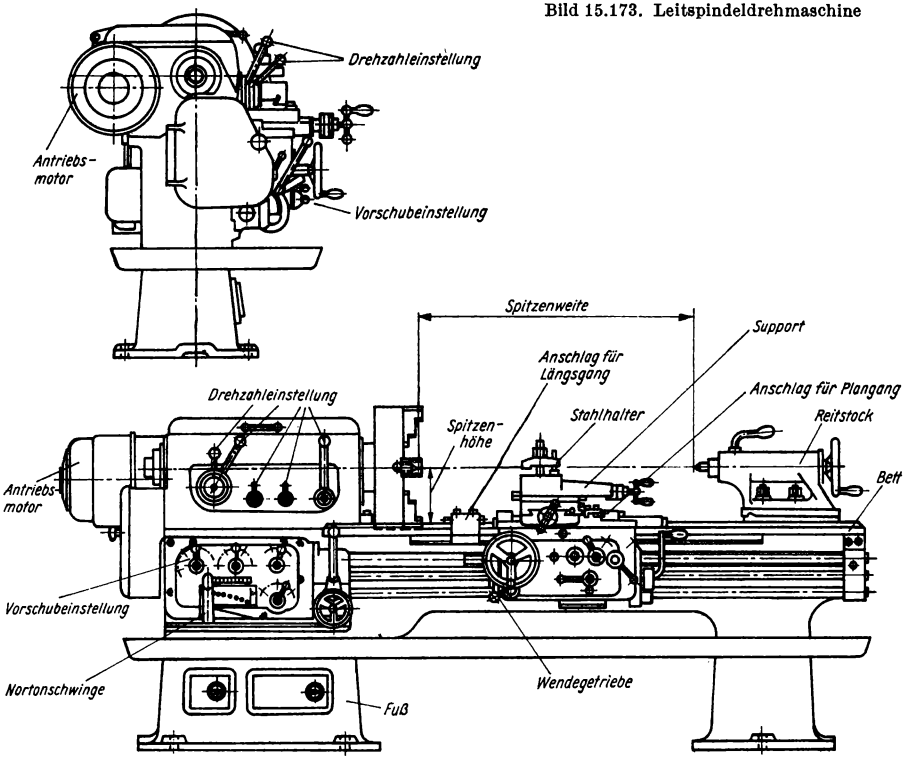
Bild 15.171 zeigt Winkel und Flächen, Bild 15.172 Kräfte an Drehmeißeln.

Auf der am meisten gebrauchten *Leitspindeldrehmaschine* (Bild 15.173), lassen sich fast sämtliche Dreharbeiten ausführen: *Langdrehen, Plandrehen, Kegeldrehen, Formdrehen, Gewindeschneiden, Bohren.* Der Antrieb erfolgt üblicherweise durch Einzelantrieb (Elektromotor). Bei der abgebildeten Drehmaschine (ältere Ausführung, gewählt als Prinzipdarstellung) erfolgt der Antrieb durch einen Elektromotor, der mit der Antriebswelle direkt gekuppelt ist. Unterhalb des Motors kann nach Öffnen einer Tür das *Wechselrad-Scherenfeld* bedient werden. Der *Drehzahlbereich* (technische Angaben beziehen sich nur auf die dargestellte Ausführung) der Hauptspindel umfaßt 22···1000 Umdr./min in 12 verschiedenen Drehzahlen, wobei die Räder nur für die jeweils eingestellte Drehzahl über eine doppelte Lamellenkupplung im Eingriff sind. Nach dem Ausschalten der Maschine tritt automatisch eine *Bandbremse* in Tätigkeit, die die Arbeitsspindel sofort stillsetzt. Die Drehmaschine gestattet längs 21 *Vorschübe* von 0,11 bis zu 1,18 mm und plan ebenfalls 21 Vorschübe von 0,04 bis zu 0,4 mm. Sowohl längs als auch plan lassen sich noch 21 *Feinvorschübe* einstellen von 0,06···0,59 bzw. 0,02 bis 0,2 mm.

Stufenscheiben mit vierfachem Rädervorgelege (Bild 15.174) finden Verwendung bei schweren Schnelldrehmaschinen. Neben Maschinenwelle m sind zwei exzentrisch gelagerte Vorgelegewellen a und b angeordnet, über die Laufbuchsen l_1 und l_2 geschoben sind. Auf Buchse l_1 der Welle a sind Zahnräder z_3 und Z_4 fest, z_2 und Z_1 (miteinander verbunden) lose angebracht, die jedoch durch Kupplung k fest mit Buchse l_1 verbunden werden können. Auf Buchse l_2 sind z_4 und Z_2 fest. Es werden folgende Umlaufzahlen erreicht: 1. alle Vorgelege ausgerückt: 4 Umlaufzahlen; 2. Vorgelege auf a eingerückt, k eingerückt: 4 weitere Umlaufzahlen; 3. beide Vorgelege eingerückt, k ausgerückt: nochmals 4 weitere Umlaufzahlen. Im ganzen werden 12 verschiedene Geschwindigkeiten erzielt.

Nortongetriebe (Bild 15.175), Stufenräder- oder Einscheibenantrieb, d. h., das Getriebe hat nur eine Riemenscheibe c, die immer mit gleicher Geschwindigkeit läuft. In dem Bild ist ein Teil der vorderen Kastenwand ausgebrochen gezeichnet. Antriebswelle a treibt Maschinenwelle m, auf der Zahnräder Z_1 . . . Z_8 festsitzen. Zwischenrad z_2, das durch ein auf Welle a gekeiltes Rad z_1 angetrieben wird, kann durch Hebel h mit einem beliebigen Zahnrad (Z_1 . . . Z_8) in Eingriff gebracht werden. Zwischenrad z_2 ist gemeinsam mit z_1 auf a

Bild 15.173. Leitspindeldrehmaschine



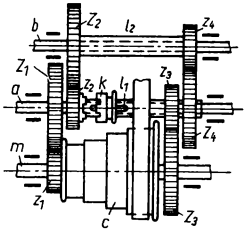
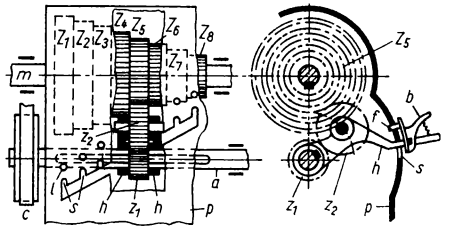


Bild 15.174

Bild 15.175



verschiebbar. Erreichung von 8 verschiedenen Geschwindigkeiten, die durch weitere Zahnrädervorgelege vervielfacht werden können. Platte p hat Einkerbungen s und Löcher l zur Sicherung des eingerückten Hebels h durch Stift f am Sperrhebel b.

Revolverköpfe (Bild 15.176), rund oder sechskantig, werden auf dem Support einer Revolverdrehmaschine befestigt und dienen zur Aufnahme von Dreh-, Fräs- oder Bohrwerkzeugen.

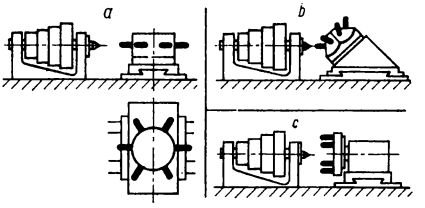


Bild 15.176. Revolverköpfe

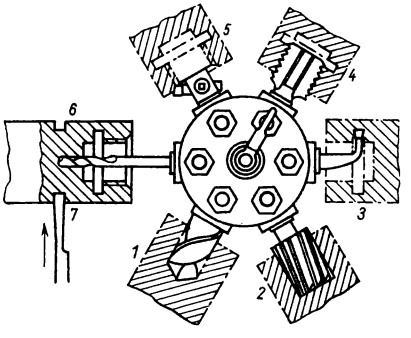


Bild 15.177. Verwendung des Revolverkopfes

Sie lassen sich auch auf einfachen Drehmaschinen anbringen. *Ausführung:* Revolverkopf ist a um eine senkrechte, b um eine geneigte, c um eine waagerechte Achse drehbar. *Anwendung* bei Massenherstellung gleicher Werkstücke aus Stangenmaterial; große Zeiteinsparung!
Verwendung des Revolverkopfes (Bild 15.177), Bearbeitung eines Werkstückes durch Bohr-, Fräs- und Drehwerkzeug.

Der drehbare Revolverkopf hat 6 Öffnungen zur Aufnahme der Werkzeuge, die in bestimmter Reihenfolge eingespannt sind. *Arbeitsfolge:* 1. Ausbohren der Stange; 2. Ausfräsen, genau auf Maß mittels Schaft- oder Stirnfräsers; 3. Hinterdrehung durch gebogenen Einstechmeißel; 4. Schneiden von Gewinde durch Gewindebohrer; 5. Drehen der Schräge durch Einsatzmeißel; 6. Bohren des Mittelloches durch Drallbohrer;

Tabelle 15.8: Gebräuchliche Drehmeißelformen

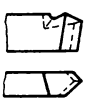
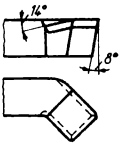
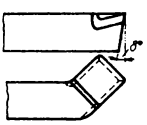
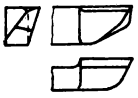
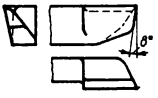
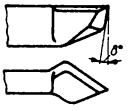
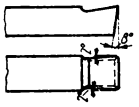
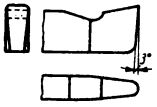
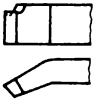
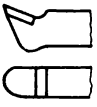
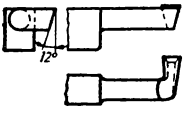
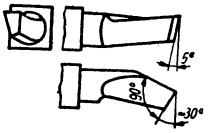
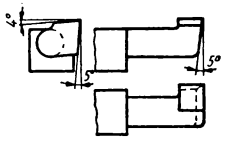
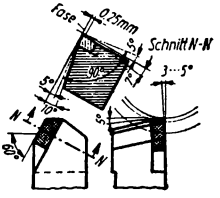
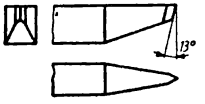
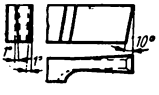
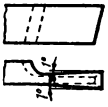
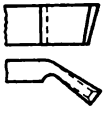
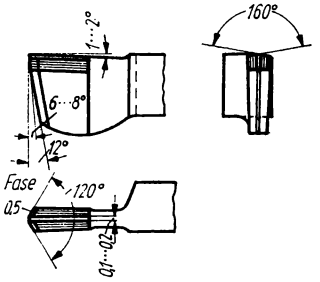
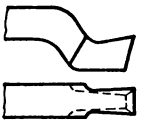
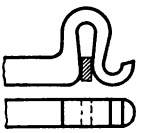
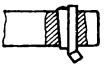
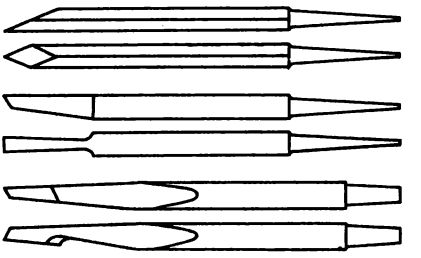
Gerader Schruppmeißel		Gebogener Schruppmeißel	
rechter	linker	rechter	linker
			
Seitenmeißel			Kopfmeißel (Breitschlichtmeißel)
rechter	linker	gebogener rechter	
			
Gerader Schlichtmeißel	Schruppmeißel für Al-Bearbeitung für kleine	mit Hartmetallschneide für höhere Schnittgeschwindigkeiten	Hakenmeißel
			
Innenschruppmeißel	Innenschlichtmeißel	Schruppmeißel nach KOLESSOW mit RYSHKOW-Fase	Messingmeißel
			
Gerader Stechmeißel		Gebogener Stechmeißel	
linker	rechter	linker	rechter
			

Tabelle 15.8 (Fortsetzung)

Stechmeißel mit Fase (nach KUSONKIN-RYSHKOW)	Gekröpfter Stechmeißel	Schlichtmeißel (Gänsehals)
		

Bohrstange		Handdrehmeißel
mit Schraube	mit Keil	
		

7. Abstechen mittels Einstechmeißels am Quersupport. Es sind also 7 Arbeitsgänge nötig.

Arbeitsbeispiel der automatischen Trommelrevolverdrehmaschine DRT 32/40a des VEB Werkzeugmaschinenkombinat »7. Oktober« Berlin (Bilder 15.178 bis 15.180). Das Werkstück ist ein Kegelbolzen aus St 60, die Operativzeit beträgt 3,5 min.

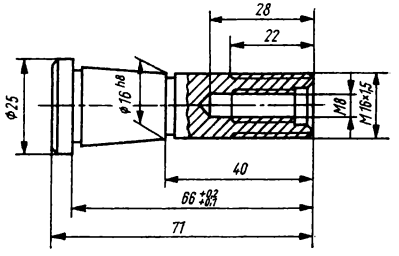


Bild 15.178. Herzustellende Kegelbolzen

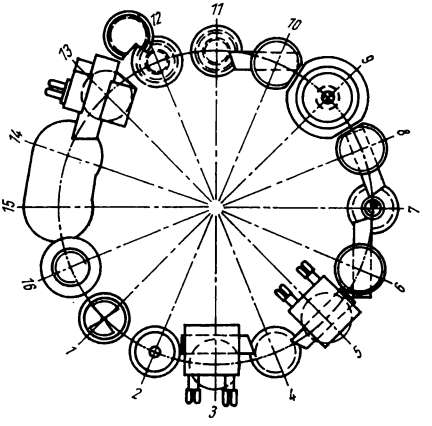


Bild 15.179. Anordnung der Werkzeuge im Revolverkopf

Wechselräderberechnung zum Gewindeschneiden[1])

Die Ganghöhe der Drehmaschinenleitspindel ist gewöhnlich 1/4", 1/2", 2/3" oder 3/4". Die Wechselräder bei älteren Maschinen haben 18, 20, 22, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 52, 58, 64, 72, 80, 90, 105, 120 und 132 Zähne. Die Wechselräder neuerer Maschinen haben 20, 25, 30, 35 usw. bis 150 Zähne und 21 oder 127 Zähne zum Schneiden von mm-Gewinde, häufig auch 157 Zähne zum Schneiden von Modulgewinde.

Die Gewinde werden mit Zwischenschaltung von 2 oder 4 Wechselrädern Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 zwischen Leitspindel und Drehmaschinenspindel geschnitten (s. Bild 15.181).

Das Gesamtübersetzungsverhältnis $\frac{Z_1}{Z_2}$ bzw.

$\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4}$ wird häufig $\frac{Z_D}{Z_L}\left(\frac{Z\text{ Drehmaschine}}{Z\text{ Leitspindel}}\right)$ geschrieben.

[1]) Siehe auch Wechselräderberechnung mit Faktorentabelle (Tabelle 15.9).

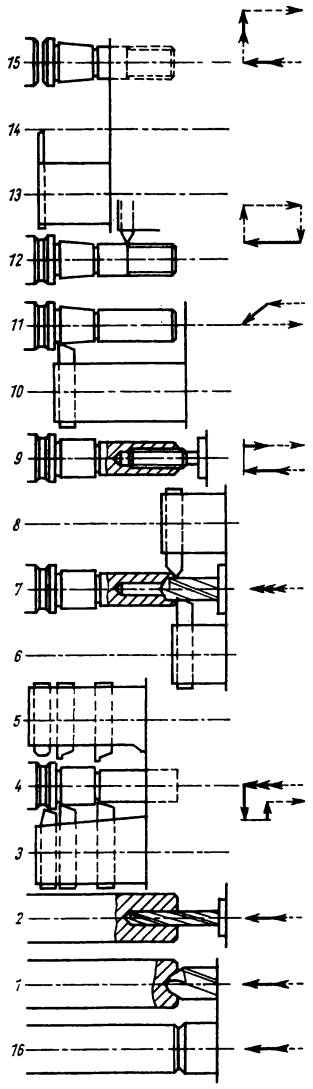


Bild 15.180. Automatischer Ablauf der Schalt- und Arbeitsbewegungen

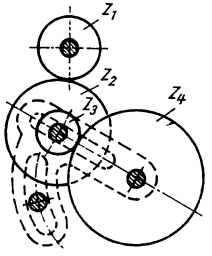


Bild 15.181. Wechselräder

A. Vorhandene Leitspindel mit Zollgewinde
Gesucht Zollgewinde:

I. $\frac{Z_1}{Z_2}$ oder $\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} =$

$$= \frac{\text{Gänge/Zoll auf der Leitspindel}}{\text{geteilt durch Gänge/Zoll des Gewindes}}$$

Gesucht mm-*Gewinde bei vorhandenem Rad mit 21 Zähnen:*

II. $\frac{Z_1}{Z_2} =$

$$= \frac{\text{Gewindesteigung in mm} \times \text{Leitspindelgänge/Zoll} \times 6}{\text{geteilt durch } 1600}$$

Gesucht mm-*Gewinde bei verschiedenem Rad mit 127 Zähnen:*

III. $\frac{Z_1}{Z_2} =$

$$= \frac{\text{Gewindesteigung in mm} \times \text{Leitspindelgänge/Zoll} \times 5}{\text{geteilt durch } 127}$$

Gesucht Modulgewinde bei vorhand. Rädern mit 127 und 157 Zähnen:

IV. $\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\text{Modul} \times \text{Leitspindelgänge/Zoll} \times 157}{\text{geteilt durch } 1270}$

B. Vorhandene Leitspindel mit mm-*Gewinde*
Gesucht mm-*Gewinde:*

V. $\frac{Z_1}{Z_2}$ oder $\frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} =$

$$= \frac{\text{Gewindesteigung in mm}}{\text{geteilt durch Leitspindelsteigung in mm}}$$

Gesucht Zollgewinde bei vorhandenem Rad mit 127 Zähnen:

VI. $\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{127}{\text{Gewindegänge/Zoll} \times \text{Leitspindelsteig. in mm} \times 5}$

Gesucht Modulgewinde bei vorhandenem Rad mit 157 Zähnen:

VII. $\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\text{Modul} \times 157}{\text{Leitspindelganghöhe in mm} \times 50}$

1. Beispiel: Leitspindel 2 Gang/1″; verlangtes Gewinde 1″ mit 8 Gang

(I) $\frac{Z_D}{Z_L} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{2}{8} = \frac{1}{4} = \frac{20\text{ Zähne}}{80\text{ Zähne}}$ oder $\frac{25\text{ Zähne}}{100\text{ Zähne}}$

2. Beispiel: Leitspindel $1^1/_2$ Gang/1″; verlangtes Gewinde $^1/_2$″ mit 12 Gang/1″ = $^1/_{12}$″ Ganghöhe

(I) $\frac{Z_D}{Z_L} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{^3/_2}{12} = \frac{3}{24} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} = \frac{30}{60} \cdot \frac{20\text{ Zähne}}{80\text{ Zähne}}$

3. Beispiel: Gewindesteigung = 8 mm, Leitspindel 2 Gang/1″

(III) $\frac{Z_D}{Z_L} = \frac{8 \cdot 2 \cdot 5}{127} = \frac{80}{127} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{80\text{ Zähne}}{127\text{ Zähne}}$

4. Beispiel: Gesuchtes Schneckengewinde mit 4π Steigung (Modul 4); Leitspindel 3 Gang/1″.

(VI) $\frac{Z_D}{Z_L} = \frac{4 \cdot 3 \cdot 157}{1270} = \frac{4 \cdot 3}{10} \cdot \frac{157}{127} = \frac{12}{10} \cdot \frac{157}{127}$

$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{120\text{ Zähne}}{100\text{ Zähne}}$; $\frac{Z_3}{Z_4} = \frac{157\text{ Zähne}}{127\text{ Zähne}}$

Bei Leitspindel mit 8-mm-Gewinde:

(VII) $\frac{Z_D}{Z_L} = \frac{4 \cdot 157}{8 \cdot 50} = \frac{40}{80} \cdot \frac{157}{50}$

Arbeiten mit einem Universal-Teilkopf

Berechnung für das Teilen

Vorhandene Lochkreise der Teilscheiben: 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 27, 29, 31, 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49
T verlangte Teilzahl
V Übersetzungsverhältnis zwischen Teilkopfspindel und Zeigerkurbel
X Umdrehungszahl der Zeigerkurbel. Es ist stets *X* $V:T$.

Tabelle 15.9: Faktoren zur Wechselräderberechnung

Zahl	Faktoren	Zahl	Faktoren	Zahl	Faktoren	Zahl	Faktoren	Zahl	Faktoren	Zahl	Faktoren	Zahl	Faktoren	Zahl	Faktoren
5	2·2,5	*24*	2·12	*36,75*	3,5·10,5	*52,5*	3,5·15	*72,5*	5·14,5	*99*	9·11	*137,75*	9,5·14,5
6	2·3	*24*	3·8	*37,5*	5·7,5	*54*	4,5·12	*73,5*	7·10,5	*99,75*	9,5·10,5	*138*	11,5·12
7	2·3,5	*24*	4·6	*37,5*	2,5·15	*54*	6·9	*74,25*	5,5·13,5	*100*	8·12,5	*140*	10·14
8	2·4	*24,5*	3,5·7	*37,5*	3·12,5	*54*	4·13,5	*74,75*	6,5·11,5	*101,25*	7,5·13,5	*141,75*	10,5·13,5
8,75	2,5·3,5	*24,75*	4,5·5,5	*38*	4·9,5	*55*	5·11	*75*	7,5·10	*101,5*	7·14,5	*142,5*	9,5·15
9	2·4,5	*25*	2,5·10	*38,25*	4,5·8,5	*55*	5,5·10	*75*	5·15	*102*	8,5·12	*143*	11·13
10	2·5	*25*	2·12,5	*38,5*	3,5·11	*55,25*	6,5·8,5	*75*	6·12,5	*103,5*	9·11,5	*143,75*	11,5·12,5
10	2,5·4	*25,5*	3·8,5	*38,5*	5,5·7	*56*	7·8	*76*	8·9,5	*104*	8·13	*145*	10·14,5
10,5	3·3,5	*26*	4·6,5	*39*	6·6,5	*56*	4·14	*76,5*	8,5·9	*104,5*	9,5·11	*147*	10,5·14
11	2·5,5	*26*	2·13	*39*	3·13	*56,25*	4,5·12,5	*77*	7·11	*105*	7,5·14	*148,5*	11·13,5
11,25	2,5·4,5	*26,25*	2,5·10,5	*40*	4·10	*57*	6·9,5	*77*	5,5·14	*105*	7·15	*149,5*	11,5·13
12	2·6	*26,25*	3,5·7,5	*40*	5·8	*57,5*	5·11,5	*78*	6,5·12	*105*	10·10,5	*150*	12·12,5
12	3·4	*27*	3·9	*40,25*	3,5·11,5	*57,75*	5,5·10,5	*78*	6·13	*106,25*	8,5·12,5	*150*	10·15
12,5	2,5·5	*27*	4,5·6	*40,5*	4,5·9	*58*	4·14,5	*78,75*	7,5·10,5	*108*	8·13,5	*152,25*	10,5·14,5
13	2·6,5	*27*	2·13,5	*40,5*	3·13,5	*58,5*	6,5·9	*79,75*	5,5·14,5	*108*	9·12	*154*	11·14
13,5	3·4,5	*27,5*	2,5·11	*41,25*	5,5·7,5	*58,5*	4,5·13	*80*	8·10	*108,75*	7,5·14,5	*155,25*	11,5·13,5
13,75	2,5·5,5	*27,5*	5·5,5	*42*	3,5·12	*59,5*	7·8,5	*80,5*	7·11,5	*109,25*	9,5·11,5	*156*	12·13
14	2·7	*28*	3,5·8	*42*	4·10,5	*60*	5·12	*80,75*	8,5·9,5	*110*	10·11	*157,5*	10,5·15
14	3,5·4	*28*	4·7	*42*	6·7	*60*	6·10	*81*	6·13,5	*110,5*	8,5·13	*159,5*	11·14,5
15	2·7,5	*28*	2·14	*42*	3·14	*60*	7,5·8	*81,25*	6,5·12,5	*112*	8·14	*161*	11,5·14
15	2,5·6	*28,5*	3·9,5	*42,5*	5·8,5	*60*	4·15	*82,5*	7,5·11	*112,5*	7,5·15	*162*	12·13,5
15,75	3,5·4,5	*28,75*	2,5·11,5	*42,75*	4,5·9,5	*60,5*	5,5·11	*82,5*	5,5·15	*112,5*	9·12,5	*162,5*	12,5·13
16	2·8	*29*	2·14,5	*43,5*	3·14,5	*60,75*	4,5·13,5	*84*	7·12	*114*	9,5·12	*165*	11·15
16,25	2,5·6,5	*29,25*	4,5·6,5	*43,75*	3,5·12,5	*61,75*	6,5·9,5	*84*	8·10,5	*114,75*	8,5·13,5	*166,75*	11,5·14,5
16,5	3·5,5	*29,75*	3,5·8,5	*44*	4·11	*62,5*	5·12,5	*84*	6·14	*115*	10·11,5	*168*	12·14
17	2·8,5	*30*	2,5·12	*44*	5,5·8	*63*	6·10,5	*84,5*	6,5·13	*115,5*	10,5·11	*168,75*	12,5·13,5
17,5	2,5·7	*30*	3·10	*45*	4,5·10	*63*	7·9	*85*	8,5·10	*116*	8·14,5	*172,5*	11,5·15
17,5	3,5·5	*30*	5·6	*45*	5·9	*63*	4,5·14	*85,5*	9·9,5	*117*	9·13	*174*	12·14,5
18	2·9	*30*	4·7,5	*45*	6·7,5	*63,25*	5,5·11,5	*86,25*	7,5·11,5	*118,75*	9,5·12,5	*175*	12,5·14
18	3·6	*30*	2·15	*45*	3·15	*63,75*	7,5·8,5	*87*	6·14,5	*119*	8,5·14	*175,5*	13·13,5
18	4·4,5	*31,25*	2,5·12,5	*45,5*	6,5·7	*65*	6,5·10	*87,5*	7·12,5	*120*	10·12	*180*	12·15
18,75	2,5·7,5	*31,5*	3·10,5	*45,5*	3,5·13	*65*	5·13	*88*	8·11	*120,75*	10,5·11,5	*181,25*	12,5·14,5
19	2·9,5	*31,5*	3,5·9	*46*	4·11,5	*65,25*	4,5·14,5	*89,25*	8,5·10,5	*121,5*	9·13,5	*182*	13·14
19,25	3,5·5,5	*31,5*	4,5·7	*46,75*	5,5·8,5	*66*	5,5·12	*90*	7,5·12	*123,25*	8,5·14,5	*187,5*	12,5·15
19,5	3·6,5	*32*	4·8	*47,25*	4,5·10,5	*66*	6·11	*90*	6·15	*123,5*	9,5·13	*188,5*	13·14,5
20	2·10	*32,5*	5·6,5	*47,5*	5·9,5	*66,5*	7·9,5	*90*	9·10	*125*	10·12,5	*189*	13,5·14
20	2,5·8	*32,5*	2,5·13	*48*	4·12	*67,5*	7,5·9	*91*	6,5·14	*126*	9·14	*195*	13·15
20	4·5	*33*	3·11	*48*	6·8	*67,5*	5·13,5	*91*	7·13	*126*	10,5·12	*195,75*	13,5·14,5
21	2·10,5	*33*	5,5·6	*48,75*	6,5·7,5	*67,5*	4,5·15	*92*	8·11,5	*126,5*	11·11,5	*202,5*	13,5·15
21	3·7	*33,25*	3,5·9,5	*49*	3,5·14	*68*	8·8,5	*93,5*	8,5·11	*127,5*	8,5·15	*203*	14·14,5
21	3,5·6	*33,75*	4,5·7,5	*49,5*	4,5·11	*68,25*	6,5·10,5	*93,75*	7,5·12,5	*128,25*	9,5·13,5	*210*	14·15
21,25	2,5·8,5	*34*	4·8,5	*49,5*	5,5·9	*68,75*	5,5·12,5	*94,25*	6,5·14,5	*130*	10·13	*217*	14,5·15
22	2·11	*34,5*	3·11,5	*50*	5·10	*69*	6·11,5	*94,5*	7·13,5	*130,5*	9·14,5	*225*	15·15
22	4·5,5	*35*	3,5·10	*50*	4·12,5	*70*	7·10	*94,5*	9·10,5	*131,25*	10,5·12,5	*225*	9·25
22,5	2,5·9	*35*	5·7	*51*	6·8,5	*70*	5·14	*95*	9,5·10	*132*	11·12	*230*	11,5·20
22,5	3,0·7,5	*35*	2,5·14	*51,75*	4,5·11,5	*71,25*	7,5·9,5	*96*	8·12	*133*	9,5·14	*240*	12·20
22,5	4,5·5	*36*	3·12	*52*	6,5·8	*71,5*	6,5·11	*97,5*	6,5·15	*135*	10·13,5	*240*	8·30
22,75	3,5·6,5	*36*	4·9	*52*	4·13	*71,5*	5,5·13	*97,5*	7,5·13	*135*	9·15	*240*	6·40
23	2·11,5	*36*	4,5·8	*52,25*	5,5·9,5	*72*	6·12	*97,75*	8,5·11,5	*136,5*	10,5·13	*250*	10·25
23,75	2,5·9,5	*36,25*	2,5·14,5	*52,5*	5·10,5	*72*	8·9	*98*	7·14	*137,5*	11·12,5	*250*	12,5·20

Erklärung: Da $6^1/_2$ Zoll engl. fast genau 165 mm sind, kann man bei einer Leitspindel mit Zollgewinde verschiedene Ganghöhen ohne 127er Rad schneiden. Man erhält für die Übersetzung die Formel (mm-Gewinde gesucht):

$$\frac{6{,}5 \times \text{Gangzahl der Leitspindel} \times \text{Gewindeganghöhe des Werkstücks in mm}}{165}$$

Aufgabe: Mit Leitspindel 4 Gang/1" soll Gewinde von 3 mm Ganghöhe geschnitten werden.

Lösung: $\frac{6{,}5 \cdot 4 \cdot 3}{165} = \frac{78}{165} = \frac{6{,}5 \cdot 12}{11 \cdot 15} = \frac{65 \cdot 120}{110 \cdot 150}$ oder $\frac{65 \cdot 40}{110 \cdot 50}$ Zähne.

Hat die Leitspindel mm-Gewinde und soll Zollgewinde geschnitten werden, so wird die Formel umgestellt:

$$\frac{165}{\text{Gewindeganghöhe der Leitspindel in mm} \times \text{Gewindegangzahl des Werkstücks} \times 6{,}5}$$

1. Beispiel: Gegeben $V = \frac{40}{1}$; $T = 10$; $X = V:T = \frac{40}{1} : 10$ $= 40:10 = 4$ Umdrehungen der Zeigerkurbel

2. Beispiel: Gegeben $V = \frac{40}{1}$; $T = 22$; $X = V:T = \frac{40}{1} : 22 =$ $40:22 = 1^{18}/_{22}$. Lochkreis 22 ist nicht vorhanden; Bruch $^{18}/_{22}$ muß mit 1,5 erweitert werden, um auf Lochkreis 33 zu kommen.

$1 + \frac{18 \cdot 1{,}5}{22 \cdot 1{,}5} = 1^{27}/_{33}$ Umdrehungen.

$^{27}/_{33}$ bedeutet Drehung um 27 Löcher des 33er Lochkreises.

Berechnung für Drallarbeiten
Vorhandene Wechselräder: 24, 28, 30, 32, 36, 37, 40, 48 (2×), 49, 56, 60, 64, 66, 68, 72, 76, 78, 80, 84, 86, 90, 96, 100, 112 Zähne.

D Durchmesser des Werkstückes
U Umfang $D\pi$ des Werkstückes
α Einstellwinkel
$\tan \alpha$ Tangente des Einstellwinkels
S_P Drallsteigung (Höhe eines Ganges)
S_T Steigung der Tischspindel
S_L Drallänge
V Übersetzungsverhältnis zwischen Schneckenwelle und Teilkopfspindel
X Übersetzungsverhältnis zwischen Tischspindel und Teilkopfbolzen
Z_1 Rad an der Tischspindel
Z_2 Rad am Scherenbolzen
Z_3 Rad am Scherenbolzen
Z_4 Rad am Teilkopfbolzen

Aufgabe: Es soll eine Schraubenlinie gefräst werden. $V = 1:40$, $S_T = 6$ mm, $D = 95$ mm, $S_P = 1800$ mm. Wie groß sind α und X?

Lösung: $U = D\pi = 95\pi = 298{,}5$ mm.
$\tan \alpha = U:S_P = 298{,}5:1800$; $\tan \alpha = 0{,}1658$; $\alpha = 9°25'$.

$$X = \frac{S_T}{S_P\, V} = \frac{6}{1800\,(1:40)} = \frac{6}{1800} : \frac{1}{40} = \frac{6 \cdot 40}{1800}$$

$$X = \frac{6 \cdot 40}{20 \cdot 90} = \frac{24}{80} \cdot \frac{40}{90};\ \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{24}{80};\ \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{40}{90}\ \text{Zähne.}$$

Aus Bild 15.182 sind noch folgende Abhängigkeiten ersichtlich:
$\sin \alpha = U:S_L$; $S_P = U:\tan \alpha$; $S_L = U:\sin \alpha$.

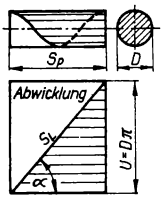


Bild 15.182

Gewindeschneiden von Hand

Die gebräuchlichsten Werkzeuge zum Schneiden von Muttergewinde *(Innengewinde)* sind Gewindebohrer. Genaue und billigere Herstellung von Gewinde in kleineren Löchern. Größere Gewinde durch Gewindemeißel.

Gewindebohrer (Bild 15.183), Grundform Schraubenbolzen. Verwendet wird meist ein Satz von 3 Stück: *Vorschneider* (a), im ganzen kegelig; *Mittelschneider* (b), Spitze kegelig; *Fertigschneider* (c), zylindrisch mit vollen Zähnen.

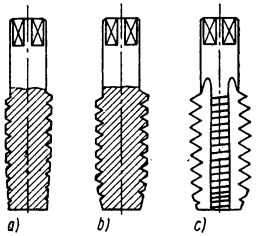


Bild 15.183

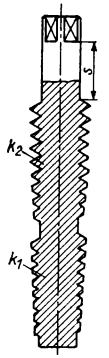


Bild 15.184

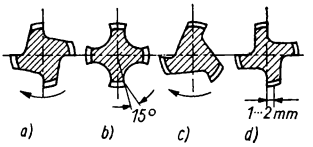


Bild 15.185

Handmutterbohrer (Bild 15.184) für durchgehende Bohrungen erzeugt durch einmaliges Schneiden sauberes Gewinde. Er hat 2 (bis 4) Gewindekegel k_1 und k_2. Schaft s ist $1^1/_2$mal so lang, wie Mutter hoch bzw. Bohrung tief ist.

Querschnitte von Gewindebohrern (Bild 15.185) mit verschiedenen Nutenformen. Zur Bildung von Schneidkanten werden in den Dorn 3 oder 4 Nuten (Furchen) eingefräst, die den Schmiermitteln freien Zutritt, den Spänen freien Austritt gewähren. Bohrer d hat Schneidfase 1···2 mm und ist hinterdreht; bessere Schneidwirkung, Vermeidung von Reibung.

Maschinenmutterbohrer (Bild 15.186). Schaft ist so lang, daß drei und mehr Muttern hintereinander geschnitten werden können.

Maschinenbackenbohrer (Bild 15.187) hat Führungszapfen z und eine große Anzahl Drallnuten.

Werkzeug zum Herausziehen abgebrochener Gewindebohrerstücke (Bild 15.188). Bei Verwendung reinige man zuerst die Bruchstelle von allen Spänen. Dann werden die vorgeschobenen Stahlblätter a in die Nuten des abgebrochenen Bohrers eingeführt und durch Schrauben im Bund c festgestellt. Das Herausziehen geschieht durch Drehen des Werkzeuges mittels Windeisens, das auf Vierkant b aufgesetzt wird. Hülse d dient zum Festhalten und zur Führung der Stahlblätter.

Nachstellbarer Gewindebohrer (Bild 15.189) mit regelbarem Gewindedurchmesser eignet sich für größere Gewinde in Gußeisen. Schaft s hat eingesetzte Backen b, die durch Drehen des konischen Bolzens a in ihrer Durchmesserlage verstellt werden können. Mutter c dient zum Festklemmen der eingestellten Gewindebacken, Mutter d zum Feststellen des Bolzens a. Einfacher ist der nachstellbare Gewindebohrer

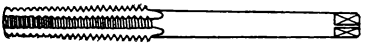

Bild 15.186



Bild 15.187

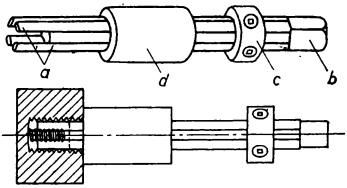


Bild 15.188

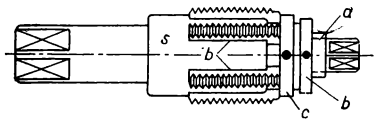


Bild 15.189

(Bild 15.190) zum Nachschneiden von Rohrgewinden, deren Gewindedurchmesser bei den einzelnen Rohrlieferungen verschieden ausfallen. Das Verstellen der beiden schmalen Schneidbacken b_1 und b_2 im Körper k geschieht durch die kegelige Nachstellschraube s. Die Gewindeschneidbacken b_1 und b_2 werden durch Deckplatte d mittels Schrauben a im Körper gehalten.

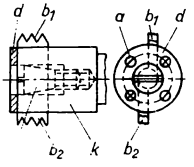


Bild 15.190

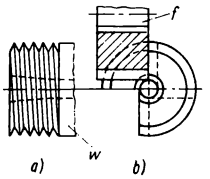


Bild 15.191

Die *Herstellung der Gewindeschneidbacken* zeigt Bild 15.191. Ein Stück Werkzeugstahl w wird mit entsprechendem Gewinde und mit kegeligem Loch für die Nachstellschraube s versehen. Danach erfolgt vielmaliges Ausfräsen durch Fräser f, so daß nur 4 Schneidmesser übrigbleiben, von denen jeweils nur 2 gegenüberliegende verwandt werden dürfen. In Bild 15.191 b ist links unten bereits ausgefräst.

Schneideisen (Bild 15.192) werden zum Schneiden von Außengewinden benutzt. Die Schneidkanten s sind durch Bohren von Nuten (Spanlöcher) n (3 bis 5) entstanden. Winkel $\varkappa$ ist der Einstellwinkel, γ der Spanwinkel (bis zu 20°). Wanddicke a darf wegen Bruchgefahr nicht zu schwach sein. Der eingestrichelte Drehmeißel zeigt die Schneidwirkung. Die Länge h des Schneideisens wird bei normaler Steigung ungefähr gleich dem Gewindedurchmesser gewählt. Anschnitt b des Schneideisens reicht bis Punkt c, danach erfolgt selbsttätiger Vorschub. Die Einbohrungen k dienen zum Festhalten durch Stellschrauben; siehe t in Bild 15.193.

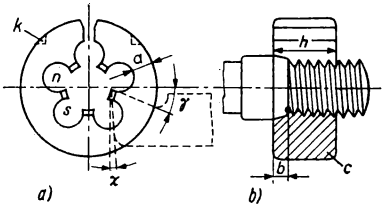


Bild 15.192. Schneideisen
a) Draufsicht, b) Seitenansicht im Schnitt

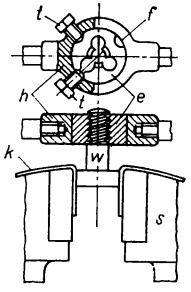


Bild 15.193



Bild 15.194

Eine *Schneidkluppe für runde Backen* nach Bild 15.192a ist in Bild 15.193 beim Schneiden eines Schraubenbolzens dargestellt. Schneideisen e ist geschlitzt, damit es federt. Aussparung und Wulst f des Halters h passen genau zueinander. Schrauben t dienen zur Sicherung und zum Festklemmen. – Der Einsatz (Bild 15.194) paßt genau in die Kluppe (Bild 15.193), die dann als Windeisen dient. Beim Schneiden ist auf genau horizontale Lage zu achten.
Auf *Revolverdrehmaschinen* kann das Schneideisen im besonderen *Schneideisenhalter* h verwendet werden (Bild 15.195).

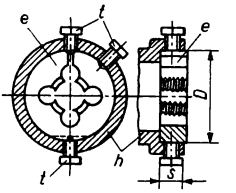


Bild 15.195

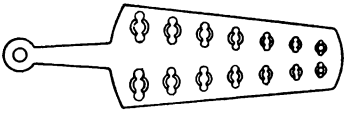


Bild 15.196

Befestigung und Sicherung wie in Bild 15.193; ebenso Beseitigung von Ungenauigkeiten durch Stellschrauben t.
Schneideisen (Bild 15.196), aus einem Stück, kann 7 Gewinde mit verschiedenen Durchmessern schneiden, Gewindedicken steigen um 0,5 mm; für jede Dicke sind 2 Löcher (Vor- und Nachschneider) vorhanden.
Schneid- oder Ringkluppe (Bild 15.197), bessere Ausführung, genaueres Schneiden des Gewindes. Beim Schneideisen (Bild 15.196) muß der zu schneidende Bolzen oben etwas angespitzt werden, Gewinde wird mehr gedrückt als geschnitten. Dagegen werden hier zwei Backen 1 und 2 bzw. 2 und 3 usw. so weit auseinander geschoben, daß sie bequem über den Bolzen gehen. Nachstellen mittels Stellschraube s.
Schneidkluppe (Bild 15.198): Vorgang wie bei Bild 15.197. Die beiden Backen c und d werden im Halter h durch 2 Nuten bzw. Federn f gehalten. Nachstellen der Backen durch Druckstück e mittels Schraube s, bis das Gewinde vorschriftsmäßig geschnitten ist. Zu dieser Schneidkluppe gehören immer mehrere Satz Schneidbacken mit verschiedenen Gewindegrößen. Bild 15.199 zeigt die beiden *Schneidbacken* für eine Rekordschneidkluppe mit Führungsleisten c. Herstellung und Anwendung ähnlich Bild 15.198. *Gewindeschneidkopf* (Bild 15.200) wird auf Gewindeschneidmaschinen verwendet. Die Schneidbacken b, dünne Stahlplatten (ähnlich wie in Bild 15.190), sind in radialer Richtung verschiebbar. Das Öffnen und Schließen der Backen erfolgt durch Drehen des Schließrings r. Dieser greift mit drei exzentrischen Leisten l in Einkerbungen der Schneidbacken b, die je nach Drehrichtung geöffnet oder geschlossen werden. Der Arbeitsdruck der Backen wird durch die exzentrischen Flächen e des Schließrings aufgenommen.

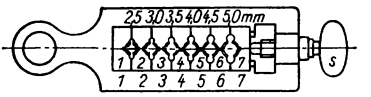


Bild 15.197

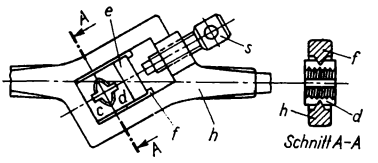


Bild 15.198

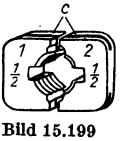


Bild 15.199

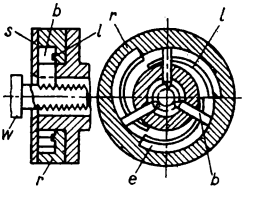


Bild 15.200

Werkstoff der Gewindeschneidwerkzeuge ist meist legierter Stahl (mittelharter Manganstahl), der langsam auf Dunkelrotglut erwärmt und in Wasser von 20 °C schnell abgekühlt wird. (Handwerkliche Wiederbrauchbarmachung ausgeglühter Bohrer. Erwärmung erfolgt handwerklich vorteilhaft in einem Gasrohr, ausgefüllt mit Holzkohlenstaub; Öffnungen mit Lehm verschmieren.)

15.5. Abschneiden, Lochen, Ausschneiden

Abschneiden

Dauernde Formänderung wird durch Trennen erreicht. Anwendung des Gesetzes vom zweiarmigen Hebel.

Schneidvorgang (Bild 15.201). Kraftverteilung nach Kräfteparallelogramm. Aus den senkrecht zu den Schneiden gerichteten Kräften F_1 und F_2 ergibt sich die resultierende Kraft F_R. Solange die Reibung zwischen Schneiden und Werkstück w kleiner ist als F_R, schiebt sich das Werkstück zwischen den Schneiden heraus. Je näher Werkstück am Drehpunkt, desto größer der Scherdruck. Bei einem Winkel der Schneiden von $\alpha \approx 15°$ erfolgt Abscheren.

Richtige Stellung der Schneiden bei Parallelscheren (Bild 15.202a). Die Schneiden müssen möglichst scharf nebeneinander arbeiten, damit eine gute, glatte Schnittfläche erzielt wird.

Falsche Stellung der Schneiden (Bild 15.202b). Zu großer Zwischenraum a: Werkstück wird durch M_2 rechts nach oben, durch M_1 links nach unten gedrückt

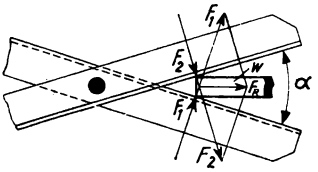


Bild 15.201

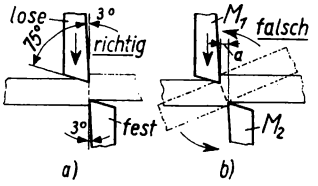


Bild 15.202

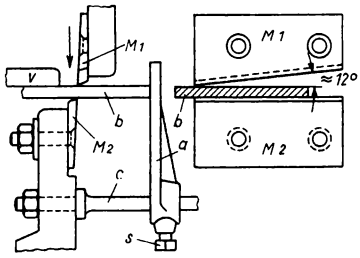


Bild 15.203

Schema einer Parallelschere (Bild 15.203). Oberes Messer (Scherblatt) M_1 ist beweglich von oben nach unten und umgekehrt, während unteres Scherblatt M_2 festsitzt. M_1 ist gegen M_2 um ≈12° geneigt, wodurch eine allmähliche Trennung des Werkstückes erfolgt. Kippen des Werkstückes ist durch Halter v vermieden.
Anschlag a auf Stange c ist verstellbar und durch Schraube s festzustellen. Antrieb des oberen Scherblattes erfolgt meist durch Exzenter. – Verwendung der *Maschinenscheren* (Parallel- und Profilscheren) für dickere Bleche bis zu 20 mm und für Profilstähle großer Dimensionen.

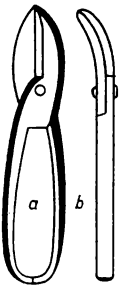


Bild 15.204

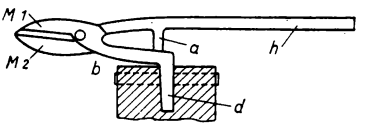


Bild 15.205

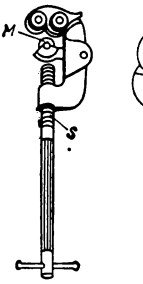


Bild 15.206

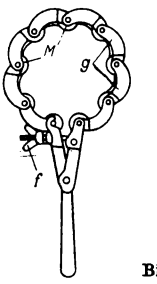


Bild 15.207

Maschinenkreisscheren werden für kreisförmige oder geschweifte Schnitte genommen. Das Schneiden geschieht hierbei mittels zweier gehärteter und geriefter Kreismesser, deren Schnittgeschwindigkeit etwa 1,5 m/min beträgt. Der Antrieb der Messer erfolgt durch Elektromotor (oder Transmission) über ein Zahnräderpaar, das beide Messer mit gleicher Geschwindigkeit bewegt.

Handscheren (Bild 15.204). Verwendung für dünnere Werkstücke (Bleche, Draht usw.). Zweckmäßig hinten im Maul schneiden, dadurch größere Kraftausnutzung. Ausführung a mit geradem, b mit gebogenem Maul.

Stockschere (Bild 15.205). Winkelschere aus bestem Stahl für dickere Bleche, Stab- und Bandstahl. Oberes Scherblatt M_1 steht fest, unteres M_2 ist um Bolzen b mittels Hebels h drehbar. Dorn d wird im Schraubstock oder in einem Holzklotz fest eingeklemmt; a ist Anschlag.

Gasrohrabschneider (Bild 15.206) ist mit einem Schneidrädchen und 4 stählernen Laufrollen (zur Verhinderung der Reibung) ausgestattet. Messer (Schneidrad) M wird durch Anziehen der Schraubenspindel s an das Rohr gedrückt. Bewegung beim Abschneiden des Rohres nur in einer Richtung.

Rohrabschneider (Bild 15.207) wird verwandt für Leitungsrohre mit größeren Durchmessern (Straßenrohre); Anzahl der Schneidrädchen M kann durch Ein- bzw. Ausschaltung der Gelenkglieder g geregelt werden. Verwertung für verschiedene Rohrdurchmesser. Anziehen der Messer durch Flügelmutter f.

Lochen und Ausschneiden

Lochen ist ein Ausschneiden; die Schneide bildet hierbei eine geschlossene Linie.

Schema der Lochmaschine (Bild 15.208), Lochstempel s (nach oben kegelig) ist im Stößel b festgeschraubt. Lochring oder Matrize M ist im Unterteil d durch Schrauben c festgeklemmt. Werkstück w liegt zwischen Stempel und Matrize (unlegierter und legierter Stahl), Abstreifer a dient zum Abstreifen des gelochten Werkstückes beim Hochgehen des Stempels. – Ausführung von Stempel und Matrize mit den verschiedensten Querschnitten. Antrieb von Hand (Handstanzen, Spindelpressen), bei größeren Teilen durch Maschinenkraft (Exzenter).

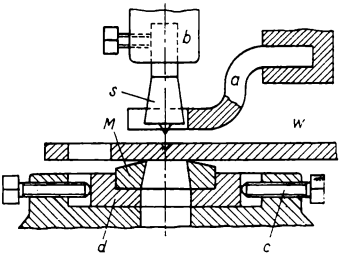


Bild 15.208
Lochung (Prinzip)

Ausschneiden ist derselbe Vorgang, die Einrichtung die gleiche. Das Werkstück, Blech von bestimmter Form, wird aus einer Blechtafel (Blechband) herausgestoßen. – Verwendung bei Massenherstellung: Scharniere, Beschläge, Klingen, GALLsche Kettenglieder, Zahnräder (für Fahrräder), Münzen. – Schnittwiderstand = Schnittlinie × Blechdicke × Scherfestigkeit.

15.6. Schleifen und Polieren

Abnahme sehr kleiner Späne vom Werkstück durch die Schleifscheibe mittels ihrer feinen Körner. Diese Bearbeitung erfolgt im Anschluß an das Drehen, Fräsen, Hobeln, wenn äußerst glatte Oberflächen gefordert und vor allem höchste Ansprüche an die Maßgenauigkeit gestellt werden. Insbesondere werden gehärtete Teile (Schnitte, Kolbenbolzen usw.) scharf bzw. auf Maß geschliffen.

Rundschleifen (Bild 15.209), *Außenschleifen* von Wellen u. dgl. Schleifscheibe s und Werkstück w drehen sich in gleicher Richtung. Werkstück w bewegt sich in Längsrichtung v_l, Schleifscheibe s senkrecht dazu in Richtung v_t. Umfangsgeschwindigkeit: Schleifscheibe etwa 30 m/s. Werkstück etwa 12 m/min. Schnittiefe ungefähr $^1/_{50}$ mm. – *Befestigung:* Schleifscheibe s ist zwischen hohlgedrehten Flanschen b bzw. a eingespannt. Zwischen s und b legt man Unterlegscheiben d aus Gummi, Leder, Löschpapier, ungefähr 2···3 mm dick. Flansch b deckt etwa $^2/_3$ des Scheibendurchmessers.

Innenschleifen (Bild 15.210) wird angewandt zur Herstellung genauer Hohlzylinder, Buchsen u. dgl. Schleifscheibe s und Werkstück w drehen sich in entgegengesetzten Richtungen. Verwendung *kleiner Schleifscheiben: kleine Berührungsfläche* (Vermeidung großer Wärme).

Planschleifen mit *Stirnfläche* (Bild 15.211a) und mit *Mantelfläche* (Bild 15.211b) ergeben genau ebene Flächen. Schleifscheibe s macht Vorschub, Werkstück w steht still oder kann auch in Richtung v_l bewegt werden. – In letzter Zeit bildet man Planschleifscheiben mit Schleifsegmenten (Aussparungen) aus: bessere Kühlung, bessere Späneabführung.

Arten und Formen der Schleifscheiben (Bild 15.212). Herstellung kleinster Scheiben von 0,4 mm Breite bis zu 50 mm Breite und 600 mm Dmr. Bohrungen mit Blei ausgießen. Das Schleifen einschneidiger Werkzeuge erfolgt meist von Hand, das zwei- oder mehrschneidiger mittels Maschine.

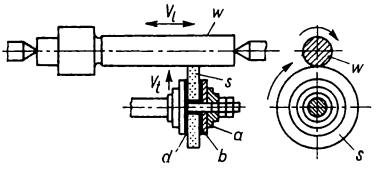


Bild 15.209

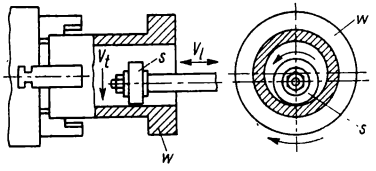


Bild 15.210

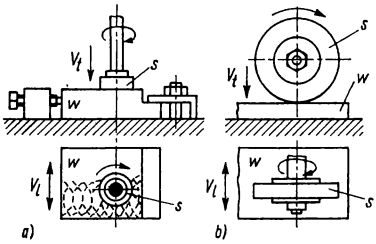


Bild 15.211

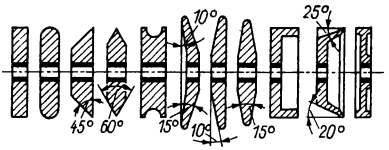


Bild 15.212

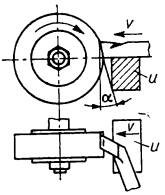


Bild 15.213

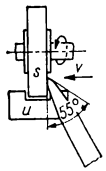


Bild 15.214

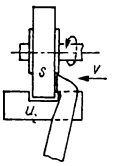


Bild 15.215

Schleifen eines Seitenschruppmeißels (Bild 15.213) und ähnlicher nur an der vorderen Fläche. Richtige Meißelwinkel einhalten; mit Schablonen prüfen. Als Auflage dient verstellbare Unterlage u; Vorschub in Richtung v; Umlaufrichtung der Schleifscheibe, entgegengesetzt dem Pfeil, ist falsch.

Anschleifen eines Meißels (Bild 15.214) auf der Seitenfläche der Scheibe s; richtigen Meißelwinkel (40°···75°, meist 55°) und richtigen Umlauf der Scheibe beachten!

Anschleifen des Hobelmeißels (Bild 15.215) geschieht nur auf der Brustfläche, auch bei Hakenmeißeln.

Schleifen eines hinterschliffenen Fräsers mittels Flach- oder Tellerscheibe (Bild 15.216), besser *Topfscheibe* (Bild 15.217). Gebräuchlich ist Drehrichtung I des Werkzeugs s; Werkstück w wird gegen die Stütze z (Zunge oder Finger genannt) gedrückt. Nachteil: Gratbildung. Drehrichtung II: Abnahme kräftiger Späne, glatte Schneide. Andrücken des Werkstücks w gegen die Zunge durch Belastung (s. Bild 15.222). Um Freiwinkel α zu erhalten, wird Fräser- und Scheibenachse um Stück a versetzt. Bei Schruppfräsern wird $\alpha = 4$ bis 8°, bei Schlichtfräsern und Reibahlen $\alpha = 3\cdots6°$. – Bei Bild 15.217 ist Achsenstellung $a = \frac{D}{2} \cdot \sin\alpha$ (D Fräserdurchmesser). Die aufwärts laufende Kante arbeitet. – *Einstellen der Topfscheibe beim Walzenfräser* (Bild 15.218). – Weiterrücken des Fräsers um einen Zahn geschieht mittels Teilvorrichtung.

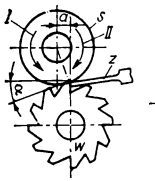


Bild 15.216

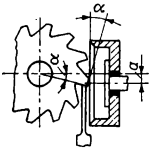


Bild 15.217

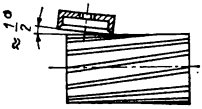


Bild 15.218

Schleifen von kegeligen Fräsern und Reibahlen. Falsches Einstellen (Bild 15.219a). Werkstück- und Schleifscheibenmitte dürfen nicht zusammenfallen; falsche Lage der Zunge z. – *Richtiges Einstellen* (Bild 15.219b). Scheibenachse liegt höher als Werkstückachse, Zunge z gleich hinter dem zu schleifenden Zahn.

Schleifen von Kreissägeblättern. Falsches Einstellen (Bild 15.220a). Zahn wird zu spitz, gestrichelte Darstellung Zahn zu stumpf. – Richtige Einstellung (Bild 15.220b). Zahnform richtig, genau radial geschliffen.

Schleifen eines hinterdrehten Formfräsers (Bild 15.221) geschieht genau radial an der Zahnbrust mit kegeliger Außenfläche einer Tellerscheibe.

Schleifen eines Formfräsers (Bild 15.222), genau radial mit Innenfläche einer Tellerscheibe s; ebenso Schleifen von Reibahlen. Fräser f wird mittels einer über Rolle r laufenden Last g gegen Zunge z gedrückt. Gleiche Anwendung bei den Bildern 15.216, 15.217 und 15.219.

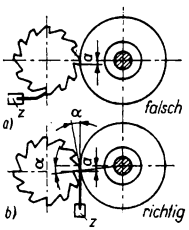


Bild 15.219

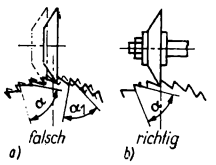


Bild 15.220

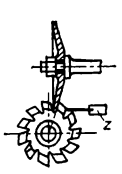


Bild 15.221

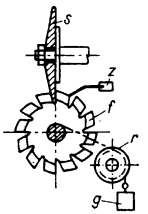


Bild 15.222

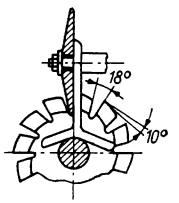


Bild 15.223

Fräserschleiflehre (Bild 15.223) dient zum Einstellen der Schleifscheibe und zum Nachprüfen der radialen Schneidbrust; sie wird mit 2 Schenkeln auf den Frässdorn aufgesetzt.

Schleifen von Drallbohrern (Bild 15.224), einfache und vorteilhafte Art, a) auf der *Stirnfläche*, b) auf der *Mantelfläche* der Schleifscheibe s. Bohrer a wird in passende Buchse b des Buchsenhalters h gesteckt und somit auf genauen Winkel geschliffen. Zu der Maschine gehören mehrere auswechselbare Buchsenhalter für je 10 verschiedene Bohrungen.

Formschleifen (z. B. *Hohlschleifen*) (Bild 15.225) mittels Formschleifscheibe.

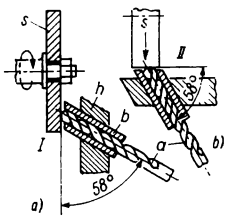


Bild 15.224

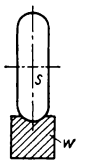


Bild 15.225

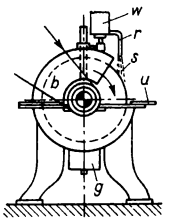


Bild 15.226

Schleifstein (Bild 15.226), einfachste Schleifmaschine, Sandstein s, bis $1^1/_2$ m Dmr., ist in einem Trog mit Sammelgefäß g gelagert; Drehung mittels Riemenantriebs oder von Hand. Naßschleifen, Kühlwasserzufuhr aus Behälter w durch Rohr r, Stein nicht im Wasser hängenlassen, Wasser ablassen. – Die Schleifstücke werden auf Unterlage u aufgelegt.

Diamantfreie Abrichtgeräte (Bild 15.227) mit Hartmetallrädchen 15 und 25 mm Dmr. dienen zum Abrichten von Schleifscheiben. Schleifscheibe erhält vorschriftsmäßige Form, Gefüge wird wirkungsvoll aufgerauht. Anwendung: Achsen des Abrichträdchens und der Schleifscheibe laufen parallel; bei Stirnflächen winkelrecht. Abrichtzustellung bei gewöhnlichen Scheiben 0,02 ··· 0,03 mm, bei harten Scheiben 0,01 mm je Hub. Möglichst naß abrichten! Es werden auch noch Abrichter mit gewellten Stahlscheiben verwendet.

Einzel-Abricht-Diamanten (Bild 15.228): Üblich ist das Einlöten der Diamanten unter Verwendung von Hartlot. Einzel-Abrichtdiamanten sollen unterhalb Scheibenmitte bei 5 bis 15° Neigung des Halters zum Angriff kommen.

Diamant-Igel (Bild 15.229) bestehen aus harten Naturdiamanten bzw. kleinen Diamantkörnern, von denen eine

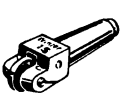


Bild 15.227



Bild 15.228

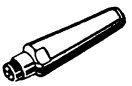


Bild 15.229

Mehrzahl – in Hartstoff eingebettet – gleichzeitig zum Angriff gelangt. Man spart Zeit beim Abrichten, da größere seitliche Vorschübe gegeben werden können. Die Diamant-Igel sind weniger empfindlich und lassen sich ohne Umfassen restlos aufbrauchen.

Schmirgelpapier oder *Schmirgelleinen*. Auf Papier oder Stoff wird heißer Leim gestrichen, Schmirgel, Korund usw. gestreut und aufgewalzt. – *Schmirgelfeilen* sind mit Schmirgelleinen umklebte Holzformstücke.

Bürstenscheiben dienen zum Gußputzen u. dgl. Auf dem Mantel der Holzscheibe sind Stahldrähte von 0,2 mm Dmr. und 30 mm Länge büschelartig angebracht. Für feinere Arbeiten Messingdraht.

Metallscheiben (Kupfer, Weißmetall, Blei). Schleifpulver, mit Bindemittel vermengt, wird in den Scheibenmantel eingedrückt.

Poliersheiben aus Holz haben *Lederbezug* (am besten Walroßleder) mit eingepreßtem Schmirgel; etwa 500 mm Dmr. und 50 mm Breite.

Filzscheiben (billiger). *Grobscheiben* haben 2 mm Schmirgelschicht, *Feinscheiben* Talg mit Polierrot. – *Scheiben mit Stoffbezug:* Schmirgel wird aufgeleimt.

Schwabbelscheiben haben lose zusammengedrückte Lagen aus *Stoff*. Sie dienen zum Hochglanzpolieren; *Poliermittel* (Polierrot, Wiener Kalk, Zinnasche, Holzkohle u. dgl.) in Form von Pulver, Paste oder in handlichen Blöcken werden fertig geliefert.

Abziehsteine, Ölsteine werden zum Feinschleifen, Nachschleifen von Hand benutzt für Messer, Schaber, Handstähle.

Schleifscheiben

Herstellung meistens aus *Aluminiumoxid* (Kunstkorund) mit *Siliziumkarbid*. Korund ist neben Diamant härtestes Mineral. *Elektro-Korund* wird verwandt zum Schleifen von Stahl, Temperguß, Schmirgelstahl und Glas; *Quarz* (Sand) wird lose verwandt oder auf Stoff oder Papier (Sandpapier) aufgeklebt (s. Schmirgelleinen), ferner als Sand- oder Abziehstein. Künstlicher Sandstein zum Trockenschleifen entsteht durch Zusammenschmelzen von 55 % Quarz und 45 % Alaun.
Bei den *künstlich hergestellten* Schleifscheiben (Elektrit, Alumdum, Karborund usw.) unterscheidet man *vegetabile, mineralische* und *keramische* Bindung der Körner.

Vegetabilische Bindung für Trockenschliff erfolgt durch Öl oder Leim, für Naßschliff aus Schellack, Harz, Gummi, Anwendung bei *dünnen* Scheiben und *Profilscheiben*. Fest und elastisch. Rasche, aber teure Herstellung. *Verwendung:* Schärfen von Werkzeugen für Holzbearbeitung; Blankschleifen. – Vor Öl und Laugen schützen.

Mineralische Bindung ist eine Magnesiabindung (gegen Nässe empfindlich) oder Silikatbindung (Wasserglasbindung). Die Scheiben werden in Formen gepreßt, getrocknet, gebacken ≈320 °C). *Verwendung* für Trockenschliff von Messern, Scheren, Reibahlen, Meißeln, Fräsern. – Schleifscheiben werden zur Erhöhung der Festigkeit auch mit Stahldrahteinlagen ausgeführt, bis 1500 mm Dmr., 300 mm Breite. Unelastisch, nur für niedrige Temperatur geeignet.

Keramische oder hochgebrannte (Ton) Bindung. Bindemittel Ton oder Flußspat. Eigenschaften: porös, frei schneidend, unelastisch, rein und gleichmäßig hart; gegen Öl, Wasser und Hitze unempfindlich. *Herstellung:* Gießen der zusammengemengten, teigartigen Masse in Formen, warm trocknen, vordrehen, 3 ··· 5 Tage lang brennen bei Weißglut (bis 2000 °C), langsam abkühlen (etwa 6 Tage). Teure Herstellung – hohe Leistung. Scheiben bis 1000 mm Dmr.

Schleifregeln. Vorsichtiges Anstellen und Nachstellen des Vorschubes von Hand oder selbsttätig. Zuführung reichlicher Kühlflüssigkeit; andernfalls hohe Erwärmung und Enthärtung des Stahls. Schleifrad muß ganz genau rund laufen. Vor dem Schleifen ist das Werkzeug von Fett zu reinigen, da dieses den Stein glatt (stumpf) macht.
Tabelle 15.10 enthält eine Zusammenstellung von Schleifscheibendrehzahlen für verschiedene Schleifscheibendurchmesser.

Tabelle 15.10: Schleifscheibendrehzahlen

Schleifscheiben-durchmesser	Umfangsgeschwindigkeit v in m/s					
	15	20	25	30	35	40
mm	Schleifscheibendrehzahl in Umdr./min					
15	19100	25500	31800	38200	44600	
25	12000	15300	19100	23000	26750	30550
50	6000	7650	9550	11450	13400	15275
75	4000	5100	6380	7650	9000	10185
100	3000	3825	4775	5730	6700	7640
125	2400	3050	3800	4600	5300	6110
150	2000	2550	3200	3800	4450	5100
175	1715	2200	2730	3270	3800	4365
200	1500	1910	2390	2875	3350	3820
225	1335	1700	2100	2550	2975	3395
250	1200	1525	1900	2300	2675	3055
300	1000	1275	1590	1900	2230	2550
350	860	1090	1370	1640	1900	2180
400	750	960	1200	1450	1675	1910
450	665	850	1060	1275	1425	1700
500	600	770	960	1150	1340	1525

Diamant-Schleifscheiben

Alle Hartmetalle, Germanium, Glas, Quarz, Steatit, Porzellan, Kohle, harte Natur- und Kunststeine, feuerfestes Material, Achat, Saphir, Rubin, harte Plaste, gehärtete Stähle ab Rockwell 64 können mit Diamant-Schleifscheiben geschliffen und geläppt werden. Der Diamantschleifkörper ist mittels metallischer oder Kunstharzbindung auf den metallenen Scheiben-Grundkörper aufgetragen. Die Auswahl der Bindung ist abhängig von dem zu schleifenden Material und der gewünschten Schliffgüte. Je härter die Bindung, um so größer ist die Profilhaltigkeit der Schleifscheibe. Bild 15.230 zeigt einige Schleifscheibenformen.



Bild 15.230

H-Scheiben (Hartmetallbindung): hohe Kantenfestigkeit. Verwendung: Form-, Kanten- und Profilschleifen, Vor- und Feinschleifen von Hartmetallkalibern und Hartmetall-Gewindewerkzeugen.

St-Scheiben (Stahlbindung) zum Vorschleifen, schleiffreudiger als hartmetallgebundene Scheiben, aber schnellere Verformung des Profils.

BZ-Scheiben (Bronzebindung) zum Vor- und Feinschleifen von ein- und mehrschneidigen Hartmetallwerkzeugen sowie Kalibern, Meß- und Tastflächen, kleinen Hartmetallbohrungen, Glas, Quarz, Porzellan und anderen keramischen Stoffen, Edelsteinen.

K-Scheiben (Kunstharzbindung): Herstellung feinster Hartmetall-Werkzeugschneiden.

S-Scheiben und *-Schleifstifte* (Sondermetallbindung); Diamantkristalle ragen hier weit aus dem Bindematerial heraus, daher auch für Trockenschliff verwendbar. Schleifstifte werden vorzugsweise zum Ausschleifen kleiner Hartmetall- und gehärteter Stahlbohrungen verwendet.

Schleifregeln

Die zu schleifenden Hartmetall-Werkzeuge sind mit geringem Anpreßdruck über die gesamte Diamant-Schleifzone der Scheibe zu bewegen, um gleichmäßige Abnutzung der Diamantschicht zu erzielen. Diamant-Schleifscheiben, die nicht mehr schleiffreudig sind, werden durch kräftiges Abreiben mit einem in Kühlmittel getränkten Lappen wieder griffig gemacht.
Grundsätzlich sollte mit allen Diamantscheiben mindestens feucht gearbeitet werden. Dadurch wird die Lebensdauer der Scheiben bedeutend erhöht. Die Benutzung des an jeder Maschine leicht anzubringenden Tropfenspenders regelt in einfacher Weise ohne lästiges Verspritzen die Menge der Spülflüssigkeit. Verwendet werden Spezial-Kühl- und Schmiermittel, die eigens für Diamant-Schleifscheiben entwickelt wurden.

Die günstigsten Umfangsgeschwindigkeiten liegen zwischen 10 und 40 m/s. Kleine Schleifscheiben oder Schleifstifte leisten aber auch bei geringerer Umfangsgeschwindigkeit gute Arbeit.

Schleifmaschinen

Schleifmaschinen werden in vielen verschiedenen Bauarten, z. B. Flächen-, Längs-, Rund-, Profil-, Werkzeug-, Trenn-, Universal-, Spezial-, Körnerloch- und Tauchschleifmaschinen, je nach Verwendungszweck, gebraucht.
Bild 15.231 zeigt das Planschleifen eines Stellringes, der von einem elektromagnetischen Planfutter gehalten wird.

Feinstbearbeitung

a) Oberflächenveredelung
b) Erzielung höchster Genauigkeiten

Zu a) *Polieren, Schwabbeln, Trommeln*

Umlaufendes Trommeln der Bauteile (Massenteile) mit Hochglanzkugeln und Polierflüssigkeit in Fässern oder dgl. Aufprallende Kugeln bewirken gute Glättung der Oberfläche.

Tabelle 15.11: Kühlen und Schmieren bei spanender Metallbearbeitung *)

Werkstoff	Drehen ▽	Drehen ▽▽▽	Fräsen ▽	Fräsen ▽▽▽	Schleifen	Bohren	Reiben	Räumen	Sägen	Hobeln	Stoßen	Gewindeschneiden
Stahl	E	E, P	E	E, R		E	Re	Re, R	E, Re		Re, T	E, R, Li+R
Werkzeugstahl	E	R, P	E	E, Re		E, Re	Re	Re	E, Re		R, T	R
Leg.-Stähle	E	Re, S	E	E, Re		E, Re	Re	Re	E, Re	tr, R	R, E	T+P=5:1
Stahlguß	E	tr	E	E, Re	E	E	R	R	E	E, B	R, E	E, Li+R
Temperguß	E	tr	L	E, Re	oder	E	tr	tr	E		R, E	E, Li+R
GGL-, GGG	E	tr, P	L, W	tr	W	tr, E, P	tr, R	tr, R	tr, L, E	tr, P	tr, P	tr, P, Li+R
Messing	E, L	tr	E	E		tr, E	tr, E	tr, R	tr, R	tr	tr	tr, R
Bronze	E, L	tr	E	tr		tr, E	R	R	tr, E	tr	tr, R	tr, R
Kupfer	E	tr	E	E		E, R	E	E	E	tr	tr, M	tr, R
Aluminium	E	tr, P	E	tr	Sp+P=1:1	E	Te+P=4:5		tr, P	tr, P, E	tr, P, E	P, E, tr
Silumin	E	O	E	E	—	E	P, T		M	E, P	E	P+R, E

*) Fertige Kühl- und Schmiermittel werden im Handel angeboten.

Erläuterungen zu Tabelle 15.11:

B Bohröl
E Bohrölemulsion
L Luftkühlung
Li Lithoponeweiß
M Maschinenöl
O Öl
P Petroleum
R Rüböl
Re Rübölersatz
S Schmalzöl
Sp Spindelöl
T Terpentinöl
Te Terpentinölersatz
tr trocken
W Wasser mit 5 % Soda

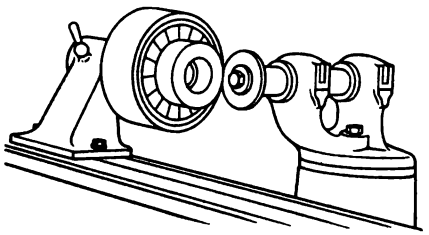


Bild 15.231. Planschleifen eines Stellringes

Zu b) Für höchste Oberflächen-Genauigkeiten werden Polierdrehen, Feinschleifen, Läppen, Honen und Preßpolieren angewendet.

Polierdrehen: Abdrehen der Werkstoffe mit Hartmetall oder Diamanten bei höchsten Drehzahlen (Feindrehmaschinen für höchste Spindeldrehzahlen).

Feinschleifen: Verwendung von Schleifscheiben mit feinem Korn, geringe Spanabnahme, Schleifkörnerbindemittel Bakelit.

Läppen: Genaues Polieren von runden und ebenen, hauptsächlich gehärteten Werkstücken. Weiche Werkstücke ungeeignet. Läppen von Hand mit Läppfeilen (flache Kupferstäbe, wie eine Feile geführt). Zum Läppen runder Werkstücke wie Bolzen, Dorne oder dgl. dienen Läppkluppen oder Läppringe (weicher Werkstoff wie Gußeisen, Weißmetall, Blei). Läppwerkzeuge mit Läppmitteln wie Korund-, Glas- und Diamantstaub, Wolframkarbidpulver usw. benutzen. Binde- und Schmiermittel sind Öl und Petroleum. Läppmaschinen finden bei Werkstücken in Massenanfertigung Anwendung. Läppscheiben aus Kupfer, Gußeisen und Antimon sowie künstliche Scheiben.

Ziehschleifen oder *Honen:* Verfahren zur Herstellung genauer Bohrungen. Als Werkzeug dient eine Ziehschleifahle ähnlich der nachstellbaren Reibahle. Statt Messer sind Schleifleisten (ebenso wie Schleifscheiben aus keramischer Masse) gesetzt. Arbeitsvorgang: In die vorgeschliffene Bohrung Ziehschleifahle einführen, erhält außer der drehenden noch zusätzlich eine hin- und hergehende Bewegung, Umfangsgeschwindigkeit $v = 69 \cdots 75$ m/min. Hubzahl 16···100 je min. Letztere richtet sich nach Bohrungslänge. Maschinelles Ziehschleifen wird auf Honmaschinen ausgeführt.

Tabelle 15.11 gibt einen Überblick über Kühlen und Schmieren bei spanender Metallbearbeitung.

In Tabelle 15.12 sind Schnittgeschwindigkeit und Vorschub bei Werkzeugmaschinen zusammengestellt.

15.7. Gesinterte Hartmetalle, Zerspanungsgruppen

Beispiel eines DDR-Standards

Tabelle 15.12: Schnittgeschwindigkeit in m/min *und Vorschub in* mm *bei Werkzeugmaschinen*

Werkstoff des Werkstücks	Meißels [1]	Drehen [2]	Hobeln	Stoßen	Langfräsen [3]	Rundfräsen [3]	Drallbohren [4]	Bohrstange	Kaltsägen
St38	Werkzeugstahl	5,4···10,8 3 bis 0,1/Umdr.	4,2···10,8 5 bis 0,2/Hub	4,2···9,0 1,5/Hub	7,2···18,0 150 bis 15/min	7,2···18,0 50 bis 10/min	10,8 0,3 bis 0,02/Umdr.	7,2···10,8 1 bis 0,2/Umdr.	13,2 0,25 bis 0,1/s
	Schnellarbeitsstahl	15···27,0 5 bis 0,5/Umdr.	7,8···15,0 10 bis 0,6/Hub	6,0···12,0 4/Hub	24···42 300 bis 30/min	18,0···36,0 80 bis 15/min	21,6 0,4 bis 0,02/Umdr.	18···21,6 4,5 bis 0,2/Umdr.	24 0,3 bis 0,15/s
Gußeisen	Werkzeugstahl	4,5···9,0 3 bis 0,1/Umdr.	3,6···7,8 5 bis 0,2/Hub	3,0···7,8 1,5/Hub	6,0···15,0 250 bis 15/min	6,0···15,0 60 bis 20/min	9,0 0,4 bis 0,03/Umdr.	6,0···9,0 1,5 bis 0,2/Umdr.	12 0,25 bis 0,1/s
	Schnellarbeitsstahl	12,0···19,2 5 bis 0,5/Umdr.	9,6···15,0 10 bis 0,6/Hub	6,0···12,0 4/Hub	18,0···36,0 250 bis 25/min	15,0···30,0 100 bis 30/min	18,0 0,75 bis 0,03/Umdr.	15,0···19,2 4 bis 0,2/Umdr.	21,6 3 bis 0,15/s
St50	Werkzeugstahl	6,0···9,0 2,5 bis 0,1/Umdr.	4,8···7,8 5 bis 0,2/Hub	3,6···7,8 1,5/Hub	7,2···15,0 150 bis 15/min	7,2···15,0 40 bis 10/min	7,2 0,3 bis 0,03/Umdr.	6,0···7,2 1 bis 0,2/Umdr.	13,2 0,2 bis 0,1/s
	Schnellarbeitsstahl	12,0···24,0 4 bis 0,5/Umdr.	9,6···15,0 10 bis 0,6/Hub	6,0···12 4/Hub	18,0···36,0 250 bis 25/min	15,0···30,0 70 bis 15/min	14,4 0,5 bis 0,03/Umdr.	10,8···14,4 2,5 bis 0,2/Umdr.	21,6 0,25 bis 0,15/s
Bronze, Rotguß, Messing	Werkzeugstahl	10,8···21,0 2 bis 0,1/Umdr.	9,0···18,0 6 bis 0,2/Hub	9,0···18,0 1,5/Hub	18,0···36,0 200 bis 20/min	18,0···36,0 100 bis 20/min	18,0 0,5 bis 0,05/Umdr.	12,0···18,0 2 bis 0,2/Umdr.	— —
	Schnellarbeitsstahl	18,0···39,0 3 bis 0,5/Umdr.	12,0···24,0 3 bis 0,2/Hub	12,0···24,0 4/Hub	42,0···72,0 300 bis 30/min	36,0···60,0 180 bis 30/min	30,0 0,7 bis 0,1/Umdr.	21,0···30,0 2,5 bis 0,2/Umdr.	— —

[1]) Schnittgeschwindigkeiten bei Hartmetallschneiden gegenüber Schnellarbeitsstahl: Baustahl 4- bis 6fach; Gußeisen 5fach; Bronze, Rotguß, Messing 2- bis 3fach; CrNi-Stahl mit Schnellarbeitsstahl 8···16 m/min, mit Hartmetall 60···120 m/min.
Al-Legierungen: Bearbeiten mit Schnellarbeitsstahl etwa 10fache, Bearbeiten mit Hartmetall etwa 20fache Schnittgeschwindigkeit gegenüber Stahl St38;
Mg-Legierungen: Bearbeiten mit Schnellarbeitsstahl etwa 70fache, Bearbeiten mit Hartmetall etwa 140fache Schnittgeschwindigkeit gegenüber Stahl St 38.
Größte Schnittiefe: 2× größter Vorschub, bei Gußeisen 4× größter Vorschub. – [2]) *Vorschub beim Schlichten* (Drehen, Hobeln) doppelter Wert. [3]) Vorschubgeschwindigkeit. [4]) Fälschlicherweise »Spiralbohrer« genannt.

DK 621.9.027:621–777 **DDR-Standard** November 1960

Deutsche Demokratische Republik

Gesinterte Hartmetalle

Zerspanungsgruppen - Anwendungsgebiete
Kennzeichnung von Hartmetall-Drehmeißeln

TGL 0-4990

Gruppe 273

Reg.-Nr. 10028 Verbindlich ab 1. 5. 1961

Für die Anwendung von gesinterten Hartmetallen auf dem Gebiet der spanenden Formung liegt der Vorschlag einer Empfehlung der „International Organization for Standardization" (ISO) vor, dessen Inhalt in der nachfolgenden Tabelle 1 in den Spalten 1, 2, 3 und 5 eingearbeitet ist.

Für die Anwendung außerhalb der spanenden Formung bestehen keine internationalen Festlegungen.

Übersicht der Anwendungsgebiete und Zerspanungsgruppen

Tabelle 1

Kennfarbe[1])	Zerspanungs-Hauptgruppe	Zerspanungs-Anwendungsgruppe	Bezeichnung der Hartmetallsorte (DDR)	Zerspanungsbedingungen Eigenschaften des Hartmetalls		Anwendungsgebiete
1	2	3	4	5		6
blau	P	P 01.3 P 01.4 P 10 P 20 P 30 P 40 P 50	HS 01 HS 02 HS 10 HS 20 HS 30 HS 40 HS 50	zunehmende Schnittgeschwindigkeit ↑	zunehmende Vorschübe ↓	spanende Formung
gelb	M	M 10 M 20 M 30 M 40	HU 10 HU 10 HU 30 HU 40	↑	↓	
rot	K	K 01 K 10 K 15 K 20 K 30 K 40	HG 01 HG 10 HG 15 HG 20 HG 30 HG 40	↑	↓	spanende Formung spanlose Formung Verschleißteile
	–	–	HG 50 HG 60 HG 70 HG 80	↑	↓	Werkzeuge der Umformtechnik
–	–	–	HZ 10 HZ 20 HZ 30 HZ 40	zunehmende Verschleißfestigkeit	zunehmende Zähigkeit des Hartmetalls	Ziehwerkzeuge

Die in dieser Tabelle festgelegten Buchstaben der Zerspanungs-Hauptgruppen dürfen weder allein noch in Verbindung mit einem zweiten Buchstaben als Herstellerbezeichnung einer Hartmetallsorte verwendet werden.

Die Buchstaben entsprechen in Verbindung mit den Kennfarben dem ISO-Vorschlag und sind auf Grund ihrer internationalen Anwendung keine Anfangsbuchstaben bestimmter Wörter.

Die Reihenfolge der Kenn-Nummern der Zerspanungs-Anwendungsgruppen weist innerhalb der betreffenden Zerspanungs-Hauptgruppe auf die Zähigkeit und Verschleißfestigkeit der zuzuordnenden Hartmetallsorten hin. Innerhalb einer Zerspanungs-Hauptgruppe werden die Sorten mit höchster Verschleißfestigkeit und niedrigster Zähigkeit der Anwendungsgruppe mit der niedrigsten Zahl zugeordnet. Der ISO-Vorschlag gibt für jede Zerspanungs-Anwendungsgruppe an, für welche Werkstoffe Arbeitsverfahren und Arbeitsbedingungen Hartmetalle dieser Gruppe geeignet sind.

[1]) Maßgebend für die Farben sind nachstehende Angaben:

blau 5009
gelb 1904
rot 3011

Typfarben der volkseigenen Farben- und Lackindustri (entsprechend RAL-Farbtonregister 840 R)

Fortsetzung Seite 2 bis 5

Bestätigt am 25. 11. 1960, Amt für Standardisierung, Berlin

Vertrieb: Buchhaus Leipzig, 701 Leipzig, Postschließfach 140 – Verlag: Staatsverlag der DDR, 108 Berlin

Die Anwendungsgruppe legt also die Grenzen fest, in welche die Hartmetallhersteller (international gesehen) ihre Sorten einordnen; sie darf jedoch nicht mit einer Hartmetallsorte identifiziert werden.

Di inzelnen Hartmetallsorten sind vom Hersteller den festgelegten Zerspanungs-Anwendungsgruppen zuzuordnen.

Eine Zerspanungs-Anwendungsgruppe umfaßt also vergleichbare Hartmetallsorten verschiedener Hersteller, die sich allerdings in ihren Schneideigenschaften und in den Leistungen unterscheiden können. Es ist möglich, daß eine Hartmetallsorte von einem Hersteller in verschiedene Zerspanungs-Anwendungsgruppen eingeordnet wird, wenn sie für mehrere Anwendungsgruppen geeignet ist.

Die in diesem Standard enthaltenen Hartmetall-Sortenbezeichnungen sind Herstellerbezeichnungen der in der DDR gefertigten Hartmetallsorten.
Sie lösen die bisher gebräuchlichen Bezeichnungen ab.

Anwendungsgebiete, Arbeitsverfahren und Arbeitsbedingungen

Die in der Tabelle 2 für die einzelnen Hartmetallsorten angegebenen Anwendungsgebiete, Arbeitsverfahren und Arbeitsbedingungen für das Gebiet der spanenden Formung liegen innerhalb der für die einzelnen Anwendungsgruppen festgelegten Grenzen; sie präzisieren jedoch nur die Gebrauchseigenschaften der in der DDR hergestellten Hartmetallsorten.

Tabelle 2

Hartmetall-sorte	Anwendungsgebiet			Arbeitsverfahren und Arbeitsbedingungen
HS 01	spanende Formung	langspanende Werkstoffe	Schlichten und Feinschlichten	Drehen von Stahl und Stahlguß mit hohen Schnittgeschwindigkeiten, bei Vorschüben bis 0,3 mm/U. Feinbohren von Stahl und Stahlguß. Voraussetzung ist für jeden Anwendungsfall ein einwandfreies Gefüge, ohne Schlackeneinschlüsse und Hohlräume, nicht unterbrochenem Schnitt.
HS 02				Drehen von Stahl und Stahlguß bei hohen Schnittgeschwindigkeiten und Vorschüben bis 0,5 mm/U. Feinbohren von Stahl und Stahlguß.
HS 10			Schruppen und Schlichten	Drehen von Stahl und Stahlguß bei hohen bis mittleren Schnittgeschwindigkeiten und Vorschüben bis 1 mm/U, gleichmäßigem Spanquerschnitt und nicht unterbrochenem Schnitt.
HS 20				Drehen von Stahl, Stahlguß, längsspanendem Temperguß und Manganhartguß, bei mittleren Schnittgeschwindigkeiten (etwa 30% niedriger als für HS 10) und Vorschüben bis 2 mm/U, insbesondere bei Verwendung älterer Drehmaschinen sowie bei Arbeiten mit wechselnden Spantiefen. Fräsen von Stahl und Stahlguß, Reiben und Senken von Stahl und Stahlguß.
HS 30				Drehen von Stahl, Stahlguß und langspanendem Temperguß bei mittleren bis niedrigen Schnittgeschwindigkeiten (bis 50% niedriger als für HS 10) und Vorschüben bis 3 mm/U, insbesondere bei unterbrochenem Schnitt oder stark wechselnden Spantiefen. Fräsen, Hobeln und Bohren von vorgenannten Werkstoffen.
HS 40			Schruppen	Drehen von Stahl und Stahlguß, bei niedrigen Schnittgeschwindigkeiten (etwa 60 bis 70% niedriger als für HS 10) und Vorschüben bis 3 mm/U, insbesondere bei unterbrochenem Schnitt, wechselnden Spantiefen und Werkstücken mit Schmiede- oder Gußkruste. Hobeln von Stahl und Stahlguß, besonders bei schweren Schnitten, auch geeignet für Verwendung älterer Hobelmaschinen.
HS 50				Drehen von Stahl und Stahlguß bei niedrigen Schnittgeschwindigkeiten (etwa 70 bis 75% niedriger als für HS 10) und Vorschüben bis 4 mm/U, insbesondere bei schwersten Schnittbedingungen, z. B. unterbrochenem Schnitt, wechselnden Schnittiefen sowie bei Werkstücken mit Schmiede- oder Gußkruste. Auch zur Verwendung auf älteren Drehmaschinen geeignet. Hobeln von Stahl und Stahlguß auf Langhobelmaschinen, Waagerecht- und Senkrecht-Stoßmaschinen.

Hartmetall-sorte	Anwendungsgebiet			Arbeitsverfahren und Arbeitsbedingungen
HU 10	spanende Formung	lang- oder kurzspanende Werkstoffe (Mehrzweck-sorten)	Schruppen und Schlichten	Verschleißfeste Mehrzwecksorte, die zum Drehen und Fräsen von Stahl, Stahlguß, legiertem Grauguß, Temperguß und Hartguß mit einer Brinellhärte bis 500 kp/mm² sowie von Kupfer und Kupferlegierungen, stark verschleißend wirkenden Aluminiumlegierungen und anderen kurzspanenden Werkstoffen geeignet ist. Das Hauptanwendungsgebiet liegt jedoch bei der Stahl- und Stahlgußbearbeitung, unter mittleren Schnittbedingungen, wie sie für HS 10 und HS 20 üblich sind. Bei der Bearbeitung kurzspanender Werkstoffe gelten die Schnittbedingungen wie für HG 10.
HU 30		lang- oder kurzspanende Werkstoffe		Verschleißfeste Mehrzwecksorte, die zum Drehen und Fräsen von Stahl, Stahlguß, Grauguß und Temperguß geeignet ist, bei geringeren Schnittgeschwindigkeiten, jedoch größeren Vorschüben als für HU 10. Die Grenzvorschübe sollen die Werte für HS 30 nicht überschreiten. Bei der Bearbeitung kurzspanender Werkstoffe gelten die Schnittbedingungen wie für HG 20. Auf Grund der hohen Zähigkeit eignet sich die Sorte HU 30 vor allem auch für ältere und weniger starre Werkzeugmaschinen und zur Bearbeitung von Gußstücken mit Lunkern und Sandeinschlüssen.
HU 40				Drehen von Automatenstahl, Stählen niedriger Festigkeit, Leicht- und Buntmetallen, insbesondere zur Verwendung auf Drehautomaten unter üblichen Zerspanungsbedingungen geeignet.
HG 01		kurzspanende Werkstoffe		Drehen, Feindrehen, Feinbohren, von Grauguß hoher Härte, Kokillenhartguß, Aluminiumlegierungen mit hohem Si-Gehalt, gehärtetem Stahl, stark verschleißend wirkenden Kunststoffen und dergleichen.
HG 10			Schruppen und Schlichten	Drehen von Grauguß mit einer Brinellhärte über 200 kp/mm² Zugfestigkeit, harten Bronze- und Leichtmetallegierungen und stark verschleißend wirkenden Werkstoffen wie Glas, Porzellan, Gestein und Hartpapier. Fräsen von Grauguß, Buntmetallen mit harter Walz-, Zieh- oder Gußhaut und harten Leichtmetallegierungen. Hobeln von Grauguß, Riffeln von Mühlenwalzen. Reiben und Senken von Grauguß mit einer Brinellhärte über 200 kp/mm² sowie Kunst- und Preßstoffen. Bohren von Glas, Porzellan und Marmor.
HG 15				Drehen von Elektrodenkohle und ungebrannten keramischen Erzeugnissen.
HG 20			Schruppen und Schlichten	Drehen von Grauguß mit einer Brinellhärte bis 200 kp/mm², Kupfer, Kupferlegierungen, Leichtmetallen sowie Kunst- und Preßstoffen bei mittleren bis hohen Schnittgeschwindigkeiten und kleinen Vorschüben. Fräsen von vorgenannten Werkstoffen, Hobeln von Grauguß mit einer Brinellhärte bis 200 kp/mm², Kupfer, Kupferlegierungen und Leichtmetallen. Bohren, Senken und Reiben von allen vorgenannten Werkstoffen.
HG 30				Bearbeitung von Grauguß niedriger Härte, Holz, Schichtholz und Kunststoffen.
HG 40				Bearbeitung von Holz, Schichtholz, Faser- und Preßstoffen, Nichteisenmetallen niedriger Festigkeit.
HG 15	spanlose Formung	Verschleißteile allgemein		Bestückung von Verschleißteilen wie Sandstrahldüseneinsätzen auf starken Verschleiß beanspruchten Führungsbuchsen und dergleichen.
HG 20				Bestückung von Verschleißteilen wie Körnerspitzen, Meßlehren, Lauf- und Führungsbuchsen und dergleichen. Bestückung von Drehbohrschneiden für den Kali- und Kohlebergbau.
HG 30				Verwendung für Bergbauzwecke, besonders zur Bestückung von Schlagbohrwerkzeugen, Kohle- und Kalibohrern. Bestückung von Schrift- und Fliesenlegermeißeln usw.

Hartmetall-sorte	Anwendungsgebiet			Arbeitsverfahren und Arbeitsbedingungen
HG 40		Verschleiß-teile allgemein		Bestückung von Verschleißteilen, wie Lehren, Auflageschienen usw. Bestückung von Schlagbohrern. Bestückung von Preß-, Reduzier- und Kalibriermatrizen. Bestückung von Ziehdornen und Ziehbacken.
HG 50				Bestückung von Verschleißteilen, wie Preß- und Tiefziehmatrizen sowie Schnitt- und Umformwerkzeugen.
HG 60				Bestückung von Verschleißteilen, wie Schnitt- und Umformwerkzeugen, bei gesteigerten Ansprüchen an die Zähigkeit.
HG 70	spanlose Formung	Werkzeuge der Umform-technik	Zieh-werkzeuge	Bestückung von Verschleißteilen mit besonderen Ansprüchen an die Zähigkeit, wie Hämmer und Kaltschlagmatrizen.
HG 80				Verwendung wie HG 70, bei gesteigerten Ansprüchen an die Zähigkeit.
HZ 10				Bestückung von Ziehwerkzeugen für Drahtzug, insbesondere zum Ziehen von Buntmetallen im Naßzug. Geeignet für Verwendung sauer reagierender Schmiermittel.
HZ 20				Bestückung von Ziehwerkzeugen für Draht- und Stangenzug bis 16 mm Durchmesser bei Verwendung von neutral oder basisch reagierenden Schmiermitteln.
HZ 30				Bestückung von Ziehwerkzeugen für Stangen- und Rohrzug über 16 mm bis 60 mm Durchmesser bei Verwendung von neutral oder basisch reagierenden Schmiermitteln.
HZ 40				Bestückung von Ziehwerkzeugen für Rohrzug über 60 mm Durchmesser bei Verwendung von neutral und basisch reagierenden Schmiermitteln.

Kennzeichnung von Drehmeißeln mit Schneidplatte aus Hartmetall

Am hinteren Schaftteil:

Kennfarbe der Zerspanungs-Hauptgruppe

An der linken Schaftseite vom Schaftende aus gesehen:

Herstellerzeichen, Kurzzeichen des Schaftquerschnittes, TGL-Zeichen und -Nummer des Standards für den Drehmeißel, im Farbfeld die Anwendungsgruppe

Auf der Abschlußfläche des Schaftes:

Anwendungsgruppe und darunter die Hartmetallsorte des Herstellers.

Die Kennzeichnung an der linken Seite des Schaftes ist vertieft anzubringen.

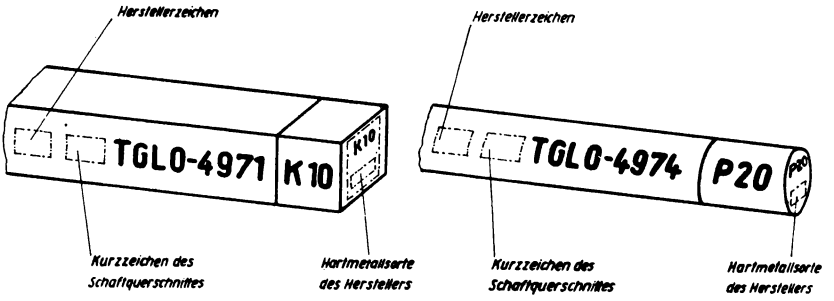
In Fällen, in denen die Form des Schaftes dies nicht zuläßt, können andere Kennzeichnungsarten gewählt werden.

Die Kennzeichnungsart an der Abschlußfläche ist dem Hersteller freigestellt, jedoch sollen Anwendungsgruppe und Hartmetallsorte in gleich großer Schrift angegeben sein.

Beispiele für die Kennzeichnung von Drehmeißeln mit Schneidplatte aus Hartmetall:

Drehmeißel nach TGL 0–4971 mit Hartmetall-Schneidplatte der Anwendungsgruppe K 10

Drehmeißel nach TGL 0–4974 mit Hartmetall-Schneidplatte der Anwendungsgruppe P 20



Hinweise

Dieser Standard ist entstanden unter Berücksichtigung des Vorentwurfes einer ISO-Empfehlung ISO/TC29 GT5 April 1958 und DIN 4990 Ausg. 4. 59.

Inhalt des Vorentwurfs einer ISO-Empfehlung eingearbeitet.

Gegenüber DIN 4990 über das Gebiet der spanenden Formung hinaus erweitert.

Gesinterte Hartmetalle, Technische Lieferbedingungen siehe TGL 7965.

15.8. Berechnungen, Tabellen, Diagramme

In Tabelle 15.12 sind Schnittgeschwindigkeit und Vorschub bei Werkzeugmaschinen zusammengestellt.

Schnittgeschwindigkeit und Arbeitszeit beim Hobeln

Geschwindigkeit $= \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$, $v = \frac{s}{t}$;

Weg = Geschw. × Zeit, $s = vt$; Zeit $= \frac{\text{Weg}}{\text{Geschw.}}$, $t = \frac{s}{v}$.

Beispiel: Bei einem Werkstück aus St 50 soll eine Fläche von 1200 mm × 840 mm in einem Durchgang überhobelt werden. Werkzeug sei aus Schnellarbeitsstahl, Schnittgeschwindigkeit $v = 16$ m/min, Rücklaufgeschwindigkeit $v_2 = 24$ m/min, Vorschub 4 mm/Hub. Überlauf auf jeder Seite je 40 mm. Wieviel Zeit ist zum Bearbeiten erforderlich?

Lösung: Arbeitshub = 1,200 m + 2 · 0,040 m = 1,280 m,

$t = \frac{s}{v} = \frac{1{,}280}{16}\,\text{min} = \frac{1{,}280 \cdot 60}{16}\,\text{s} = 4{,}8\,\text{s}$,

Leerhub $t_1 = \frac{s}{v_1} = \frac{1{,}280 \cdot 60}{24}\,\text{s} = 3{,}2\,\text{s}$,

Doppelhub $t + t_1 = 4{,}8 + 3{,}2 = 8\,\text{s}$,

Doppelhubzahl $= \frac{\text{Breite}}{\text{Vorschub}} = \frac{840\,\text{mm}}{4\,\text{mm/Hub}} = 210$,

Hobelzeit $= 210 \cdot 8\,\text{s} = \frac{210 \cdot 8}{60}\,\text{min} = 28\,\text{min}$.

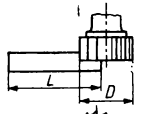
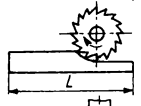
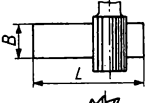
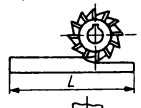
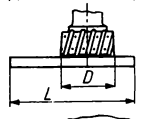
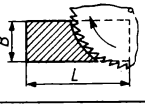
Tabelle 15.13: Geschwindigkeiten und Vorschübe beim Schleifen

Meßgröße	Baustahl St 50	Gußeisen	St 38
Umfangsgeschwindigkeit der Schleifscheibe	1800 m/min	1800 m/min	1800 m/min
Umfangsgeschwindigkeit des Werkstückes	9,6···13,2 m/min	12,0···16,8 m/min	10,2···14,4 m/min
Vorschub bei 1 Umlauf des Werkstückes	$^2/_3$···$^3/_4$ Schleifscheibenbreite	$^3/_4$···$^4/_5$ Schleifscheibenbreite	$^2/_3$···$^3/_4$ Schleifscheibenbreite
Werkstoffschicht	Vorschleifen 0,02···0,06 mm	Vorschleifen 1,5···2,5 mm	Vorschleifen 0,02···0,06 mm
	Fertigschleifen 0,005···0,01 mm	Fertigschleifen 0,5···0,8 mm	Fertigschleifen 0,005···0,01 mm

Schleifen der Werkzeuge: Umfangsgeschwindigkeit eines Sandsteines 180···300 m/min, einer Schmirgelscheibe 1200 bis 2100 m/min.

Tabelle 15.14: Richtwerte für Fräsen mit Schnellarbeitsstahl-Werkzeugen

Schnittiefe 0,5 mm dient zum Schlichten; Schnittiefe 5 mm dient zum Schruppen.

Der Arbeitsweg des Fräsers ist = Fräslänge L + An- und Auslauf. $\frac{\text{Arbeitsweg}}{s'} = t$ (Fräszeit in min)		Zeit min	Fräsbreite B mm	Schnittiefe mm		Stahl bis 65 kp/mm²	Stahl bis 75 kp/mm²	Stahl bis 100 kp/mm²	Gußeisen bis 180 HB	Messing	Leichtmetall
Walzenstirnfräser		$\frac{L+D}{s'}$	bis 70	5	v	17	14	10	12	36	200
					s'	100	90	55	140	190	250
				0,5	v	22	18	14	18	50	250
					s'	70	55	42	70	150	110
Walzenfräser		$\frac{L+20}{s'}$	bis 100	5	v	17	14	10	12	35	250
					s'	100	80	50	120	70	200
				0,5	v	22	18	14	18	35	250
					s'	60	50	35	60	50	100
Schaftfräser		$\frac{L+20}{s'}$	bis 25	5	v	17	15	14	15	40	160
					s'	50	40	20	60	80	90
				0,5	v	22	19	17	19	60	200
					s'	120	100	65	120	120	120
Scheibenfräser		$\frac{L+20}{s'}$	bis 20	5	v	18	14	12	15	35	200
					s'	100	80	50	120	150	200
				0,5	v	22	18	14	20	55	250
					s'	40	30	25	40	80	100
Messerköpfe		$\frac{L+D}{s'}$	bis 180	5	v	20	16	15	16	50	250
					s'	20	65	35	100	200	250
				0,5	v	30	24	20	24	70	350
					s'	50	40	30	90	130	100
Sägen		$\frac{L+2B}{s'}$	bis 2,5	0	v	45	35	25	35	350	350
				1	s'	50	40	30	50	200	200

Schnittgeschwindigkeit und Arbeitszeit beim Drehen, Bohren, Fräsen usw.

Es sei: d Durchmesser (Dmr.) in mm, n Umlaufzahl in Umdr./min, b Schnittgeschwindigkeit (Umlaufgeschwindigkeit) in m/min.

Dann ist $v = \pi dn$ in mm/min, also $v = \frac{\pi dn}{1000}$ in m/min.

Umlaufzahl in 1 min: $n = \frac{1000\,v}{\pi d}$ Umdr./min.

Für v in 1 s würde sein: $n = \frac{60 \cdot 1000 \cdot v}{\pi d}$.

1. Beispiel: Eine Welle von 65 mm Dmr. (St 38) soll mit $v = 16$ m/min abgedreht werden. – Umlaufzahl n = ?

Lösung: $n = \frac{1000\,v}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 16 \text{ m/min}}{65 \text{ mm } \pi}$

$= \frac{16000 \text{ mm/min}}{204{,}2 \text{ mm}} \approx 78{,}4$ Umdr./min.

2. Beispiel: Welche Schnittgeschwindigkeit hat ein Drallbohrer von 52 mm Dmr. bei $n = 60$ Umdr./min?

Lösung: $v = \frac{\pi dn}{1000} = \frac{52\,\pi \cdot 60}{1000} = \frac{163{,}3 \cdot 60}{1000} \approx 9{,}8$ m/min.

In Tabelle 15.13 sind Geschwindigkeiten und Vorschübe beim Schleifen zusammengestellt.
In Tabelle 15.14 sind Richtwerte für Fräsen mit Schnellarbeitsstahl-Werkzeugen zusammengestellt.
Richtwerte für Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe je Zahn für Fräsen mit Hartmetallwerkzeugen sind in den Tabellen 15.15 und 15.16 angegeben.

Tabelle 15.15: Richtwerte für Fräsen mit Hartmetallwerkzeugen (Schnittgeschwindigkeiten)

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit v m/min	
	Schruppen	Schlichten
Gußeisen bis 200 *HB*	55··· 65	60···120
Gußeisen über 200 *HB*	45··· 55	50··· 90
Temperguß	50··· 60	60··· 80
Kupfer	100···180	180···300
Messing, weich	80···150	100···250
Messing, hart	70···120	80···200
Bronze	70···120	80···200
Stahl bis 65 kp/mm²	150···200	150···250
Stahl 65··· 80 kp/mm²	120···180	150···220
Stahl 80···110 kp/mm²	100···150	120···180
Stahl 110···140 kp/mm²	80···100	100···125
Stahlguß, mittelhart	50··· 80	60···100
Stahlguß, hart	50··· 70	50··· 90
Leichtmetalle	300···500	bis 1500
Plaste	150···300	—
Glas	30··· 50	—
Gestein	15··· 30	—

Tabelle 15.16: Richtwerte für Fräsen mit Hartmetallwerkzeugen (Vorschübe je Zahn)

Werkstoff	Vorschub je Zahn s/z mm	
	Schruppen	Schlichten
Gußeisen	bis 0,50	0,10
Stahl	bis 0,40	0,08
Kupfer	bis 0,50	0,10
Messing, Bronze	bis 0,50	0,07
Leichtmetalle	bis 0,75	0,10
Plaste	bis 0,50	0,10

1. Beispiel: Die obere Fläche einer Gußeisen-Parallelschiene von der Länge $L = 820$ mm und der Breite $B = 80$ mm soll mit einem *Walzenfräser* aus Schnellarbeitsstahl geschlichtet werden. Ein- und Ausspannen $t_1 = 3{,}5$ min, Spananstellen $t_2 = 3{,}0$ min. Berechne Gesamtzeit t!

Lösung:

Schlichtzeit $= \frac{L + 20}{s'} = \frac{820 + 20}{60} = \frac{840}{60} = 14{,}0$ min

Ein- und Ausspannen = 3,5 min
Spananstellen = 3,0 min
Gesamtzeit t = 20,5 min

2. Beispiel: Die obere Fläche einer Stahlschiene (Stahl bis 65 kp/mm² Festigkeit) von der Länge $L = 400$ mm und der Breite $B = 40$ mm soll mit einem *Walzenstirnfräser* aus Schnellarbeitsstahl von $D = 90$ mm Dmr. 5 mm geschruppt und 0,5 mm geschlichtet werden. Nebenarbeit = 40 % der Fräsarbeit. Gesamtzeit t = ? min.

Lösung:

Schruppzeit $= \frac{L + D}{s'} = \frac{400 + 90}{100} = \frac{490}{100} = 4{,}9$ min

Schlichtzeit $= \frac{L + D}{s'} = \frac{400 + 90}{70} = \frac{490}{70} = 7{,}0$ min

Gesamte Fräszeit = 11,9 min
Nebenarbeiten = 40 % v. 11,9 min = 4,8 min
Gesamtzeit t = 16,7 min

3. Beispiel: Wie groß darf der Vorschub s' in mm/min für einen *Walzenfräser* mit Hartmetallschneiden von $D = 60$ mm Dmr. und $z = 6$ Zähne für die Schruppbearbeitung von Stahl bis 80 kp/mm² gewählt werden?
Nach den Tabellen 15.15 und 15.16: Schnittgeschwindigkeit $v = 120$ m/min und Vorschub je Zahn $s/z = 0{,}4$ mm.

Lösung:

$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi d} = \frac{120 \cdot 1000}{60\,\pi} \approx 640$ Umdr./min

$s' = nz(s/z) \approx 640 \cdot 6 \cdot 0{,}4 \approx 1536$ mm/min

In Tabelle 15.17 sind Richtwerte für das Drehen mit Harthü-Super-Hartmetall zusammengestellt.

Sägendiagramm zur Maschinenkarte

Bild 15.232 zeigt eine Multiplikationskarte. Links stehen Produkte, unten und rechts bzw. oben die Faktoren. Die Karte eignet sich auch zum Dividieren.

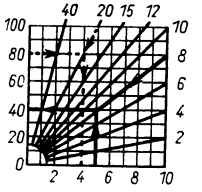


Bild 15.232. Multiplikationskarte

Beispiele: 5 · 8 = 40; 80:20 = 4; 80:4 = 20.

Die in vielen Betrieben vorhandenen Sägendiagramme zu den Maschinenkarten sind nichts anderes als Multiplikationskarten. Für Drehmaschinen und Fräsmaschinen gelten die Formeln: $v = \pi dn$; $n = v : \pi d$.
Bei *Drehmaschinen* bedeuten d Werkstückdmr. in m,
v Schnittgeschwindigkeit in m/min,
n Umläufe der Spindel (Stufenscheibe) in 1/min.
Bei *Fräsmaschinen* bedeutet d Fräserdmr. in m.

Zweck: Auf einer Maschinenkarte sind Angaben über Größe und Leistungsfähigkeit einer Werkzeugmaschine vermerkt. Sie ermöglicht 1. *wirtschaftliche Ausnutzung* der Maschine bezügl. Schnittgeschwindigkeit und Vorschub, um möglichst hohe Spanleistung und geringe Arbeitszeit zu erzielen, 2. schnelle *Ermittlung der Arbeitszeit* ohne Berechnungen durch graphische Darstellungen (Diagramme).

Beispiel: Von einer Drehmaschine (Spindelstock mit Stufenscheibe und Vorgelege, Bild 15.233) soll die Entstehung des »Sägendiagramms« (Bild 15.234) und die Anwendung des »Nomogramms« der Maschinenkarte (Bild 15.235) gezeigt werden. Gegeben: Drehzahl der Antriebswelle, $n_v = 223$ 1/min. Die Stufenscheiben haben wechselweise gleiche Durchmesser. Größter Drehdurchmesser 500 mm. Aufgabe: Es sind für die drei Riemenlagen I, II, III (mit Vorgelege IV, V, VI) zu berechnen: a) die Übersetzungen, b) die Drehzahlen der

*Tabelle 15.17: Richtwerte für das Drehen mit Harthü-Super-Hartmetall *)*

Werkstoff	Festigkeit bzw. Härte	Schlichten Harthü-Sorte	Vorschub	Schnittgeschwindigkeit	Schneidenwinkel		Schruppen Harthü-Sorte	Vorschub	Schnittgeschwindigkeit	Schneidenwinkel	
	kp/mm²		mm/Umdr.	m/min	$\alpha°$	$\gamma°$		mm/Umdr.	m/min	$\alpha°$	$\gamma°$
Baustähle	<50	HS 02 HS 10	0,05···0,2 0,1···0,6	300···400 200···300	6 6	12 12	HS 20 HS 30 HS 40	<0,8 <1,6 >2,0	100···140 80···100 50···80	6 6 6	10 10 12
Bau- und Vergütungsstähle	50···70	HS 02 HS 10	0,05···0,2 0,1···0,6	300···360 180···220	6 6	10 10	HS 20 HS 30 HS 40 HS 50	<0,8 <1,6 >2,0 >3,0	75···100 60···80 30···55 25···40	6 6 6 6	10 10 10 10
	70···100	HS 02 HS 10	0,05···0,2 0,1···0,6	280···320 160···200	6 6	8 8	HS 20 HS 30 HS 40 HS 50	<0,8 <1,6 >2,0 >3,0	50···70 40···60 25···50 20···35	6 6 6 6	6 6 8 8
Stahl, legiert	70···85	HS 02 HS 10	0,05···0,2 0,1···0,6	260···320 180···250	6 6	8 8	HS 20 HS 30 HS 40	<0,3 <0,4 <0,8	60···75 40···60 30···50	6 6 6	8 8 8
	85···100	HS 02 HS 10	0,05···0,2 0,1···0,6	210···260 135···180	6 6	6 6	HS 20 HS 30 HS 40	<0,3 <0,4 <0,8	40···50 30···40 25···35	6 6 6	6 6 6
	100···150	HS 02 HS 10	0,05···0,2 0,1···0,6	130···160 75···120	6	4 4	HS 20 HS 30 HS 40	<0,3 <0,4 <0,8	30···45 25···35 20···30	6 6 6	4 4 4
Grauguß	<200 >200	HG 20 HG 01 HG 10	<0,5 <0,15 <0,4	100···140 75···90 65···80	6 6 6	6 4 6	HG 20 HG 10	>0,5 >0,4	75···100 50···70	6 6	6 4
Hartguß	65···90 Shore	HG 10	<0,2	12···18	6	0	HG 10	>0,2	8···13	6	0
	>90 Shore	HG 10	<0,2	3···8	6	0	HG 10	>0,2	3···6	6	0
Kupfer und Kupferlegierung		HG 20	<0,8	450···550	8	15	HG 20	>0,8	300···400	8	10
Reinaluminium		HG 20	<0,8	1000···1400	8	25	HG 20	>0,8	600···1000	8	20

*) VEB Werkzeugkombinat Schmalkalden, Hartmetallwerk Immelborn/Thür.

Tabelle 15.18: Lösungen zum Beispiel

Gesamtübersetzung i	Drehzahl n in 1/min	Werkstückdurchmesser d in mm
$i = \frac{d \text{ getrieben}}{d \text{ treibend}} \cdot \frac{z \text{ getrieben}}{z \text{ treibend}}$	$n = \frac{n_v}{i}$	$d = \frac{1000 \cdot v}{\pi n} = \frac{1000 \cdot 40}{3{,}14 \cdot n} = \frac{12732}{n}$
$i_I = \frac{170}{270} = \frac{170:170}{270:170} = \frac{1}{1{,}59}$	$n_I = \frac{223}{1/1{,}59} = \frac{223 \cdot 1{,}59}{1} = 355$	$d = \frac{12732}{355} = 35{,}8$
$i_{II} = \frac{220}{220} = \frac{1}{1}$	$n_{II} = \frac{223 \cdot 1}{1} = 223$	$d = \frac{12732}{223} = 57$
$i_{III} = \frac{270}{170} = \frac{1{,}59}{1}$	$n_{III} = \frac{223 \cdot 1}{1{,}59} = 140$	$d = \frac{12732}{140} = 91$
$i_{IV} = \frac{1}{1{,}59} \cdot \frac{60 \cdot 48}{30 \cdot 24} = \frac{1}{1{,}59} \cdot \frac{4}{1} = \frac{2{,}52}{1}$	$n_{IV} = \frac{223 \cdot 1}{2{,}52} = 88{,}5$	$d = \frac{12732}{88{,}5} = 144$
$i_V = \frac{1}{1} \cdot \frac{4}{1} = \frac{4}{1}$	$n_V = \frac{223 \cdot 1}{4} = 55{,}7$	$d = \frac{12732}{55{,}7} = 229$
$i_{VI} = \frac{1{,}59}{1} \cdot \frac{4}{1} = \frac{6{,}36}{1}$	$n_{VI} = \frac{223 \cdot 1}{6{,}36} = 35$	$d = \frac{12732}{35} = 364$

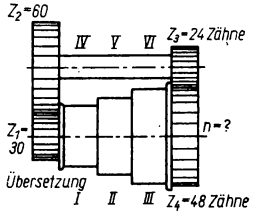


Bild 15.233

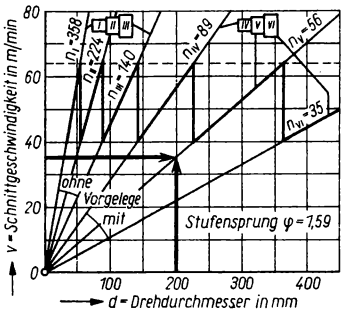


Bild 15.234. Sägendiagramm

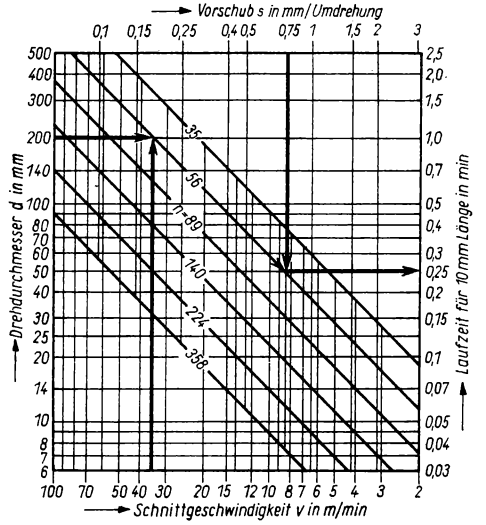


Bild 15.235. Nomogramm zur Ermittlung der Arbeitszeit

Drehspindel, c) zwecks Aufzeichnung des Sägendiagramms die Werkstückdurchmesser d, die den errechneten Drehzahlen n_1 bis n_{VI} und einer beliebig gewählten Umfangsgeschwindigkeit, z. B. v = 40 m/min, entsprechen.

Die Lösungen sind in Tabelle 15.18 zusammengestellt.

Beispiel zu Bild 15.234:

Das Sägendiagramm zeigt gute Stufung an, wenn eine Normdrehzahlreihe und ein Stufensprung φ gewählt wurden, der einer geometrischen Reihe entspricht. Hier ist die 140er n-Reihe und $\varphi = 1{,}59 = \sqrt[5]{10}$ gewählt.

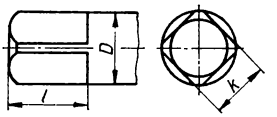
Probe: 1. $1{,}59^0 = 1$; $1{,}59^1 = 1{,}59$; $1{,}59^2 = 2{,}51$; $1{,}59^3 = 4$; $1{,}59^4 = 6{,}36$; $1{,}59^5 = 10$ (vgl. i-Reihe). 2. Das ergibt eine »Sägenlinie« mit gleichen Schnittgeschwindigkeitsstufen als Kennzeichen. Warum ist das vorteilhaft? Die n-Strahlen ergeben sich durch Auftragung der errechneten d-Werte der Tabelle 15.18 bei v = 40 m/min. Soll z. B. der Werkstückdmr. d = 200 mm mit v = 35 m/min bearbeitet werden, so muß n = 56 1/min sein, der Riemen demnach bei eingerücktem Vorgelege auf der mittleren Scheibe liegen.

Beispiel zu Bild 15.235:

Für d = 200 mm, v = 35 m/min, Vorschub s = 0,75 mm und 1000 mm Drehlänge beträgt die Laufzeit für 10 mm Drehlänge 0,25 min, für 1000 mm dann 25 min. Beim Abschätzen von Zwischenwerten ist die logarithmische Maßteilung zu beachten.

Bild 15.236 zeigt einen Vierkant für Werkzeuge, Tabelle 15.19 enthält Werte dieser Vierkante.

Bild 15.236



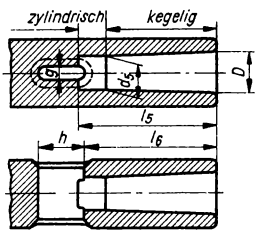


Bild 15.237

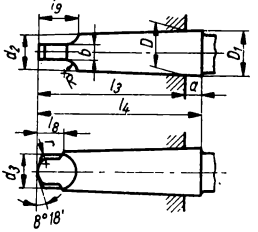


Bild 15.238

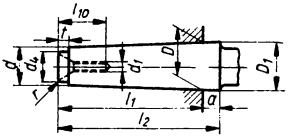


Bild 15.239

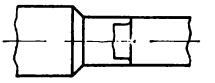


Bild 15.240

Die Bilder 15.237···15.240 zeigen Werkzeugkegel, verschiedene Werte dieser Werkzeugkegel sind in Tabelle 15.20 zusammengestellt.

Vierkante und Vierkantlöcher für Spindeln, Handräder und Kurbeln s. TGL 0-475. Werden diese Kegel für andere Zwecke verwendet, so sind die Längen der Kegelbohrungen nicht größer als die vorhandenen Reibahlen zu wählen. Bei Kegel 1:10 ist jede Länge bis zum doppelten großen Kegeldurchmesser zulässig, da hierfür normale Reibahlen vorgesehen sind.

In den Tabellen 15.21···15.26 sind *Arbeitszeiten* für verschiedene *Schlosserarbeiten* zusammengestellt. Die angegebenen Werte entsprechen bis auf geringe Abweichungen den z. Z. für die Kalkulation zugrunde zu legenden Arbeitszeiten.

Tabelle 15.22: Hauen von Schmiernuten (in mm/min)

Gegenstand	Gußeisen	S.-M.-Stahl	Bronze
glatte Flächen	32	15	35
Prismenflächen	20	10	24
Lager und Buchsen bis 30 mm Dmr.	15	8	20
Lager und Buchsen bis 60 mm Dmr.	18	10	22
Lager und Buchsen über 60 mm Dmr.	20	12	24
Wellen		10	

Tabelle 15.19: Vierkante für Werkzeuge (nach TGL 0-10) (Maße in mm)

über *D*	*k*	*l*	über *D*	*k*	*l*	über *D*	*k*	*l*	über *D*	*k*	*l*	über *D*	*k*	*l*
2,47···2,83	2,1	5	5,08··· 5,79	4,3	7	10,67···12	9	12	19,33···21,33	16	19	34,67···38,67	29	32
2,83···3,20	2,4	5	5,79··· 6,53	4,9	8	12,00···13,33	10	13	21,33···24	18	21	38,67···42,67	32	35
3,20···3,60	2,7	6	6,53··· 7,33	5,5	8	13,33···14,67	11	14	24,00···26,67	20	23	42,67···46,67	35	38
3,60···4,01	3	6	7,33··· 8,27	6,2	9	14,67···16	12	15	26,67···29,33	22	25	46,67···52,06	39	42
4,01···4,53	3,4	6	8,27··· 9,46	7	10	16,00···17,33	13	16	29,33···32	24	27	52,06···58,67	44	47
4,53···5,08	3,8	7	9,46···10,67	8	11	17,33···19,33	14,5	17	32,00···34,67	26	29	58,67···65,33	49	52

Tabelle 15.20: Werkzeugkegel (Schaft und Hülse) (Maße in mm)

Bezeichnung		Schaft							Größtmaße								
		D	D_1	*d*	d_1	d_2	d_3	d_4	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	*l* (*h* 13)	*a*	l_9	l_{10}
metr. Kegel	4	4	4,1	2,9	—	—	—	2,5	23	25	—	—	—	—	2	—	—
	6	6	6,2	4,4	—	—	—	4	32	35	—	—	—	—	3	—	—
Morsekegel	0	9,045	9,2	6,4	—	6,1	6,0	6	50,0	53	56,5	59,5	6,5	3,9	3	10,5	—
	1	12,065	12,2	9,4	M 6	9,0	8,7	9	53,5	57	62	65,5	8,5	5,2	3,5	13,5	16
	2	17,780	18,0	14,6	M 10	14,0	13,5	14	64,0	69	75	80	10,0	6,3	5	16	24
	3	23,825	24,1	19,8	M 12	19,1	18,5	19	81,0	86	94	99	13,0	7,9	5	20	28
	4	31,267	31,6	25,9	M 16	25,2	24,5	25	102,5	109	117,5	124	15,0	11,9	6,5	24	32
	5	44,399	44,7	37,6	M 20	36,5	36,0	36	129,5	136	149,5	156	19,5	15,9	6,5	30	40
	6	63,348	63,8	53,9	M 24	52,4	51,0	51	182,0	190	210	218	28,5	19	8	44	50
metr. Kegel	80	80	80,4	70,2	M 30	69	67	—	196	204	220	228	24	26	8	47	65
	100	100	100,5	88,4	M 36	87	85	—	232	242	260	270	28	32	10	58	80
	120	120	120,6	106,6	M 36	105	102	—	268	280	300	312	32	38	12	—	80
	(140)	140	140,7	124,8	M 36	123	120	—	304	318	340	354	36	44	14	—	—
	160	160	160,8	143	M 48	141	138	—	340	356	380	396	40	50	16	—	—
	(180)	180	180,9	161,2	M 48	159	156	—	376	394	420	438	44	56	18	—	—
	200	200	201	179,4	M 48	177	174	—	412	432	460	480	48	62	20	108	100

Bezeichnung		Schaft			Hülse						Verjüngung	Verjüngungswinkel α
		R	*r*	*t*	*H* 11	*D*	l_5*)	l_6	*A* 13	*h*		
metr. Kegel	4	—	—	2	3	4	25	21	2,2	8	1:20 = 0,05	1°25'56"
	6	—	—	3	4,6	6	34	29	3,2	12		
Morsekegel	0	4	1	4	6,7	9,045	52	49	3,9	15	1:19,212 = 0,05205	1°29'27"
	1	5	1,2	5	9,7	12,065	56	52	5,2	19	1:20,047 = 0,04988	1°25'43"
	2	6	1,6	5	14,9	17,780	67	62	6,3	22	1:20,020 = 0,04995	1°25'50"
	3	7	2,0	7	20,2	23,825	84	78	7,9	27	1:19,922 = 0,05020	1°26'16"
	4	8	2,5	9	26,5	31,267	107	98	11,9	32	1:19,254 = 0,05194	1°29'15"
	5	11	3,0	10	38,2	44,399	135	125	15,9	38	1:19,002 ≈ 0,05263	1°30'26"
	6	17	4,0	16	54,8	63,348	188	177	19,0	47	1:19,180 = 0,05214	1°29'36"
metr. Kegel	80	20	5	8	71,4	80	202	186	26	52		
	100	30	6	10	90,0	100	240	220	32	60		
	120	37,5	6	11	108,5	120	276	254	38	68		
	(140)	45	8	13	127,0	140	312	286	44	76	1:20 = 0,05	1°25'56"
	160	45	8	14	145,5	160	350	321	50	84		
	(180)	55	10	16	164,0	180	388	355	56	92		
	200	65	10	18	182,5	200	424	388	62	100		

*) Kleinstmaß.

Tabelle 15.21: Flächenbearbeitung

Kenngröße	Kennwert							
Feilen und Schlichten von Flächen								
Feilbreite in mm bis	10	15	20	25	30	35	40	50	60
Feilfläche/min in cm²	6	5,4	5	4,7	4,4	4,2	4	3,7	3,5

Tabelle 15.21 (Fortsetzung)

Kenngröße	Kennwert						
Abrichten und Tuschieren von Flächen							
Flächeninhalt in cm²	200	400	600	800	1000	1400	2000
Tuschierfläche/min in cm²	4,1	6	7,6	9	10	12	15

Tabelle 15.23: Schaben und Aufpassen von Lagern

Durchmesser D	Länge					
	$^1/_4D$	$^1/_2D$	$1D$	$1^1/_2D$	$2D$	$2^1/_2D$
mm	Schabfläche/min in cm²					
30	3	2,7	2,5	2,3	2	1,7
50	4,5	4,2	3,9	3,6	3,4	3
75	6,3	5,8	5,4	5,1	4,8	4,2
100	7,8	7,2	6,8	6,5	6,2	5,4
150	10,5	9,6	9,2	8,8	8,2	7,2
200	12,5	11,5	11	10,5	9,7	8,6
250	14	13	12,2	11,7	11	9,7
300	15,3	14,3	13,5	12,7	12	10,7
400	17,5	16,2	15,4	14,5	13,8	12,6

Anmerkung: Das jeweilige Spannen und Probieren sowie die Schleifzeit für den Schaber sind in den Werten der Tabelle 15.23 enthalten.

Tabelle 15.24: Spannen bei Schlosserarbeiten

Art der Aufspannung	Arbeitszeit min
Teile bis 2 kg im Schraubstock	0,12
Teile bis 5 kg im Schraubstock	0,18
Teile bis 10 kg im Schraubstock	0,25
Teile bis 20 kg im Schraubstock	0,5
Spannen oder Auflegen (2 Mann) bis 40 kg	1
Auflegen mit Flaschenzug	3···5
Auflegen mit Kran*)	5···10

*) Die Kranzeit gilt nicht für große Gegenstände, da das Anhängen mit Seilen und Ketten längere Zeit und mehrere Arbeitskräfte in Anspruch nimmt.

Tabelle 15.25: Schneiden von metrischem Gewinde für Durchgangsbohrungen

Gewinde	Arbeitszeit in min bei Schneidtiefe in mm						
	10	20	30	40	50	60	70
M 6	2,7	3,3	—	—	—	—	—
M 8	2,8	3,7	—	—	—	—	—
M 10	3,1	3,9	5,4	—	—	—	—
M 12	3,2	4,4	6	7,3	—	—	—
M 16	3,5	4,8	6,7	8,5	9,8	—	—
M 20	4,2	5,4	7,5	9,5	10,6	—	—
M 22	4,4	6,1	8,3	10,6	11,6	12,4	—
M 24	—	7	9,5	12	14,5	15,5	—
M 30	—	7,4	10	12,6	15,5	18	—
M 33	—	7,8	10,6	13,4	16,4	19,4	—
M 39	—	—	12	15	18	21,5	24,5

Anmerkung: Die in Tabelle 15.25 angegebenen Zeiten sind Grundzeiten, und zwar für das Schneiden des Gewindes in S.-M.-Stahl, THOMASstahl und Stahlguß.

1. Aufgabe: 2 Gußeisen-Tuschierplatten sollen abgerichtet und tuschiert werden. Die Länge der gefrästen Tuschierfläche einer Platte beträgt 300 mm, die Breite 200 mm. Wieviel Zeit ist für das Abrichten und Tuschieren beider Platten erforderlich?

Lösung: Die zu bearbeitende Fläche einer Platte beträgt: $A = 30\text{ cm} \times 20\text{ cm} = 600\text{ cm}^2$. Aus Tabelle 15.21 ergibt sich, daß bei einer Fläche von 600 cm² je min 7,6 cm² tuschiert werden können. Die Bearbeitungszeit für eine Platte beträgt also 600:7,6 = 79 min; für 2 Platten demnach: 2 · 79 min = 158 min = 2 h 38 min ≈ 2 h 40 min.

2. Aufgabe: Die beiden Lager einer Kreissäge sollen geschabt und aufgepaßt werden. Wie lange dauert diese Arbeit, wenn der Wellendurchmesser $D = 50$ mm und die Lagerlänge $L = 1^1/_2D$ beträgt?

Lösung: Die zu schabende Fläche eines Lagers beträgt $A = \pi DL = 15{,}708\text{ cm} \cdot 1{,}5 \cdot 5\text{ cm} = 117{,}75\text{ cm}^2$.

Nach Tabelle 15.23 beträgt für ein Lager mit $D = 50$ mm und $L = 1^1/_2D$ die in 1 min zu bearbeitende Fläche 3,6 cm².

Für ein Lager braucht man also $\frac{117{,}75\text{ cm}^2}{3{,}6\text{ cm}^2} = 32{,}7$ min, für die beiden Lager 2 · 32,7 min = 65,4 min ≈ 1 h 6 min.

Tabelle 15.26: Feilen von Keilen und Aufkeilen von Gegenständen

Keilmaße	Seitenflächen feilen	Grundfläche feilen	Obere Fläche feilen	Gesamtfläche	Federkeile			Nasenkeile	
					2 Rundungen			Kopf- und Stirnseite feilen	Keilen je 10 mm
					Schruppen	Feilen	Keilen je 10 mm		
mm	min für je 10 mm Länge				min	min	min	min	min
8×7	0,28	0,1	1,8	2,18	1	2	1,5	3,2	1,3
10×8	0,32	0,15	2	2,47	1,3	3	1,7	3,8	1,45
12×8	0,45	0,18	2,2	2,83	2	4	1,85	4	1,55
14×9	0,55	0,2	2,35	3,1	4	4,8	2	4,8	1,7
16×10	0,55	0,22	2,35	3,12	4,5	4,8	2	5,5	1,7
20×12	0,65	0,25	2,25	3,15	werden	6	1,9	6,5	1,6
24×14	0,75	0,28	2,1	3,13	rund	7	1,8	7,5	1,5
28×16	0,9	0,3	2	3,2	gehobelt	7,5	1,7	9	1,45
32×18	1	0,32	1,85	3,17		8	1,55	10,2	1,32
36×20	1,2	0,38	1,7	3,28		9	1,45	13,5	1,23
40×22	1,45	0,42	1,7	3,57		10	1,45	18	1,23
45×25	1,65	0,5	1,7	3,85		12	1,45	22,2	1,23
50×28	1,95	0,58	1,7	4,23		14	1,45	27	1,23

Zu den in Tabelle 15.26 angegebenen Zeiten sind noch hinzuzurechnen: Welle und aufzukeilenden Gegenstand spannen oder auflegen (Tabelle 15.24); Nut in dem zu keilenden Gegenstand nachfeilen (Tabelle 15.21). Abgraten der Nut durchschnittlich 0,3 min je 100 mm Kantenlänge. Alle anderen Zeiten sind in Tabelle 15.26 enthalten.

16. Mechanische, hydraulische, pneumatische Vorrichtungen und Aggregate; Container

16.1. Spann- und Haltezeuge

Schraubstöcke dienen als *Bankschraubstöcke* zum Festhalten (Einspannen) der Werkstücke zwecks Bearbeitung von Hand, als *Maschinenschraubstöcke* zum Einspannen kleinerer Werkstücke zur Maschinenbearbeitung (namentlich beim Bohren, Fräsen und Hobeln).

Beim *Flaschenschraubstock* (Bild 16.1) ist der vordere Backen a bei c drehbar und wird mittels Spindel b gegen den hinteren Backen gepreßt. Die Backenflächen sind nur in einer bestimmten Lage parallel. Wegen seiner Stahlausführung ist er schlagfest, geeignet für Richtarbeiten, Warmbiegen u. a. – Beim *Parallelschraubstock* (Bild 16.2) dagegen bewegen sich die beiden eingesetzten (gehärteten) Stahlbacken stets parallel zueinander und halten daher das Werkstück schonender und gleichmäßig fest. Die (meist staubsicher gelagerte) Spindel bewegt entweder den vorderen oder besser (Raumersparnis) den hinteren Backen. Beim Spannen gegen bearbeitete Flächen legt man zur Schonung gewinkelte Alu-, Kupfer- oder Bleibacken ein. – Der *Gasrohrschraubstock* (Bild 16.3) ist senkrecht oder waagerecht spannend. Der bewegliche Backen b wird durch die Spindel auf das Werkstück gedrückt. – Den schnell einstellbaren und fest spannenden *Ketten-Rohrschraubstock* (Bild 16.4) benutzt man hauptsächlich zur Montage. Die verstellbare Spannkette wird durch die mit beweglichem Griff g versehene Schraube fest angezogen.

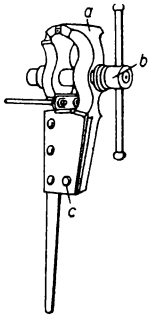


Bild 16.1

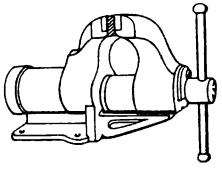

Bild 16.2



Bild 16.3

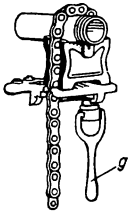
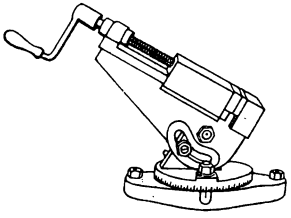
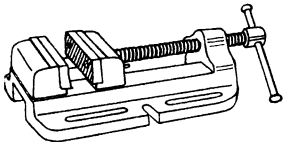


Bild 16.4


Bild 16.5


Bild 16.6

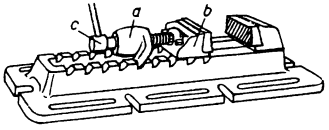


Bild 16.7

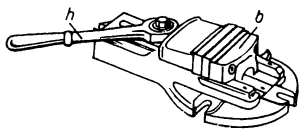


Bild 16.8

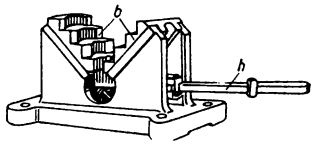
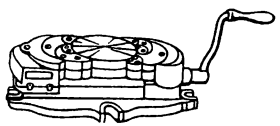
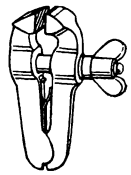


Bild 16.9


Bild 16.10


Bild 16.11

Der *Universal-Maschinenschraubstock* (Bild 16.5) ist waagerecht drehbar, ferner waagerecht und senkrecht sowie im beliebigen Winkel nach Skale mittels Schrauben feststellbar. – Bei dem *Maschinenschraubstock* (Bild 16.6) hat die Spindel Links- und Rechtsgewinde, so daß sich beide Backen bewegen und zwischen den keilförmigen Backenflächen das Werkstück festspannen.

Schnellspannende Parallelschraubstöcke. In Bild 16.7 wird der bewegliche Backen b mittels Bügelschilds a und Verzahnung auf ungefähre Spannweite eingestellt und durch die Spindel c festgeklemmt. – In Bild 16.8 geschieht das Festspannen durch sog. Daumenkraft mit dem Hebel h, dessen Kopf am Umfang exzentrisch ist. Der Hebel ist auf der in der Mitte durchgehenden Führung des hinteren Backens b verstellbar befestigt, so daß die Spannweite von 15 zu 15 mm verändert werden kann. – Der *Treppenschraubstock* (Bild 16.9) ist hauptsächlich für Bohrmaschinen geeignet. Die Backen b gleiten auf schräger Führung und werden durch Federn nach unten gezogen, wodurch sie das Werkstück festspannen. Kniehebel h bewirkt Heben und dadurch Lockern der Backen. Geeignet zum Ankörnen, Flanschbohren u. dgl.

Der *Reaktionsbacken-Maschinenschraubstock* (Bild 16.10) dient zum gleichmäßigen Einspannen runder Scheiben und von


Bild 16.12


Bild 16.13

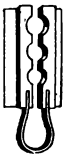
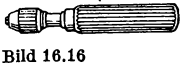
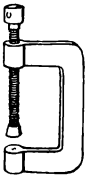
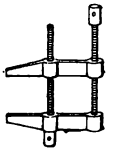

Bild 16.14


Bild 16.15


Bild 16.16


Bild 16.17


Bild 16.18

Formteilen jeglicher Art. Die aus bogenförmigen, in sich beweglich gelagerten Segmentteilen zusammengesetzten Backen passen sich der beliebigen Form des Werkstücks genau und leicht an, so daß ein Verspannen und Verziehen des Werkstücks ausgeschlossen ist.

Zum Einspannen kleinerer Werkstücke dienen *Feilkloben* (Bild 16.11). Verstellen der Backen mittels Flügelmutter oder Vierkantschlüssels. Die Backen werden beim Öffnen mittels Blattfeder auseinandergedrückt. – *Stahl-Reifkloben* (Bild 16.12) und hölzerne *Spannkloben* (Bild 16.13) dienen zum Einspannen in den Schraubstock. – Ähnlich ist das *Gasrohr-Spannfutter* (Bild 16.14) mit federndem Bügel. – *Stielfeilkloben* (Bild 16.15) mit flachem (oder rundem) Maul und *Universalkopf* (Bild 16.16) dienen zum Festhalten von Draht, Schrauben, Stiften u. dgl.

Schraubzwingen (Bild 16.17) benutzt man zum vorübergehenden Festhalten von Platten, Flanschen, Winkeln usw. – Die *Parallelzwinge* (Bild 16.18) findet ähnliche Verwendung bei Werkstücken mit größeren Spannmaßen.

Aufspannvorrichtungen geben den Werkstücken einen festen, sicheren Halt auf Dreh-, Hobel-, Bohr- und Fräsmaschinen. In den Maschinentischen befinden sich schwalbenschwanzförmige (Bild 16.19) oder T-förmige *Aufspannuten*, in die *Spannschrauben* mit abgeschrägtem oder Vierkantkopf eingeführt werden. Die Spannschrauben pressen ein *Spanneisen* (Bild 16.20) auf der einen Seite auf das Werkstück, auf der andern auf eine Unterlage, deren Höhe richtig gewählt werden muß: *Unterlage* ist zu hoch; Spanneisen und Mutter liegen nur mit einer Kante auf. Richtiges Aufspannen gewährleisten *Spanntreppe* t (Bild 16.21), *Doppeltreppe* a und b (Bild 16.22) oder *Schlittenspanner* (Bild 16.23), bei dem der geschlitzte Oberteil o in gewünschter Höhe durch Schraube und Mutter festgeklemmt wird. – Häufig verwendet man *gekröpfte Spanneisen* mit Unterlage oder besser mit *Stellschraube* s (Bild 16.24).

Aufspannbacken (Bild 16.25) haben kreuzweise genutete Spannbacken a, so daß zylindrische Körper zwischen einem Backenpaar senkrecht und waagerecht eingespannt werden können. Schräge Schlittenführung bewirkt durch Anziehen der Mutter m zwangsläufiges Verschieben des Oberteiles a gegen das Arbeitsstück, welches auf den Tisch gedrückt wird und dadurch gut aufliegt. Das Verschieben des Teils a gegen k ist möglich, da Schraubenbolzen c in den länglichen Löchern geführt ist.

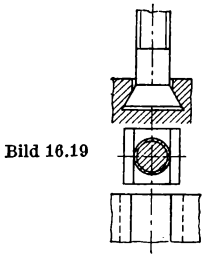
Aufspannfrosch (Bild 16.26) für hohe Werkstücke. Druck von der Seite durch Schrauben a. Frosch wird durch Spannschraube b auf dem Werkstück festgehalten; Leisten c sind in der Tischnute geführt und verhindern seitliches Verschieben. – Das Aufspannen einer Welle w zum Hobeln einer Nut mittels Nutenstahls f zeigt Bild 16.27. *Kniestück* a und Spanneisen mit *Schraubbock* b halten die Welle. Schraube s gestattet Änderung der nutzbaren Höhe des Schraubbocks.

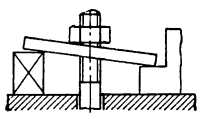
Die folgenden Aufspannvorrichtungen dienen zum schnellen Aufspannen von Arbeitsstücken ohne Verwendung irgendwelcher Unterlegstücke oder sonstiger Hilfsmittel.

Die *Spannklaue* (Bild 16.28) ist durch Gelenkbolzen b in den sechskantigen Auflagerbock exzentrisch gelagert; es ergeben sich für die Klaue k sechs verschiedene Höhen.

Spannkloben ähnelt der Spannklaue; er wird verwandt zum Spannen von der Seite und von oben. Eine bessere Ausführung zeigt Bild 16.29. Durch Anziehen der Spannmutter drückt die Klaue k auf das Gelenk g. Wirkungsweise wie bei Aufspannbacken.

Aufspannwinkel dient zum Aufspannen von Werkstücken an genau senkrechten Flächen. Bild 16.30 zeigt einen auf jeden beliebigen Winkel *verstellbaren Aufspannwinkel* zum Bearbeiten schräger Flächen.


Bild 16.19


Bild 16.20

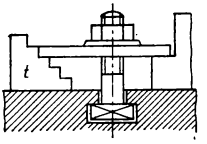


Bild 16.21

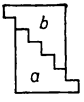


Bild 16.22

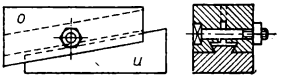


Bild 16.23

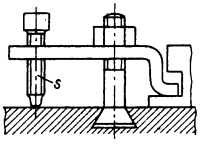


Bild 16.24

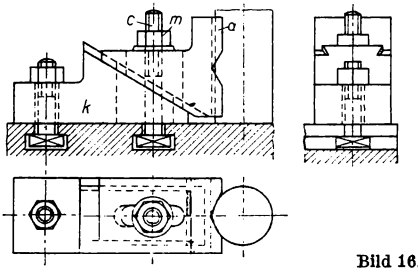


Bild 16.25

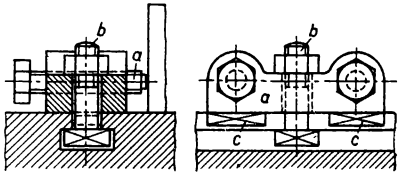


Bild 16.26

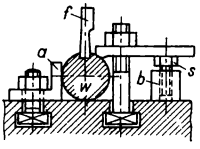


Bild 16.27

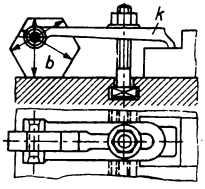


Bild 16.28

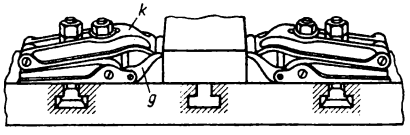
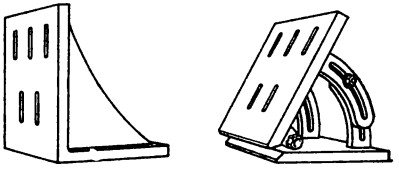


Bild 16.29


Bild 16.30

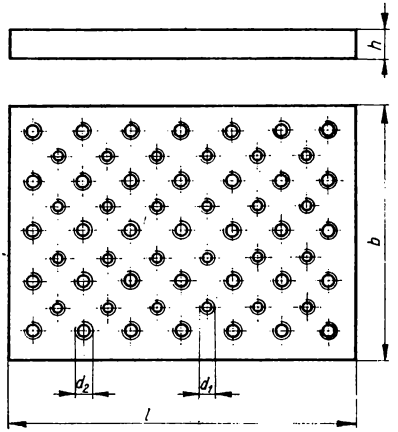


Bild 16.31. Grundplatte

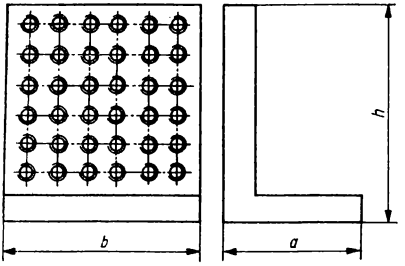


Bild 16.32. Winkel

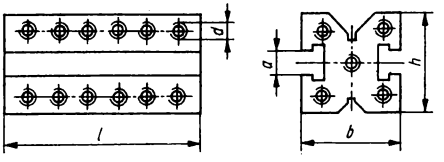


Bild 16.33. Prisma

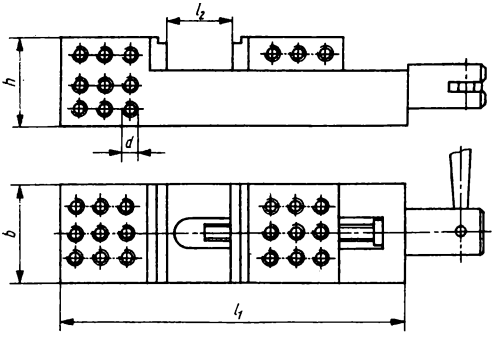


Bild 16.34. Schraubstock

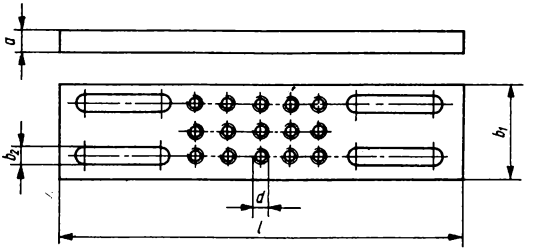


Bild 16.35. Verbindungsleiste

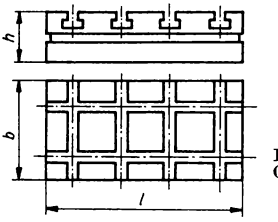


Bild 16.36.
Grundplatte Nutsystem

Zur rationellen Fertigung wurden *Vorrichtungs-Baukastenreihen* entwickelt. Für Bohrvorrichtungen, z. B. nach dem Gewindesystem des VEB Vorrichtungsbau Hohenstein, bestehen die *Bauelemente* aus: 1. Grundelementen, z. B. Grundplatten, Winkel, Schraubstöcke (Bilder 16.31···16.34), 2. Lagebestimmelementen, wie Verbindungsleisten, Höhenzylinder, Bohrbuchsenträger, Bohrbuchsen usw. (Bild 16.35), 3. Spann- und Verbindungselementen, wie Schrauben, Muttern, Spannbolzen, Spanneisen. In den Bildern sind die zur Fertigung und zum Zusammenbau benötigten Maße angegeben.

Die Bauelemente werden zu einem Normalsortiment und Ergänzungsteilen so zusammengestellt, daß etwa 30···50 mittlere Bohrvorrichtungen gleichzeitig genutzt werden können. Der Einsatz der Baukastenvorrichtungen bewährt sich in der Klein- und Mittelserienfertigung, bei Nullserien (weil hier noch Änderungen zu erwarten sind) und überall, wo Spezialvorrichtungen zu teuer sind. Auch der Anlauf großer Serien kann termingemäß beginnen, wenn die Spezialvorrichtungen noch nicht fertig sind oder später unvorhergesehen ausfallen.

Der Vorrichtungsbaukasten im Nutsystem (VEB Vorrichtungsbau Hohenstein) ist vielseitiger einsetzbar als der beschriebene. Die Nuten geben den Führungsstücken festeren

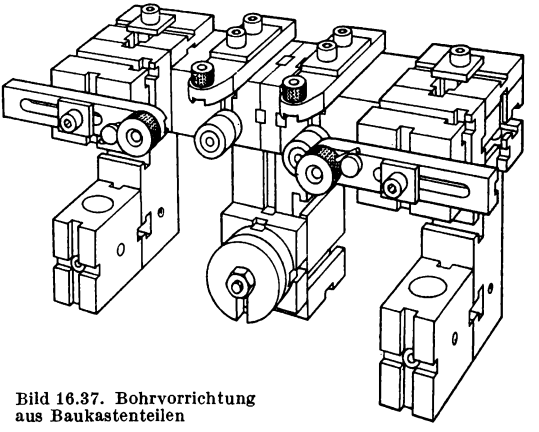


Bild 16.37. Bohrvorrichtung
aus Baukastenteilen

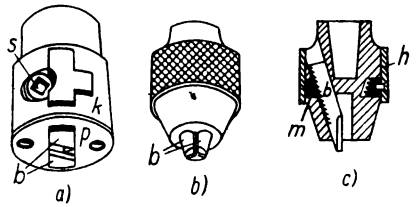


Bild 16.38



Bild 16.39

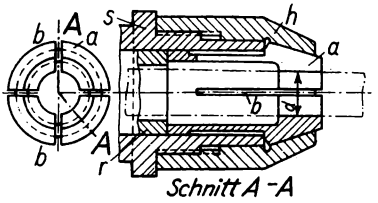


Bild 16.41

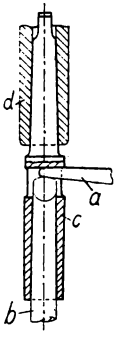


Bild 16.40

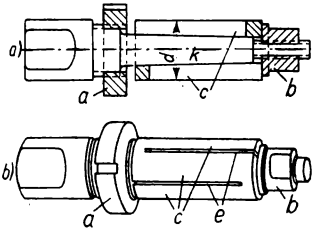


Bild 16.42

Halt und ermöglichen nicht nur Verwendungen als Bohr-, sondern auch als Fräs- und Hobelvorrichtungen. Bild 16.36 zeigt eine Grundplatte des Nutsystems und Bild 16.37 eine fertig montierte kippbare Bohrvorrichtung für einen Lagerarm.

Bohrfutter (Bild 16.38a) für Bohr- und Drehmaschinen zum Einspannen von zylindrischen oder kantigen Werkzeugen (Bohrer, Versenker usw.). Die beiden Backen b werden durch die mit Rechts- und Linksgewinde versehene Schraube s verstellt. Platte p verhindert zu starkes Herausdrehen der Backen. Hauptkörper k (S.-M.-Stahl) ist nach oben durchbohrt und wird auf einen konischen Dorn gesteckt, der in dem Hohlkegel der Arbeitsmaschine befestigt wird. – Bohrfutter (Bild 16.38b), Schnittzeichnung (Bild 16.38c), für leichtere Bohrarbeiten. Die drei Backen b haben an der Außenseite Verzahnung und werden durch das kegelige Gewinde der Mutter m mittels Hülse h von Hand gleichmäßig und genau zentrisch eingestellt.

Kegeliger Einsatz oder Bohrerhülse (Bild 16.39) für Bohrwerkzeuge, passend zum Hohlkegel der Bohrmaschinenspindel; bei starker Beanspruchung mit Mitnehmerfläche f ausgebildet. Der entsprechend angeschliffene Bohrer paßt sich der Fläche genau an. – Den *Doppelkegel* oder die kegelige Verlängerung (Bild 16.40) braucht man bei zu kurzen Bohrspindeln. Werkzeug b steckt in dem Hohlkegel c, dieser ist in einer Bohrhülse d oder direkt im Maschinenkegel. Lösen von Einsatz und Werkzeug durch keilförmigen Austreiber a.

Spannpatrone (Bild 16.41) für Revolverdrehmaschine zum Einspannen von Stangenwerkstoff. Hülse h auf dem Gewinde der Drehmaschinenspindel s hält mit ihrem Hohlkegel die mit Schlitzen b versehene Patrone a fest. Durch automatisches Hineinpressen der Patrone a in die Hülse h mittels Ringhülse r erfolgt Zusammendrücken der Patrone und Festklemmen des Stangenwerkstoffes. Patrone auswechselbar. Durchmesser *d* verschieden.

Expandierender Drehdorn im Schnitt (Bild 16.42a) und in Ansicht (Bild 16.42b). Der Dorn k ist kegelig geschliffen und entsprechend den verschiedenen Bohrungen der Arbeitsstücke mit auswechselbaren, durch Schlitze e federnden Büchsen c versehen. Es werden mehrere Büchsen mit verschiedenen Durchmessern *d* verwandt. Durch Anziehen der Mutter b vergrößert sich *d* und spannt das Werkstück fest. Lösen desselben nach Lockerung von b bewirkt Mutter a mittels Nutenschlüssels.

Drehherz (Bild 16.43a) einfach; durch Schraube s wird das Werkstück w festgeklemmt, das zwischen Spitzen d eingespannt ist. Beim Drehen der Drehmaschinenspindel c wird das Drehherz und somit das Werkstück durch einen Mitnehmerstift oder Mitnehmer a in Drehung versetzt. – *Sicherheitsscheibe* Si in Bild 16.43a dient zur Vermeidung von Unfällen. – Zur Schonung der Werkstücke hat *Drehherz* (Bild 16.43b) eine genutete Klemmbacke a, die sich in einer Führung bewegt. – Drehherz (Bild 16.43c) hat gebogenen Mitnehmerzapfen, der in einen Schlitz der Planscheibe eingreift.

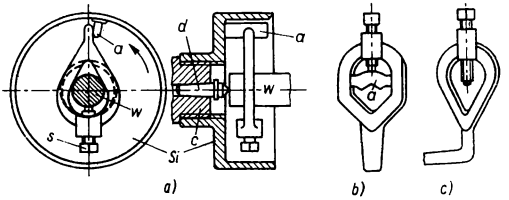


Bild 16.43

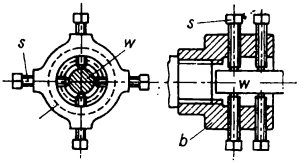


Bild 16.44

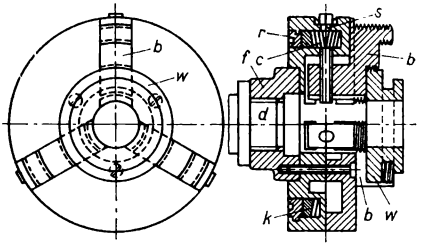


Bild 16.45

Drehmaschinenfutter (Bild 16.44) einfach; Werkstück w wird in einer zylindrischen Hülse b durch 8 Schrauben s festgehalten. Zentrisches Einspannen schwer zu erreichen. – Besser sind Zweibackenfutter oder *Dreibackenfutter* (Bild 16.45). Die Backen können gleichzeitig oder einzeln bewegt werden. Schraubenspindel s greift durch Kegelrad c in Zahnkranz k ein, wodurch alle drei Backen b gleichzeitig und gleichmäßig bewegt werden. Durch Drehen des Stellringes r können die Kegelräder außer Eingriff gebracht werden; Backen bewegen sich dann einzeln und unabhängig voneinander. Das Dreibackenfutter wird mit Hilfe der Futterscheibe f auf die Drehmaschinenspindel d aufgeschraubt. – *Vierbackenfutter* sind seltener.

An modernen Werkzeugmaschinen werden oft hydraulische oder pneumatische Spannelemente eingesetzt. Hydraulik und Pneumatik eignen sich auch zur automatischen Steuerung der erforderlichen Schaltvorgänge.

16.2. Hydraulik

Merkmale und Bedeutung

Hydrostatische Systeme dienen der Übertragung von Kräften und Bewegungen durch eine allseitig eingeschlossene, unter Druck stehende Flüssigkeitssäule. Wegen der einfachen Abdichtung ineinander gleitender Teile mit Rundpassungen und der besseren Schmiereigenschaften wird meist Mineralöl mit Zähigkeiten zwischen 20 und 50 cSt bei 50 °C verwendet. Für Drücke bis 160 kp/cm² und für Systeme mit Winterbetrieb im Freien werden die dünnflüssigeren Sorten mit 20···36 cSt und für Systeme mit hohen Drücken von 320 kp/cm² zähe Sorten mit 50 cSt gewählt.

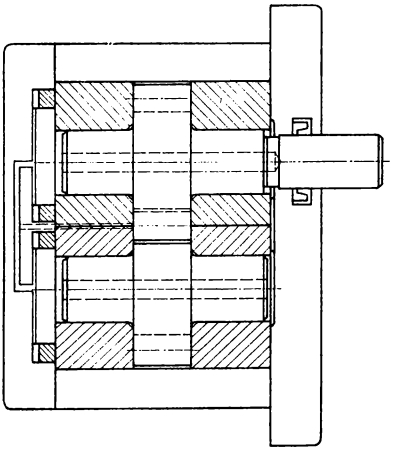


Bild 16.46. Zahnradpumpe mit axialem Spielausgleich

Die Bedeutung der Hydraulik ergibt sich aus der *einfachen Erzeugung geradliniger Hin- und Herbewegungen*, die im Maschinen- und Anlagenbau zahlreich vorkommen. Gegenüber anderen Antriebsmöglichkeiten zeichnet sich die Hydraulik aus durch:

Erzeugung hoher Kräfte bei geringen Abmessungen und Massen,

einfache Geschwindigkeitsbeeinflussung,

einfache Hublängenveränderung,

einfache Verzweigung des Kraftflusses von einer Antriebsquelle zu mehreren Stellorten,

sichere Kraftanpassung und Begrenzung (Überlastungsschutz),

einfache Steuerung und Regelung, besonders in Verkettung mit elektrischen Signalen,

hohe Lebensdauer durch gute Schmierung.

Auch für die *Erzeugung verstellbarer Rotationsbewegungen* mit hohen Drehmomenten und oszillierenden Bewegungen wird die Hydraulik wegen der geringen Schwungmassen von Hydromotoren bevorzugt eingesetzt, wobei sinngemäß die gleichen Vorteile wie bei den geradlinigen Bewegungen hervortreten.

Standardisierte Bauelemente

Die Auflösung der hydraulischen Kreislauf-Systeme in verkettungsfähige Bauelemente folgt dem Vorbild der Elektrotechnik. Voraussetzung dafür ist die Festlegung von Grundstandards und die Entwicklung ökonomischer Verkettungs-Elemente.

Grundstandards

Nenndruck p_N in kp/cm² kennzeichnet max. Arbeitsdruck der Geräte. Standardreihe 16; 25; 63; 160; 320 kp/cm².
Nenndurchflußstrom bzw. *Förderstrom* in l/min. Standardreihe 2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630 l/min.

Nennweite d_N in mm kennzeichnet lichten Durchflußquerschnitt. Standardreihe 6,3; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50 mm.

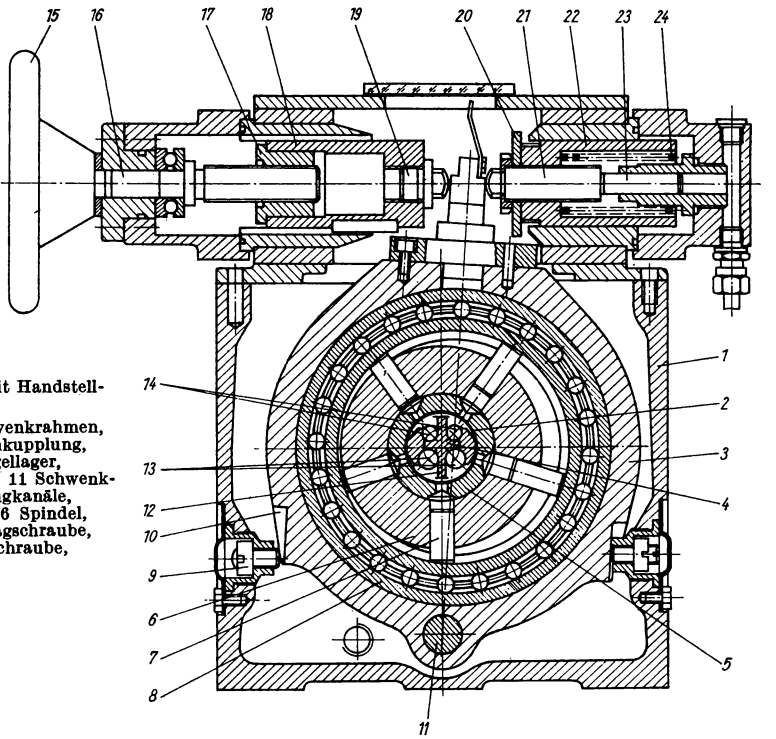


Bild 16.47. Radialkolbenpumpe mit Handstelleinrichtung (nach TGL 10868)
1 Gehäuse, 2 Steuerbuchse, 3 Schwenkrahmen, 4 Antriebswelle, 5 Kreuzscheibenkupplung, 6 Kolbenträger, 7 Kolben, 8 Kugellager, 9 Anschlagschraube, 10 Anschlag, 11 Schwenkzapfen, 12 Steuerzapfen, 13 Saugkanäle, 14 Druckkanäle, 15 Handrad, 16 Spindel, 17 Mutter, 18 Kolben, 19 Anschlagschraube, 20 Anschlagscheibe, 21 Anschlagschraube, 22 Kolben, 23 Kolben, 24 Feder

Nennverdrängungsvolumen in cm³/Umdr. kennzeichnet Pumpen- und Motorenhubvolumen je Umdrehung. Standardreihe 5; 8; 12,5; 20; 32; 50; 80; 125; 200; 320; 500; 800 cm³/Umdr.

Wichtigste Bauelemente

Zahnradpumpen sind hauptsächlichste Druckerzeuger für konstanten Ölstrom bis 160 kp/cm². Antrieb erfolgt meist durch E-Motor mit konstanter Drehzahl. Diese Pumpen werden nach Standardreihe von 2,5 ··· 100 l/min gebaut. Günstige Leckverlustwerte unter 10 % werden bei Laufbüchsenausführung mit axialem Spielausgleich (TGL 10859) erzielt (Bild 16.46). Ähnliche Ausführungen stehen auch als Zahnradmotor zur Abgabe von Drehbewegungen zur Verfügung.

Radialkolbenpumpe n werden vorwiegend für stufenlos verstellbare Förderströme nach Standardreihe von 6,3 bis 160 l/min in zwei Druckstufen von 160 und 320 kp/cm² (TGL 10868) eingesetzt. Kolbenhubverstellung erfolgt durch exzentrisches Ausschwenken des Schwenkrahmens. Standardisierte Verstelleinrichtungen ermöglichen stufenlose Förderstromänderung von 0 ... max. von Hand (Bild 16.47) oder durch elektrische Fernsteuerung, ferner selbsttätig vom Druck aus oder durch elektrische Regelkreise.

Axialkolbenpumpen werden wie Radialkolbenpumpen eingesetzt. Ihr Vorteil gegenüber diesen liegt in geringeren Abmessungen und Massen, besonders bei großen Förderströmen bis 630 l/min. Bild 16.48 zeigt eine Ausführung mit Fernverstellung durch stetiges elektrisches Magnetkernsystem. Antriebswelle und Kolbentrommel rotieren fest miteinander verbunden. Die 11 axialen Kolben gleiten mit Gleitschuhen auf der schwenkbaren Schiefscheibe und erteilen diesen damit die einstellbare Hubbewegung. Durch eine über die Gleitschuhe greifende Andrückplatte wird auch während des Saughubes die Kolbenanlage an der Schiefscheibe sichergestellt, so daß die Pumpen selbstansaugend sind.

Hydromotore dienen der Umwandlung des Druckstroms in Längs-, Drehwinkel- oder Rotationsbewegung. Bild 16.49 zeigt wichtige Grundformen. Bei *Arbeitszylindern* (a) be-

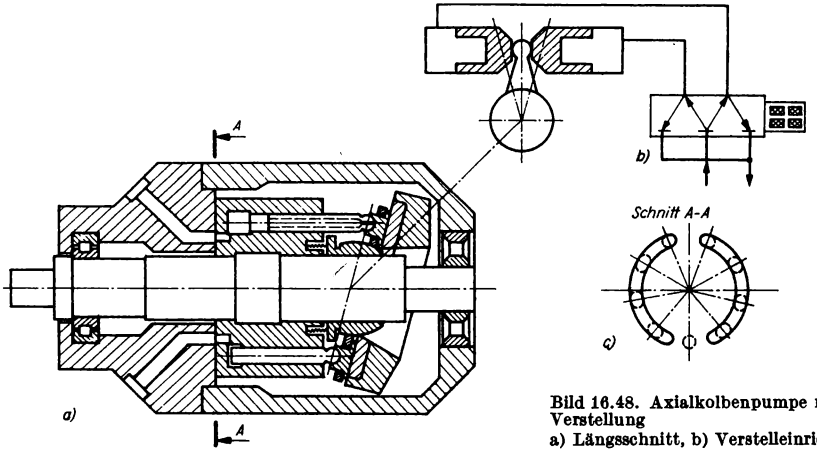


Bild 16.48. Axialkolbenpumpe mit elektrohydraulischer Verstellung
a) Längsschnitt, b) Verstelleinrichtung, c) Steuerquerschnitt

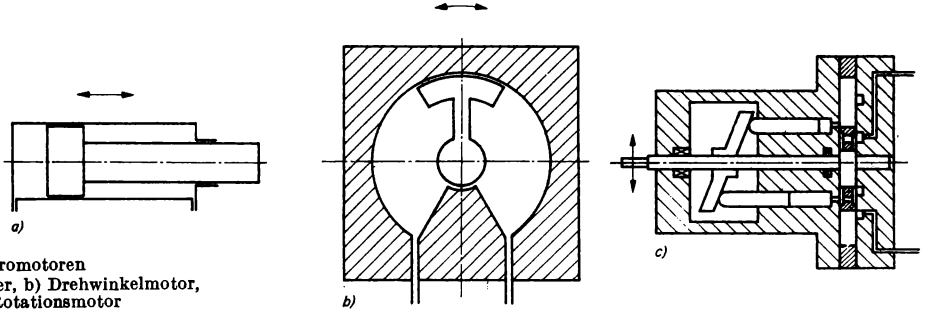


Bild 16.49. Hydromotoren
a) Arbeitszylinder, b) Drehwinkelmotor,
c) Axialkolben-Rotationsmotor

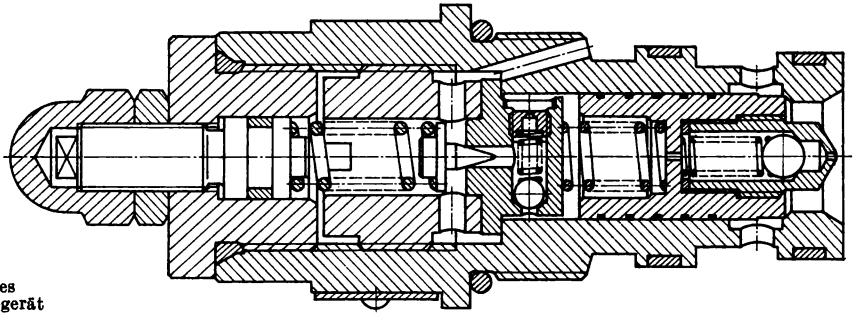


Bild 16.50. Vorgesteuertes Druckventil, Einschraubgerät

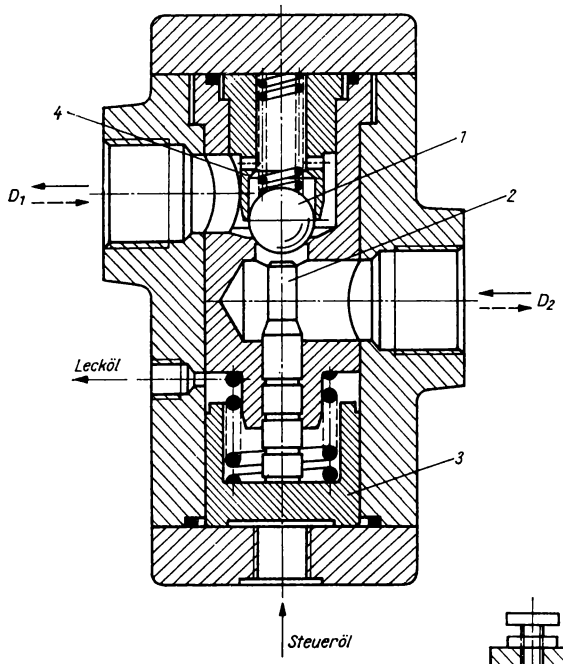


Bild 16.51. Entsperrbares Rückschlagventil, druckentlastet, ND 160 (nach TGL 10970)
1 Kugel, 2 Aufstoßstift, 3 Steuerkolben, 4 Buchse

stehen mehrere Baureihen in den Nenndruckstufen von 63, 160 und 320 kp/cm² und mit Kolbendurchmessern von 32 bis 200 mm. Bauformen sind: Einfach und doppelt wirkend; einseitig und beidseitige Kolbenstange sowie Teleskopzylinder. Befestigungsarten: Schwenkauge, Gelenkauge, Schwenkzapfen, Fußbefestigung, Flanschbauweise.

Drehwinkelmotore (b) liegen nur in Spezialausführungen mit Drehwinkeln bis 280° vor.

Hydromotore für fortlaufende oder oszillierende Rotationsbewegungen (c). Die Typenreihen enthalten Baugrößen von 1,6 bis 200 m kp Drehmoment und max. Drehzahlen bis etwa 2000 Umdr./min. Im Vergleich zu E-Motoren weisen sie nur geringe Schwungmassen auf und eignen sich somit für hohe Beschleunigung und Verzögerung sowie für Umkehrantriebe.

Ventilbaukastensysteme enthalten Druckventile, Sperrventile, Stromventile, Wegeventile. Montagearten: Einschraubgerät, Rohrleitungseinbau, Unterplattenbauweise, Batterieverkettung. Der ORSTAvent-Baukasten ist darauf gerichtet, Einschraubgeräte weitgehend auch in den übrigen Montagearten einzusetzen.

Druckventile mit Vorsteuerventilen (Bild 16.50) als Einschraubgerät sind die zukünftige Standardform für andere Bauarten. Mit Aufnahmekörper als Gehäuseteil wird hieraus ein Rohreinbaugerät geschaffen. Das Vorsteuerventil ergibt geringe Abmessung der Ventilfeder bei größerem Durchflußstrom und wenig stromabhängiger Kennlinie. Dämpfungswirkung entsteht durch verzögerte Schließbewegung mittels Drossel- und Rückschlagventils. Baureihe für verschiedene Durchflußströme in $p_N = 160$ und 320 kp/cm².

Sperrventile sind Rückschlagventile mit mechanischer und hydraulischer Entsperrung bzw. ohne sie; Baureihe für $p_N = 160$ und 320 kp/cm². *Hydraulisch entsperrbares Rückschlagventil* (Bild 16.51) wird durch Druckbeaufschlagung auf

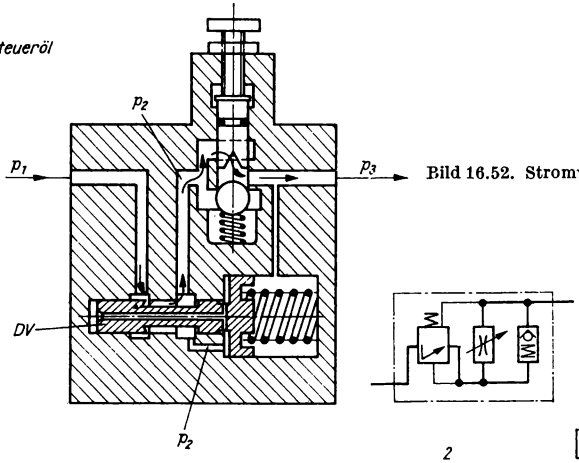


Bild 16.52. Stromventil

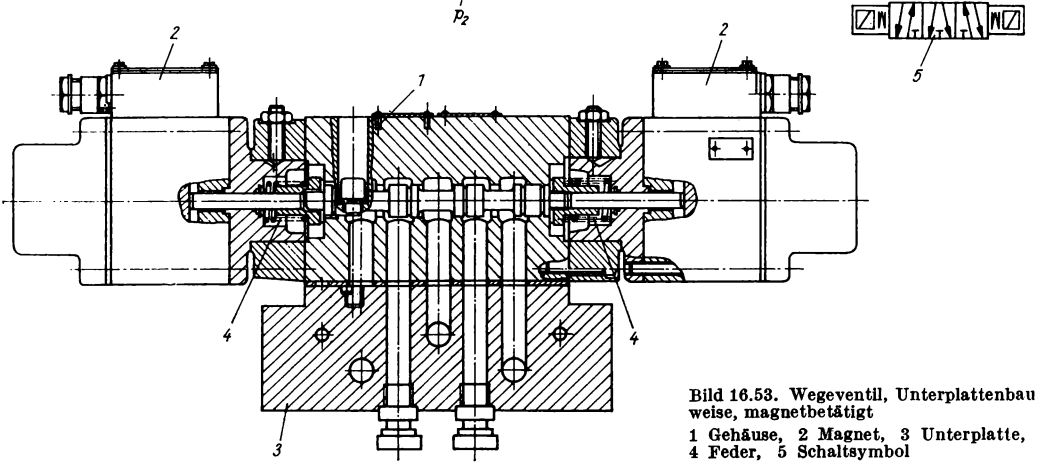


Bild 16.53. Wegeventil, Unterplattenbauweise, magnetbetätigt
1 Gehäuse, 2 Magnet, 3 Unterplatte, 4 Feder, 5 Schaltsymbol

Kolben 3 entsperrt, wenn die Flußrichtung gegen den Ventilkegel gerichtet ist. Der Druck auf dem Entsperrkolben muß auf den Druck über dem Sperrkegel abgestimmt sein, um zügigen Durchfluß zu gewährleisten, z. B. beim Absenken einer Last. Hierbei ist ein Flächenverhältnis zwischen Entsperrkolben und Kegelfläche von etwa 7:1 günstig.

Stromventile (Bild 16.52) wirken durch einstellbare Querschnittsveränderung drosselnd auf den durchfließenden Ölstrom. Stromventile weisen gegenüber Drosselventilen außer der Querschnittsdrossel (Stellkolben mit Dreieckskerbe) noch ein Differenzdruckventil DV auf, das den Druck p_1 und p_2 zwischen Ein- und Austrittsstrom auf ein konstantes Druckgefälle regelt. Hierzu werden die Stirnflächen vom Druck vor und nach der Drossel beaufschlagt. Um das notwendige konstante Mindestdruckgefälle zu sichern, wird der Ausgangsdruck p_2 durch eine Feder unterstützt. Das Kugelrückschlagventil ermöglicht ungedrosselten Rückfluß, da auch das Differenzventil hierbei offen ist.

Wegeventile (Bild 16.53) bezwecken durch eingepaßte Rundkolbenschieber mit Kanalverbindung, Ölströme zu trennen, zu verzweigen oder zusammenzuführen. Mehrere standardisierte Baureihen stehen zur Verfügung. Gliederung nach Montagearten: Rohreinbau R, Unterplattenbauweise U, Batterieverkettung B. R und B werden häufig für mobile Geräte, U wird dagegen hauptsächlich in stationären Systemen eingesetzt.

Druckstufen $p_N = 160$ und 320 kp/cm².

Die *Steuereinheiten* (Bild 16.54) ergeben verschiedene Varianten der Kanalverbindung durch austauschbare Ventilkolben. Verschiedene standardisierte Stelleinrichtungen für Hand-, elektromagnetische, pneumatische und hydraulische Betätigung ergeben einen vielseitigen Baukasten. U-Geräte können ohne Lösen von Rohrverbindungen schnell ausgetauscht werden. B-Verkettung erlaubt die unmittelbare Querverkettung mehrerer Steuergeräte zu Steuerblöcken. Mehrere U-Geräte werden durch verkettungsfähige oder spezielle Unterplatten zu Blöcken mit Rundringdichtungen verschraubt, die einen gemeinsamen Drucköl- und Rücklaufanschluß erhalten.

Elektrohydraulische Servoventile (Bild 16.55) sind Geräte mit stetigem elektrischem Signaleingang zur stufenlosen Steuerung eines Ölstroms nach Größe und Richtung. Besonders reibungsarme Ausführung ergibt hohe Steuerleistung von 16 l/min bei 63 kp/cm² trotz schwachen elektrischen Signaleingangs von 2×550 mA bzw. 2×5 W. Servoventile stellen wichtige Bausteine zur Gestaltung elektrohydraulischer Regelkreise in Verbindung mit Transistorverstärkern dar, z. B. für Bandkantenregelungen (s. Bild 16.62).

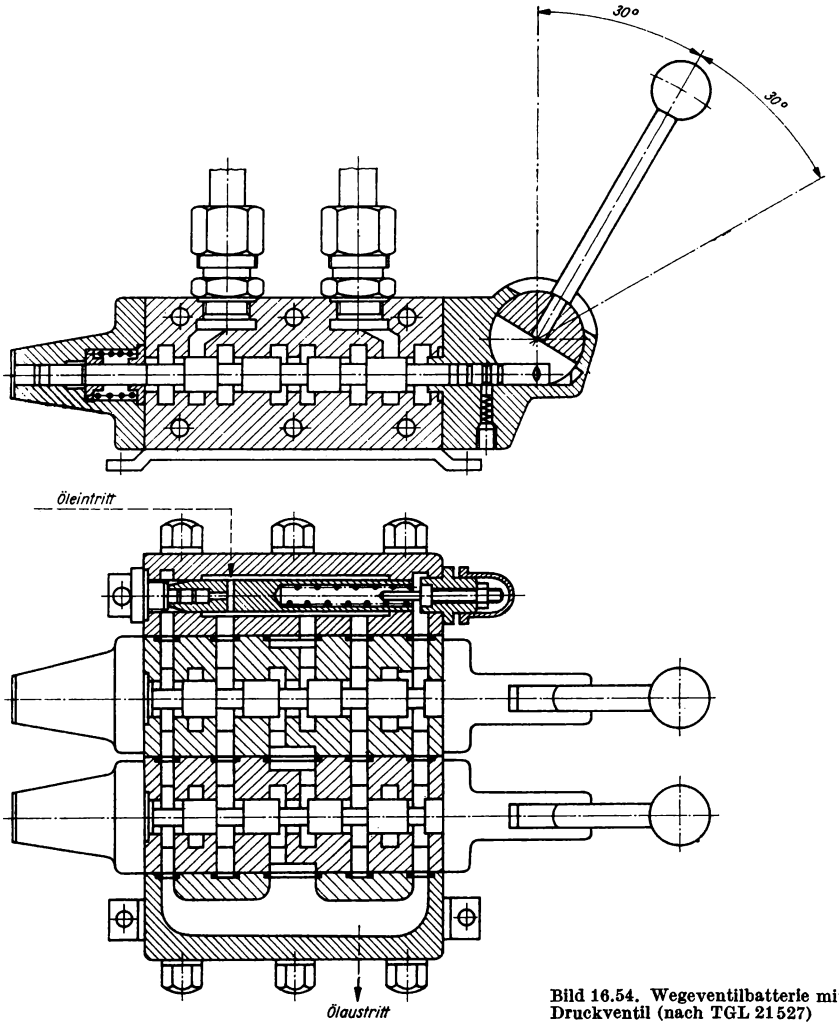


Bild 16.54. Wegeventilbatterie mit 2 Steuereinheiten und Druckventil (nach TGL 21527)

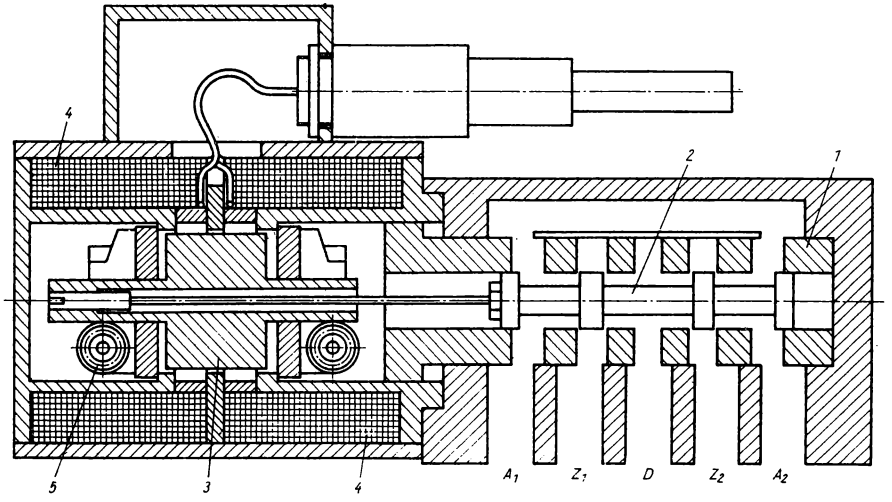


Bild 16.55. Elektrohydraulisches Servoventil
1 Steuerbuchse, 2 Steuerkolben, 3 Magnetkern, 4 Spulen, 5 Führungsrollen

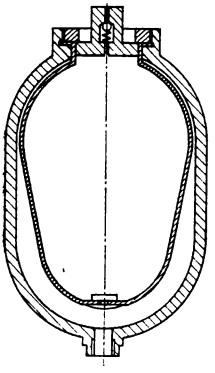


Bild 16.56. Druckspeicher mit Gummitrennblase

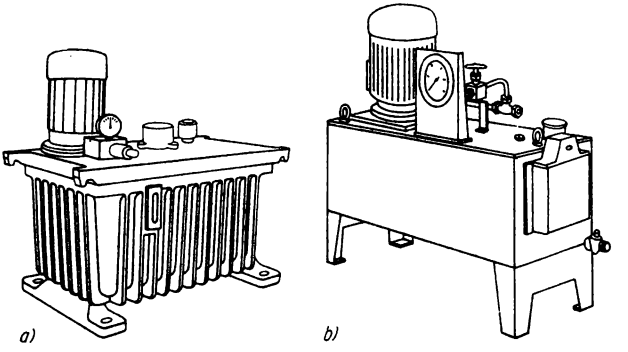


Bild 16.57. Standard-Antriebsaggregate

Druckspeicher sind Druckgefäße mit gasbelastetem Ölvolumen. Sie dienen zur kurzzeitigen Abgabe größerer Ölströme oder zum Halten von Drücken über begrenzte Dauer ohne Pumpenbetrieb. Von 1···25 l Gesamtvolumen steht eine Speicherreihe mit Gummitrennblase zwischen Gaspolster (Stickstoff) und Ölvolumen zur Verfügung (Bild 16.56).

Standard-Antriebsaggregate vereinen mit E-Motor angetriebene Zahnradpumpen (nach Bild 16.46) mit Standard-Ölbehältern, Druckbegrenzungsventil und Manometer zur anschlußfertigen Antriebseinheit (Bild 16.57). Die kleineren Typen mit Pumpen für 2,5 und 4 l/min und $p_N = 63$ kp/cm² haben Aluguß-behälter mit 18 und 30 l Inhalt. Die größeren Einheiten werden mit einer oder zwei Pumpen von 4···40 l/min für Betriebsdrücke von 100 und 160 kp/cm² und für Behältergrößen von 63···250 l angeboten.

Bei mehreren örtlich zusammenliegenden Hydromotoren bzw. Zylindern empfiehlt es sich, die Steuergeräte zu *Steuerblöcken* zusammenzufassen. Hierbei haben sich für Fertigungsstraßen *Ventilschrankwände* (Bild 16.58) bewährt, die auf der Frontseite zur besseren Zugänglichkeit Ventile in Unterplattenbauweise erhalten. An der Rückseite ist die Rohrführung derart, daß alle ankommenden und abgehenden Leitungen auf eine unten liegende Anschlußleiste geführt sind.

Hydrauliksysteme

Hubsysteme für senkrechte Lasten (Bild 16.59). Merkmale: Der Hubzylinder bewirkt unmittelbaren Lastangriff und ist geeignet für hohe Tragfähigkeit. Die Konstantförderpumpe liefert den Förderstrom für die Aufwärtsbewegung, wenn der E-Motor die Pumpe antreibt. Hierzu dienen Endschalter als Steuermittel. Ein entsprechendes Rückschlagventil sichert den Stillstand des Zylinders unter Last, das Druckbegrenzungsventil garantiert Überlastschutz. Die Abwärtsfahrt

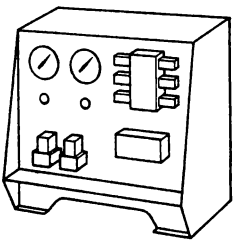


Bild 16.58 Ventilschrankwand

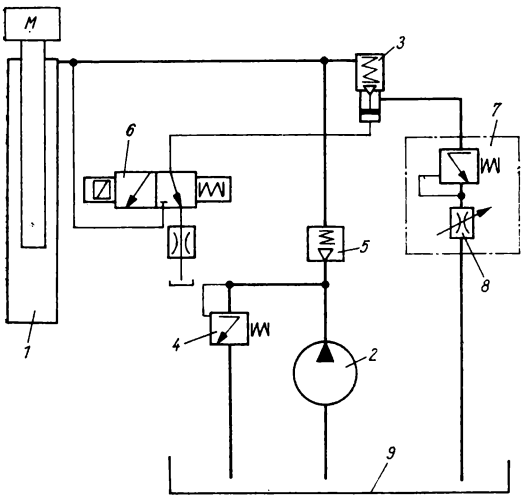


Bild 16.59. Hubsystem für senkrechte Lasten
1 Hubzylinder, 2 Konstantförderpumpe, 3 entsperrbares Rückschlagventil, 4 Druckbegrenzungsventil, 5 Rückschlagventil, 6 Magnetventil, 7 Druckminderventil, 8 Drosselventil, 9 Flüssigkeitsbehälter

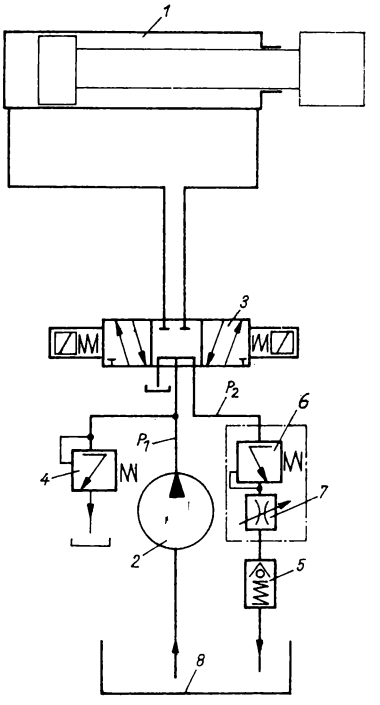
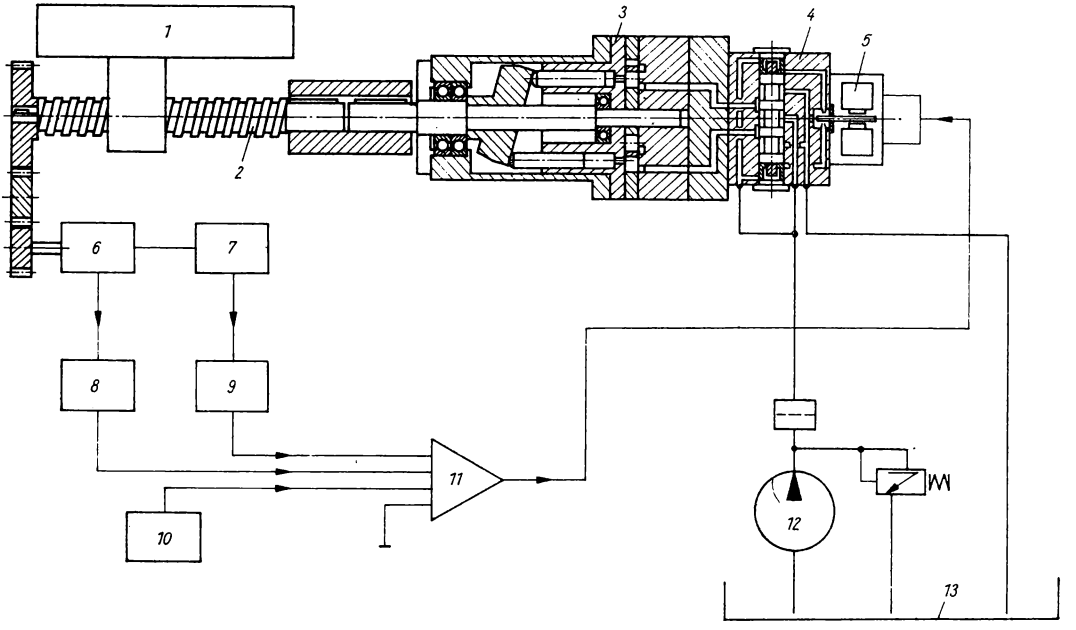


Bild 16.60. Vorschubsystem mit Arbeitszylinder
1 doppelt wirkender Vorschubzylinder, 2 Konstantförderpumpe, 3 Magnet-Wegeventil, 4 Druckventil, 5 Rückschlagventil, 6 Druckminderventil, 7 Drosselventil, 8 Flüssigkeitsbehälter

Bild 16.61. Vorschubsystem mit Hydromotor für NC-Maschinen
1 Tisch, 2 Spindel, 3 Hydromotor, 4 Prallplattenregler, 5 Magnetspulen, 6 Lagegeber, 7 Geschwindigkeitsgeber, 8 Verstärker, 9 Verstärker, 10 Sollwerteingabe, 11 Signalmischung, 12 Konstantförderpumpe, 13 Flüssigkeitsbehälter



erfolgt ohne Antriebsenergie durch die Last. Das Rückschlagventil verriegelt den Rückfluß zur Konstantförderpumpe. Ein Magnetventil steuert das unter dem Lastdruck stehende Öl aus dem Hubzylinder zum Entsperren des entsperrbaren Rückschlagventils. Das Druckminderventil' mindert den unterschiedlichen Lastdruck auf einen konstanten Eingangsdruck von etwa 6 kp/cm² zum Drosselventil, so daß unabhängig von Lastschwankungen konstante Sinkgeschwindigkeit entsprechend dem eingestellten Durchflußdrosselquerschnitt auftritt. Über den Flüssigkeitsbehälter wird der Kreislauf des Öls geschlossen.

Stufenlos einstellbare Vorschub- und konstante Eilrücklaufbewegung (Bild 16.60). Merkmale: Der doppeltwirkende Vorschubzylinder führt einstellbare Vorschubbewegung aus, wenn ein konstanter Ölstrom auf die Kolbenseite links geleitet wird. Dies erfolgt durch Magnetbetätigung links am Wegeventil: dann wird das kolbenstangenseitige Öl über das Druckminderventil in die Drossel geführt und hier durch entsprechende Einstellung des Durchflußquerschnitts die Vorschubgeschwindigkeit bestimmt. Das Druckminderventil hat die gleiche Aufgabe wie im Beispiel vorher: den Durchfluß unabhängig von Lastschwankungen zu gestalten. Das Rückschlagventil erzeugt konstanten Gegendruck von etwa 1 kp/cm². Die Eilrücklaufbewegung wird erreicht, wenn der rechte Magnet das Wegeventil schaltet und hierbei der Pumpenölstrom auf die Kolbenstangenseite des Zylinders geleitet wird. Da hierbei das kolbenseitige Öl ungehemmt ausgestoßen wird, bestimmt sich die Geschwindigkeit aus Pumpenölstrom und Differenzkolbenfläche. Das Druckventil verhindert Überlastung des Systems, das besonders für Vorschubsysteme von Werkzeugmaschinen geeignet ist.

Elektrohydraulische Vorschubsysteme für NC-Maschinen (Bild 16.61). Mit der Einführung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen wurde die Forderung nach massearmen, schnell und genau arbeitenden Vorschubsystemen erhoben, die von leistungsschwachen elektrischen Signalen gesteuert werden können. Der Antrieb des Maschinenschlittens erfolgt über einen rotierenden Hydromotor und über Kugelumlaufspindel. Hierdurch wird der reibungsarme Antrieb erzielt, der vom Bearbeitungsprozeß rückwirkende Schwingungen weitgehend auffängt. Die Steuerung des Hydromotors geschieht durch ein unmittelbar angebautes elektrohydraulisches Servoventil mit Düse-Prallplatte. Durch zwei gegeneinander gekoppelte Magnetspulen wird die Prallplatte proportional ausgesteuert, worauf ohne bemerkbare Verzögerung der Kolbenschieber und damit der Hydromotor folgt und entsprechende proportionale Drehzahlen eingenommen werden. An die Tischspindel angekoppelte elektrische Lage- und Geschwindigkeitsgeber vergleichen mit dem numerisch eingegebenen Programm. Abweichungen werden über den Transistorverstärker als Stellsignal den Magnetspulen zugeführt.

Elektrohydraulische Bandkantenregelung mit fotoelektrischer Abtastung (Bild 16.62). Die leistungsschwachen Fotodiodensignale werden verstärkt, mit dem eingegebenen Sollwert verglichen und dem Servoventil als Differenzsteuersignal zugeleitet. Von diesem wird der Stellzylinder so gesteuert, daß ein kantengenauer Lauf des auf- oder abzuwickelnden Bandes eintritt.

Speichersystem für mehrere hydraulische Verbraucher (Bild 16.63).
Merkmale: An einen Rohrstrang konstanten Druckes werden mehrere hydraulische Zylinder oder Hydromotoren über We-

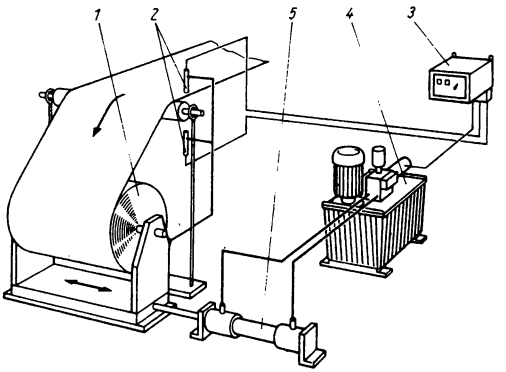


Bild 16.62. Bandkantenregelung
1 Stellzylinder, 2 fotoelektrische Tasteinrichtung, 3 Regelkasten mit Transistorverstärker, 4 elektrohydraulisches Regelaggregat, 5 hydraulischer Stellmotor

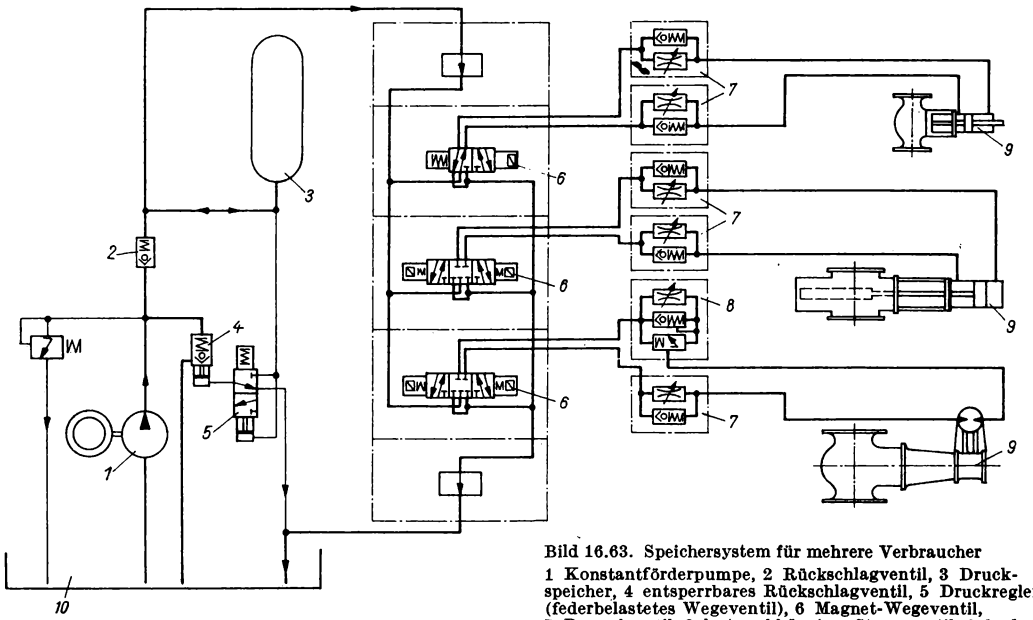


Bild 16.63. Speichersystem für mehrere Verbraucher
1 Konstantförderpumpe, 2 Rückschlagventil, 3 Druckspeicher, 4 entsperrbares Rückschlagventil, 5 Druckregler (federbelastetes Wegeventil), 6 Magnet-Wegeventil, 7 Drosselventil, 8 lastunabhängiges Stromventil, 9 hydraulisch betätigtes Ventil, 10 Ölbehälter

geventile angeschlossen. Zur Druckerzeugung wird eine Konstantförderpumpe von einem Druckregler geschaltet. Ein mit Druckgas (z. B. von 50 kp/cm²) vorgespannter Speicher wird bis zu einem Maximaldruck von etwa 63 kp/cm² mit der angeschlossenen Druckleitung aufgeladen. Bei Erreichen dieses Druckes schaltet das federbelastete Wegeventil in unteres Schaltfeld um, wodurch das entsperrbare Rückschlagventil ausgehoben und damit der Ölstrom der Pumpe drucklos in den Behälter zurückgeleitet wird. Das Rückschlagventil sperrt die Verbindung zur Druckleitung ab. Sinkt durch Entnahme von Drucköl durch die Verbraucher der Druck auf etwa 58 kp/cm² ab, so schaltet der Druckregler in oberes Schaltfeld zurück, und die Pumpe fördert erneut in Druckleitung und Speicher. Die einzelnen hydraulischen Verbraucher, die beispielsweise zur Betätigung von Armaturen eingesetzt sind, werden durch je ein Wegeventil mit Magnetbetätigung unabhängig voneinander gesteuert. Durch Drosselventile bzw. lastunabhängige Strombegrenzungsventile kann die Stellgeschwindigkeit im Öffnungs- und Schließsinne verschieden eingestellt werden. Je nachdem, ob Zwischenstellungen während des Stellhubes erforderlich sind oder nicht, werden Wegeventile mit zwei oder drei Schaltstellungen eingesetzt. Der Vorteil solcher Speichersysteme besteht darin, daß mit kleinen Pumpen und entsprechendem E-Motor kleiner Leistung (2,5···6 kW) hohe kurzzeitige Stelleistungen erzeugt werden können, da in den Pausen, in denen keine Bewegung anfällt, der Speicher wieder aufgeladen werden kann. Ganze Industrieanlagen mit mehreren hundert Stellgliedern können auf diese Weise von einem hydraulischen Speichersystem mit Druckenergie versorgt werden. Hierbei werden die Wegeventile einer Anzahl örtlich beieinander angeordneter Verbraucher durch eine Steuerblockkombination gesteuert, so daß Rohrleitungen eingespart werden.

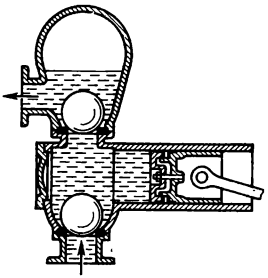


Bild 16.64
Einfachwirkender Scheibenkolben

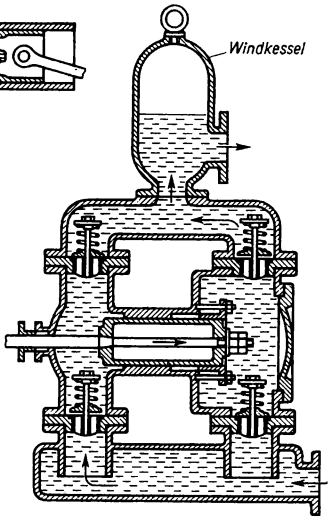


Bild 16.65. Doppeltwirkender Plungerkolben

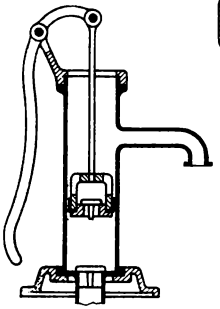


Bild 16.66. Ländliche Saug- und Hubpumpe

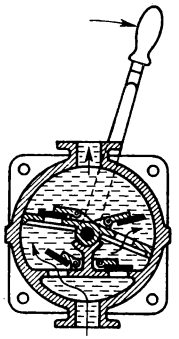


Bild 16.67. Flügelpumpe

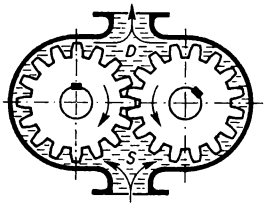


Bild 16.68. Zahnradpumpe
D Druckraum, S Saugraum

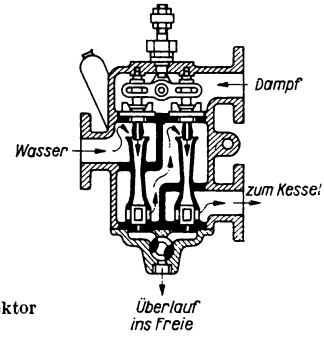


Bild 16.69. Doppelinjektor

Weitere Flüssigkeitspumpen für verschiedene Aufgaben zeigen die Bilder 16.64···16.72.

Die Hauptteile der *Kolbenpumpen* sind Zylinder, Kolben und Ventile. Man unterscheidet Pumpen mit *Scheibenkolben* (Bild 16.64) und Pumpen mit *Plungerkolben* (Bild 16.65). Die Pumpe kann *einfachwirkend* (Bild 16.64) und *doppeltwirkend* (Bild 16.65) arbeiten. Kolbenpumpen dienen heute in erster Linie zur Förderung von Flüssigkeiten, wie Pumpwerke zur Wasserversorgung, Pumpen für hydraulische Maschinen usw. Eine besondere Art der Kolbenpumpen sind die Pumpen mit durchbrochenem Kolben, in den ein Ventil eingebaut ist (Bild 16.66). Diese Pumpen werden als *Saug-* und *Hubpumpen* bezeichnet. Sie finden hauptsächlich Verwendung als Tiefbrunnenpumpen. Da sie die äußere Gestalt eines Rohres haben, lassen sie sich ohne Schwierigkeiten in das Rohr des Tiefbrunnens einhängen. Eine weitere Sonderbauart der Kolbenpumpe ist die Flügelpumpe (Bild 16.67). Sie kommt nur für kleine Flüssigkeitsmengen und geringe Förderhöhen in Frage.

In der *Zahnradpumpe* wird die zwischen den Zahnlücken und der Gehäusewandung befindliche Flüssigkeitsmenge bei der Drehung der Räder aus dem Saugraum in den Druckraum befördert (Bild 16.68).

Auf einem ganz anderen Prinzip beruht die *Dampfstrahlpumpe* oder der *Injektor*. Sie werden in der Hauptsache zur *Dampfkesselspeisung* verwendet. Bei der Dampfstrahlpumpe tritt der Dampf mit hoher Geschwindigkeit aus einer Dampfdüse in eine vorangeschaltete Mischdüse und saugt das Wasser an. Das Gemisch von Wasser und Dampf strömt dann mit großer Geschwindigkeit durch die sog. Fangdüse in die Druckleitung. Bild 16.69 zeigt einen *Doppelinjektor*. Der linke Injektor saugt das Wasser an und führt es dem rechten Injektor zu, der es unter Druckerhöhung und Erwärmung in den Dampfkessel drückt. Ähnlich wie die Dampfstrahlpumpe wirkt die *Wasserstrahlpumpe*. Nur tritt hier an die Stelle des Dampfes ein Wasserstrahl, der Wasser ansaugt und fortschleudert. Sonderbauarten von Wasserhebevorrichtungen sind noch die *Mammutpumpe*, der *hydraulische Widder* und der Pulsometer, die jedoch in der Praxis nur selten anzutreffen sind.

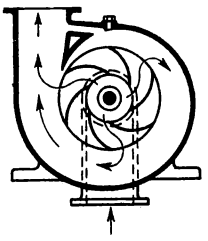


Bild 16.70
Einstufige Kreiselpumpe

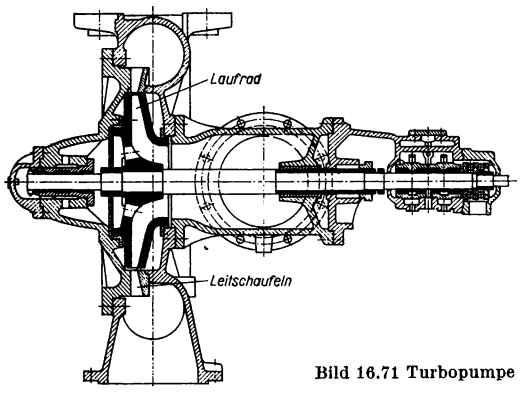


Bild 16.71 Turbopumpe

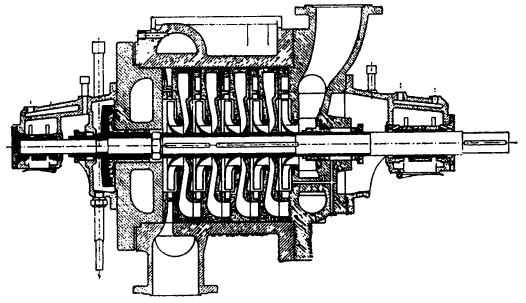


Bild 16.72 Mehrstufige Turbinenpumpe

Von den bisher erwähnten Wasserhebemaschinen haben nur die Kolbenpumpen größere Bedeutung erlangt. Die zweite große Hauptgruppe der Pumpen sind die *Kreisel-*, *Zentrifugal-* oder *Schleuderpumpen*. Hier wird dem Wasser zuerst eine große Geschwindigkeit erteilt und dann die Geschwindigkeitsenergie des Wassers in Druckenergie umgewandelt. Das erstere geschieht im Laufrad. Die Umwandlung der Geschwindigkeitsenergie in Druckenergie erfolgt im Leitapparat der Pumpe. Bei der einfachen einstufigen Kreiselpumpe geschieht dies in dem spiralförmigen Gehäuse (Bild 16.70), so daß hier ein eigentlicher Leitapparat entfällt. Diese Pumpe ist besonders gut zur Förderung großer Wassermengen auf kleine Förderhöhen geeignet. Für größere Förderhöhen kommt die *Turbo-* oder *Turbinenpumpe* in Frage. Bei den Turbopumpen erfolgt die Umwandlung von Geschwindigkeit in Druck in besonderen feststehenden Schaufeln, dem *Leitrad*, das zwischen Laufrad und Gehäuse eingeschaltet ist (Bild 16.71). Diese Pumpe ist vorteilhaft zu verwenden für mittlere Gefälle (30···60 m) und kleine Wassermengen. Für große bis größte Förderhöhen ist die *mehrstufige Turbinenpumpe* geeignet. In dieser Pumpe sind mehrere Lauf- und Leiträder hintereinander geschaltet. In jedem Lauf- und Leitrad wird dem Wasser ein Teil der Gesamtförderhöhe erteilt (Bild 16.72).

Der *Vorteil* der Kreiselpumpe gegenüber der Kolbenpumpe liegt in ihrer hohen Drehzahl. Dies gestattet die unmittelbare Kupplung mit einer Dampfturbine oder einem Elektromotor. Außerdem hat die Kreiselpumpe bei gleicher Leistung wesentlich kleinere Abmessungen als eine Kolbenpumpe.

16.3. Pneumatik

Kompressoren. Größe Ähnlichkeit mit den Pumpen haben die *Gas- und Luftkompressoren.* Man unterscheidet ebenfalls *Kolben- und Turbokompressoren.* Die Kompressoren dienen zur Verdichtung von Gasen. Beim Kolbenkompressor (Bild 16.73) saugt der Kolben Gas an und verdichtet es beim Rückgang auf den gewünschten Druck. Der Kolbenkompressor kann einfach- und doppeltwirkend arbeiten. Da das Gas sich beim Verdichten stark erwärmt, ist stets eine *künstliche Kühlung des Zylinders* erforderlich. Für hohe Drücke verwendet man *drei- und vierfache Kompression.* Bild 16.74 stellt einen vierstufigen *Hochdruckkompressor* dar. Die vier Druckstufen sind an einer gemeinsamen Kolbenstange angeordnet. Dies ist die übliche Bauart für mehrstufige Hochdruck-Kolbenkompressoren.

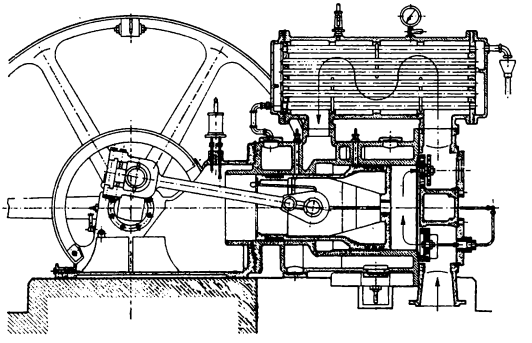


Bild 16.73. Kolbenkompressor

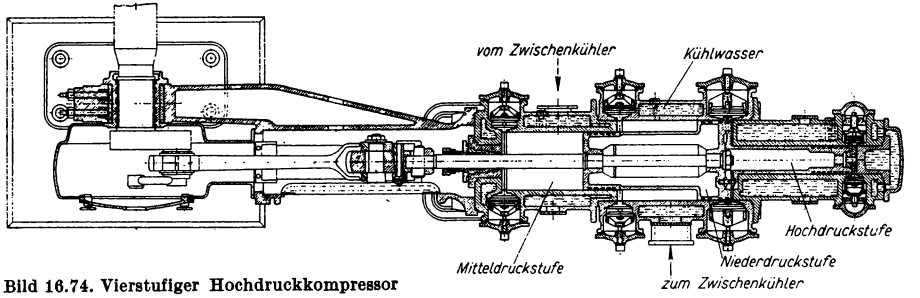


Bild 16.74. Vierstufiger Hochdruckkompressor

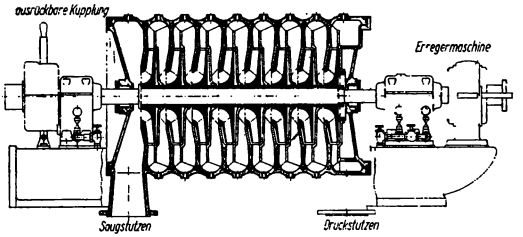


Bild 16.75. Turbokompressor

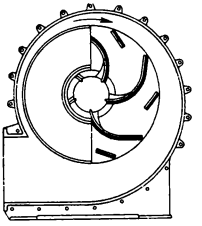


Bild 16.76. Ventilator

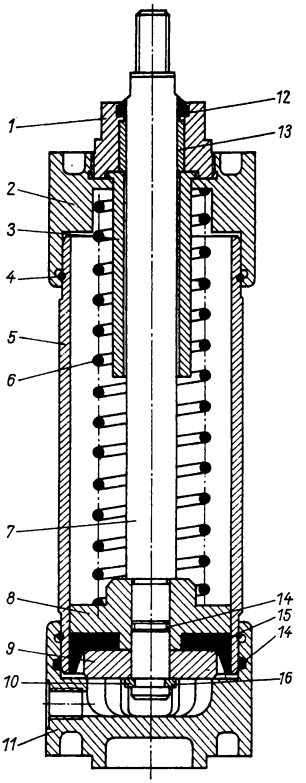


Bild 16.77. Pneumatischer Arbeitszylinder (nach TGL 20746) ND 6,3, einfachwirkend, mit Scheibenkolben, einseitiger Kolbenstange, Federrückstellung, ohne Bremsung

1 Führungsbuchse, 2 Dichtungsgehäuse, 3 Anschlaghülse, 4 Federring, 5 Zylinderrohr, 6 Druckfeder, 7 Kolbenstange, 8 Kolben, 9 Stützkolben, 10 Ringhälfte, 11 Lagerdeckel, 12 Abstreifring, 13 Lagerbuchse, 14 Rundring, 15 Topfmanschette, 16 Sprengring

Bei dem *Turbokompressor* wird wie bei der Kreiselpumpe dem Gas in einem Laufrad eine hohe Geschwindigkeit erteilt und die Geschwindigkeitsenergie dann in den Schaufeln der feststehenden Leiträder in Druck umgewandelt. Die Turbokompressoren werden stets mehrstufig ausgeführt. Bild 16.75 zeigt einen 8stufigen Turbokompressor. Turbokompressoren, die nur aus einem Laufrad und einem spiralförmigen Gehäuse bestehen (Bild 16.76), werden als *Ventilatoren* bezeichnet. Diese können dem Gas nur eine ganz geringe Druckerhöhung erteilen. Sie dienen zur Be- und Entlüftung von Räumen. Die *Vorteile* der Turbokompressoren gegenüber den Kolbenkompressoren sind die gleichen wie die der Kreiselpumpe gegenüber den Kolbenpumpen. Die Kolbenkompressoren eignen sich besonders für hohen Druck, während die Turbokompressoren in erster Linie für die Kompression großer Gasmengen in Frage kommen. Die Kompressoren finden heute *Verwendung* zur Erzeugung von Druckluft für Druckluftanlagen und Rohrpost, Belüftung von Bergwerken, Erzeugung von Gebläseluft für Hochöfen und sonstige metallurgische Öfen, Gebläse für Dampfkesselfeuerungen. Das Hauptgebiet für den Hochdruckkompressor ist die *Verflüssigung der Gase* für die *Hydrierung der Kohle* und die *Ammoniaksynthese*. Ferner ist der Kompressor der Hauptteil der Kälteerzeugungsmaschinen.

Pneumatische Arbeitszylinder werden für den Nenndruck $p_N = 6{,}3$ kp/cm² gefertigt. Die theoretische Druck- bzw. Zugkraft der Kolbenstange ergibt sich aus dem Produkt Druck mal Kolbenfläche bzw. Druck mal Kolbenringfläche. Gemäß TGL 9128 ist der Nenndruck der maximale pneumatische Druck, bei dem die Geräte und deren Zubehör einwandfrei arbeiten. Überlastung einschl. dynamischer Druckspitzen bis 50 % Nenndruck ist zulässig. Die Nenngröße NG entspricht bei pneumatischen Arbeitszylindern dem Durchmesser der Dichtkante der Bewegungsdichtung des Kolbens. Standardisierte Nenngrößen der Arbeitszylinder sind: NG 25; 40; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320 mm.

Nach TGL 9796 sind standardisierte Hublängen pneumatischer Arbeitszylinder: 25; 40; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500 mm.

Das *Kolbenflächenverhältnis* φ ist der Quotient aus wirksamer Kolbenfläche bodenseitig (A_K) und wirksamer Kolbenringfläche ausfahrseitig $A_K - A_{St}$ (A_{St} Kolbenstangenquerschnitt). Unter Voraussetzung gleicher Druckbeaufschlagung der Kolbenflächen eines doppeltwirkenden Arbeitszylinders ist das Flächenverhältnis gleich dem Verhältnis von Druckkraft zu Zugkraft.

$$\varphi = \frac{A_K}{A_K - A_{St}}, \quad \varphi = \frac{d_K^2}{d_K^2 - d_{St}^2}, \quad \varphi = \frac{F_K}{F_K - F_{St}}.$$

In Abhängigkeit von der Nenngröße werden die Arbeitszylinder mit den (gerundeten) Kolbenflächenverhältnissen 1; 1,06; 1,12 und 1,25 geliefert (Genauwerte s. TGL 9796). Die Bilder 16.77 und 16.78 zeigen Schnittdarstellungen (VEB Kombinat ORSTA-Hydraulik, Leipzig).

Rückschlagventile sind Richtungsventile, die der Druckstrom nur in einer Richtung durchströmen kann (Bild 16.79). Anwendung erfolgt dort, wo ein begrenzter Druckabfall nicht unterschritten werden darf.

Pneumatik-Wegeventile (nach TGL 20705) sind Kolbenschieberventile für den Unterplattenanbau. Sie sind nach einem Baukastensystem aufgebaut, das aus einer begrenzten Anzahl Baugruppen die erforderlichen Kombinationen Schaltfunktion – Betätigungsart – Anschlußart zusammenstellen läßt. Die Steuereinheit verwirklicht die Schaltfunktion in den Schaltstellungen. Die Stelleinheit bewegt das Steuerorgan (Kolbenlängsschieber) in die Schaltstellung. Die Zusatzeinheit verbindet das Ventil mit dem Rohrleitungssystem (Bild 16.80, zusammengestellt nach Informationen des VEB Kombinat ORSTA-Hydraulik, Direktionsbereich Absatz und Außenwirtschaft, Leipzig).

Die durch Nutringe verursachten Reibungskräfte behindern die Umsteuerbewegung kaum, halten aber den Kolbenlängsschieber in seiner eingerückten Stellung. Dadurch erhalten die beiderseitig impulsgesteuerten Kolbenlängsschieberventile außer der Wegeventilfunktion noch eine Signalspeicherfunktion.

Üblicherweise strömt die Expansionsluft aus den Abluftbohrungen A_1 und A_2, wobei als äußerste Schallpegel die in Tabelle 16.1 aufgeführten Werte erreicht werden können, die Schalldämpfer erfordern.

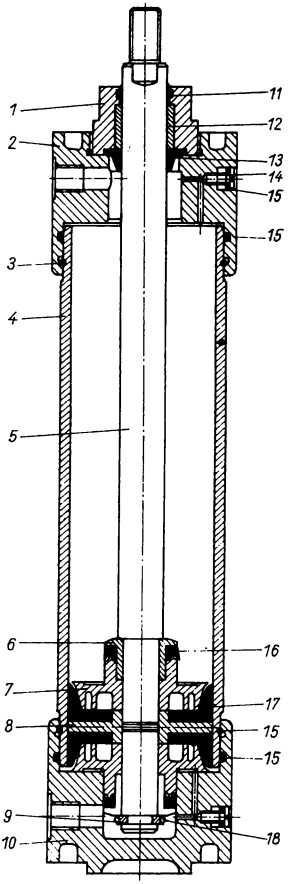


Bild 16.78. Pneumatischer Arbeitszylinder (nach TGL 20744) ND 6,3, doppeltwirkend, mit Scheibenkolben, einseitiger Kolbenstange und Bremsung

1 Führungsbuchse, 2 Dichtungsgehäuse, 3 Federring, 4 Zylinderrohr, 5 Kolbenstange, 6 Bremskolben, 7 Stützkolben, 8 Kolben, 9 Ringhälfte, 10 Lagerdeckel, 11 Abstreifring, 12 Lagerbuchse, 13 Hutmanschette, 14 Einstellschraube, 15 Rundring, 16 Nutring, 17 Topfmanschette, 18 Sprengring

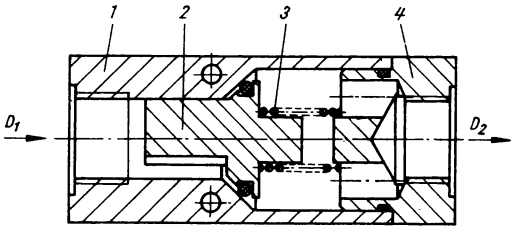


Bild 16.79. Rückschlagventil (nach TGL 20724), nicht entsperrbar

D_1, D_2 Druckanschluß, 1 Gehäuse, 2 Rückschlagelement, 3 Druckfeder, 4 Einschraubstutzen bzw. Flansch

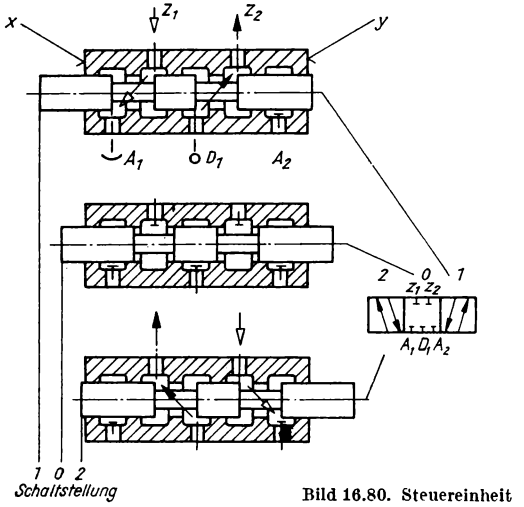


Bild 16.80. Steuereinheit

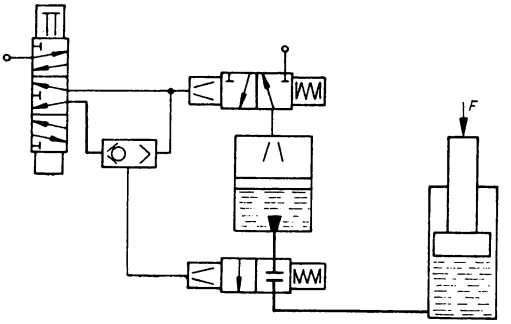


Bild 16.81. Steuerung einer pneumo-hydraulischen Hubeinrichtung mit Steuereinheit 04.1

Tabelle 16.1: Lärmschutzwerte für Pneumatik-Anlagen

Nennweite mm	Schallpegel ohne Schalldämpfer	Schallpegel mit Schalldämpfer (nach TGL 20737)
6	100 dB	80 dB
10	105 dB	80 dB
16	115 dB	90 dB
25	120 dB	90 dB
40	125 dB	90 dB

Bild 16.81 zeigt eine pneumo-hydraulische Hubeinrichtung mit Steuereinheit 04.1 (Bild 16.82). In der Schaltstellung 0 der Baugruppe 04.1 sind die Verbraucherleitungen mit der Atmosphäre verbunden, die Druckleitung ist abgesperrt. Diese Baugruppe mit »Schwimmstellung« in der Schaltstellung 0 ermöglicht leichte Verstellung pneumatischer Motoren durch äußere Kräfte. Diese Eigenschaft ist z. B. bei pneumatischen Türbetätigungen erwünscht.

Drosselventile (nach TGL 20718) sind Stromventile, die durch Veränderung der Durchströmöffnung die Druckstrommenge (in l/s) in gewünschter Weise verändern. In der Industriepneumatik können so z. B. die Arbeitsgeschwindigkeiten der Pneumatikmotoren gesteuert werden. Sie können vor oder hinter dem Verbraucher (Zulauf- oder Ablaufdrossel) eingebaut werden (Bild 16.83). Schnellöseventile für Druckluftbremsanlagen in Straßenfahrzeugen (nach TGL 39-410) werden mit Abluftöffnung A_1 nach unten eingebaut (Kondenswasserablassung). Bild 16.84 zeigt das Schnellöseventil des



Bild 16.82. Baugruppe 04.1

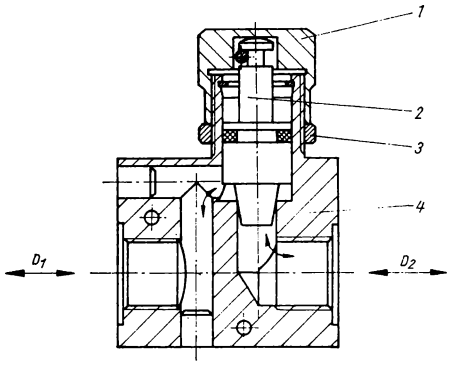


Bild 16.83. Drosselventil
1 Verstellmutter, 2 Drosselelement, 3 Rändelmutter, 4 Gehäuse

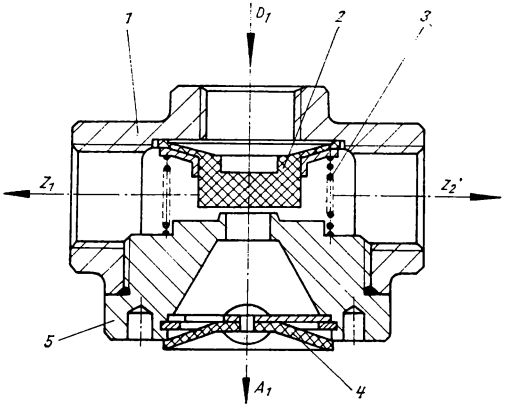


Bild 16.84. Schnellöseventil für Druckluftbremsanlagen
1 Gehäuse, 2 Membrane, 3 Druckfeder, 4 Abdeckschraube, 5 Verschlußdeckel

VEB Kombinat ORSTA-Hydraulik, Betrieb Pneumatik Benshausen, für $p_N = 6$ kp/cm² und Temperatureinsatzbereich −25 bis +70 °C. Strömt Druckluft über den Anschluß D_1 in das Ventil, wird die Membran nach Überwindung der Vorspannkraft der Druckfeder gegen die Dichtkante des Verschlußdeckels gedrückt, die Abluftöffnung A_1 wird gesperrt und damit der Durchgang zu den Anschlüssen Z_1 und Z_2 ermöglicht. Bei Druckabfall im Anschluß D_1 preßt der höhere Druck bei Z_1 bzw. Z_2 zusammen mit der Druckfederkraft die Membrane an den Plansitz des Gehäuses und dichtet den Durchgang zu D_1 ab. Dadurch wird die Verbindung von Z_1 bzw. Z_2 nach A_1 hergestellt, und die Druckluft kann auf kürzestem Wege in die Atmosphäre entweichen. Gegen Verschmutzung von außen ist das Ventil durch eine Abdeckscheibe aus Gummi geschützt.

16.4. Container

Die ISO-Empfehlung schreibt die in Tabelle 16.2 angegebenen Containerabmessungen vor, wobei der 30-Fuß-Container weniger üblich ist.

Ausführung: meist in Leichtmetall, seltener in Stahl.

Die Beladung kann je nach Konstruktion stirnseitig oder mittenseitlich erfolgen. Weitere Ausführungen sind Silo- oder Tankcontainer. Für Container über 10 Fuß werden bevorzugt Sattelschlepper zum Transport eingesetzt. Wenn Absender oder Empfänger keine geeigneten Hebeeinrichtungen besitzen, eignen sich Containertransporter mit Verladeaufbauten, in der DDR als dieselhydraulische Aggregate hergestellt (Bild 16.85).

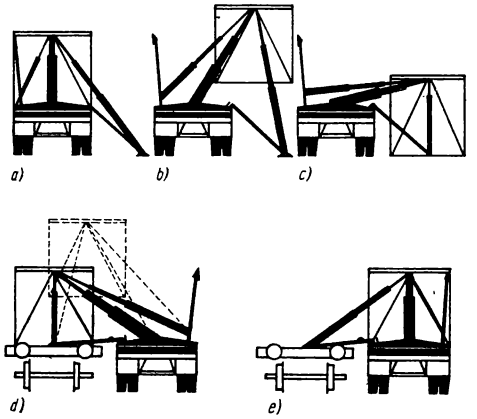


Bild 16.85. Container
a), b), c) Auf- und Abladen, d), e) Umladen

Tabelle 16.2: Containerabmessungen

Containergröße Fuß	Länge mm	Breite mm	Höhe mm	Rauminhalt m³	Zulässige Gesamtmasse t	Nutzmasse (Stahlcont.) t
10	2991	2438	2438	14,3	10	8,8
20	6058	2438	2438	30	20	18
30	8973	2438	2438	42,9	30	26,4
40	12116	2438	2438	60	40	36

17. Kraftmaschinen

17.1. Wasserkraftmaschinen

Während man Wasserräder nur mit waagerechter Welle baut, werden die *Wasserturbinen* mit waagerechter oder mit senkrechter Welle ausgeführt. Die Wasserturbine besteht aus dem *Leitrad* mit den verstellbaren Leitschaufeln, die das Wasser dem *Laufrad* so zuführen, daß es tangential in dieses eintritt. Da hierbei keine Stöße auftreten, kann der Wassereintritt mit großer Geschwindigkeit erfolgen; Umlaufzahlen des Laufrades 150···600 l/min. Der Spielraum von 3···4 mm zwischen Lauf- und Leitrad heißt *Spalt.*
Es wurde erkannt, daß eine *Vergrößerung des Spaltes* zwischen Leit- und Laufrad wenig Einfluß auf den Wirkungsgrad der Turbine hat, dagegen bei gleichem Gefälle und gleicher Wassermenge der Turbine eine höhere Drehzahl erteilt. Daher wird diese Turbinenart heute an Stelle der normalen FRANCIS-Turbine (Bild 17.1) für kleine Gefälle und große Wassermengen eingebaut *(Schnellläuferturbine).*

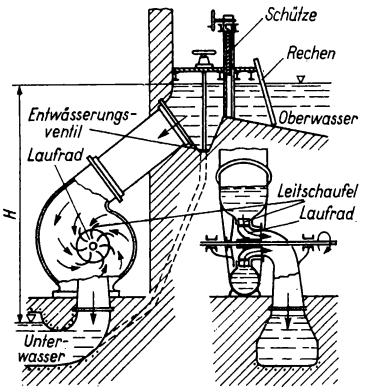


Bild 17.1. FRANCIS-Spiralturbine
($\eta \approx 85\,\%$)

Für kleine Gefälle und sehr große Wassermengen sind die *Propeller-* und *Kaplanturbinen* entwickelt worden. Diese Turbinen haben ein propellerartiges Laufrad das bei den Propellerturbinen 8···12 Schaufeln und bei der Kaplanturbine 4 Schaufeln besitzt. Zum Unterschied von den Propellerturbinen sind die Schaufeln der Kaplanturbine drehbar, weil das die Regulierbarkeit der Turbine erhöht. Die neuen Großwasserkraftanlagen, die fast alle bei kleinem Gefälle mit großen Wassermengen arbeiten, erhalten mit wenig Ausnahmen Propeller- oder Kaplanturbinen.
Man unterteilt die Turbinen nach verschiedenen Gesichtspunkten und unterscheidet:

a) *nach der Wirkung des Wassers:*

Aktions- oder *Druckturbinen,* bei denen das Wasser nur durch seine lebendige Kraft wirkt, und *Reaktions-* oder *Überdruckturbinen,* bei denen das Wasser auch noch durch den Rückstoß beim Durchfließen der Kanäle Arbeit leistet;

b) *nach der Art der Beaufschlagung:*

Axialturbinen, bei denen das Wasser durch die Kanäle in der Richtung der Turbinenachse strömt, und *Radialturbinen,* bei denen das Wasser die Kanäle radial von innen nach außen oder von außen nach innen durchströmt;

c) *nach dem Umfang der Beaufschlagung:*

Vollturbinen, bei denen sämtliche Kanäle des Laufrades gleichzeitig vom Wasser durchströmt werden, und *Partialturbinen,* bei denen jeweilig nur ein Teil der Laufradkanäle vom Wasser durchströmt wird;

d) *nach der Höhe des Gefälles:*

Niederdruckturbinen, deren Gefälle kleiner als 4 m ist, und *Hochdruckturbinen,* deren Gefälle über 4 m beträgt (Bild 17.2).

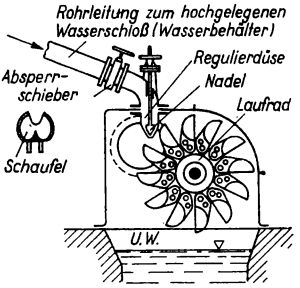


Bild 17.2. Freistrahlturbine (PELTON-Rad) für große Gefälle und kleine Wassermenge, Regulierung durch Nadeldüse ($\eta \approx 80\,\%$)

Die Nutzleistung der Wasserkraft beträgt bei Annahme eines durchschnittlichen Wirkungsgrades von

$$75\,\%\ P_e = \frac{Qh \cdot 0{,}75}{102} = Qh \cdot 0{,}00735 \text{ in kW.}$$

Hierin ist Q die Wassermenge in l, die die Turbine in 1 s durchfließt, h das Gefälle in m, d. h. der lotrechte Abstand zwischen Ober- und Unterwasserspiegel.

17.2. Wärmekraftmaschinen

Bild 17.3 gibt einen Überblick über Wärmekraftmaschinen.

Dampfkraftmaschinen

Dampfmaschine. Sie löste Wind- und Wassermühlen, Göpel usw. ab, älteste Wärmekraftmaschine. Die erste Ausführung schuf der frz. Physiker DENIS PAPIN, ein Gehilfe des Holländers HUYGENS, etwa 1688 als Nachfolgekonstruktion eines Schwarzpulvermotors. Die PAPINsche Dampfmaschine wurde in Jahrzehnten nur unbedeutend weiterentwickelt, vor allem in England (NEWCOMEN). Bedeutendste Verbesserungen waren Erfindungen von JAMES WATT, die er ab 1769 anbrachte und dadurch die technische Revolution auslöste, deren Voraussetzung die ausreichende Energieerzeugung an jedem beliebigen Ort der Welt war.

Vorteile der Dampfmaschinen: Sehr zuverlässig, lange Lebensdauer (vereinzelt bis 100 Jahre in Betrieb gewesen), unkompliziert, für alle Brennstoffe konstruierbar.

Nachteile: Beansprucht viel Raum (Kesselhaus), hohe Investitionskosten, sehr unwirtschaftlich, wenn keine Nebennutzung des Abdampfes zu Heizzwecken u. a. erfolgt, umständliche Energieumsetzung Brennstoff – Kessel – Dampfmaschine.

Dampfturbine. Vorteile: Kann bei kleinem Raumbedarf (ohne Dampferzeugungsanlage) für größte Leistungen (75 000 kW und mehr) gebaut werden; wegen hoher Drehzahlen geeignet als Antriebsanlage für Generatoren in Wärmekraftwerken, Schiffsantriebe, Antriebe für Pumpen, Pumpwerke. Der Wirkungsgrad ist höher als bei Kolbendampfmaschinen, da keine hin- und hergehenden Massen und weniger Reibflächen vorhanden sind; kein Zylinderöl im Kondenswasser und damit sauberer Betrieb bzw. Einsparung der Aufarbeitung des Kondenswassers, kleinerer spezifischer Dampfverbrauch in kg/kW h als bei Kolbendampfmaschinen; Verwendung verschiedenster Brennstoffe möglich.

Nachteile: Hohe Anlagekosten für Dampferzeugungsanlage, hochwertige Werkstoffe für die Turbinenschaufeln.

Wirkungsweise. Während bei Dampfmaschinen der *Druckunterschied* auf beiden Kolbenseiten den Kolben hin- und herbewegt und dabei Arbeit leistet, wird bei Dampfturbinen der Dampfdruck erst in *Dampfgeschwindigkeit* umgesetzt und diese in *mechanische Leistung* umgewandelt, indem ein Rad (Laufrad) in Drehung versetzt wird; eine schematische Darstellung zeigt Bild 17.4.

Die Umwandlung des Dampfdruckes in Dampfgeschwindigkeit wird dadurch erreicht, daß man den Dampf aus einem Raum höheren Druckes durch eine kegelig sich verengende, gut abgerundete *Düse* (Bild 17.5) in einen Raum geringeren Drucks strömen läßt. Je größer der Druckunterschied ist,

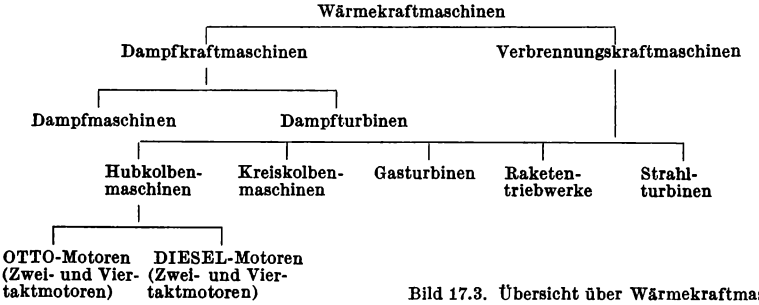


Bild 17.3. Übersicht über Wärmekraftmaschinen



Bild 17.4. Schema einer Dampfturbine
D Düse, fest; L Laufradkranz; A Drehrichtung von L



Bild 17.5. Dampfdüse
a) ausgeführt, b) schematisch

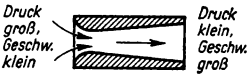
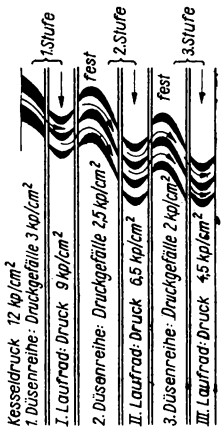


Bild 17.6.
LAVAL-Dampfdüse, meist für CURTIS-Räder



Bild 17.7. Laufradschaufeln
a) Gleichdruck-, b) Überdruckschaufel



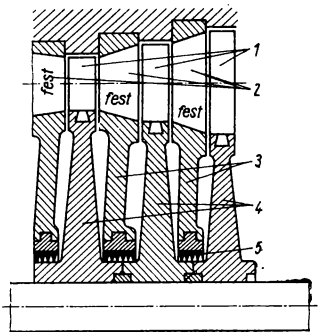


Bild 17.8. Schema einer Druckstufenturbine (ZOELLY-Turbine)
1 Schaufeln, 2 Düsen (Leiträder), 3 Scheidewände, 4 Laufräder, 5 Labyrinthdichtung
In den Laufrädern wird die Dampfgeschwindigkeit in Arbeit umgewandelt, in den Düsenreihen wird der Dampf umgelenkt und seine Geschwindigkeit vergrößert

desto größer ist die erzielte Dampfgeschwindigkeit. Bei der *Laval-Düse* (Bild 17.6) für sehr hohe Geschwindigkeiten ist hinter der kegeligen Verengung noch eine kegelige Erweiterung notwendig. – Die Dampfgeschwindigkeit (und damit die Umfangsgeschwindigkeit des Laufradkranzes) kann sehr groß sein. Betragen z. B. der Dampfdruck vor der Düse 12 kp/cm², die Dampftemperatur 250 °C, der Dampfdruck hinter der Düse 0,1 kp/cm² (Kondensatordruck), so beträgt die erzielte Dampfgeschwindigkeit 1200 m/s. Das *Laufrad* besitzt an seinem ganzen Umfange in gleichmäßigem Abstande gekrümmte Schaufeln (Bild 17.7), die den im spitzen Winkel auftreffenden Dampf umlenken und dadurch das Drehen des Laufrades bewirken. Der Dampf verläßt die Schaufeln mit erheblich geringerer Geschwindigkeit. Die Umlaufzahl des Laufrades kann 30000···35000 l/min betragen, wenn Dampf von 12000 m/s Geschwindigkeit zugeführt wird (erste Turbine von LAVAL). Da die Praxis niedrigere Drehzahlen verlangt, verwendet man *Druckstufen* (Bild 17.8). Das gesamte *Druckgefälle* (vom Kessel- bis zum Kondensatordruck) wird in Druckstufen (je 1 Leitrad und 1 Laufrad) zerlegt, die dampfdicht gegeneinander abgeschlossen sind (Scheidewand). Jede Druckstufe hat nur ein geringes Druckgefälle mit entsprechend *niedriger Dampfgeschwindigkeit* und daher *niedriger Umlaufzahl* der Turbine. Der Dampf strömt von Stufe zu Stufe, gibt in jeder Stufe Leistung ab und entspannt sich bis auf den Kondensatordruck; z. B. in den Düsen der 1. Stufe von 12 auf 9 kp/cm², 2. Stufe 9 auf 6,5 kp/cm², 3. Stufe 6,5 auf 4,5 kp/cm² usw. Bei diesem Druckgefälle jeder Stufe beträgt die höchste Dampfgeschwindigkeit 300···400 m/s. Die Scheidewände sind fest mit dem Gehäuse verbunden. Es ist zu beachten, daß vor und hinter dem Laufrad der gleiche Dampfdruck herrscht.
Die Düsen der festen *Leiträder* sind so geformt, daß sie den Dampf der vorhergehenden Stufe zugleich wieder in die Be-

wegungsrichtung der Laufräder umlenken (s. Bild 17.8). Turbinen mit Druckstufen sind z. B. die *ZOELLY-Turbinen*, Stufenzahl 6···18. Die gebräuchlichsten Umlaufzahlen (sie ergeben sich aus den geforderten Dynamo-Umlaufzahlen) sind 3000, 1500 und 1000 l/min.

In den Tabellen 17.1 und 17.2 sind Kennwerte des gesättigten Wasserdampfes zusammengestellt.

Der Dampfdruck bezieht sich auf einen Barometerstand von 735,5 Torr. Für die Erwärmung von 1 kg Wasser um 1 K ist etwa 1 kcal nötig. Für die Verdampfung von 1 kg Wasser von 100 °C sind bei 760 Torr 539,7 kcal erforderlich. Für die Überhitzung von 1 kg Dampf um 1 K ist etwa $^1/_2$ kcal nötig. Die Schmelzwärme des Eises beträgt 80 kcal.

Tabelle 17.1: Kennwerte des gesättigten Wasserdampfes

Druck at kp/cm²	Temperatur °C	Wärmeinhalt kcal/kg	Spezif. Volumen m³/kg	Dampfmasse je m³ in kg
0,02	17,20	604,9	68,25	0,0146
0,06	35,82	612,9	24,19	0,0413
0,10	45,45	617,0	14,95	0,0669
0,15	53,60	620,5	10,20	0,0979
0,20	59,67	623,1	7,789	0,1283
0,25	64,56	625,0	6,318	0,1582
0,5	80,86	631,6	3,299	0,3029
1,0	99,09	638,8	1,725	0,5797
1,5	110,8	643,1	1,181	0,8472
2,0	119,6	646,3	0,902	1,109
2,5	126,8	648,7	0,732	1,367
3	132,9	650,7	0,617	1,622
3,5	138,2	652,4	0,534	1,874
4	142,9	653,9	0,471	2,125
5	151,1	656,3	0,382	2,621
6	158,1	658,3	0,321	3,112
8	169,6	661,2	0,245	4,085
10	179,0	663,3	0,198	5,049
11	183,2	664,1	0,181	5,530
12	187,1	664,9	0,166	6,010
14	194,1	666,2	0,143	6,967
16	200,4	667,1	0,126	7,925
17	203,3	667,5	0,119	8,405
18	206,1	667,8	0,113	8,886
20	211,4	668,5	0,102	9,846
21	213,8	668,7	0,097	10,33
22	216,2	668,9	0,093	10,81
26	225,0	669,4	0,078	12,75
30	232,8	669,7	0,068	14,70
32	236,4	669,6	0,063	16,18
35	241,4	669,6	0,058	17,18
37	246,2	669,3	0,055	18,68
40	249,2	669,0	0,051	20,24
45	256,2	668,4	0,045	22,25
50	262,7	667,5	0,040	24,85
55	268,7	666,6	0,036	27,50
60	274,3	665,4	0,033	30,21
65	279,5	663,6	0,030	32,97
70	284,5	662,6	0,028	35,78
80	293,6	659,3	0,024	42,33
90	301,9	655,7	0,021	47,71
100	309,5	651,7	0,018	55,45
120	323,2	642,5	0,014	73,03
140	335,1	631,7	0,012	84,68
160	345,7	618,9	0,010	113,06
200	364,1	581,4	0,006	161,2
225,65	374,15	501,5	0,003 26	254

Tabelle 17.2: Wärmeinhalt überhitzten Dampfes

Druck at kp/cm²	Überhitzter Dampf bei °C: 340	360	380	400	
	Wärmeinhalt in kcal je kg Dampf				
6	750,9	760,9	770,9	781,1	791,2
8	749,8	759,8	770,1	780,2	790,4
10	748,7	758,9	769,2	779,5	789,7
11	748,1	758,3	768,7	779,1	789,4
14	746,4	756,9	767,4	777,9	788,3
17	744,8	755,5	766,1	776,1	787,2
21	742,7	753,6	764,4	775,1	785,7
26	740,0	751,2	762,1	773,0	783,8
50	725,8	738,5	750,8	762,9	774,4
80	705,8	721,5	735,9	749,5	762,6
100	689,2	708,0	724,6	739,8	754,1
160	—	651,8	681,9	705,6	725,8
200	—	—	639,6	676,0	702,2
(kritischer Druck)					

Verbrennungskraftmaschinen

Hubkolbenmotoren. Die Verbrennung vollzieht sich im Zylinder des Motors. Dadurch wird der bauaufwendige, trotzdem aber meist unwirtschaftlichere Weg vermieden, mit dem Kraftstoff erst Dampf zu erzeugen und mit dessen Energie über Dampfmaschine oder -turbine mechanische Energie zu gewinnen. Je nach gewähltem Arbeitsverfahren, Zweitakt- oder Viertaktverfahren (Bilder 17.9 und 17.10 sowie Tabellen 17.3 und 17.4), ergeben sich konstruktions- und verfahrensbedingte Unterschiede im spezifischen Kraftstoffverbrauch.

Tabelle 17.3: Arbeitsweise des 2-Takt-Motors

1. Takt	2. Takt
Unterhalb des Kolbens	
Ansaugen von Kraftstoff-Luft-Gemisch in das Kurbelgehäuse	Vorverdichten von Kraftstoff-Luft-Gemisch im Kurbelgehäuse
Oberhalb des Kolbens	
Verdichten und Entzünden des Gemisches	Arbeitstakt; Ausströmen der verbrannten Gase und Überströmen des vorverdichteten Kraftstoff-Luft-Gemisches in den Zylinder

Tabelle 17.4: Arbeitsweise des 4-Takt-Motors (Zündfolge 1–3–4–2)

Takt	Zylinder 1	Zylinder 2	Zylinder 3	Zylinder 4
1. Takt	*arbeiten*	ausstoßen	verdichten	ansaugen
2. Takt	ausstoßen	ansaugen	*arbeiten*	verdichten
3. Takt	ansaugen	verdichten	ausstoßen	*arbeiten*
4. Takt	verdichten	*arbeiten*	ansaugen	ausstoßen

Der *spezifische Kraftstoffverbrauch* b_e in g/PS h ist eine Rentabilitätskennziffer und erlaubt Wirtschaftlichkeitsvergleiche verschiedener Motoren untereinander.

$$b_e = \frac{1000\,B}{P_e} \text{ in g/PS h bzw. g/kW h,} \qquad (1)$$

wobei B Kraftstoffverbrauch in kg/h und P_e die effektive Leistung des Motors (Kupplungsleistung) in PS bzw. kW bedeuten. Da die Leistungsabgabe des Motors einerseits von seinem Gesamtwirkungsgrad η_{ges} und dem unteren Heizwert H_u des Kraftstoffes abhängt, andererseits 1 PS h = 632 kcal oder 1 kWh = 860 kcal, ergibt sich aus (1)

$$b_e = \frac{632 \cdot 1000}{\eta_{ges} \cdot H_u} \text{ g/PS h oder } b_e = \frac{860 \cdot 1000}{\eta_{ges} \cdot H_u} \text{ g/kW h.} \qquad (2)$$

Unter der Literleistung P_l versteht man die effektive Motorleistung P_e, bezogen auf 1 l = 1 dm³ Hubvolumen, wobei V_H Gesamthubraum des Motors darstellt.

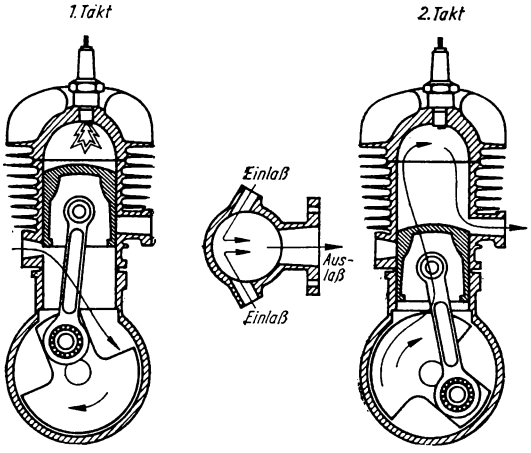


Bild 17.9. Zweitaktmotor mit 3-Kanal-Umkehrspülung (luftgekühlt)

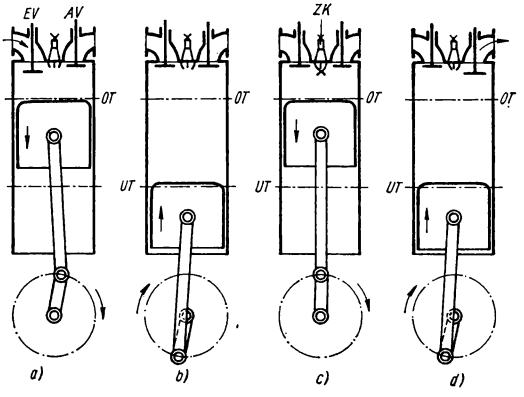


Bild 17.10. Viertaktmotor
a) Kurz nach Beginn des 1. Taktes, b) kurz nach Beginn des 2. Taktes, c) Beginn des 3. Taktes, d) kurz nach Beginn des 4. Taktes
EV Einlaßventil, AV Auslaßventil, ZK Zündkerze, OT oberer Totpunkt, UT unterer Totpunkt

$$P_l = \frac{P_e}{V_H} \text{ PS/l (für } P_e \text{ in PS) bzw. kW/l (für } P_e \text{ in kW).} \quad (3)$$

Das gesamte Hubvolumen V_H des Motors ist die Summe der Hubräume V_h jedes einzelnen Zylinders; also

$$V_H = zV_h, \quad (4)$$

wenn z = Anzahl der Zylinder ist. Jeder Zylinder besitzt das Hubvolumen $V_h = As$, wobei A Kolbenbodenfläche in cm² und s Hubweg in cm (von Totpunkt zu Totpunkt) bedeuten.
Daraus folgt

$$V_H = Asz \text{ in cm}^3 \quad (5)$$

oder, da A eine Kreisfläche ist,

$$V_H = \frac{\pi d^2 sz}{4} \text{ in cm}^3. \quad (6)$$

Unter *Hubverhältnis* i versteht man das Maßverhältnis Kolbenhub s zur Zylinderbohrung d (Zylinderdurchmesser);

$i = s/d$

Als Hubraummasse bezeichnet man das Verhältnis

$$\frac{\text{Motormasse } m \text{ in kg}}{\text{Hubraum } V_H \text{ in l}} = \frac{m}{V_H} \text{ in kg/l,}$$

und die Literleistung ist der anteilig auf 1 dm³ Hubraum entfallende Anteil der Höchstleistung des Motors

$$P_l = \frac{P_e}{V_H} \text{ in PS/dm}^3 \text{ bzw. kW/dm}^3,$$

Das Masse-Leistungs-Verhältnis drückt die Beziehung der gesamten Motormasse m aus, anteilig bezogen auf 1 PS bzw. 1 kW Nutzleistung bei höchster Leistungsabgabe des Motors, also

$$\frac{m}{P_e} \text{ in kg/PS bzw. kg/kW.}$$

Nach dem *2. Hauptsatz der Wärmelehre (Entropiesatz)* kann Wärme nicht restlos in Arbeit, aber umgekehrt mechanische Arbeit restlos in Wärme übergeführt werden. Die Grenzen für die Gewinnung mechanischer Energie aus den Kolbenmotoren ergeben sich aus dem Kreisprozeß von CARNOT. Bezeichnet man die zugeführte Wärmemenge mit Q_1 (chemisch gebundene Wärmeenergie der verbrauchten Kraftstoffmenge) in kcal und die abgeführte Wärmemenge mit Q_2 (Wärmeverluste durch Kühlung und Abgaswärme) in kcal, dann entspricht der Wärmewert der theoretischen Arbeit der Differenz aus $Q_1 - Q_2$. Dies ist aber identisch mit dem Verhältnis der absoluten Temperaturen – höchste Temperatur = Anfangstemperatur T_1 zur Endtemperatur T_2 – und wird als *Güteverhältnis* bezeichnet. Aus der Gleichsetzung beider Verhältnisse ergibt sich der *thermodynamische Wirkungsgrad* η_{th}.

$$\eta_{th} = \frac{\text{Wärmewert der theoretischen Arbeit}}{\text{zugeführte Kraftstoffenergie}} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (7)$$

Der Quotient der absoluten Temperaturen ist im günstigsten Fall (Idealfall) in Arbeit umsetzbare Wärme (Nichtberücksichtigung der Reibverluste u. a.).
Je höher die Verdichtung ε ist, desto höher liegt die Anfangstemperatur T_1 und damit der Wirkungsgrad. Der theoretische Wirkungsgrad η_t verbessert sich bei OTTOmotoren (für zweiatomige Gase $\varkappa \approx 1{,}4$), wie in Tabelle 17.5 angegeben.

Verdichtungsverhältnisse über 14:1 liefern keine befriedigende Steigerung des Wirkungsgrades der OTTOmotoren.
Das Verdichtungsverhältnis ε (Bild 17.11) ist das Verhältnis des gesamten Brennraumes, also Hubraum V_h + Verdichtungsraum V_c, zum Kompressionsraum V_c.

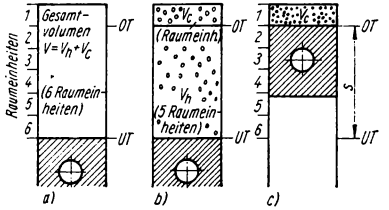


Bild 17.11. Beispiel Verdichtungsverhältnis 6:1

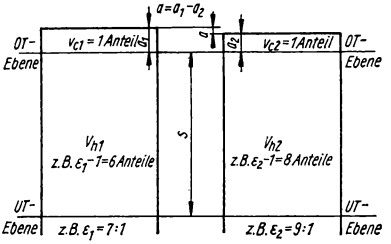


Bild 17.12. Verdichtungsänderung

Tabelle 17.5: Theoretischer Wirkungsgrad

Verdichtung	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14
Theoretischer Wirkungsgrad	0,24	0,35	0,42	0,47	0,51	0,54	0,56	0,60	0,63	0,64

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c} \quad \text{oder} \quad V_h = V_c(\varepsilon - 1) \quad \text{oder} \quad V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1}. \tag{8}$$

Beim Erhöhen der Verdichtung (Bild 17.12) bleibt der Hubweg s des Kolbens unverändert lang. Das Änderungsmaß a ist die Differenz zwischen den Höhen beider Verdichtungsräume, z. B. durch Abschleifen des Zylinderkopfes oder Erhöhen des Kolbens, und wird mit ausreichender Genauigkeit bestimmt zu

$$a = a_1 - a_2, \quad a = \frac{s}{\varepsilon_1 - 1} - \frac{s}{\varepsilon_2 - 1} \text{ in mm}; \tag{9}$$

dabei ist a_1 Höhe des Verdichtungsraumes vor der Veränderung und a_2 nach der Veränderung; Maße in mm. Entsprechend ist ε_1 die ursprüngliche Verdichtung und ε_2 die veränderte Verdichtung.

Der Kolben wird infolge seiner Lagerung auf der gekröpften Kurbelwelle zwischen den Totpunkten jeweils zwischen den Extremwerten der Geschwindigkeit $v_0 = 0$ in den Totpunkten (Umkehrpunkten) und v_{max}, der Höchstgeschwindigkeit, etwa bei Erreichen des halben Hubweges beschleunigt und verzögert. Vereinfacht spricht man von der *mittleren Kolbengeschwindigkeit* v_m und meint damit den gesamten je Sekunde vom Kolben zurückgelegten Weg:

$$v_m = \frac{2sn}{60 \cdot 1000} \text{ in ms}^{-1} \quad \text{oder} \quad v_m = \frac{sn}{30 \cdot 1000} \text{ in ms}^{-1}, \tag{10}$$

wenn s in mm und die Drehzahl n in min^{-1} eingesetzt werden.

Die *Kolbenkraft* F in kp ergibt sich aus der Größe der Kolbenbodenfläche A in cm² mal dem mittleren Gasdruck p_m, den man gleichmäßig vom OT (oberer Totpunkt) bis UT (unterer Totpunkt) im Arbeitstakt (Verbrennungstakt) annimmt. (Er ist genau der Mittelwert aus allen Teildrücken zwischen OT und UT.)

$$F = p_m A \text{ in kp}. \tag{11}$$

Die Arbeit während eines Arbeitstaktes im Zylinder ist, da Arbeit W = Kraft × Weg (für den Weg in cm),

$$W = Fs \text{ in kp cm} \quad \text{oder} \quad W = Ap_m s \text{ in kp cm} \tag{12}$$

und die Zylinderleistung = Arbeit je Sekunde.

Man erhält die *Zylinderleistung* P_z als den 60. Teil der in einer Minute verrichteten Arbeit (Kraft mal Weg mal Drehzahl).

Zweitaktmotor
$$P_z = \frac{Ap_m sn}{60 \cdot 100} \text{ in kp m/s} \tag{13}$$

P_z	A	p_m	s	n
$\frac{\text{kp m}}{\text{s}}$	cm²	$\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$	cm	$\frac{1}{\text{min}}$

Beim Viertaktmotor erfolgt je Zylinder nur ein Arbeitstakt auf 2 Kurbelwellenumdrehungen; somit folgt aus Gl. (13)

Viertaktmotor
$$P_z = \frac{Ap_m sn}{60 \cdot 100 \cdot 2} \text{ in kp m/s}. \tag{14}$$

Für Mehrzylindermotoren in z Zylindern und Leistungsangaben in PS oder kW gilt dann:

Innenleistung des Zweitaktmotors
$$P_i = \frac{Ap_m snz}{450000} \text{ in PS} \tag{15}$$

P_i	A	p_m	s	n
PS	cm²	$\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$	cm	$\frac{1}{\text{min}}$

Innenleistung des Viertaktmotors
$$P_i = \frac{Ap_m snz}{900000} \text{ in PS} \tag{16}$$

Die effektive Leistung P_e verringert sich gegenüber der Innenleistung um den mech. Wirkungsgrad η_m.

Die 4 Takte des Kreisprozesses

Vergleiche idealen OTTO-Kreisprozeß (Bild 17.10).

1. Takt: *Ansaugen*

Punkt I = UT, Auslaßventil schließt, Einlaßventil geöffnet, Umgebungsdruck = atmosphärischer Luftdruck.

m Masse des Frischgasgemisches (einschl. der Altgasreste) in g,

T_1 absolute Temperatur des einströmenden Kraftstoff-Luft-Gemisches in K,

p_1 (stat.) Druck der Gasfüllung im Zylinder in kp/cm²,

R mittlere Gaskonstante (s. Tabelle 17.6),

V Zylinderraum + Kompressionsraum = $V_h + V_c$;

$$V = \frac{mT_1 R}{p_1} \text{ in dm}^3 \text{ oder l}. \tag{17}$$

2. Takt: *Verdichten*

Punkt II = OT (idealer Kreisprozeß!) Ventile geschlossen, höchster Verdichtungsdruck.

Bestimmungsgrößen: p_2; T_2; V_c.

V_c Verdichtungsraum in dm³, $\varkappa = \frac{L_p}{L_v}$,

allgemein
$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V}{V_c}\right)^{\varkappa - 1} \tag{18}$$

und
$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V}{V_c}\right)^{\varkappa} = \varepsilon^{\varkappa}. \tag{19}$$

Ableitungen

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_h + V_c}{V_c}\right)^{\varkappa - 1};$$

$$p_2 = p_1 \left(\frac{V_h + V_c}{V_c}\right)^{\varkappa}.$$

Verdichtungsenddruck

Der Verdichtungsenddruck p_c eines beliebigen Motors ist der höchste im noch nicht zündenden betriebswarmen Motor auftretende Druck. Er ist abhängig vom Anfangsdruck p_a und dem Verdichtungsgrad ε. Da es eine polytrope Zustandsänderung ist, benötigt man einen Polytropenexponenten, der hier mit v angegeben sei. Er liegt erfahrungsgemäß bei $v \approx 1{,}35$. Allgemeine Bezeichnung:

$$p_c = p_a \cdot \varepsilon^{v} \text{ in } \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}. \tag{20}$$

Verbrennungsenddruck

Der Verbrennungsenddruck p_z eines beliebigen Motors ist der höchste im betriebswarmen Motor nach erfolgter Zündung auftretende Druck. Er beträgt etwa das 1,4···1,7fache des Verdichtungsenddruckes.

$$p_z = p_c\,(1{,}4 \cdots 1{,}7) \text{ in } \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}. \tag{21}$$

3. Takt: *Arbeitstakt (Verbrennungstakt)*

Bestimmungsgrößen: Q_1; p_3; T_3; T_2; m.

Im OT ist die Kolbengeschwindigkeit $v = 0$. Kurz nach OT ist die Kolbenbewegung noch relativ gering, aber die Verbrennungsgeschwindigkeit am größten; deshalb der lineare Druckanstieg im idealen Kreisprozeß. Man bezeichnet die Verbrennung im OTTO-Prozeß auch als »Gleichraumverbrennung«, da sich das Volumen während des größten Teils der Verbrennung wenig verändert, im Vergleich zum Dieselmotor.

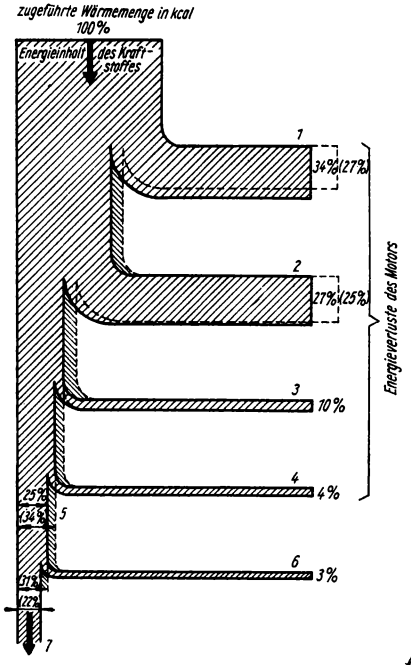


Bild 17.13. Sankey-Diagramm für Kraftfahrzeugmotoren (Klammerwerte für Dieselmotoren)
1 Abgase, 2 Kühlmittel, 3 Reibung und Strahlung, 4 Lichtmaschine und Ventilator oder Gebläse, 5 effektive Nutzleistung P_e des Motors im Verhältnis zur zugeführten Wärmeenergie des Kraftstoffes, 6 Reibungsverluste durch Wechsel- und Ausgleichgetriebe, 7 nutzbare mechanische Energie an den Antriebsrädern zur Überwindung des Roll-, Luft- und Steigungswiderstandes im Verhältnis zur zugeführten Wärmeenergie

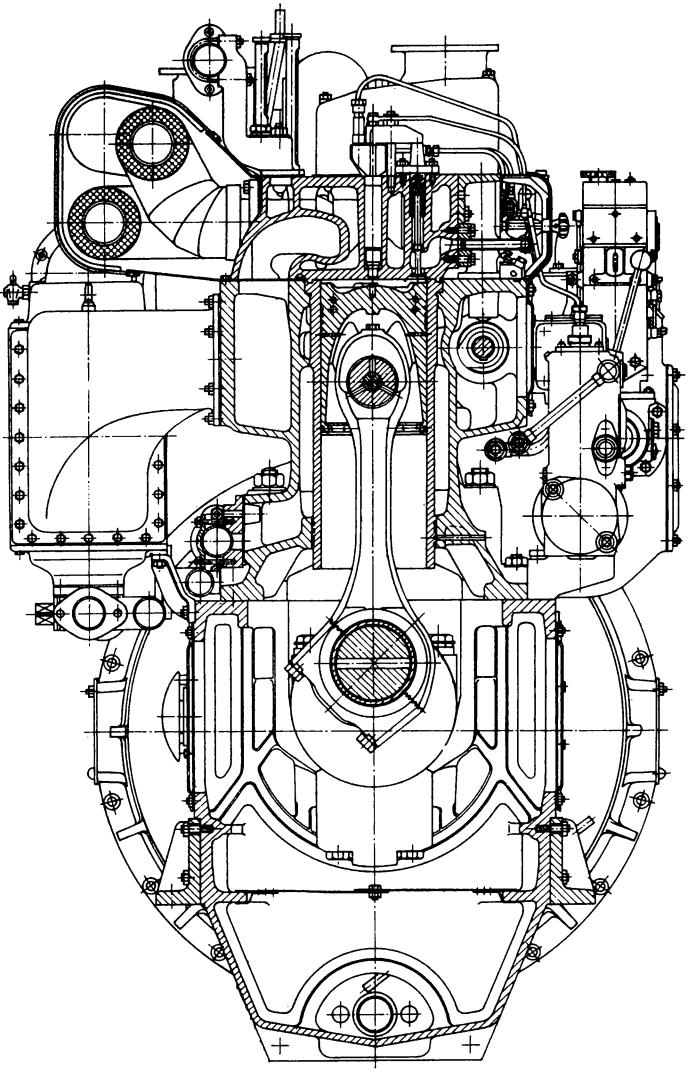


Bild 17.14. 4-Takt-Schiffsdieselmotor VD 26/20/Al 1 (Querschnitt)

Q_1 frei werdende Verbrennungswärme,
c_γ spezifische Wärme bei konstantem Volumen,
m_K Kraftstoffmasse.

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2}\ ;\quad Q_1 = mc_\gamma\,(T_3 - T_2) \text{ in kcal.} \tag{22}$$

4. Takt: *Ausstoßtakt*

Bestimmungsgrößen: T_3; T_4; V; V_c; V_h.
T_4 mittlere Auslaßtemperatur in K,
V spezifisches Volumen in $\frac{\mathrm{dm^3}}{\mathrm{g}}$.

Allgemein für Verdichtungs- oder Ausstoßhub, wenn Wärme weder zu- noch abgeführt wird:

a) $pV^\nu = \text{const}$,
b) $TV^{\nu-1} = \text{const}$, (23)
c) $T^\nu p^{1-\nu} = \text{const}$.

Speziell für den Ausstoßtakt gilt:

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V}{V_c}\right)^{\nu-1} = \varepsilon^{\nu-1} \tag{24}$$

und

$$\frac{p_3}{p_4} = \left(\frac{V}{V_c}\right)^{\nu} = \varepsilon^{\nu}\ ; \tag{25}$$

$$\nu = \varepsilon \log \frac{p_3}{p_4} \qquad \nu = 1{,}2 \cdots 1{,}4, \tag{26}$$

ν Mittelwert aus ν_3; ν_4, die T_3 bzw. T_4 zugeordnet sind.

Die *Energieverteilung* bei Kraftfahrzeugmotoren bzw. Kraftfahrzeugen geht aus dem SANKEY-Diagramm (Bild 17.13) hervor. Es gilt für Viertakt-Ottomotoren, die Klammerwerte gelten für DIESELmotoren. *Dieselmotoren* sind hinsichtlich des Gesamtwirkungsgrades die wirtschaftlichsten Wärmekraftmaschinen. Groß-DIESELmotoren, die heute bis etwa 40000 PS gebaut werden, benötigen an Kraftstoff nur etwa 150···155 g/PS h.
Bild 17.14 zeigt den Schiffsdieselmotor VD 26/20/Al 1 vom VEB Schwermaschinenbau »Karl Liebknecht«, Magdeburg, mit 200 mm Zylinderbohrung, 260 mm Hub, 16,5 kp/cm² mittlerem effektivem Kolbendruck, 8,7 m/s mittlerer Kolbengeschwindigkeit, Leistung mit 8 Zylindern ≈ 880 kW bzw. 1200 PS; Anlaßsystem ist Druckluft, spezifischer Kraftstoffverbrauch 218 g ± 5 % je kW h bzw. 160 g/PS h, Nenndrehzahl 1000 Umdr./min.
Kraftfahrzeug-Dieselmotoren benötigen unaufgeladen je nach Konstruktion bzw. Arbeitsverfahren 175···200 g/PS h, aufgeladen 165···185 g/PS h, im Gegensatz zu Kraftfahrzeug-OTTOmotoren, die (jeweils mit größeren Abweichungen) als Viertaktmaschinen etwa um 250 g/PS h und als Zweitaktmaschinen um 300 g/PS h streuen. Die Angaben gelten für Vollast, also Höchstgeschwindigkeit. In Tabelle 17.6 sind spezifische Wärmewerte wichtiger Gase zusammengestellt.

Kreiskolbenmotoren. Größere Bedeutung erlangte bisher nur das System WANKEL. Die Wirkungsweise zeigen die Bilder 17.15 und 17.16. Vorteile gegenüber den Hubkolbenmotoren sind Fortfall der hin- und hergehenden Kolbenmassen, die bessere Kraftstoffunempfindlichkeit, weniger Steuerteile und besseres Masseleistungsverhältnis. Die Motoren arbeiten je Kammer nacheinander in 4 »Takten«, obgleich keine Totpunkte wie bei Hubkolbenmotoren vorhanden sind. Nachteilig sind die bisherigen Schwierigkeiten in guter Gasdichtung bei gleichzeitig geringem Verschleiß. Hauptanwendungsgebiete: tragbare Antriebsaggregate für Feuerlöschgeräte, Bootsmotoren, aber auch Kraftfahrzeugmotoren (Pkw) u. a.

Gasturbinen. Die Gasturbine fand in den letzten Jahren weitere Einsatzmöglichkeiten. Ursprünglich eignete sie sich nur für hohe Leistungen. Ihr Einbau in Lkw erweist sich durch neuere Entwicklungen oft als zweckmäßig, zumal man das einst schlechte und unwirtschaftliche Teillastverhalten erheblich verbessern konnte. Bild 17.17 zeigt die Wirkungsweise.

Vorteile der Gasturbine sind ihr sehr niedriges Masse-Leistungs-Verhältnis, das besser als bei Verbrennungsmotoren ist, die Anspruchslosigkeit gegenüber Kraftstoffen, geringe Wartung und Pflege sowie lange störungsfreie Betriebszeiten. Nachteilig sind die hohen Drehzahlen, die größere Gesamtübersetzung erfordern. Der spezifische Kraftstoffverbrauch wurde dem der Verbrennungsmotoren inzwischen so weit genähert, daß die Anwendung der Gasturbine auch für Dauerantriebe kleinerer Leistungen nützlich sein kann. In Hüttenwerken laufen die Gasturbinen mit Gichtgas und treiben die Kompressoren für Winderhitzer, Hochöfen usw., also große

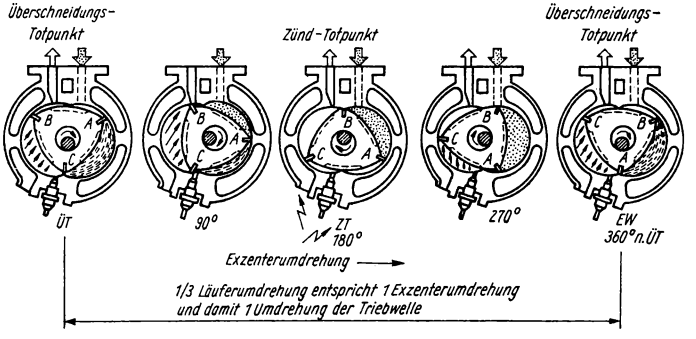


Bild 17.15. Arbeitsweise des Kreiskolbenmotors von WANKEL EW Exzenterwelle

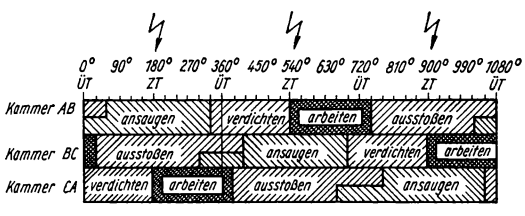


Bild 17.16. Arbeitsfolge, Steuerzeiten und Steuerdiagramm (Wankelmotor)

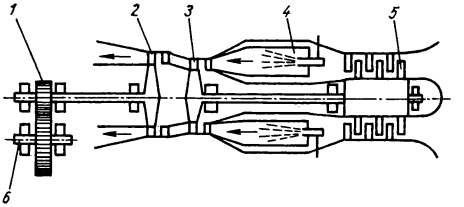


Bild 17.17. Gasturbine, einfach, offen, ohne Wärmetauscher 1 Untersetzungsgetriebe, 2 Nutzleistungsturbine, 3 Verdichterturbine, 4 Brennkammer, 5 Verdichter, 6 Antrieb

Tabelle 17.6: Spezifische Wärmekapazitäten der Gase

Gasart	Formel	Gaskonstante R	Spezifische Wärmekapazitäten *) in kcal/kg K		in kcal/m³ K	
			c_p	c_v	C_p	C_v
Äthanol	C_2H_5OH	18,4	0,45	0,40	0,85	0,77
Äther	$C_4H_{10}O$	11,43	0,43	0,40	1,31	1,23
Äthylen	C_2H_4	30,2	0,37	0,30	0,43	0,35
Azetylen	C_2H_2	32,5	0,35	0,27	0,37	0,29
Kohlendioxid	CO_2	19,26	0,21	0,16	0,37	0,29
Kohlenmonoxid	CO	30,25	0,242	0,172	0,284	0,203
Luft	—	29,27	0,238	0,170	0,284	0,203
Methan	CH_4	52,8	0,59	0,46	0,39	0,31
Sauerstoff	O_2	26,5	0,218	0,155	0,284	0,203
Stickstoffmonoxid	NO	28,2	0,231	0,165	0,284	0,203
Distickstoffoxid	N_2O	19,2	0,21	0,16	0,38	0,30
Stickstoff	N_2	30,25	0,247	0,176	0,284	0,203
Wasserdampf	H_2O	47,0	0,50	0,39	0,37	0,29
Wasserstoff	H_2	420,5	3,41	2,42	0,284	0,203

*) Bei 15 °C und 1 atm.

Leistungsverbraucher. Als Zusatzmaschine findet man z. B. Gasturbinen auf Schiffen der Seestreitkräfte, um kurzzeitig höchste Geschwindigkeiten zu erreichen, oder bei Schnell- und Rettungsbooten wegen der kurzen Startzeiten, auch als Notaggregate in E-Werken oder als Zuschaltaggregate in der Spitzenbelastungszeit. Sie werden häufig bei entsprechendem Vorkommen mit Erdgas betrieben, zuweilen auch mit Leuchtgas u. a.

Strahlturbinentriebwerke. Der Vortrieb bei Flugzeugen erfolgt bis etwa 500 km/h wirtschaftlich mit Propellertriebwerken. Hierbei werden von den Luftschrauben große Luftmassen verhältnismäßig langsam beschleunigt. Mit weiterem Ansteigen der Fluggeschwindigkeit sinkt der Luftschraubenwirkungsgrad immer schneller. Deshalb setzt man für Fluggeschwindigkeiten über 600···750 km/h *Propellerturbinenluftstrahltriebwerke (PTL)* ein. Bei noch höheren Geschwindigkeiten sinkt der Wirkungsgrad, und der steigende Kraftstoffverbrauch erfordert reinen Turbinenvortrieb. Das *Turbinenluftstrahltriebwerk (TL)* verdichtet die einströmende Luft auf 6···12 at, mischt sie in der Brennkammer mit dem eingespritzten Kraftstoff, der mit Luftüberschuß verbrennt. Die heißen Gase expandieren durch die Schubdüse und bewirken den Vortrieb. Ein Teil der Strömungsenergie treibt die Verdichterturbine. Nachverbrennung zur Schubkraftvergrößerung erfolgt durch nochmalige Kraftstoffzufuhr. TL-Triebwerke erzeugen Schubkräfte bis etwa 10000 kp. Im zivilen Luftverkehr setzt man für Reisegeschwindigkeiten im Unterschallbereich, etwa zwischen 850···1150 km/h, *Zweikreisturbinen-Luftstrahltriebwerke (ZTL)* ein, die über einen zusätzlichen Niederdruckverdichter Kaltluft durch einen äußeren umhüllenden Kanal drücken. Die ZTL erzeugen Schubkräfte bis etwa 12000 kp. Vorteile der ZTL gegenüber anderen Vortrieben: Geringster spezifischer Kraftstoffverbrauch im nahen Unterschallbereich, geringere Lärmbelästigung, kurze Startstrecke und hohe Anfangsgeschwindigkeit sowie gute Leistungsreserven, wenn ein oder mehrere Triebwerke ausfallen. Sowjetische ZTL-Triebwerke ermöglichen durch ihren Einbau im Flugzeugheck hohen Flugkomfort, und die Umkehrbarkeit der Schubrichtung bei Außentriebwerken bewirkt zusätzliche Bremswirkung, so daß auch bei glatten Landebahnen kurze Ausrollstrecken erreicht werden.

Raketentriebwerke. Im Gegensatz zu den vorgenannten Wärmekraftmaschinen entnehmen die Raketen den Sauerstoff zur Verbrennung nicht der Luft, sondern sie führen ihn in festem oder flüssigem Zustand selbst mit. Dadurch besitzen sie auch außerhalb der Lufthülle Aktionsfähigkeit. Innerhalb und außerhalb der Lufthülle erreichen Raketen beliebige Höhen zur Wetterbeobachtung (Wettersatelliten), und als strategische Raketen überwinden sie große Entfernungen in kurzer Zeit. Zuweilen dienen Raketentriebwerke als zusätzliche Starthilfen bei Flugzeugen.

18. Gastechnik

Die Gastechnik umfaßt die Gebiete der Gaserzeugung, der Gasaufbereitung, der Gasfortleitung und -verteilung sowie der Gasanwendung.

18.1. Gaserzeugungstechnik

Gaserzeugung ist die Herstellung zweckbestimmter, brennbarer technischer Gase aus festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen. Grundsätzlich können die Gaserzeugungsverfahren in Ent- und Vergasungsverfahren eingeteilt werden.

Entgasung, Verkokung

Unter *Entgasung* und *Verkokung* ist die thermochemische Behandlung von gas- und teerabspaltenden festen Stoffen unter Luftabschluß zu verstehen.
Die Hochtemperaturentgasung oder -verkokung erfolgt oberhalb 800 °C. Während die Hochtemperaturentgasung der Steinkohlen die Erzeugung von Starkgas und Hochtemperaturkoks bezweckt, dient die Braunkohlenverkokung der Erzeugung stückigen, hinreichend abriebfesten Hochtemperaturkokses mit niedrigem Asche- und Schwefelgehalt.
Durchgeführt werden die Hochtemperaturentgasung und -verkokung von Steinkohlen in *Entgasungs- bzw. Verkokungsöfen* (Bild 18.1).

Die Entgasungsräume sind meist schmale Kammern mit rechteckigem Querschnitt, die je nach der Lage ihrer längsten Kante als Vertikal- oder Horizontalkammern bezeichnet werden. Die für die Entgasung bzw. Verkokung benötigte Wärme wird durch Verbrennen von Schwachgas bzw. Starkgas in den Heizzügen 9 (Bild 18.2) erzeugt. Gas und Luft werden in den Rohrleitungen 2 der Verbrennung zugeführt und auf die Rohrleitungen 3 verteilt.

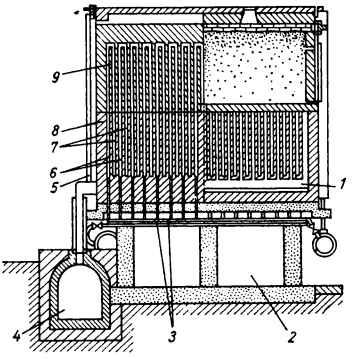


Bild 18.2. Rekuperativofen, System Dr. OTTO
1 Sohlkanal, 2 Gas- und Lastleitung, 3 Gas- und Luftrohre, 4 Abhitzekanal, 5, 6, 7 Rekuperatoren, 8 Brennstelle, 9 Heizzüge

Während das Schwachgas durch einstellbare Gasschieber in den Rekuperator 5 geleitet wird, strömt auch die Verbrennungsluft mit ein. Danach gelangen Gas und Luft an die Brennstelle 8 und brennen im Heizzug 9 aufwärts. Die bei der Verbrennung entstehenden Abgase strömen in den Nachbarzügen (Zwillingszügen) in die Rekuperatoren 7 und gelangen dann in die Sohlkanäle 1 und den Abhitzekanal 4.

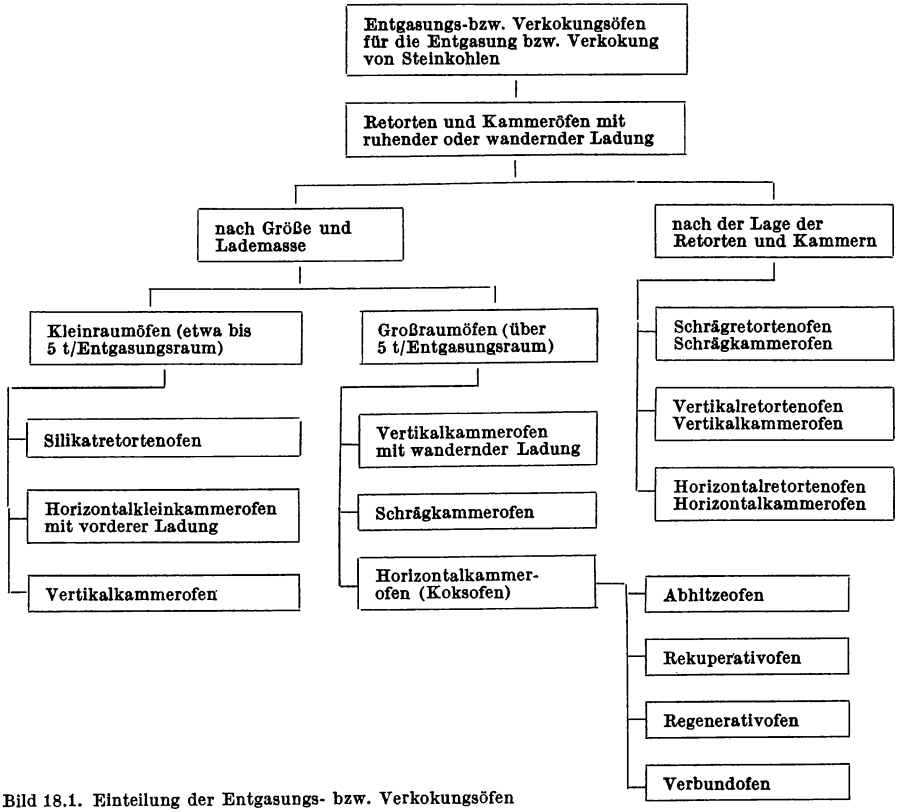


Bild 18.1. Einteilung der Entgasungs- bzw. Verkokungsöfen

Diese Öfen können auch als Verbundöfen betrieben werden. Stets erfolgt Vorwärmung des in Zentralgeneratoren erzeugten Schwachgases, während Starkgas nicht vorgewärmt wird. Für Horizontalkammeröfen sind erforderlich: Verfahrbarer Kohlenfüllwagen zum Einfüllen der in der Kohlenvorbereitungsanlage (Bild 18.3) vorbereiteten Kohle in die Kammer, Planiereinrichtung zum Planieren der in die Kammer eingefüllten Kohle, Koksausstoßmaschine zum Ausstoßen des Kokses aus der Kammer, Kokslösch- und Verladeeinrichtungen.

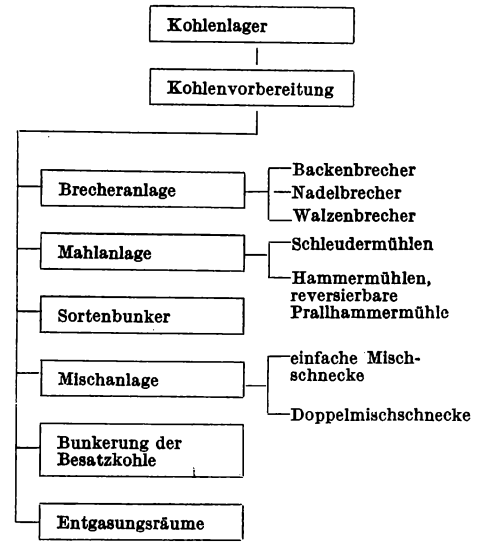


Bild 18.3. Fließschema einer Kohlenvorbereitungsanlage

Das erzeugte Starkgas wird aus der Entgasungskammer durch das Übergangsrohr und die Teervorlage der Aufbereitung zugeleitet (Bild 18.4). Der aus der Kammer ausgestoßene Koks von etwa 900 °C fällt in einen Löschwagen, der zum Löschturm gefahren wird. Danach erfolgt das Absieben des Kokses auf einer Kokssortieranlage.
Die Tabelle 18.1 gibt Auskunft über die bei der Entgasung bzw. Verkokung der Steinkohlen anfallenden Produkte. Die Verkokung der Braunkohlen erfolgt mit dem von BILKENROTH und RAMMLER entwickelten einstufigen *Verkokungsverfahren für brikettierte Braunkohle.*

Vergasung

Die *Vergasung* ist gekennzeichnet durch weitgehende Überführung eines Vergasungsstoffes in brennbare Gase durch chemische Umsetzung mit Sauerstoff oder sauerstoffhaltigem Vergasungsmittel bei hohen Temperaturen.
Bei autotherm nach dem Gegenstromprinzip arbeitenden Generatoren mit Festbett setzt sich das Vergasungsmittel auf seinem Weg durch die Zone der chemischen Reaktionen mit dem Vergasungsstoff in ein brennbares Gas um. Die Art der hier verlaufenden Reaktionen ist von der Zusammensetzung des Vergasungsmittels abhängig. Das die Reaktionszone verlassende Vergasungsgas gibt einen Teil seiner Wärme an den Vergasungsstoff ab. Dadurch wird dieser vorgewärmt. Er wird dabei entgast, wenn teerhaltiger Vergasungsstoff verwendet wird, und getrocknet. Die unterste Zone des Generators ist die Schlackenkühlzone. Hier wird die Schlacke durch das eingeblasene Vergasungsmittel gekühlt.
In Bild 18.5 ist ein autotherm, unter atmosphärischem Druck arbeitender Generator mit Festbett dargestellt.
Der Vergasungsstoff wird durch einen verschließbaren Fülltrichter mit Beschickungsschleuse von oben in den Schacht eingebracht. Die Schlacke, die aus unverbrannten, brennbaren Bestandteilen und Asche besteht, sammelt sich im unteren Teil und wird durch den drehbaren Rost ausgetragen. Das Vergasungsmittel wird unterhalb des Rostes in den Generator eingeführt. Das Vergasungsgas strömt durch einen oberhalb am Generator angebrachten Rohrstutzen in die Gasfortleitung.
Dieser Generator dient der Erzeugung von Schwachgas. Bei der Vergasung teerhaltiger Vergasungsstoffe setzt sich die erzeugte Gasmenge aus dem durch die Schwelung und aus dem durch die Vergasung des Schwelkokses gebildeten Vergasungsgas zusammen.

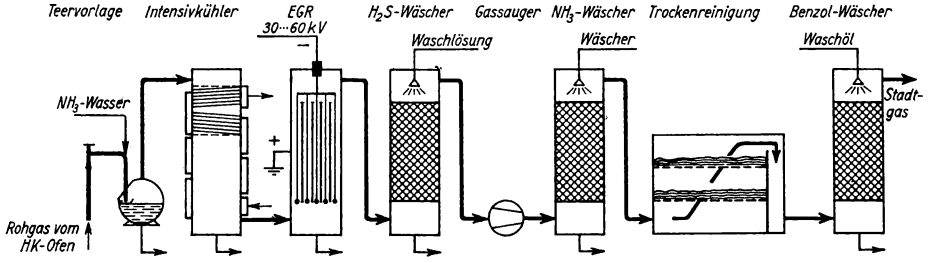


Bild 18.4. Gasaufbereitung einer Steinkohlenkokerei
EGR elektrische Gasreinigung

Tabelle 18.1: Einfluß des Entgasungsstoffes auf die Gasbeschaffenheit

Entgasungsstoff	Gesamtzusammensetzung in Volumenprozent					
	H_2	CH_4	C_nH_m	CO	CO_2	H_o in kcal/m³ i.N.
Holz	36	13	3	34	23	3800
Torf	40	13	—	20	23	3900
Braunkohle	45	23	—	18	13	5000
Steinkohle	50	34	4	8	3	5800

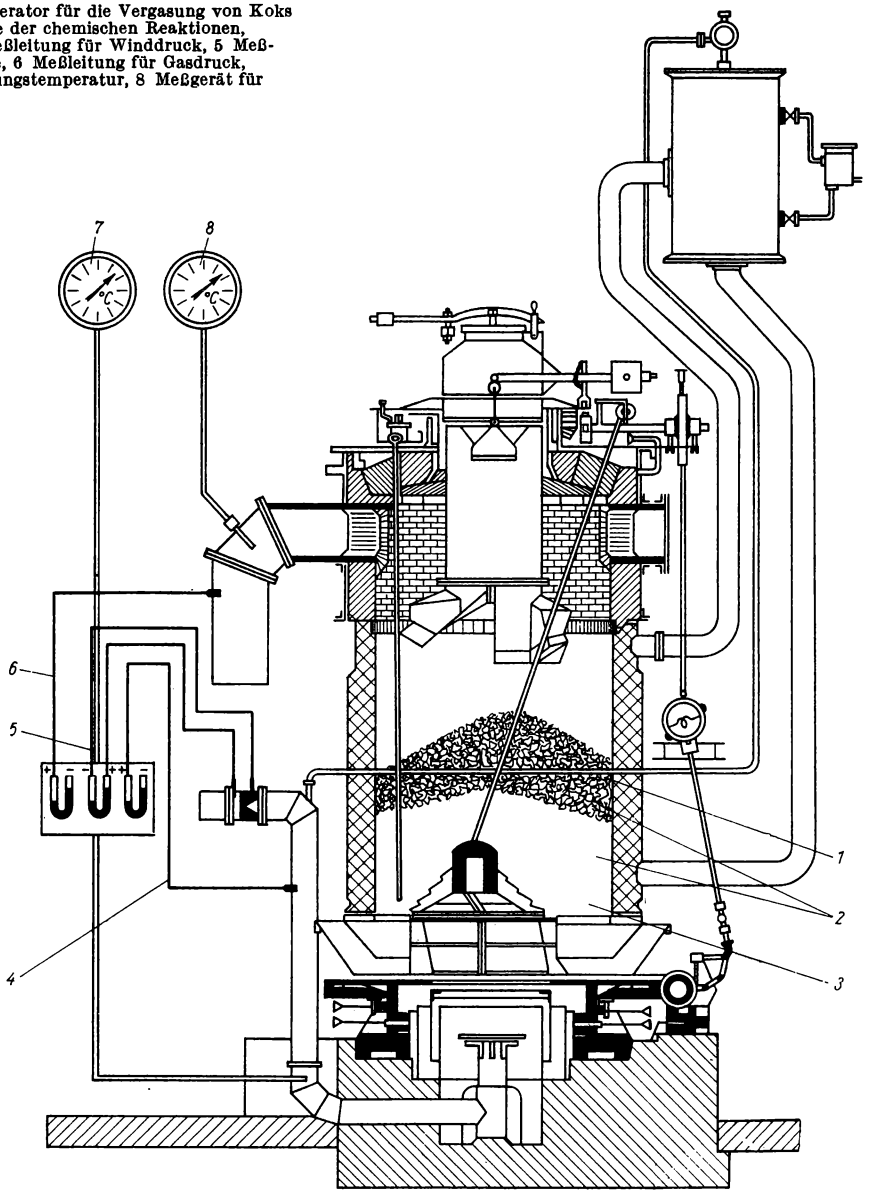


Bild 18.5. Drehrostgenerator für die Vergasung von Koks
1 Trockenzone, 2 Zone der chemischen Reaktionen, 3 Schlackenzone, 4 Meßleitung für Winddruck, 5 Meßleitung für Windmenge, 6 Meßleitung für Gasdruck, 7 Meßgerät für Sättigungstemperatur, 8 Meßgerät für Gastemperatur

Die Vergasung teerhaltiger Vergasungsstoffe bei Drücken von etwa 15 . . . 30 kp/cm² wird im Drehrostgenerator besonderer Bauart durchgeführt (Bild 18.6).
Besteht das Vergasungsmittel aus Sauerstoff und Wasserdampf, wird Stadtgas erzeugt. Bei diesem autotherm, unter Druck arbeitenden Generator mit Festbett besteht der Druckgenerator aus dem druckfesten, zylindrischen Schacht, der Kohlenschleuse zum Einbringen des Vergasungsstoffes, der Ascheschleuse zum Austragen der Asche, aus dem Rost und den Einrichtungen zum Einführen des Vergasungsmittels.

In Tabelle 18.2 sind die Betriebsergebnisse einer Druckvergasungsanlage dargestellt.

Die Vergasung flüssiger und gasförmiger Kohlenwasserstoffe ist gekennzeichnet durch die teilweise oder vollständige Umsetzung der durch thermische oder thermisch-katalytische Spaltung gebildeten Spaltprodukte mit einem Vergasungsmittel in zweckbestimmte, brennbare technische Gase.
Den thermischen Verhältnissen entsprechend, können die Spaltvergasungsverfahren als *zyklische*, *allotherme* und *autotherme Verfahren* eingeordnet werden. Während die zyklischen Verfahren stets diskontinuierlich arbeiten, ist der zeitliche Verfahrensablauf bei allothermen und autothermen Verfahren stets kontinuierlich. Hinsichtlich der Reaktionsbeschleunigung sind nichtkatalytische und katalytische und hinsichtlich des Druckes drucklose und Druckverfahren voneinander zu unterscheiden.

Als Vergasungsstoff dienen für die Spaltvergasungsverfahren Erdgas, Methan, Flüssiggas, Benzin, schweres Heizöl und Rückstandsöl.
Das Vergasungsmittel besteht, je nach dem Zweck der Spaltvergasung, aus Luft, Sauerstoff, Wasserdampf oder aus deren Gemischen. Dem Zweck der Spaltvergasung entsprechend, können die Verfahren hinsichtlich der Erzeugung von Heizgas, Synthesegas und Stadtgas unterteilt werden. Von diesen verschiedenen Möglichkeiten der Einordnung der Verfahren werden die thermischen Verhältnisse, die Art der Reaktionsbeschleunigung und der Druck gewählt.

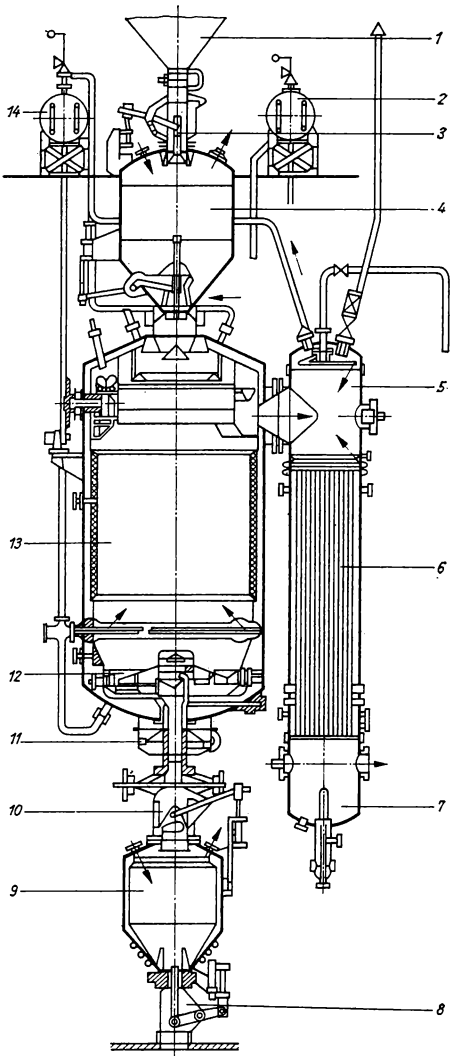


Bild 18.6. Druckvergaser des VEB PKM Leipzig
1 Kohlebunker, 2 Hochdruck-Dampfsammler, 3 oberer Kegelverschluß, 4 Kohleschleuse, 5 Wassereindüsung, 6 Abhitzekessel, 7 Druckteerscheider, 8 Ascheaustrag, 9 Ascheschleuse, 10 Verschlußkopf über Ascheschleuse, 11 druckfester Antrieb, 12 Drehrost, 13 Generator 4 m ∅, 14 Niederdruck-Dampfsammler

Tabelle 18.2: Betriebsergebnisse von Druckvergasungsanlagen

Größe	Anlage und Vergasungsstoff		
	Böhlen Knorpel, Grus, Brikett	Most Hartbraunkohle	Morwell Brikett
a) Physikalische Größen			
Dampftemperatur t in °C	450	500	525
Dampf/O_2 in kg/m³ i. N.	8,6	7,5	7,1
Heizwert H_o in kcal/m³ i. N.	4666	4018	4290
b) Gaszusammensetzung in %			
Rohgas			
$CO_2 + H_2S$	33,5	32,4	34,0
C_nH_m	1,0	0,1	0,4
CO	12,9	13,1	14,5
H_2	34,1	41,4	35,8
CH_4	16,9	12,1	13,5
N_2	1,6	0,9	1,7
Reingas			
CO_2	2,1	4,6	4,5
C_nH_m	1,3	0,2	0,5
O_2	0,3	0,1	0,1
CO	19,0	18,5	20,7
H_2	50,5	58,4	52,6
CH_4	24,6	17,1	19,4
N_2	2,2	1,1	2,2
c) Verbrauchszahlen			
bezogen auf Rohgas in kg/m³ i. N.			
Kohle	1,03	0,86	0,71
Reinkohle	0,75	0,55	0,59
Dampf	0,88	0,95	0,86
O_2 in m³ i. N./m³ i. N.	0,104	0,127	0,121
bezogen auf Reingas in kg/m³ i. N.			
Kohle	1,59	1,22	1,06
Reinkohle	1,16	0,78	0,88
Dampf	1,37	1,34	1,25
O_2 in m³ i. N./m³ i. N.	0,16	0,179	0,175

Ein der Stadtgaserzeugung dienendes zyklisches katalytisches druckloses Verfahren ist das in Bild 18.7 dargestellte SEGAS-*Verfahren.* Es umfaßt einen Dampfüberhitzer, den Reaktor und den Lufterhitzer. Dampfüberhitzer und Luftüberhitzer sind in der Regel als Regeneratoren mit keramischem Füllkörpermaterial ausgebildet. Der zeitliche Verfahrensablauf unterteilt sich in die Gasperiode und in die Heizperiode.
Bei der Gasperiode wird im unteren Teil des Dampfüberhitzers Wasserdampf eingeleitet. Durch die an der Verdampfungskammer angebrachte Düse erfolgt das Eindüsen des Vergasungsstoffes. Der Vergasungsdampf und der Vergasungsstoff mischen sich und strömen dann über den im Reaktor befindlichen Katalysator, an dem unter optimalen Reaktionsbedingungen die Spaltung und teilweise Umwandlung stattfindet.
Der nichtvergaste Kohlenstoff lagert sich in feinverteilter Form auf dem Katalysator ab. Die gebildeten hochmolekularen Kondensationsverbindungen werden als Teerdämpfe mit dem erzeugten Gas abgeführt. Das Gemisch aus dem erzeugten Gas, dem überschüssigen Wasserdampf und den Teerdämpfen gibt im Regenerator einen Teil seiner Wärme ab und gelangt danach durch den Übergang zur Kondensation.
Am Ende der Gasperiode schließt sich eine Spülung der Anlage mit Wasserdampf an, um sämtliche Gasreste zu entfernen.
Nach entsprechender Umschaltung beginnt die Heizperiode.
Die im oberen Teil des Lufterhitzers eingeblasene Luft erhitzt sich im Regenerator und wird im Gegenstrom zur Gasrichtung in den Reaktor geleitet. Hier erfolgt die Verbrennung des auf dem Katalysator abgelagerten Kohlenstoffs, wodurch die für die Umwandlung benötigte Wärme bereitgestellt wird. Die Rauchgase geben einen Teil ihrer Wärme an den Regenerator im Dampfüberhitzer ab und gelangen durch einen

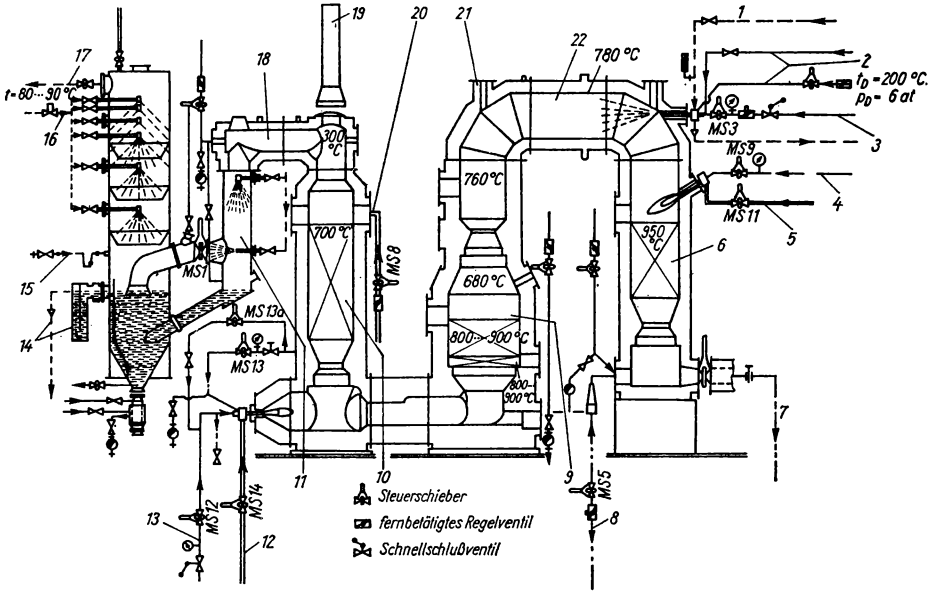


Bild 18.7. Schema des SEGAS-Verfahrens
1 Kondenswasserleitung, 2 Dampfleitung, 3 Teerleitung (Ölleitung), 4 Gasleitung/Kopfbrenner, 5 Luftleitung, 6 Dampferhitzer, 7 Rückgasleitung (Rauchgasleitung), 8 Rückgasleitung, 9 Reaktor, 10 Lufterhitzer, 11 Vorwascher, 12 Luftleitung, 13 Teerleitung, 14 Tauchkopf mit Spülleitung, 15, 16 Ventile, 17 Gasleitung, 18 Übergangsstück, 19 Fackel, 20 Luftleitung (Primärleitung), 21 Luftleitung (Sekundärleitung), 22 Verdampfungskammer

Abhitzekessel in den Kamin. Am Ende der Heizperiode erfolgt dann wieder ein Spülen der Anlage mit Wasserdampf. Nach entsprechender Umstellung beginnt die nächste Gasperiode.

In Tabelle 18.3 sind die spezifischen Betriebszahlen einer SEGAS-Anlage bei Einsatz von Heizöl dargestellt.

Ein weiteres der Stadtgaserzeugung dienendes Verfahren ist das autotherm-katalytisch arbeitende *Spaltvergasungsverfahren*, welches sich durch kontinuierlichen Betrieb und einfache Verfahrensführung auszeichnet. Die für die Prozeßführung erforderliche Reaktionswärme wird durch partielle Oxydation der Kohlenwasserstoffe mit Sauerstoff oder Luft bereitgestellt.
Die Reaktionen verlaufen in einem Schachtreaktor, in dem der Umwandlungskatalysator in einem breiten Bett aufgeschüttet ist. Ein Verfahrensprinzip zur Erzeugung von Stadtgas zeigt Bild 18.8.

In einem Schachtreaktor wird Sauerstoff mit einem Erdgas-Dampf-Gemisch, das auf etwa 400 °C vorgewärmt wurde, vereint und am Katalysatorbett zur Umsetzung gebracht. Das heiße Spaltgas von etwa 860 °C verläßt den Reaktor über einen Abhitzekessel, in dem der Hauptanteil des erforderlichen Reaktionsdampfes erzeugt wird, und gelangt mit einer Temperatur von etwa 380 °C in die erste Konvertierungsstufe (K 1). Die Temperaturregulierung am Eintritt der Konvertierungsreaktoren erfolgt durch zusätzliche Kondensateinspritzung. Die Reaktionswärme der ersten Konvertierungsstufe wird im Wärmetauscher WT 1 zur Vorwärmung des Erdgas-Dampf-Gemisches genutzt. Das aus dem Konvertierungsreaktor K 2 austretende Gas gibt einen Teil seiner fühlbaren Wärmemenge zur Erdgasvorwärmung im Wärmetauscher WT 2, zur Niederdruckdampferzeugung im Abhitzekessel und im Warmwassererzeuger ab, ehe es in der Kondensation gekühlt und anschließend getrocknet wird. Im Mischer kann dem konvertierten Spaltgas Erdgas zur Karburierung zugesetzt werden. Bei einer möglichen Erdgas-

Tabelle 18.3: Spezifische Betriebszahlen einer SEGAS-*Anlage bei Einsatz von Heizöl*

Größe	Kennwert
Qualitätswerte des Einsatzöles	
C-Gehalt	84···86 %
H-Gehalt	9···11 %
C-H-Verhältnis	7,5··· 9
S-Gehalt	bis 3,5 %
CONRADSON-Test	7···14 %
Aschegehalt, maximal	0,05 %
Dichte bei 20 °C	0,95···0,98 kg/dm³
Viskosität bei 50 °C	maximal 30 °E ≙ 228 cSt
Heizwert H_o	9500···9800 kcal/kg
Spezifische Katalysatorbelastung	
etwa 5000 m³ (N) Spaltgas/d je m³ Kontaktvolumen	
Verbrennungswärme H_o des teerfreien benzolhaltigen Spaltgases	4200 kcal/m³ (N)
Zusatzbrennstoff	≈4 % des Ölverbrauches
Fremddampfverbrauch	1000 kg/1000 m³ (N) Stadtgas
Elektroenergie	40···45 kW h/1000 m³ (N) Stadtgas
Kühlwasserbedarf	10···30 m³/1000 m³ (N) Stadtgas
thermischer Wirkungsgrad	80···82 %
Vergasungswirkungsgrad	≈75 %
Zusammensetzung des Spaltgases in %	
CO_2	8···11
O_2	0,5
C_nH_m	2··· 5
CO	14···17
H_2	46···52
CH_4	14···19
N_2	2···4
Dichteverhältnis d_v des benzolfreien Gases	0,5··· 0,55

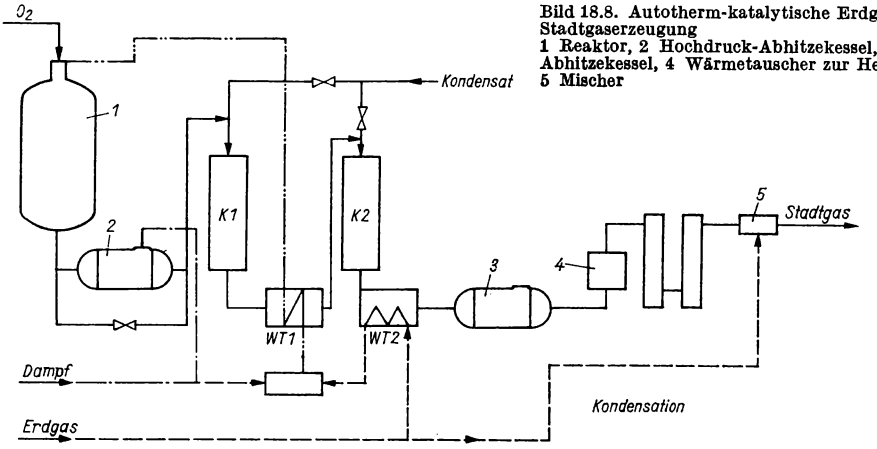


Bild 18.8. Autotherm-katalytische Erdgaswandlung zur Stadtgaserzeugung
1 Reaktor, 2 Hochdruck-Abhitzekessel, 3 Niederdruck-Abhitzekessel, 4 Wärmetauscher zur Heißwassererzeugung, 5 Mischer

zusammensetzung in Volumenprozent von 0,5 CO_2; 1,5 N_2 + As; 97,6 CH_4; 0,25 C_2H_6; 0,15 C_3H_8 entsteht ein Stadtgas mit folgender Analyse in Volumenprozent: 18,4 CO_2; 3,6 CO; 55,8 H_2; 20,7 CH_4; 0,08 C_nH_m; 1,4 N_2 + As. H_o = 3800 kcal/m³; W_o = 5450.

18.2. Gasaufbereitungstechnik

Gasaufbereitung ist die entsprechende Behandlung und Reinigung der Kunst- und Naturgase, um die Gütevorschriften zu erreichen. Das für die öffentliche Versorgung verwendete Stadtgas muß dem Gütemerkmal TGL 79-11 514 entsprechen. Hiernach dürfen folgende Gasbestandteile vorgegebene Grenzwerte nicht übersteigen: Sauerstoff (O_2), Wasserdampf, Schwefelwasserstoff (H_2S), organischer Schwefel, Zyanwasserstoff (HCN), Ammoniak (NH_3), Naphthalin ($C_{10}H_8$) und Teer- sowie Ölnebel. Durch Einhalten der Gütemerkmale werden verhindert bzw. herabgesetzt:

a) die Abscheidung von Stoffen in Fortleitungs-, Verteilungs- und Anwendungsanlagen,

b) die Korrosion dieser Anlagen,

c) die Wechselwirkung mit dem Gestein bei unterirdischer Gasspeicherung.

Die Gasaufbereitung einer *Steinkohlenkokerei* bzw. eines *Großgaswerkes* ist im Bild 18.4 schematisch dargestellt. Das in den Kammern des HK-Ofens erzeugte Entgasungsrohgas wird über Steigerohre zur *Teervorlage* abgeführt. Durch Eindüsen von Ammoniakwasser sinkt die Gastemperatur auf etwa 85···95 °C, wobei entsprechende Teermengen kondensieren. Im Querrohr-*Intensivkühler* erfolgt die weitere Gaskühlung auf etwa 12···15 °C in einer Stufe. In den Rohren strömt das Kühlwasser, im Gegenstrom dazu das Gas zwischen den Rohren. Je m³ (N) Gas fallen dabei etwa 0,5···0,75 kg Kondensat an, wodurch etwa 50···65 % NH_3, 80···85 % $C_{10}H_8$ und mehr als 85 % der Teernebel aus dem Gas ausgewaschen werden. Die zulässige Kühlwasser-Endtemperatur beträgt 40···45 °C, um Ablagerung von Kesselstein infolge Ausscheidung von Härtebildnern zu vermeiden.
Zur Entfernung der restlichen Teernebel dient die elektrische Gasreinigung EGR. In einem Blechgehäuse befinden sich parallel zueinander angeordnete Niederschlagsplatten, zwischen denen isoliert etwa 1,5 mm dicke Sprühdrähte aus korrosionsfestem Stahl gespannt sind. Platten und Gehäuse sind geerdet. Zwischen Sprühdrähte und Platten wird eine elektrische Gleichspannung von 30···40 kV angelegt. Dadurch entstehen in unmittelbarer Nähe der Drähte infolge Stoßionisation freie Elektronen, mit denen sich die Teernebelteilchen bis zur Sättigung negativ aufladen. Diese wandern zur positiven Platte, geben ihre Ladung ab und fließen in den Unterteil des Abscheiders. Der Abscheidungswirkungsgrad im EGR beträgt 99,5 %.

Das praktisch teerfreie Gas wird anschließend im H_2S-*Wäscher*, einem stählernen zylindrischen Turm, durch ein von oben in feiner Verteilung aufgegebenes flüssiges Waschmittel vom größten Teil des H_2S befreit. Einbauten (durch Kreuzschraffur angedeutet) sollen eine große Berührungsfläche zwischen Gas und Waschmittel schaffen. Als Waschmittel dienen meist organische Flüssigkeiten. Der Druck des in der Entgasungskammer erzeugten Gases reicht nicht aus, um die Strömungswiderstände auf dem Weg zwischen Ofen und Speicherbehälter zu überwinden. Darum wird ein *Gassauger* angeordnet. (In der vorliegenden Schaltung handelt es sich um einen langsamlaufenden Typ.) Der Sauger drückt das Gas in den NH_3-*Wäscher*. Das am Kopf des Waschturms eingedüste Wasser ist in der Lage, große Mengen NH_3 zu absorbieren (aufzunehmen). Die Absorption wächst mit sinkender Temperatur und mit steigendem Teildruck der zu entfernenden Komponente.

Zur Entfernung des restlichen H_2S dient die *Trockenreinigung* In stählernen Kästen sind Horden übereinander angeordnet, auf denen die Reinigungsmasse (z. B. Raseneisenerz, Kopperskoks, aktivierter Kiesabbrand) liegt. Das Gas wird durch mehrere Masseschichten geleitet und gibt dabei H_2S an die Masse ab. Die mit H_2S gesättigte Masse muß durch geeignete Verfahren regeneriert werden.

Der folgende *Benzol-Wäscher* gleicht im Aufbau und Prinzip dem NH_3-Wäscher. Die Benzoldämpfe des Gases werden durch das Waschöl absorbiert. Als Waschöl dienen geeignete Teerölfraktionen. Bei genügender Sättigung wird das angereicherte Waschöl in besonderen Anlagen vom Benzol befreit. Die Benzolentfernung ist auch mit Aktivkohle möglich (Adsorption). Dabei durchströmt das Gas die ruhende Aktivkohleschicht. Schließlich kann das gereinigte Gas zum Ausgleich des schwankenden Bedarfs in einem Behälter gespeichert werden.

Die beschriebene Aufbereitungsfolge ist nur eine von vielen möglichen Varianten. Soll das Gas an das Ferngasnetz abgegeben werden, so ist es auf den Ferngasdruck zu verdichten und zusätzlich zu trocknen. Dabei ist es zweckmäßig, einige Aufbereitungsstufen auf der Druckseite anzuordnen. Vorteile: Die Menge der physikalisch gelösten Gaskomponenten wächst mit steigendem Druck; die Apparateabmessungen werden mit steigendem Druck kleiner.
Die Entteerung ist auch durch schnellaufende Gassauger infolge Schleuderwirkung möglich.
Bild 18.9 zeigt die Gasaufbereitung eines *Druckgaswerkes*. Das den Druckgasgenerator verlassende Rohgas-Dämpfe-Gemisch tritt mit über 21 kp/cm² und etwa 400 °C in den *Waschkühler* ein. Durch eingedüstes Gaswasser sinkt die Gastemperatur auf etwa 200 °C; ferner werden erhebliche Staubmengen ausgewaschen.
In den *Abhitzekesseln* (nur einer gezeichnet) erfolgt weitere Gasabkühlung auf etwa 160···180 °C. Dabei fallen entsprechende Kondensatmengen aus. Die abzuführende Wärmemenge ist so groß, daß sie zur Erzeugung von Sattdampf mit etwa 6···7 kp/cm² benutzt wird.
Es folgen *Gaskühler* (nur einer gezeichnet) als Röhrenkühler mit senkrechten Rohren, in denen je nach Temperatur zuerst Mittelöl und Gaswasser, dann Benzin kondensieren. Zur

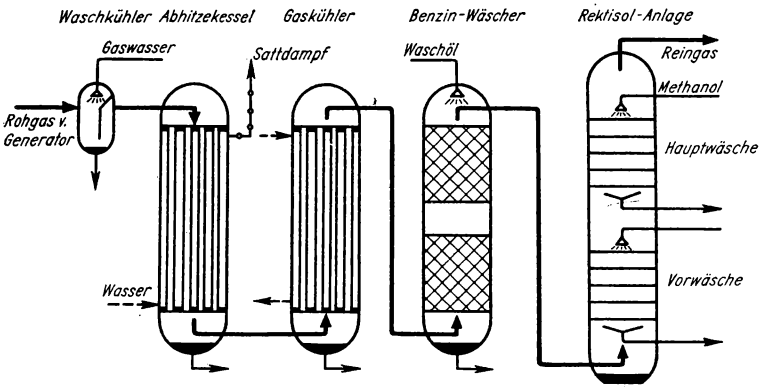


Bild 18.9. Gasaufbereitung eines Druckgaswerkes

völligen Entbenzinierung dient der *Benzin-Wäscher*. Es wird mit Waschöl gewaschen. Einbauten vergrößern die Oberfläche. Zur Benzingewinnung wird das angereicherte Öl regeneriert.

Alle noch erforderlichen Aufbereitungsstufen sind durch die *Rektisol-Anlage* verwirklicht. In mehreren Waschstufen werden verschiedene Gasbestandteile und die Gasfeuchtigkeit vom umlaufenden Methanol aufgenommen (Absorption). Hierzu arbeitet man mit Temperaturen bis zu —75 °C. Die Entspannung bzw. Methanolregeneration erfolgt in besonderen Anlagen. Hier werden die gelösten Gase wieder ausgetrieben (Exsorption). Eine geeignete Schaltung von Wärmetauschern ist dabei Voraussetzung für die wirtschaftliche Kältedarbietung. Das rektisolgereinigte Gas genügt bereits den Stadtgasgütevorschriften für höhere Versorgungsdrücke.

Ein im Druckgaswerk erzeugtes Stadtgas hat z. B. folgende Zusammensetzung (in Vol.-%): 7,8 CO_2; 0,8 C_nH_m; 0,2 O_2; 16,2 CO; 47,2 H_2; 22,4 CH_4; 5,4 N_2. Die beschriebene Aufbereitungsfolge ist nur eine von vielen möglichen Varianten. Das Gas hat am Ende der Aufbereitungsanlage noch den zum Einspeisen in das Ferngasnetz erforderlichen Druck.

Besonders einfach gestaltet sich die Gasaufbereitung bei Stadtgaserzeugung durch *Flüssiggasspaltung*. Hierbei ist lediglich ein Intensivkühler zur Gaskühlung und eine kleine Trockenreinigung zur H_2S-Entfernung erforderlich. Da aber die Stadtgasverbrennungswärme bei Flüssiggasspaltung nicht erreicht wird, ist zusätzlich ein Karburator[1]) erforderlich. In ihm wird durch ein Karburiermittel (Erdgas oder Flüssiggas) die Verbrennungswärme des Stadtgases auf den geforderten Wert erhöht.

[1]) Karborieren von carbo = Kohle, hier Vermehrung der chemisch »gebundenen« Wärmeenergie, Verbrennungswärme.

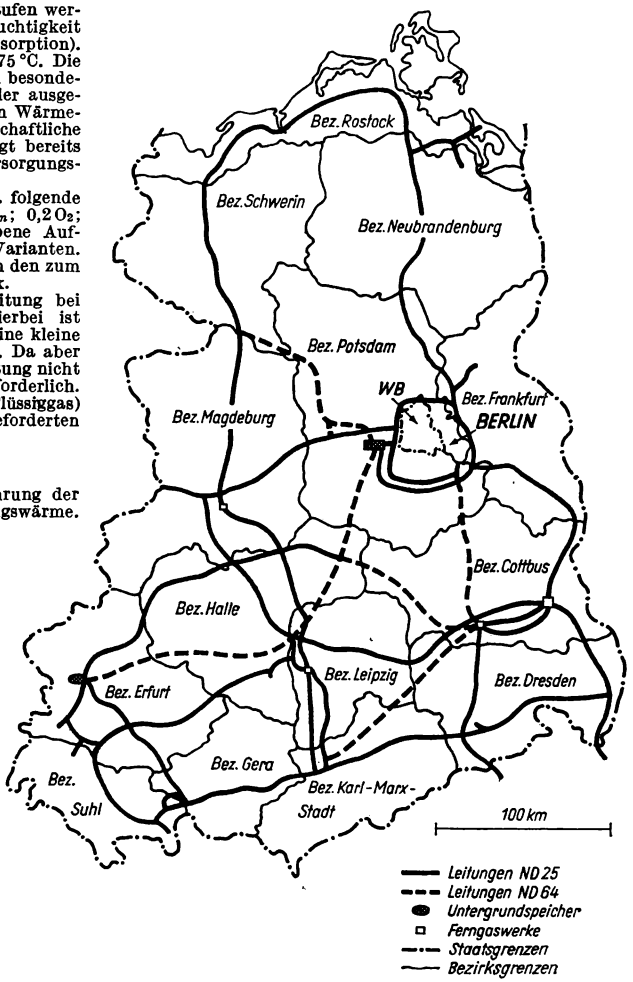


Bild 18.10. Ferngasnetz der DDR

18.3. Gasfortleitungs- und Gasverteilungstechnik

Bindeglied zwischen den Werken der Gaserzeugung einerseits und der Gasanwendung mit der zugehörigen Installationstechnik andererseits ist die *Gasfortleitung* (Transport über große Entfernungen bei hohen Drücken) und *Gasverteilung* (Verteilung in regional begrenzten Systemen).
Aus dem das Territorium der DDR überlagernden und von den einzelnen Gaserzeugern gespeisten *Ferngasverbundnetz* (Bild 18.10) wird das Gas über *Gasregleranlagen* (Bild 18.11) in regionale Hochdruckleitungen oder Orts-Versorgungsnetze eingespeist. Dabei wird es gereinigt, druckgeregelt und gemessen.
Von den in den Straßen mit etwa 1,00 m Erddeckung liegenden Ortsnetzleitungen wird dann das Gas über *Hausanschlußleitungen* ins Haus und hier der Anwendung zugeführt (Bild 18.12).

Beim Fließen des Gases in den Rohrleitungen kommt es zu einer Druckdifferenz zwischen Anfang und Ende der Leitung. Dieser Druckverlust läßt sich für den hier vor allem interessierenden Niederdruck-Bereich der Ortsnetze nach der Beziehung der *Druckverlustberechnung* bestimmen:

$$\Delta p = p_a - p_e = 7{,}84 \cdot 10^9 \cdot \frac{V^2 \cdot d_v \cdot l \cdot \lambda}{d^5}.$$

Nach Formelumstellung können auch andere gefragte Größen berechnet werden.
Es sind: Δp Druckdifferenz in kp/m², p_a, p_e Druck am Anfang, Ende in kp/m², V Fördervolumen in m³/h, d_v Dichteverhältnis des Gases, d Innendurchmesser des Rohres in mm, l Leitungslänge in km, λ Rohrreibungszahl · 10^{-4}.

In Tabelle 18.4 sind einige Innendurchmesser und die dazugehörigen Rohrreibungszahlen zusammengestellt.

Tabelle 18.4: Rohrreibungszahlen

d in mm	20	50	80	100	150	200	300	500
λ	520	380	325	305	271	250	224	198

Niederdruck: 0··· 500 kp/m² Überdruck
Mitteldruck: 501···1000 kp/m² Überdruck
Hochdruck: über 1000 kp/m² Überdruck

Für übliche Verhältnisse sind bereits Werte errechnet und in Tabellen zusammengestellt (Tabelle 18.5). Materielle Voraussetzungen für die Gasfortleitung und Gasverteilung sind vor allem die Rohrleitungen und Armaturen des Rohrnetzzubehörs. Als *Rohrleitungsmaterialien* kommen neben den immer mehr veraltenden Gußrohren (im wesentlichen für Niederdruck) vor allem die Stahlrohre (für Nieder-, Mittel- und Hochdruck) sowie in neuerer Zeit besonders die Kunststoffrohre – z. B. PVC – zum Einsatz. Rohre sind hinsichtlich ihres Außen- und Innendurchmessers sowie der Wanddicke standardisiert und nach Nennweiten (d_N) benannt (Tabelle 18.6).
Wichtigste *Armaturen* sind die Absperreinrichtungen – in der Gasfortleitung und -verteilung Absperrschieber – und die zur Kondensataufnahme erforderlichen Wassertöpfe (Bild 18.13).
Hauptsächliche *Verbindungsarten* sind Schweißnähte, Flansche und Muffen (Stemm-, Klebe- und Schraubverbindungen (Bild 18.14)). Größte Bedeutung bei allen Montage-, Wartungs- und Reparaturarbeiten sowie beim Betrieb der Gasanlagen kommt neben der technischen Sicherheit dem *Arbeitsschutz* zu.
Da Stadt- und Ferngas zu etwa 20 % aus dem sehr starken Blut- und Nervengift Kohlenmonoxid (CO) besteht, ist hier äußerste Vorsicht erforderlich. CO verbindet sich etwa 250- bis 300mal leichter mit dem Bluthämoglobin als der lebenswichtige Sauerstoff. Es kommt daher bereits bei sehr geringen Konzentrationen zu schweren und bei längerer Einwirkzeit sogar zu tödlichen Vergiftungen. Die *Blutsättigungskurve* (Bild 18.15) zeigt dies deutlich auf. Aus diesem Grund liegt der höchstzulässige Grenzwert – das arbeitshygienische Normativ – bereits bei 0,005 Vol.-% CO. Beim Auftreten höherer Konzentrationen ist Schutz durch Atemschutzgeräte (Gasmasken mit Filter oder Frischluftschläuchen) gemäß ASAO 72/1 erforderlich.
Die Messung der CO-Konzentration selbst kann mit dem CO-*Prüfröhrchen* mittels Handbalgenpumpe erfolgen (Bild 18.16), wobei die Anzahl der Hübe und der Verfärbungsgrad des Reagens die vorliegende Konzentration angeben.

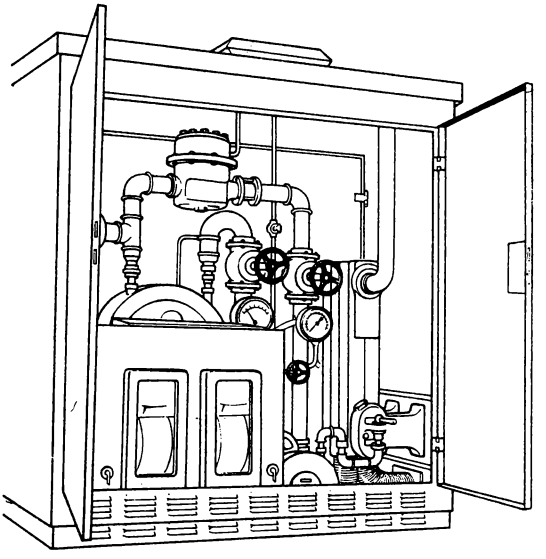


Bild 18.11. Gasregleranlage

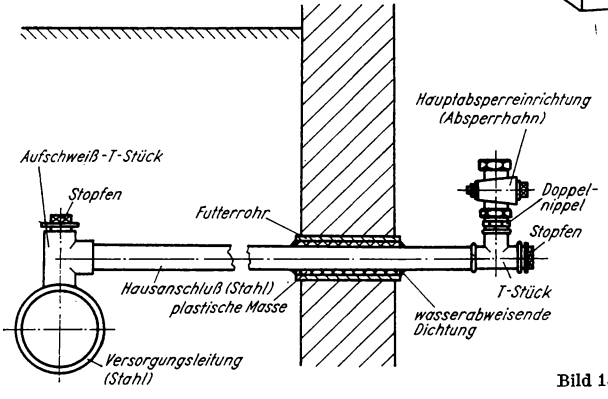


Bild 18.12. Hausanschlußleitung

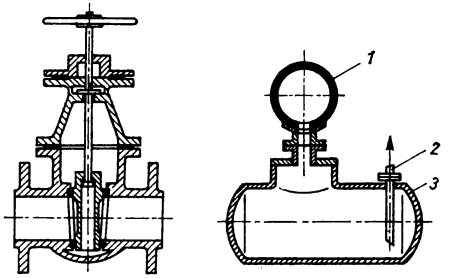


Bild 18.13. Keilschieber (a) und Wassertopf (b)
1 Rohrleitung, 2 Entleerungsrohr, 3 Sammelbehälter

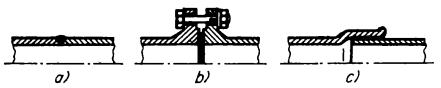


Bild 18.14. Verbindungsarten
a) Schweißnaht, b) Flansch, c) Muffe

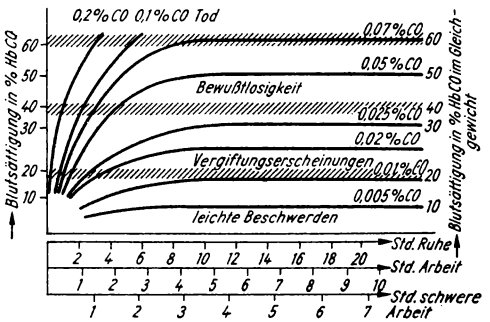


Bild 18.15. Blutsättigungskurve

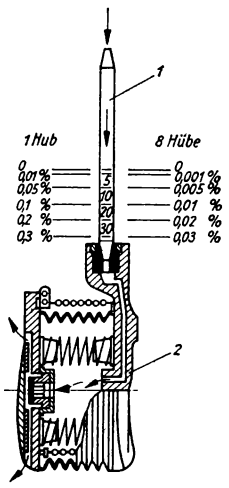


Bild 18.16. Gasanalytisches Prüfgerät
1 Prüfröhrchen,
2 Handbalgpumpe

Eine weitere Gefahr ist die *Explosibilität* des Gases. Es ist in den Grenzen von etwa 4,5···40 Vol.-% Gas im Gas-Luft-Gemisch bei einer Zündtemperatur von etwa 560 °C zündfähig und im gasdichten Raum sogar explosibel.

Beim *Auftreten von Gasgerüchen* ist daher wie folgt zu verfahren:

Fenster, Türen öffnen;
Feuer, offenes Licht, Betätigung elektrischer Geräte und Schalter vermeiden;
Räume verlassen;
Benachrichtigung der nächsten Störungsstelle des zuständigen Energieversorgungsbetriebes (Energiekombinates).

Tabelle 18.5: Fördermengen in Rohrleitungen

d_N mm	Δp mm WS	Berechnungslänge in m						
		5	10	15	20	25	30	50
25	1	4,3	3,0	2,2	1,6	1,3	1,3	0,6
(1″)	2	5,8	4,3	3,5	3,0	2,6	2,3	1,4
	3	7,2	5,0	4,3	3,6	3,2	3,0	2,2
	4	8,4	5,8	4,8	4,3	3,8	3,5	2,8
	5	9,5	6,5	5,3	4,7	4,3	3,8	3,0
50	1	25,0	17,7	14,4	12,3	11,2	10,2	7,9
(2″)	2	35,4	25,0	20,4	17,7	15,8	14,4	11,2
	3	43,3	31,7	25,0	21,6	19,4	17,7	13,7
	4	50,0	35,4	28,8	25,0	22,4	20,4	15,8
	5	56,0	39,6	32,2	28,0	25,0	22,8	17,7
	8	70,7	50,0	40,7	35,4	31,7	28,8	22,3
	10	79,0	58,0	45,5	39,5	35,4	32,2	25,0
	15	97,0	68,5	55,8	48,4	43,4	39,5	30,6
80	1	81,0	57,8	46,7	40,4	36,2	33,0	25,6
(3″)	2	114,6	81,0	66,0	57,2	51,0	46,7	36,2
	3	140,5	99,0	81,0	70,0	62,7	57,2	44,3
	4	162,0	114,4	93,4	81,0	72,5	66,0	51,2
	5	182,5	128,0	104,5	90,5	81,0	74,0	57,2
	8	229,0	162,0	132,0	114,0	102,5	93,3	72,5
	10	256,0	181,0	148,0	128,0	115,0	104,2	81,0
	15	314,0	221,0	181,0	156,5	140,5	128,0	99,0
100	1	141,4	100	81,5	70,7	63,2	57,6	45,0
(4″)	2	200,0	141,4	115,5	100,0	89,5	81,5	63,2
	3	245,0	173,0	141,4	122,5	109,5	100,0	77,5
	4	283,0	200,0	163,0	141,4	126,4	115,5	89,4
	5	316,0	235,0	183,0	158,0	149,4	129,0	100,0
	8	400,0	283,0	232,0	200,0	179,0	163,5	126,5
	10	447,0	316,0	258,0	224,0	200,0	183,0	151,4
	15	548,0	387,0	316,0	274,0	245,0	224,0	173,0

Tabelle 18.6: Rohre (nahtlos)

d_N mm	$d_a \cdot s$ mm	Masse kg
80	89 × 4	8,4
100	108 × 4	10,3
150	159 × 4,5	17,2
200	219 × 6	31,5
250	273 × 7	49,5
300	325 × 8	62,5
400	426 × 10	102,6
500	530 × 11	140,8

18.4. Gasanwendungstechnik

Die Gasanwendungstechnik umfaßt die Gasanwendung in Industrie, Haushalt und Gewerbe.
Eine Übersicht über die wichtigsten industriellen Gasanwendungsanlagen zeigt Bild 18.17. Dabei wird unterschieden in Gasgeräte, deren Abgase in den Aufstellungsraum strömen, und in Gasfeuerstätten, deren Abgase über eine Abgasanlage ins Freie abgeführt werden. Gasbeheizte Industrieöfen sind bis auf wenige Ausnahmen Gasfeuerstätten.
Die am häufigsten in der Industrie angewendeten Brenngase mit einigen Analysen und Kenndaten enthält Tabelle 18.7. Durch die Gaszusammensetzung sind die technischen Möglichkeiten und Erfordernisse der Anwendung von Brenngasen

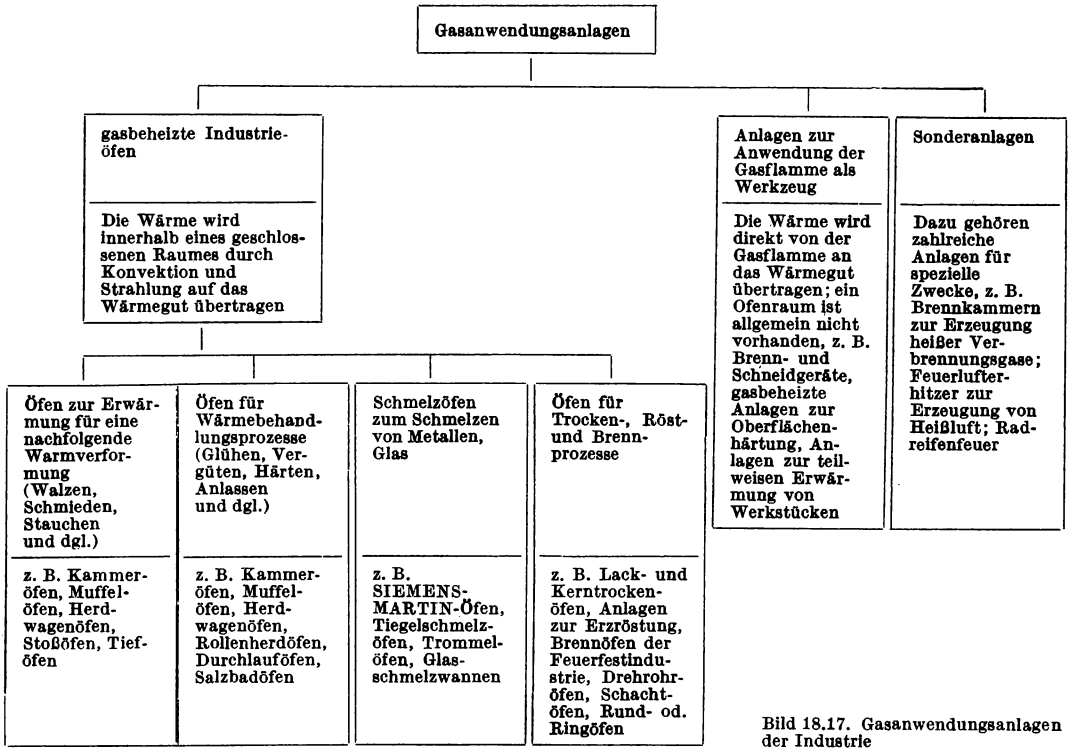


Bild 18.17. Gasanwendungsanlagen der Industrie

Tabelle 18.7: Analysen und Kenndaten von wichtigen Brenngasen

Analyse und Kenndaten	Formelzeichen	Einheit	Gichtgas	Generatorgas	Stadtgas	Erdgas	Flüssiggas
CH_4		%		1,8	15,95	92,0	
C_nH_m		%		0,4			
C_2H_4		%					
C_2H_6		%			1,08	1,5	
C_3H_8		%			0,38	0,75	80
C_4H_{10}		%			0,72	0,75	20
C_5H_{12}		%					
CO		%	29,5	28,1	13,00		
H_2		%	3,0	16,6	45,3		
O_2		%			0,55		
CO_2		%	8,0	7,7	8,0	2,2	
N_2		%	59,5	45,4	15,02	2,8	
Verbrennungswärme	V_w	kcal / m³ i.N.	982	1642	3800	9435	25860
Heizwert	H_u	kcal / m³ i.N.	968	1540	3380	8490	23780
Dichte	ϱ	kg / m³ i.N.	1,276	1,112	0,724	0,794	2,155
Dichteverhältnis	δ	1	0,987	0,860	0,56	0,614	1,668
Luftbedarf	L_{min}	m³ i.N. / m³ i.N.	0,774	1,353	3,37	9,41	25,20
Abgasmenge, feucht	$V_{f\,min}$	m³ i.N. / m³ i.N.	1,611	2,131	4,10	10,435	27,33
Wobbezahl	Wo		990	1770	5080	12040	20000

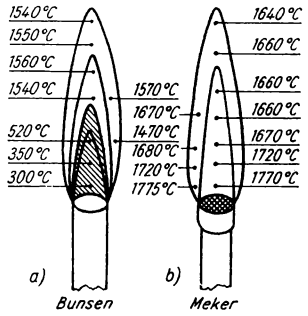


Bild 18.18. Temperaturverteilung in der Flamme eines Bunsenbrenners (a) und eines Mékerbrenners (b)

weitgehend bestimmt. Unter Kenndaten werden hier alle physikalischen und verbrennungstechnischen Angaben über ein Brenngas verstanden.

Den größten Anteil an der industriellen Gasanwendung hat das *Generatorgas*, das in betriebseigenen Anlagen aus den Vergasungsstoffen Koks oder Braunkohlenbriketts mit den Vergasungsmitteln Luft und Wasserdampf erzeugt wird. Besonders in gereinigter Form ist es zur Durchführung industrieller Wärmeprozesse geeignet. Ihm folgt das *Stadtgas*, das wegen seines höheren Heizwertes und der größeren Reinheit dem Generatorgas technologisch überlegen ist. Das *Erdgas* ist für industrielle Wärmeprozesse sehr gut geeignet. Sein Anteil am Gesamtgasverbrauch der Industrie steigt in allen hochindustrialisierten Ländern.

Wegen der großen Unterschiede in den Analysen und Kenndaten ist die Umstellung industrieller Gasanwendungsanlagen von einem Brenngas auf ein anderes meist mit größerem baulichem und ökonomischem Aufwand verbunden.

Entscheidend für die Funktionstüchtigkeit von Gasanwendungsanlagen sind die richtige Auswahl und Bemessung und der richtige Einbau der *Gasbrenner*. Diese haben die Aufgabe,

Meßeinrichtungen	Regelungseinrichtungen	Sicherungseinrichtungen		
		S., die das Ausströmen unverbrannten Gases verhindern	S., die die Bildung explosiver Gemische verhindern	S., die die Folgen von Explosionen und Verpuffungen verringern
z. B. Manometer zur Messung von Gas-, Luft- und Ofenraumdruck, Temperaturmeßgeräte Volumenmeßgeräte, Analysengeräte	z. B. Gasdruckregler, Luftdruckregler, Ofenraumdruckregler, Temperaturregler, Gemischregler	z.B. Sicherungen gegen Gasmangel und Strommangel, Zündsicherungen, Flammenwächter	z.B. Rückstromsicherungen	z. B. Explosionsklappen, Berstscheiben

Bild 18.19. Meß-, Regelungs- und Sicherungseinrichtungen industrieller Gasanwendungsanlagen

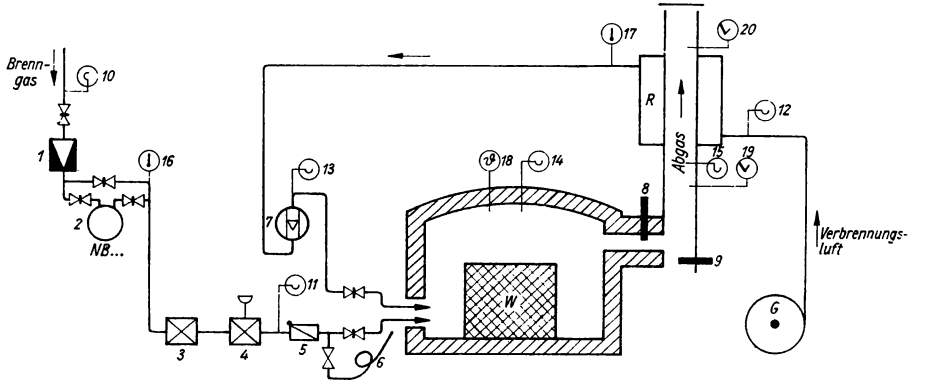
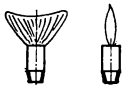
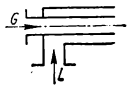
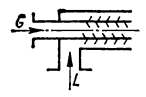
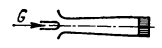
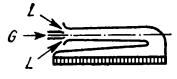


Bild 18.20. Ausrüstung eines gasbeheizten Industrieofens
1 Gasdruckregler, 2 Gaszähler, 3 Gasmangelsicherung, 4 Luftmangelsicherung, 5 Rückschlagklappe, 6 Zündlunte, 7 Luftmengenmeßgerät, 8 Abgasschieber, 9 Luftschieber, 10···15 Druckmeßgeräte, 16···20 Temperaturmeßgeräte, R Rekuperator, G Gebläse, W Wärmgut

Tabelle 18.8: Übersicht über industriell angewandte Gasbrenner

Brennerart	Bild	Art der Luftzuführung	Flammeneigenschaften	Gasverbrauch in m³ i.N./h bei Stadtgas	Anwendungsgebiete
Fächerbrenner		durch Diffusion am Flammensaum	weiche Diffusionsflamme mit niedriger Temperatur	0,1···0,25	Warmwasser- u. Dampfkessel, Badbeheizung, Raumheizöfen
Industrieeinbaubrenner		Selbstansaugen der Primärluft, Sekundärluft durch Diffusion am Flammensaum	weiche Flamme mit Kern und Nachverbrennungsfackel, mittl. Temperatur	0,43···0,84	Lufterhitzer, Dampf- und Warmwasserkessel, techn. Bäder
Parallelstrombrenner		durch Gebläse	lange Flamme mit niedriger Temperatur	nicht begrenzt	Industrieöfen, Flammrohrkessel
Kreuzstrombrenner		durch Gebläse	abhängig von Strahlneigung und Austrittsgeschwindigkeiten, lange milde bis kurze heiße Flamme	≦200	Industrieöfen
Wirbelstrombrenner		durch Gebläse	kurze heiße Flamme	nicht begrenzt	Industrieöfen
Treibgasbrenner		Selbstansaugen der ges. Verbrennungsluft, kein Sekundärluftanteil	kurze heiße Flamme mit scharfem Kern	begrenzt durch geforderten Regelbereich	Industrieöfen, Flamme als Werkzeug
Infrarotgasstrahler		Selbstansaugen durch Impuls des Gasstrahles, kein Sekundärluftanteil	Verbrennung des Gemisches im Strahlstein, Wärmeübertragung durch Strahlung	0,7 je Strahlerelement mit 8 Strahlsteinen	Trockenanlagen, Hallen- und Freiplatzbeheizung

durch Mischung von Brenngas und Luft ein brennfähiges Gemisch herzustellen und so die Verbrennung zu ermöglichen. Durch die Art der Mischung werden die Eigenschaften der Flamme beeinflußt (Flammenlänge und -volumen, Flammentemperatur, Ausbrand). Intensive Mischung führt zu kurzen und heißen, verzögerte Mischung zu langen und weniger heißen Flammen. Die zwei grundsätzlichen Brennerarten sind der Gasbrenner ohne Luftvormischung, der eine lange und weiche Flamme erzeugt, und der Gasbrenner mit Luftvormischung, der eine kurze und heiße Flamme ergibt. Eine Übersicht über industriell angewendete Gasbrenner zeigt Tabelle 18.8, die Temperaturverteilung in der Flamme eines Bunsenbrenners Bild 18.18.

Zur Einhaltung der technologischen Forderungen, zur Automatisierung und zur Gewährleistung des Arbeitsschutzes und der technischen Sicherheit werden industrielle Gasanwendungsanlagen mit *Meß-, Regelungs- und Sicherungseinrichtungen* ausgerüstet. Eine Übersicht gibt Bild 18.19, ein Beispiel für die Ausrüstung eines Industrieofens Bild 18.20.

Die Gaszuführungsleitungen sind bei kleinen Anschlußwerten und Niederdruckversorgung nach den Tabellen im Standard TGL 10709 – Niederdruck-Gasanlagen Installation –, bei größeren Anschlußwerten und Mittel- bzw. Niederdruckversorgung nach den im Abschnitt Gasverteilung genannten Verfahren zu bemessen. Abgasanlagen werden nach den Standards TGL 10703, TGL 10705 und TGL 10706 hergestellt.

Literatur

Das Fachwissen des Ingenieurs, Band 6. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1972, Abschnitt Gastechnik.

SCHMIDT, J.: Technologie der Gaserzeugung, Band I. Entgasung und Verkokung. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1964.

SCHMIDT, J.: Technologie der Gaserzeugung, Band II, Vergasung. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1966.

HOCHMEIER, A.: Technologie der Gasfortleitung und Gasverteilung. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, Band I, 2. Aufl. 1968, Band II, 2. Aufl. 1969, Band III 1966.

19. Beschichten

19.1. Metallspritzen

Verfahren und Arten

Das Verfahren des Metallspritzens geht zurück auf ein Patent des Schweizers SCHOOP aus dem Jahre 1910. Verflüssigtes Metall wird mittels Druckluft zerstäubt und auf das Werkstück aufgespritzt. Die Arten der Metallverflüssigung sind in Tabelle 19.1 aufgeführt.

Tabelle 19.1: Arten der Metallverflüssigung

Art der Metallverflüssigung	Form des Spritzmetalls
konzentrierte Gasflamme (Gasspritzverfahren)	Drähte nach TGL 10652 (NE-Metalle) und TGL 10653 (Stähle), Metallpulver, Metallbänder (Dicke 0,1 mm, Breite 30 bis 100 mm)
Wärme des elektrischen Lichtbogens (Elektrospritzverfahren)	
Schmelztiegel-Verfahren	beliebig

Bei Verwendung von Spritzdrähten, Bändern und Pulvern erfolgt die Verflüssigung des Metalls direkt in der Spritzpistole mit anschließender Zerstäubung, während bei der Anwendung des Schmelztiegel-Verfahrens der Spritzpistole das flüssige Metall zugeführt wird.
Im Gegensatz zum Auftragsschweißen tritt beim Metallspritzen keine Verschweißung zwischen Werkstoff und Spritzmetall ein. Die Haftung des Spritzgutes auf dem Werkstück beruht auf mechanisch-physikalischen Vorgängen. Der Grundwerkstoff wird je nach Spritzabstand auf nur 120···200 °C erwärmt. Dadurch besteht die Möglichkeit, Metallüberzüge auf nichtmetallische Werkstoffe aufzubringen (z. B. Pappe, Holz, Stoff, Keramik, Kunststoffe). Bild 19.1 zeigt das Metallspritzen, Tabelle 19.2 stellt die Vor- und Nachteile des Metallspritzens einander gegenüber.

Anwendungsmöglichkeiten und Anwendungsgebiete

Das Metallspritzen stellt eine sinnvolle Ergänzung zum Auftragsschweißen und für den Oberflächenschutz von Werkstücken dar. Die wichtigsten Anwendungsgebiete sind:

Oberflächenbehandlung (Metallisieren)

Metallisieren als Korrosionsschutz durch Aufspritzen beispielsweise von Zinn, Zink, Aluminium; in verschiedenen Fällen durch Korrosionsschutzanstriche zu ergänzen, da durch die Porosität der Spritzschicht bei starkem Korrosionsangriff keine ausreichende Sicherheit erreicht wird. (In diesem Fall wird durch die Spritzschicht das Entrosten des Werkstückes bei Erneuerung des Schutzanstriches eingespart.) Schichtdicke bis 0,5 mm (Dünnauftrag). Die Spritzschicht eignet sich als Anstrichträger besonders durch ihre

Tabelle 19.2: Vor- und Nachteile des Metallspritzens

Vorteile des Verfahrens	Nachteile des Verfahrens
1. geringe Aufwärmung des Grundwerkstoffes, je nach Spritzabstand 120 bis 200 °C	1. Die Spritzschichten ertragen nur geringe Biege- und Zugbeanspruchungen.
2. geringer Wärmeverzug der Werkstücke, besonders günstig bei kleinen Werkstücksabmessungen oder Materialdicken	2. Stoßempfindlichkeit
3. Metallische Überzüge können auf nichtmetallische Werkstoffe, z. B. Holz, Papier, Pappe, Kunststoffe, Keramik, Textilgewebe, aufgebracht werden.	3. Nachträgliche spanabhebende Bearbeitung ist nicht möglich.
4. Durch Sonderbehandlungen der Spritzschichten können deren Eigenschaften, z. B. die Dichtigkeit, verändert und den Anforderungen entsprechend verbessert werden.	4. Für Gewinde und Verzahnungen sind Spritzschichten nicht anwendbar.
	5. Korrosionsschutzschichten ohne zusätzlichen Anstrich müssen mindestens 1,5 bis 2,0 mm dick sein.
	6. Wälzlager o-ö- dürfen nicht auf Spritzschichten laufen.

Rauhigkeit. Der Rostschutz durch Spritzschichten beruht darauf, daß das gegenüber dem Werkstoff unedlere Metall durch Korrosion allmählich aufgezehrt wird. Für die Festlegung des geeigneten Korrosionsschutzes sind aufeinander abzustimmen: Grundwerkstoff – Spritzwerkstoff – Schichtdicke – Angriffsmedium und -intensität – Vorhandensein eines Elektrolytes – Anwendung von zusätzlichen Deck- bzw. Schutzanstrichen – zu erreichende Lebensdauer und Kostenvergleich zu anderen Korrosionsschutzmaßnahmen.

Auftrag von Schichten mit Dicken größer als 1 mm

Sie werden anschließend verdichtet (mechanisch). Besondere Bedeutung erlangt das Verfahren im Leichtbau.

Auftrag elektrisch leitender Schichten auf Nichtleiter

Anwendung vor allem in der Elektrotechnik durch Kupfer-Spritzschichten für Schaltungen. Günstig ist die Möglichkeit der Verlötbarkeit.

Auftrag als Wärmeisolierung

Oberflächengestaltung für Dekorationszwecke – Spritzschicht polierbar.

Spritzalitieren – Schutz gegen Verzunderung

Die Oberfläche von Stahlwerkstücken verzundert bei Temperaturen unter 950 °C. Durch Spritzalitieren wird die Oberflächen-Standzeit um das 10···15fache erhöht.
In den Tabellen 19.3 und 19.4 sind Kennwerte von Korrosionsschutzüberzügen (mit und ohne Anstrich) zusammengestellt.

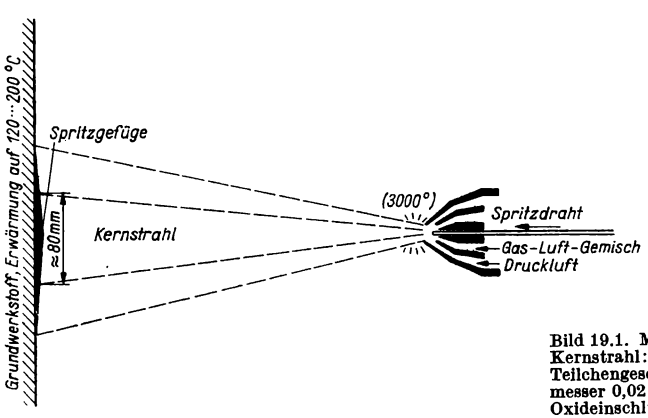


Bild 19.1. Metallspritzen
Kernstrahl: gutes Haftvermögen der Tröpfchen; Teilchengeschwindigkeit 100···200 m/s; Teilchendurchmesser 0,02···0,04 mm; Spritzgefüge: mit Mikroporen und Oxideinschlüssen

Tabelle 19.3: Erforderliche metallgespritzte Korrosionsschutzüberzüge in verschiedenen Anwendungsbereichen (mit Anstrich)

Anwendungsbereich	Art des Angriffs	Spritzwerkstoff	Schichtdicke mm	Anzahl nachträglicher Anstriche
Industrieatmosphäre	leicht	Al 99,5	0,15	1
	mittel		0,2	2
	schwer		0,25	2
Landatmosphäre		Zn	0,15	2···3
		Al 99,5	0,25	1
Seewasseratmosphäre	leicht, ohne Regen	Zn, Al	0,15	2···3
	mittel, ohne Regen	Zn, Al	0,25	2···3
	schwer, mit Regen	Zn	0,25	3
	schwer, mit Regen	Al 99,5	0,30	1
Innenauskleidung von Behältern	Trinkwasser, über 70 °C	Al 99,5, Al 99,9	0,30	—
	Salzwasser, unter 70 °C	Zn	0,30	—
	Salz- und Kondenswasser	Al 99,5	0,25	2
	Kühlräume	Zn	0,25···0,30	—
		Al 99,9	0,30	—
Seewasserangriff	unterhalb der Wasserlinie (Bewucherung ist möglich)	Zn	0,35	—
	unterhalb der Wasserlinie – keine Bewucherung		0,30	1
	Stahlbauten unterhalb bis 1,0 m oberhalb der Wasserlinie		0,40	1

Tabelle 19.4: Metallgespritzte Korrosionsschutzüberzüge (ohne nachträglichen Anstrich)

Angreifendes Medium	Spritzwerkstoff	Schichtdicke mm	Bemerkung
normale Atmosphäre	Al rein	0,3	—
	Al-Mg-Legierung	0,3	
	Zink	0,2	
Industrieatmosphäre	Al rein	0,3···0,5	Schichtdicke je nach Stärke des Angriffs
Temperatur bis 900 °C	Al rein	0,3···0,5	anschließend Wasserglasüberzüge und Diffusionsglühen
Seewasser	Zink	0,35···0,45	zusätzlicher Anstrich empfohlen
See-Atmosphäre	Al rein	0,3	auch für Kühlräume
	Zink	0,25···0,3	—
	Al-Mg-Legierung	0,3	
heißes Wasser	Al rein	0,3	—
	Zinn	0,3···0,5	anschließend Verdichten der Spritzschicht
Nahrungsmittel	Rein- bzw. Reinstaluminium	0,3	—
	Al-Mg-Legierung	0,3	
	Zinn	0,35···0,5	anschließend Verdichten der Spritzschicht

Tabelle 19.5: Spritzschichtdicken als Verschleißschutz, Bearbeitungszugaben

Kenngröße	*Durchmesser* bzw. *Dicke des Werkstücks* in mm				
	bis 40	40···60	60···100	100···150	>150
	Spritzschichtdicke ohne Bearbeitungszugabe in mm				
Stahl (Maximalwerte)	0,6···0,75 (1,0···1,5)	0,75···1,0 (1,5 ···2,0)	1,00···1,25 (2,0 ···2,5)	1,25···1,50 (2,5···3,0)	1,5···2,0 (3,0···5,0)
Nichteisenmetalle (Maximalwerte)	0,75···1,0 (1,5···2,0)	1,0 ···1,5 (2,0 ···2,5)	1,25···2,5 (2,5 ···3,0)	1,5···2,5 (3,0···4,0)	2,0···3,0 (4,0···6,0)
	Bearbeitungszugaben in mm				
Fertig-Drehen	0,4	0,5	0,6	0,75	1,0
Fertig-Schleifen mit vorherg. Drehen	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
ohne vorherg. Drehen	0,3	0,3	0,5	0,6	0,75
	Untermaße beim Vorarbeiten von Wellen und Lagerstellen *a) Lageraufspritzung auf Wellen, Spindeln usw.* *)				
Untermaßschichtdicke in mm	1,2···2,0	3,0	3,0	4,0	4,0
	b) Ausspritzen von Gleitlagerbohrungen und -buchsen *) (Durchmesser der Bohrung)				
Untermaßschichtdicke in mm	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0

*) Die angegebenen Unterschichtdicken geben das Maß an, um das der Wellendurchmesser vor dem Auftragen der Spritzschicht abgedreht bzw. der Durchmesser der Gleitlagerbohrung aufgebohrt werden muß.
Beispiel: Welle: Solldurchmesser 80 mm, Durchmesser nach dem Abdrehen der Welle 80 mm — 3 mm = 77 mm,
Bohrung: Solldurchmesser 80 mm, Durchmesser nach dem Ausbohren 80 mm + 4 mm = 84 mm.

Tabelle 19.6: NE-Metallspritzdrähte (nach TGL 10652)

Werkstoff		Zusammensetzung in %	Anwendungsgebiet	Bemerkung
Kupfer E Cu	(×)	Reinheitsgrad je nach Bedarf (Werte in %)	bevorzugt in der Elektro-, Textil- und Papierindustrie, Abschirmungsbeschichtung	Mindestgehalt an Cu von elektr. Leitfähigkeit abhängig
Zinn Sn 99,9	(×)	Pb, Cu, As je <0,025; Fe <0,015; Sb <0,11	Korrosionsschutz an Behältern in der Nahrungsmittelindustrie	Verwendung anderer Sorten ebenfalls möglich
Hüttenblei Pb 99,9	(×)	Ag, As, Fe, Zn je <0,001 Bi <0,05; Sb + Sn <0,005	für Röntgenzwecke und chemische Industrie; zu berücksichtigen ist das inhomogene Gefüge der Spritzschicht	Verwendung anderer Sorten ebenfalls möglich
Feinzink Zn 99,975	(×)	~~Cd, Fe~~ <0,005 P, Pb + Cd <0,02 Sn 0,001	Korrosionsschutz gegen Atmosphäre, Wasser bis 60 °C, Seewasser in Maschinen-, Schiffbau- und Bergbauanlagen	auch andere Sorte, z. B. Feinzink 99,9
Reinaluminium S Al 99,5	(×)	S <0,3; Fe <0,4 Ti <0,03; Cu <0,05 Cu + Zn <0,12	wie bei Zink, weiterhin in Lebensmittelindustrie für höhere Temperaturen von H_2O und Atmosphäre, Zunderschutz	Alumitieren und Alitieren, polierfähig
Reinstaluminium Al 99,99 R Reinstaluminium-Legierung Al R Mg 0,5		Fe + Si + Cu + Zn + Ti <0,01; Fe + Ti <0,05	für Spezialfälle des Korrosionsschutzes (Nahrungsmittel)	allgemein wie Al 99,5 verwendet, gut polierfähig

Tabelle 19.6 (Fortsetzung)

Werkstoff	Zusammensetzung in %	Anwendungsgebiet	Bemerkung
Zinnlot LSn33 (×) LSn30	Sn 33; Sb 2,2; Fe 0,07 Cu + As + Ni <0,14	nach Aufspritzen für Weichlötung (Glühung evtl. unter Schutzgas) Formspritzen	auch z. B. LSn25
Messing Ms63	Cu 62···65 Pb <0,5; Zn Rest Fe <0,2, Sn <0,3, Al <0,1	Dekorationszwecke, Oberflächenveredlung im Maschinen- und Apparatebau, evtl. auch für Hartlötung, nach Aufspritzen Glühen unter Schutzgas	bei Glühen besser LMsAg
Messinglot LMs63	Cu 62···64; Zn >35 Si 0,2···0,4	für Hartlötungen, unbedingt nach dem Aufspritzen Glühen unter Schutzgas	andere Sorten möglich
Silbermessing LMsAg	Cu >50; Zn >40 Ag 4···6; P + Sn <0,5		
Sondermessing SoMs68	Cu 60···70; S 0,8···1,1 oder Pb 0,2···0,8; Rest Zn	anstelle von SnBz für Lagerzwecke	
Zinnbronze SnBz6 (Phosphorbronze WBz6) (×)	Cu94, Sn6	besonders geeignet für Lagerzwecke, auch Korrosionsschutz im Maschinen- und Schiffbau; Elektro-, Textil- und Papierindustrie, für Dekorationszwecke	durch Diffusionsglühen Diffusion in St (C-Gehalt ≦0,2 %) möglich
Aluminiumbronze AlBz9	Cu >90,5; Al 9	für Lagerzwecke	
Al-Mg-Legierung AlMg5 (×)	Mg 4···4,5; Mn 0···0,8 Cr 0···0,3; Al Rest Zn, Si, Fe + Ti <0,5	seewasserbeständige, polierbare Überzüge, geeignet für Karosserie- und Motorradbau; Nahrungsmittelindustrie, Herdfabrikation, für Lagerzwecke	auch AlMg 3 und AlMg 7; für Lagerzwecke, besser Al Si-Legierungen
	mit Cu <0,05	für Lagerzwecke	
Aluminium-Lot S7 LAlSi13	Al >87 Si >12	Lageraufspritzungen	Lagerbelastbarkeit bis 300 kp/cm² bei 1···6 m/s Gleitgeschwindigkeit
Al-Legierung-Schweißdraht 5 AlSi5	Al >93 Si 4···6	Lageraufspritzungen	
Weißmetalle LgSn80	Sn 79···81; Sb 11···13 Cu 5···7; Fe 0,1 Pb 1···3; Zn, Al 0,05	für Gleitlager	
LgPbSn10	Sn 9,5···10,5; Sb 14,5···16,5; Pb 74,5···75,5; Cu 0,5···1,5; Zn, Al 0,05; Fe 0,1		
Molybdän Mo-Ha Mo-Ht		für dünne Verschleißschutzschichten, zum Aufspritzen bei ungenügend aufgerauhten, metallisch reinen Werkstücken	

Bemerkungen zu Tabelle 19.6
Die Härte der Spritzschicht ist durch Spritzbedingungen zu beeinflussen, jedoch kann aus der Härte nicht auf die Festigkeit geschlossen werden. Niedrig gekohlter Stahldraht ist wegen starker Schrumpfung des Spritzgutes für Spritzschichtdicke >1 mm unzweckmäßig.
Die mit (×) bezeichneten Drähte sind in TGL 10652 und TGL 10653 genannt.

Spritzschichten als Verschleißmaterial
Es handelt sich in jedem Anwendungsfall um das Aufspritzen von Schichten mit mehr als 0,5 mm Dicke.
Aufspritzen von Lagermetall auf Wellen, Anspritzen von Buchsen und Lagerschalen mit Lagermetall: gespritzte Lager haben infolge der Porosität der Spritzschicht und der damit verbundenen größeren Haltbarkeit des Ölfilms bessere Laufeigenschaften.
Schnellreparatur durch Instandsetzung abgenutzter Werkstücke und Maschinenteile – diese Möglichkeit ist besonders in ökonomischer Hinsicht wichtig –, Ausbesserung defekter Gußteile (Lunker- und Rißausbesserung), sofern keine statische Beanspruchung vorliegt. Die Reparatur erfolgt verzugsfrei.
Tabelle 19.5 enthält Spritzschichtdicken und Bearbeitungszugaben.

Formspritzen
Bei entsprechender Veränderung der Spritzparameter können die aufgespritzten Schichten von der Unterlage gelöst (Herstellung von Folien) bzw. durch Aussprizen von Formen kleinere Werkstücke hergestellt werden.

Zusammensetzung und Anwendung der Metallspritzdrähte

Zusammensetzung und Anwendung sind in Tabelle 19.6 für NE-Metallspritzdrähte, in Tabelle 19.7 für Stahlspritzdrähte zusammengestellt.

Spritztechnologie

Aufbau einer Metallspritzanlage (Bild 19.2)

Grundsätzlich sollte eine Metallspritzanlage in einem gesonderten Raum, zumindest aber in einem abgetrennten Werkhallenteil untergebracht werden. Die Einrichtung kann sich auf ein spezielles Spritzverfahren beschränken, aber auch universell für die Anwendung verschiedener Verfahren erfolgen.

Spritzpistolen für Metall

In Tabelle 19.8 sind Kennwerte für Spritzpistolen zusammengestellt.

Tabelle 19.7: Stahlspritzdrähte

Werkstoffbezeichnung	Zusammensetzung in %	Anwendung	BRINELL-Härte *) (Bemerkungen)
8 Mn 2	C 0,06···0,12; Si <0,06 Mn 0,5···0,7; P, S je <0,035	meist für Spezialzwecke	150···200 (starke Schrumpf-Riß-Gefahr)
20 MnNi 4 GV 52 **)	C 0,18···0,22; Si 0,25···0,40; Mn 0,9···1,2; P, S je <0,03; Ni 0,6	Lunkerausbesserung, evtl. kleine Preß- und Paßsitze	250···300 (starke Schrumpf-Riß-Gefahr)
M 35	C 0,3···0,39; Si 0,1···0,25; Mn 0,3···0,6; P, S je <0,05	für niedrige Beanspruchung bei Lagerstellen an Wellen; Preß- und Paßsitze (mit Hartmetall bearbeitbar)	300···360 (bei großer Schichtdicke und Beanspruchung evtl. noch Rißgefahr)
M 50 Ea 150 ***) Ga 150 ***)	C 0,45···0,55; Si 0,08···0,15; Mn 0,25···0,4; P, S je <0,06	für mittlere Beanspruchung bei Gleitlagern an Werkzeugmaschinen, Motorankern u. ä. (noch mit Hartmetall bearbeitbar)	310···370 für Ea 150: 150
MK 53	C 0,5···0,54; Si 0,1···0,25 Mn 0,25···0,45; P, S je <0,035		
MK 63 (MK 65)	C 0,6···0,64; Si 0,1···0,2 Mn 0,25···0,4; P, S je <0,03	für hohe Beanspruchung bei Gleitlagern und Teilen an Werkzeugmaschinen (z. B. Spindeln); Bearbeitung: Naßschleifen, Drehen mit Hartmetall	320···380
MK 97 (M 95) Ea 250 Ga 250	C 0,95···0,99; Si 0,1···0,2; Mn 0,25···0,4 P, S je <0,025	für erhöhte Beanspruchung, Gleitlager an Getrieben, Hauptlager von Kurbelwellen, Bearbeitung nur durch Naßschleifen	380···450 für Ea 250 und Ga 250: 250
105 Cr 4	C 1,0···1,1; Si 0,15···0,35; Mn 0,2···0,4; P 0,02 S 0,027; Cr 0,9···1,2	für höchste Beanspruchung, z. B. Schleifmaschinenspindeln, Kurbel- und Pleuelwellen, Lagerstellen bei Wasserpumpen (nur durch Naßschleifen bearbeitbar)	Gas: 350···450 Elektr.: 270···370
X 12 Cr Ni 25,20	C <0,15; Si 0,9···1,2 Mn 1,8; P, S je 0,025 Ni 19,0···21,0; Cr 24,0···26,0	für hitze- und zunderbeständige Auftragungen (Rollgänge)	250···300
X 8 Cr Ni Mo Nb 19,10	C <0,1; Si 0,5···0,8 Mn 1,0···1,5; P 0,02; S 0,03; Ni 8,5···10,5; Cr 18,0···20,0; Mo 2,0···2,5; Nb >1,2×C	für seewasserbeständige Teile (Schiffswellen, Pumpenteile und -wellen)	220···270
10 Mn Si 5	nach TGL 7253: C 0,06···0,12; Si 0,8···1,0; Mn 1,1···1,4; P, S je 0,03	Lunkerausbesserung, kleine Preß- und Paßsitze (mit Hartmetall bearbeitbar)	Gas: d < 80: 160···210 d > 80: 250···300 Elektr.: 250···300
50 Mn Cr Ti 4	nach TGL 7253: C 0,45···0,55; Si 0,15···0,35; Mn 0,9···1,2; P, S je 0,03 Cr 0,8···1,0; Al ≈ 0,10 Ti 0,15···0,3	für mittlere Beanspruchung bei Lagerstellen von Drehteilen, bei Werkzeugmaschinen, Motorankern u. ä. (noch mit Hartmetall bearbeitbar)	Gas: d < 80: 250···310 d > 80: 315···350 Elektr.: 250···300

*) BRINELL-Härte, umgerechnet aus Meßergebnissen nach der VICKERS-Härtemessung.
**) GV 52 Gas-Schweißdraht.
***) Ea, Ga = E- bzw. Gas-Auftragsschweißdraht.

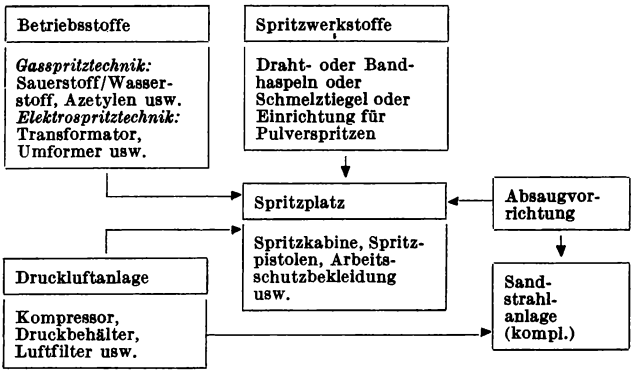


Bild 19.2. Aufbau einer Metallspritzanlage

Tabelle 19.8: Spritzpistolen für Metall

Typbezeichnung	Hersteller	Spritzleistung bei Stahl kg/h	Drahtdurchmesser mm	Stromart und -spannung	Druckgas	Drahtvorschub durch	Anwendungsbereich
SM 56	VEB Metallspritztechnik, Berlin-Baumschulenweg	≈3,5	0,8···2,5	≈220 V	4···6 at 30 m³/h		leichte bis mittlere Teile
Lehal M II/56	Fa. M. Lehmann Stahl- und Metallspritzerei, Halle	≈3,5	bis 3		4···6 at 30 m³/h	Druckluftturbine	
HM 54	VEB Metallspritztechnik, Berlin-Baumschulenweg	8,0	2···4	≈220/380 V	3 at, 28 m³/h 6 at, 35 m³/h	E-Motor mit stufenlosem Getriebe	großflächige Teile
EDP-6	VEB Kjellberg, Finsterwalde, Elektroden und Maschinen GmbH	15···20,0	2			E-Motor	

Vorbereiten des Schichtträgers

Die Vorbereitung des Schichtträgers besteht im wesentlichen im Aufrauhen des Haftgrundes, um dadurch einen besseren mechanischen Verbund zu erreichen. Vergrößerung der Schichtdicke erfordert höhere Aufrauhung. Der Grad der Oberflächenrauhigkeit nimmt in der Reihenfolge der angeführten Bearbeitungsmethoden zu:

a) Quarzsandstrahlen,

b) Sandstrahlen mit Korund,

c) Aufspritzen von Molybdän auf metallisch reine (gebeizte), glatte Flächen (USA-Patent),

d) Lichtbogenspritzen auf geschruppte Oberflächen,

e) Aufrauhung der Oberflächen durch elektrischen Lichtbogen zwischen Werkstück und Nickelelektrode,

f) Stahlkiesstrahlen,

g) mechanische Aufrauhung der Oberfläche durch Einritzen gewinde- oder rillenförmiger Vertiefungen.

Weiterhin muß die Oberfläche fettfrei und trocken sein. Dafür werden vielfach chemische Behandlungsmethoden angewendet (Beizen). Für reinen Rostschutz genügt in den meisten Fällen eine mechanische Bearbeitung der Oberfläche. Das Aufspritzen soll unbedingt unmittelbar nach der Oberflächenvorbereitung erfolgen, um erneute Oxydation oder Entstehen einer neuen Fettschicht auszuschließen.
Für Schichtträger aus nichtmetallischen Werkstoffen können spezielle Vorbereitungsverfahren erforderlich werden, die neben der Materialart in erster Linie vom zu erzielenden Effekt abhängen.

Leistungs- und Verbrauchsdaten

Die in Tabelle 19.9 angegebenen Werte sind nur als Richtwerte zu betrachten. Vor den Spritzarbeiten sollten in jedem Fall durch Versuche günstigster Verbrauch, Spritzabstand usw. ermittelt werden. Für alle Metalle in Tabelle 19.9 gilt: Drahtdurchmesser 2 mm, Druck der Druckluft 2,5 kp/cm², Spritzabstand 60 mm (für das Spritzen mit E-Lichtbogen kann der Abstand wegen der höheren Erhitzung der Metallteilchen größer sein).

Nachbehandlung der Spritzschicht

Je nach Dicke und Verwendungszweck können die Spritzschichten verschiedenen Nachbehandlungen unterworfen werden:

a) mechanische Nachbehandlungsverfahren: Verdichten, Polieren, Schleifen,

b) thermische Nachbehandlungsverfahren: Diffusionsglühen,

c) chemische Nachbehandlungsverfahren: Imprägnieren.

In vielen Fällen kann durch Nachbehandlung vollkommene Gleichwertigkeit von Spritzschicht und Ursprungsmaterial erreicht werden.

Arbeitsschutz

Es gelten die einschlägigen ASAO für Sandstrahlarbeiten, Arbeiten mit Chemikalien, Arbeiten mit Gasgeräten (gespannte Gase), Autogenschweißen, Elektrische Anlagen und Schutz bei Staubentwicklung.

Tabelle 19.9: Leistungs- und Verbrauchsdaten

Metall	Schmelzpunkt °C	Azetylen Druck kp/cm²	Verbrauch m³/h	Sauerstoff Druck kp/cm²	Verbrauch m³/h	Drahtvorschub m/min
Aluminium	659	0,80	1,05	0,80	0,90	3,60
Blei	326	0,65	1,02	0,65	0,88	5,40
Bronze	1040	1,20	1,15	1,20	1,00	1,41
Einsatzstahl	1400	1,50	1,25	1,50	1,10	1,00
Stahl i. M. *)	1350	1,50	1,25	1,50	1,10	1,00
Kupfer	1083	1,40	1,20	1,40	1,05	1,31
Messing	900	1,10	1,10	1,10	0,95	1,56
Vergütungsstahl	1400	1,50	1,25	1,50	1,10	1,00
Zink	420	0,70	1,05	0,70	0,90	4,20
Zinn	232	0,60	1,00	0,60	0,85	7,60
rost- und säurebeständiger Stahl **)	1400	1,50	1,25	1,50	1,10	0,90

*) je nach C-Gehalt.
**) *frühere* Bezeichnung V2A, V4A; *heutige* Bezeichnung X10CrNi18.8.

19.2. Galvanotechnik

In Tabelle 19.10 ist das elektrochemische Äquivalent c verschiedener Stoffe angegeben.

Galvanische Bäder: a) ruhende Bäder mit niedrigem, b) bewegte Bäder mit hohem Metallgehalt. Ausbeuten 87···94 %. Die Werte in Tabelle 19.11 beziehen sich auf angegebene übliche Badzusammensetzungen. Badspannung gilt für ≈1500 mm Elektrodenabstand. Eingeregelt werden die Bäder nach der Stromdichte.
Die Niederschlagsmenge m in g ergibt sich aus der Einheits-Niederschlagsmenge c (Tabelle 19.10) durch Multiplikation mit der Stromstärke I in A und mit der Zeit t in h: $m = cIt$.

1. Beispiel: Wieviel g Nickel werden von 30 A in 8 h aus einem Nickelbad ausgeschieden bei $\eta = 1$?

Lösung: $m = cIt = 1{,}095 \cdot 30 \cdot 8 = 262{,}80$ g.

2. Beispiel: Berechne für eine 0,2 mm = 0,02 cm dicke Verkupferung eines Gegenstandes von 10 dm² = 1000 cm² Oberfläche: a) Kupfermasse m in g ($\varrho = 8{,}9$); b) Ah-Verbrauch; c) Stromstärke bei 0,6 A/dm² (Stromdichte des ruhenden alkalischen Kupferbades); d) Einschaltdauer in h; e) kWh-Verbrauch; f) Generatorleistung in W!

Lösung: a) $m = 1000 \cdot 0{,}02 \cdot 8{,}9 = 178$ g Kupfer;

b) 178:1,185 = 150 Ah; c) $10 \cdot 0{,}6 = 6$ A; d) 150:6 = 25 h; e) bei 3 V werden $150 \cdot 3 = 450$ Wh = 0,45 kWh verbraucht; f) $3 \cdot 6 = 18$ W.

Bei $\eta = 0{,}9$ Ausbeute ergeben sich:
c) 6:0,9 = 6,67 A; e) 0,45:0,9 = 0,5 kWh; f) 18:0,9 = 20 W.

Tabelle 19.10: Elektrochemisches Äquivalent c in g/Ah

Stoff	Sauerstoff	Wasserstoff	Kupfer	Silber	Aluminium	Blei	Gold	Nickel	Zink	Zinn	Kadmium
c	0,2985	0,0376	1,185	4,025	0,3354	3,866	2,453	1,095	1,218	2,214	2,097

Tabelle 19.11: Galvanische Bäder

Badart für Überzüge		Badzusammensetzung g/l Wasser	Badspannung V	Stromdichte A/dm² a	b	Badwärme °C
Kupfer	alkalisch	50 $CuCN$, 20 KCN (99 %ig), 40 Na_2CO_3 + 10 H_2O	2···3	0,25···1	2···4	20···25
Kupferabdrucke (Klischees)	sauer	200 $CuSO_4$, 55 H_2SO_4 (ϱ = 1,6)	0,5···1,5	0,5···2	2···20	≈20
Nickel	sauer	70 $NiSO_4$ + $(NH_4)_2SO_4$ + 6 H_2O, 20 $(NH_4)_2SO_4$ 5 $C_6H_8O_7$ + 1 H_2O	2···2,5	0,3···0,35	1···4	≈20
	Schnellbad	240 $NiSO_4$ + 7 H_2O, 20 $NiCl_2$, 240 Na_2SO_4, 30 H_3BO_3	2···3	1···4	5···8	35···70
Zinn	sauer	60 $SnSO_4$, 50 H_2SO_4, 20 Leim	0,5···0,8	—	0,5···2	35···40
	alkalisch	25 $SnCl_2$ in $NaOH$ (ϱ = 1,07), 10 KCN (99 %ig)	1,2	0,2	—	75···80
Zink	sauer	250 $ZnSO_4$ + 7 H_2O, 20 $ZnCl_2$, 50 Na_2SO_4, 10 H_2SO_4	1,5···4,5	1···3,6	4···10	20···30
	alkalisch	50 $Zn(CN)_2$, 50 $NaCN$, 50 $NaOH$	8···15	1···2,5	2···6	≈50
Blei	sauer	143 $PbCO_3$, 250 HF (50 %ig), 105 B_2O_3, 0,2 Leim	0,1···2	1···3	3···9	15···20
	alkalisch	20 K_2PbO_3, 6 KOH	3···4	0,5···1	1···2	80···85
Kadmium	sauer	120 $CdSO_4$ + 8 H_2O, 5 H_2SO_4	≈5	2,5	—	20···30
	alkalisch	29 $Cd(CN)_2$, 37 KCN	≈4	2	—	35···40
Messing	alkalisch	40 $KCu(Cn)_2$, 2 KCN, 1 Na_2CO_3, 40 $KZn(CN)_3$, 10 Na_2SO_4, 2 NH_4Cl	2,5···3,5	0,2···0,5	1···2	25···40
Bronze	alkalisch	150 $Cu(CN)_2$, 50 Na_2SnO_3 + 3 H_2O, 15 $NaCN$	≈2,5	3,5	—	60···65
Chrom	sauer	350 CrO_3, 3 H_2SO_4	5···10	10···20	40···60	30···40
Silber		$AgNO_3$ mit Sonderzusätzen	1,2	0,5	—	20···30
Gold		Sonderbäder	1,2	0,1	—	20···30

Erläuterungen zu Tabelle 19.11:

Ammoniumchlorid	NH_4Cl	Kresolsulfosäure	$C_7H_8SO_4$	Silbernitrat	$AgNO_3$
Ammoniumsulfat	$(NH_4)_2SO_4$	Kupfer(II)-zyanid	$Cu(CN)_2$	Schwefelsäure	H_2SO_4
Bleikarbonat	$PbCO_3$	Kupfer(I)-zyanid	$CuCN$	Zinkchlorid	$ZnCl_2$
Borsäure	H_3BO_3	Natriumhydroxid	$NaOH$	Zinksulfat	$ZnSO_4$ + 7 H_2O
Chrom(IV)-oxid	CrO_3	Natriumkarbonat	Na_2CO_3	Zinkkaliumzyanid	$KZn(CN)_3$
Fluorwasserstoff	HF	Natriumstannat	Na_2SnO_3 + 3 H_2O	Zinkzyanid	$Zn(Cn)_2$
Kadmiumsulfat	$CdSO_4$ + 8 H_2O	Natriumsulfat	Na_2SO_4	Zinn(II)-chlorid	$SnCl_2$
Kadmiumzyanid	$Cd(CN)_2$	Natriumzyanid	$NaCN$	Zinnsulfat	$SnSO_4$
Kaliumhydroxid	KOH	Nickelchlorid	$NiCl_2$ + 6 H_2O	Zitronensäure	$C_6H_8O_7$ + 1 H_2O
Kaliumplumbat	K_2PbO_3	Nickelammonium-sulfat	$Ni(NH_4)_2(SO_4)_2$ + 6 H_2O		
Kaliumzyanid	KCN				
Kupferkaliumzyanid	$KCu(CN)_2$	Nickelsulfat	$NiSO_4$ + 7 H_2O		

20. Reibung und Schmierung

Etwa ein Drittel der Weltenergieerzeugung geht durch unerwünschte (Lager-) Reibung verloren.
Bild 20.1 gibt einen Überblick über die *Reibungsarten.*

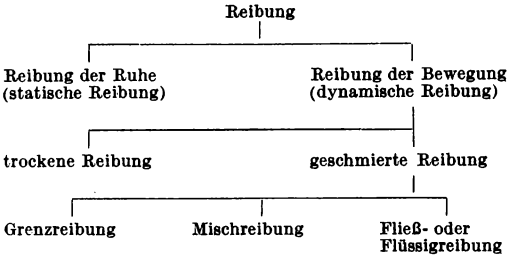


Bild 20.1. Reibungsarten

Die Reibung der Ruhe ist am größten. Trockene Reibung durch Versagen der Schmierung bewirkt das Heißlaufen oder Auslaufen und Fressen der Lager. Beim Anfahren der Maschinen durchlaufen die Gleitlager meist erst die gefährliche Grenzreibung, dann die unerwünschte Mischreibung bis zur erwünschten Fließreibung (Schwimmreibung oder Flüssigreibung genannt) im vollgeschmierten Lager.
Das Anfahren nach längerem Stillstand ist besonders verschleißfördernd, z. B. das Kaltstarten der Kraftfahrzeuge.

Schmierung der Gleitlager aus Sintermetall

Da das Öl infolge des Kreislaufes kaum verlorengehen kann, sind die Sintermetallager praktisch weitestgehend selbstschmierend (Hersteller VEB Eisen- und Hüttenwerk Thale/Harz).

Sintermetallager (Bild 20.2) unterscheiden sich von massiven Lagerwerkstoffen durch die spezifischen Eigenschaften des mit Öl getränkten porösen Metalles, die die Ursache für die hervorragenden Notlaufeigenschaften aller Sinterlager sind.
Da die Reibung der Sintermetallager hauptsächlich nur im Ölfilm auftritt und somit von der Art des angewandten Öles abhängig ist, muß der Auswahl des Schmieröles besondere Beachtung geschenkt werden.

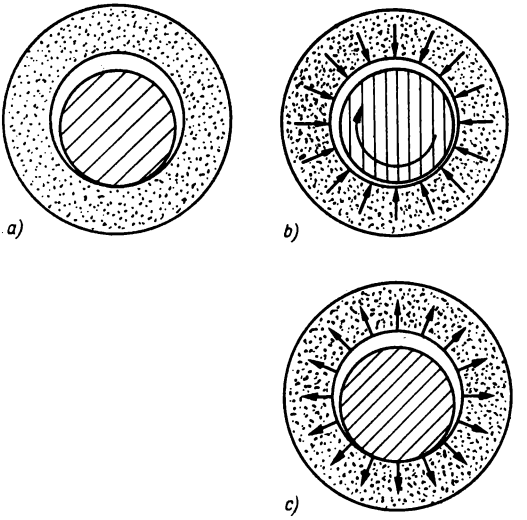


Bild 20.2. Schmierung der Sinterlager
a) Stillstand der Welle, b) Ölzuführung während des Betriebes aus dem Lager, c) Ölrückführung nach erfolgtem Betrieb

Nach erfolgtem Betrieb wird das sich zwischen Wellenoberfläche und Lagerlauffläche befindende Öl durch die Kapillarwirkung des Porenraumes vom Lagerkörper wieder aufgesogen.
Tabelle 20.1 enthält Kennwerte wichtiger Reibungsarten, Tabelle 20.2 gibt einen Überblick über die wichtigsten Schmieröle.

Tabelle 20.1: Reibung, Schmierung und Leistung (nach VEB Minol, Berlin)

Reibungsart	Kennzeichen des Vorganges	Schmierung	Einfluß der Viskosität	Reibungszahl ≈	Verlustleistung *) (Verhältnis)	Verlustleistung **) kW
praktisch trockene Reibung	Verschweißen u. dgl.	keine	kein	0,3	160	27,2
Grenzreibung	molekular-mechanisch in wenigen Molekülschichten wirkend	Grenzschmierung	kein	0,1 ··· 0,3	65	4,08
Mischreibung	molekular-mechanisch hydrodynamisch, ohne Trockenreibung	Misch- oder Teilschmierung	teilweise	0,005 ··· 0,1	25	4,08
flüssige Reibung	hydrodynamisch hydrostatisch	Vollschmierung	ausschließlich	0,0001 ··· 0,005	1	0,16

*) Die Verlustleistung wird hierbei auf die der flüssigen Reibung bezogen.
**) Für Gleitlager bestimmter Dimensionen und Betriebsbedingungen.

Tabelle 20.2: Wichtigste Schmieröle, nach Viskositätsgruppen geordnet (nach VEB Minol, Berlin)

Viskosität in cSt (°E)	Dunkle Schmieröle und Achsenöle für sonstige Zwecke (TGL 11612)	Schmieröle D (TGL 11870) und Zylinderöle (TGL 9823)	Normalschmieröle (Schmieröle R) (TGL 11871)	Besondere oxydationsbeständige Raffinate	Motorenöle ohne und mit Zusätzen	Verdichteröle (TGL 9822)	Öle mit Zusätzen für Sondereigenschaften	Feinmechaniköl (Kältemaschinenöl)
7,5···16 (1,6···2,5) bei 20 °C	—	—	—	feingepaßte Lager	—	—	—	—
16···60 (2,5···8) bei 20 °C	—	—	—	Transformatoren, Schleifspindeln	—	—	Härteöle, Schneidöle	Feinmechanik, Zentrifugen, CO_2-Verdichter, Maschinen für Lebensmittelindustrie
16···33 (2,5···4,5) bei 50 °C	Stellwerk-Öl	Maschinen und Geräte mit Durchlaufschmierung, Lagertemperatur bis 40 °C	Maschinen und Geräte mit Durchlaufschmierung, Lagertemperatur bis 50 °C und Umlaufschmierung ohne thermische Überbeanspruchung mit öfterem Ölwechsel	—	—	—		
33···76 (4,5···9) bei 50 °C	Weichen, einfache Achslager			Umlaufschmierung mit Ölwechsel in größeren Zeitabständen (z. B. Turbinen, Regler, Getriebe, Triebwerke) mit höherer thermischer Beanspruchung	—	Verdichter für Luft	Turbinen, hydraulische Getriebe, Verzahnungsgetriebe	Kältemaschinen
60···91 (8···12) bei 50 °C	—	—			Otto- und Diesel-Motoren			—
90···190 (12···25) bei 50 °C	—	—			—		Verzahnungsgetriebe, Kraftfahrzeuggetriebe und Hinterachsen	—
20···37 (3···5) bei 100 °C	—	Sattdampfzylinder			—			—
37···75 (5·· 10) bei 100 °C	offene Getriebe, Zahnstangen, Ketten	Heißdampfzylinder	—		—	—		—
über 75		—	—	—	—	—	—	—

21. Bauschlosserarbeiten

21.1. Türen und Tore aus Stahl

Die Stahlausführung hat sich wegen ihrer Festigkeit und Unempfindlichkeit vor allem zum Verschließen großer Öffnungen, besonders aber auch für Sonderkonstruktionen im Industrie- und Gesellschaftsbau bewährt. Während für Türen und Tore kleinerer Abmessungen im allgemeinen Drehflügel verwendet werden, muß man vor allem bei Großtoren besondere Konstruktionen wählen, um die Flügelbewegung in kurzer Zeit bei begrenztem Kraftaufwand platzsparend zu erreichen. Bild 21.1 zeigt die *Flügelformen*, wie man sie *nach dem Schließvorgang* unterscheidet.

Bauformen der Drehflügel

a) *Einfache Flügel* aus Winkelstahlrahmen mit Füllungen aus Blech oder Drahtgeflecht,

b) *Hohlrahmenflügel* (Bilder 21.2 und 21.3), deren umlaufende Hohlrahmen aus abgekantetem oder gepreßtem Blech mit den Füllungsblechen durch Punktschweißen verbunden werden,

c) *doppelwandige* und *mehrschalige Flügel* (Bild 21.4), die gegenüber den Hohlrahmenflügeln den Vorteil aufweisen, durch geeignete Füllungen (z. B. Kieselgur bzw. Schlackenwolle, aber auch Sand) wärme- oder schalldämmend zu wirken. Mit geeigneten Schutzvorrichtungen für das Schloß und selbsttätig wirkenden Schließmechanismen werden sie als Brandschutztüren ausgeführt.

Bezeichnung der Drehflügel nach der Öffnungsrichtung (entsprechend TGL 48-31320)

Zur Bestimmung der Tür- bzw. Schloßbezeichnung betrachtet man die Tür von der Seite aus, nach der sie aufschlägt. Sind von dieser Seite gesehen die Bänder rechts, so ist es eine *Rechtstür* (R), sind sie links, so handelt es sich um eine *Linkstür* (L). Die Schloßbezeichnungen entsprechen den Türbezeichnungen. Bei der Bezeichnung mehrflügliger Türen und Tore ist der verschließbare Flügel maßgebend.

Bild 21.5 zeigt *Innentüren*, Bild 21.6 *Außentüren*. Die Klammerbezeichnungen, z. B. LE = links einwärts, sind Angaben für Aufschraubschlösser.

Standardisierung

Die industrielle Fertigung von Stahltüren und -toren, wie sie heute üblich ist, erfordert weitgehende Standardisierung sowohl der Türmaße als auch der Teile, z. B. der Türbeschläge. Bild 21.7 zeigt ein Beispiel für die Standardisierung der Türmaße. Alle im Bild dargestellten Türen werden auch mit Verglasung, wie bei der Tür mit den Systemmaßen 2400 mm × 2700 mm eingezeichnet, geliefert. Außerdem werden in einzelne Typen wahlweise verschließbare und mit Vogelschutzgittern versehene Lüftungsjalousien eingebaut.

Für Stahltüren und Stahltore gelten folgende Standards:

TGL 21-382802	Tore aus Stahl; Stoßfutter
TGL 21-382803	Türen und Tore aus Stahl; Bänder, Anschweißbänder
TGL 48-31363	Türen und Tore aus Stahl; Drückerrosette
TGL 48-31316	Türen und Tore aus Stahl; Schlüsselrosette
TGL 21-382808	Tore aus Stahl; Schutzkappe für Schloßdurchbrüche in Stahltürzargen
TGL 21-382809	Tore aus Stahl; Schließkappe für Schlupftüren
TGL 21-382810	Türen und Tore aus Stahl; Schloßhalter, Hauptabmessungen
TGL 21-382811	Tore aus Stahl; Handgriff
TGL 21-382812	Tore aus Stahl; Treibriegel 30, Hauptabmessungen, Anschlußmaße
TGL 21-382813	Türen und Tore aus Stahl; Führungsrolle, Einbauart, Anschlußmaße
TGL 21-382814	Türen und Tore aus Stahl; Flügelfeststeller, Hauptabmessungen, Zubehör, Anschlußmaße
TGL 21-382816	Türen und Tore aus Stahl; Lüftungsschlitze, Lüftungsgitter, Lüftungsschieber, Hauptabmessungen, Anschlußmaße
TGL 21-382817	Türen und Tore aus Stahl; Zargenstoßwinkel
TGL 21-382818	Türen und Tore aus Stahl; Steinanker
TGL 21-382819	Tore aus Stahl; Andruckklaue, Hauptabmessungen, Anschlußmaße
TGL 21-382840	Türen aus Stahl; Türgriff
TGL 21-382862	Türen aus Stahl; Stahltürprofile Reihe E 40, kalt geformt

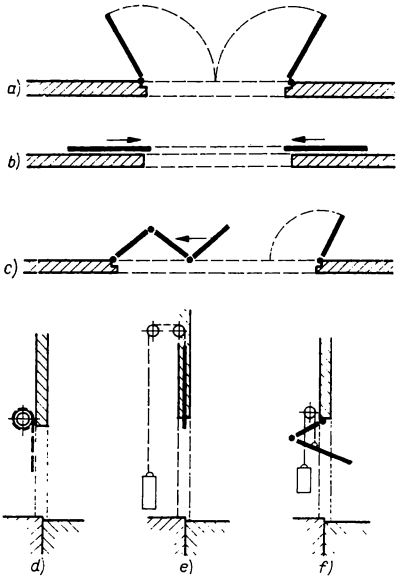


Bild 21.1. Flügelformen
a) Drehflügel, b) Schiebeflügel, c) Faltflügel, d) Rollflügel, e) Senk- und Hubflügel, f) Schwingflügel

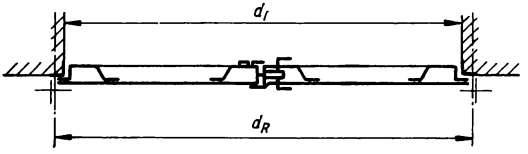


Bild 21.2. Hohlrahmen-Stahltür, zweiflüglig, einseitig glatt, Schloßflügel rechts (waagerechter Schnitt)
d_l lichtes Durchgangsmaß, d_R Rohbaurichtmaß

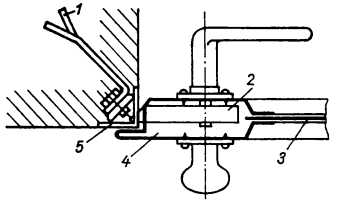


Bild 21.3. Detail des Hohlrahmenflügels (waagerechter Schnitt)
1 Steinanker, 2 Einsteckschloß, 3 Blechfüllung, 4 Hohlrahmen, 5 Türrahmen (Zarge)

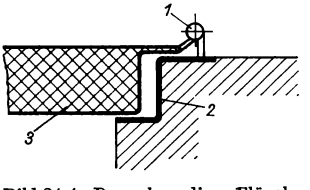


Bild 21.4. Doppelwandiger Flügel
1 Anschweißband, 2 Zarge, 3 Türflügel (Türblatt)

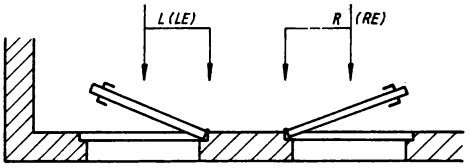


Bild 21.5. Innentüren

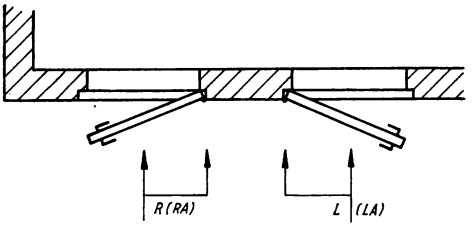


Bild 21.6. Außentüren

TGL 21-382866 Tore aus Stahl; Stahltorprofile Reihe H 70, kalt geformt
TGL 21-382875 Stahl-Drehtüren; Konstruktionsarten, Hauptabmessungen, Einsetzarten
TGL 21-382877 Bl. 1 Brandschutztüren aus Stahl; Technische Forderungen, Prüfung
TGL 21-382892 Stahl-Drehtore; Stahl-Schiebefalttore, Konstruktionsarten, Hauptabmessungen, Einsetzarten

21.2. Schlösser für Türen und Tore

Einteilung der Schlösser

Nach der Anordnung am Türblatt (-flügel) entsprechend TGL 48-31302 werden die Schlösser eingeteilt in *Einsteckschlösser* (Bild 21.8) und *Aufschraubschlösser* (Bild 21.9).

Schließsysteme

Einsteck- und Aufschraubschlösser können mit verschiedenen Schließsystemen ausgestattet werden. Die Auswahl richtet sich nach der verlangten Sicherheit. Tabelle 21.1 gibt einen Überblick über die Schließsysteme.

Standards

TGL 48-31301	Türschlösser; Einsteck- und Aufschraubschlösser, Technische Lieferbedingungen
TGL 48-31302	Türschlösser; Einsteck- und Aufschraubschlösser; Begriffe
TGL 48-31303	Tür-, Möbel- und Vorhängeschlösser; Technische Lieferbedingungen
TGL 48-31304	Schlüssel für Türschlösser; Formen, Abmessungen, Werkstoffe
TGL 48-31305	Schlüssel für Türschlösser; Bartprofile
TGL 48-31307	Türschlösser; Einbaumaße für Sicherheitszylinder
TGL 48-31309	Türschlösser; Einbausicherungen
TGL 48-31310 bis TGL 48-31325	Türschlösser; Einsteckschlösser Typ 1 bis Typ 14
TGL 48-31330 bis TGL 48-31333	Türschlösser; Aufschraubschlösser Typ 30 bis Typ 33
TGL 48-31344	Türschlösser; Stahlschrankschlösser

21.3. Stahlgitter

Gitter werden in vielfältigen Formen hergestellt. Man führt sie heute meistens, von manchen kunstgeschlosserten bzw. kunstgeschmiedeten abgesehen, in Schweißkonstruktion aus.

Die Gitter müssen so gestaltet sein, daß sie ihrer Sicherungsaufgabe gerecht werden. Das betrifft Festigkeit und Standsicherheit, besonders aber neben ausreichender Höhe die lichten Abstände der Bauteile.

Die Gitterhöhen betragen je nach möglicher Absturzhöhe bis 1100 mm, gegebenenfalls auch mehr, die Abstände der Gitterstäbe oder anderer Teile (Gurte, Füllungsbleche usw.) höchstens 120 mm. Bei der Gestaltung muß unbedingt beachtet werden, daß Gitter von Kindern gern zum Klettern benutzt werden. Horizontale Stabführung und z. B. ringförmige Elemente sind deshalb zugunsten senkrechter Stäbe oder vollwandiger Füllungen zu vermeiden.

Gittermaße bei einfachen Gittern

In den Bildern 21.10 und 21.11 sowie in den folgenden Formeln bedeuten: L_G äußere Gitterlänge, Pfostenabstand; L_L Länge der Maueröffnung; H_{St} Gitterstablänge; H_G Gitterhöhe; d Gitterstabdicke, Gitterstabdurchmesser; d_R Rahmenstabdicke; e Gitterstababstand; e_R Randabstand; e' Gitterteilung (Abstand benachbarter Stabmitten); n Anzahl der Gitterstäbe; s Gitterabstand von Einfassung.

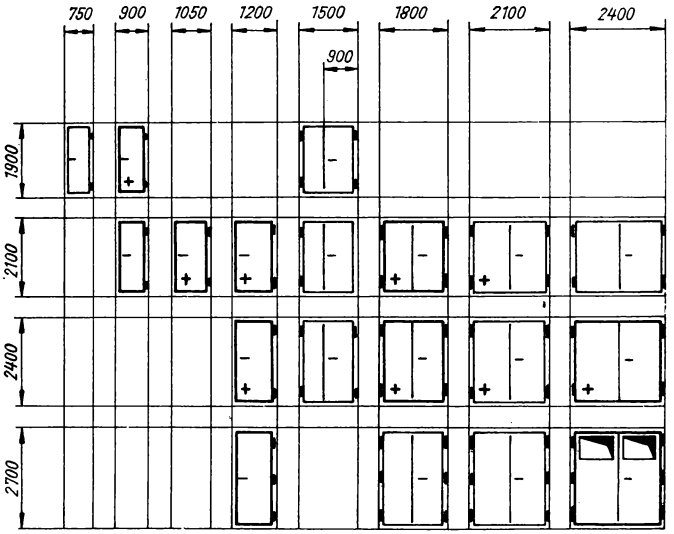


Bild 21.7. Typenreihe von Stahldrehtüren nach TGL 21-382875; Vorzugsgrößen sind mit dicken Linien dargestellt, die mit Kreuz (+) gekennzeichneten Größen stellen die Typenreihe für Brandschutztüren nach TGL 22891 Bl. 1 (Entwurf) dar; Maße in mm

Die Anzahl der Gitterstäbe bzw. die Gitterstababstände ermittelt man zweckmäßig, indem man zunächst die Summenformel aller Stabdicken und Abstände aufstellt.

Es ergeben sich z. B. folgende Beziehungen:

Für ein *Rahmengitter* (Bild 21.10) ($e = e_R$) gilt

$L_G = 2d_R + (n + 1)\,e + nd$

und für $d_R = d$

$L_G = (n - 1)\,e + nd.$

Für die Ermittlung der Gitterteilung e', die z. B. beim Anreißen der Lochmitten bei durchgesteckten Stäben benötigt wird, gilt entsprechend

$$L_G = 2d_R + 2\left(e' - \frac{1}{2}e_R\right) + (n - 1)\,e'.$$

Für *Gitter ohne Rahmen* (Bild 21.11) läßt sich entsprechend folgende Formel finden ($e \neq e_R$):

$L_G = 2e_R + (n - 1)\,e + nd.$

Berechnungsbeispiel

Zwischen gemauerte Säulen von 2800 mm lichtem Abstand sollen Rahmengitter eingesetzt werden. Die Anzahl der Gitterstäbe ist zu ermitteln (s. Bild 21.10).

Vorgegebene Maße: $L_G = L_L = 2800$ mm; $e = 90$ mm; $d_R = 12$ mm; $d = 16$ mm.

Gesucht: n

$L_G = 2d_R + (n + 1)\,e + nd$

2800 mm = 2 · 12 mm + (n + 1) 90 mm + n · 16 mm

2800 mm = 24 mm + n · 90 mm + n · 16 mm

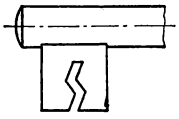
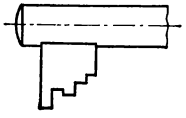
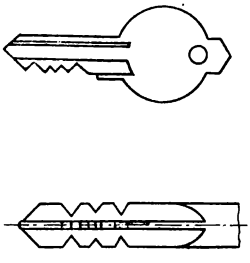
2800 mm — 24 mm — 90 mm = n (90 mm + 16 mm)

$$n = \frac{2686\text{ mm}}{106\text{ mm}} = 25{,}3$$

Gewählt: $n = 25$ Gitterstäbe

Die auftretende Differenz kann durch Änderung des Gitterstababstandes oder durch Änderung der äußeren Gitterlänge ausgeglichen werden.

Tabelle 21.1: Schließsysteme

Schließsystem	Schlüsselform	Sicherheitsprinzip	Sicherheit
Buntbartschloß		Die Schweifung (Form) des Bartes entspricht der Form der Durchbrüche in Schloßboden und Schloßdeck e.	geringe Sicherheit (im allgemeinen für Innentüren)
Schloß mit Besatzung		Die Schlüsselbärte erhalten Einschnitte, deren Form im Schloß eingesetzten Blechen (Besatzungen) entspricht.	bei üblichen Türschlössern kaum angewendet
Chubbschloß		Die Schlüssel haben gestufte Bärte, die beim Schließvorgang entsprechend gestufte Zuhaltungsbleche heben und so den Schließriegel freigeben.	höhere Sicherheit durch verschieden große Anzahl der Zuhaltungsbleche
Zylinderschloß		Die verschieden tiefen Einschnitte im Flachschlüssel heben im Einbauzylinder Zuhaltungsstiftpaare so weit an, daß deren Teilungsflächen auf der Höhe des Zylindermantels liegen. Dadurch ist es möglich, den mit einer Schließnase verbundenen Zylinder im Gehäuse zu drehen. Auf dem gleichen Prinzip beruhen die sogenannten Einbausicherungen. Nur sind bei ihnen die Zuhaltungsstifte sternförmig angeordnet. Die Sicherungen können dadurch so kurz gehalten werden, daß sie zwischen Schloßboden und Decke eines üblichen Einsteckschlosses eingebaut werden können. Der Funktionsteil des Schlüssels ist entsprechend sternförmig.	hohe Sicherheit, große Variationsmöglichkeiten der Schlüssel

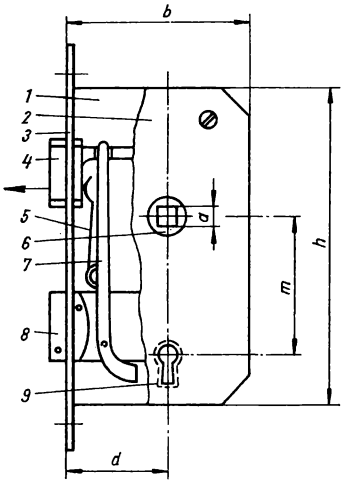


Bild 21.8. Einsteckschloß

1 Schloßboden, 2 Schloßdecke, 3 Stulp, 4 Falle (schließende Falle), 5 Fallenfeder, 6 Nuß, 7 Wechsel (zur Betätigung der Falle mit dem Schlüssel), 8 Schließriegel, 9 Durchbruch für Einbauzylinder; wichtige Einbaumaße: b Kastenbreite, h Kastenhöhe, a Nußvierkantmaß, d Dornmaß, m Mittenentfernung

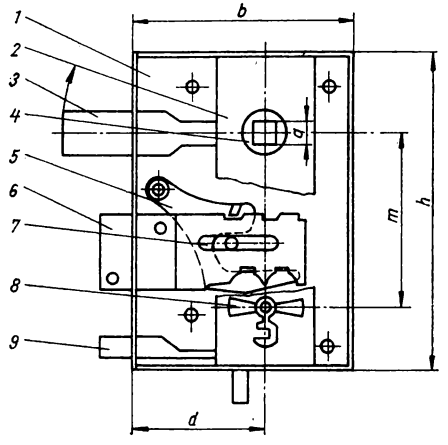


Bild 21.9. Aufschraubschloß

1 Schloßkasten, 2 Schloßdecke, 3 Falle (hebende Falle), 4 Nuß, 5 Buntbartzuhaltung, 6 Schließriegel, 7 Riegelführung, 8 Schlüsselführung, 9 Sicherungsriegel; b, h, a, d und m s. Bild 20.8

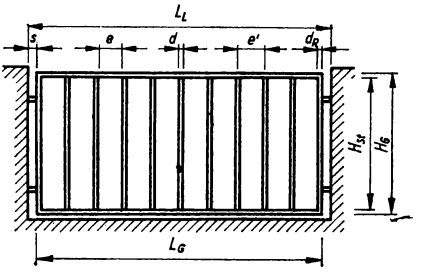


Bild 21.10. Rahmengitter

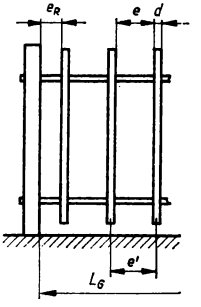


Bild 21.11. Gitter ohne Rahmen

Berechnung der Änderung des Gitterstababstandes:

$L_G = 2d_G + (n + 1)\,e + nd$

$2800\text{ mm} = 2 \cdot 12\text{ mm} + (25 + 1)\,e + 25 \cdot 16\text{ mm}$

$2800\text{ mm} - 24\text{ mm} - 400\text{ mm} = 26e$

$$e = \frac{2376\text{ mm}}{26} = 91{,}4\text{ mm}$$

Bei Beibehaltung aller vorgegebenen Maße müßte der Gitterabstand $e = 91{,}4$ mm betragen.

Berechnung der Änderung der äußeren Gitterlänge:

$L_G = 2 \cdot 12\text{ mm} + (25 + 1)\,90\text{ mm} + 25 \cdot 16\text{ mm}$

$= 24\text{ mm} + 26 \cdot 90\text{ mm} + 400\text{ mm}$

$= 24\text{ mm} + 2340\text{ mm} + 400\text{ mm}$

$L_G = 2764\text{ mm}$

Die sich ergebende Differenz könnte in die Abstände zwischen Gitter und Säulen aufgenommen werden.

$2s = L_L - L_G$

$2s = 2800\text{ mm} - 2764\text{ mm} = 36\text{ mm}$

$s = 18\text{ mm}$

Der Abstand zwischen Mauerwerk und Gitterrahmenstab würde 18 mm betragen. In Anbetracht gröberer Toleranzen beim Mauerwerk ist diese Lösung für die praktische Ausführung zweckmäßig.

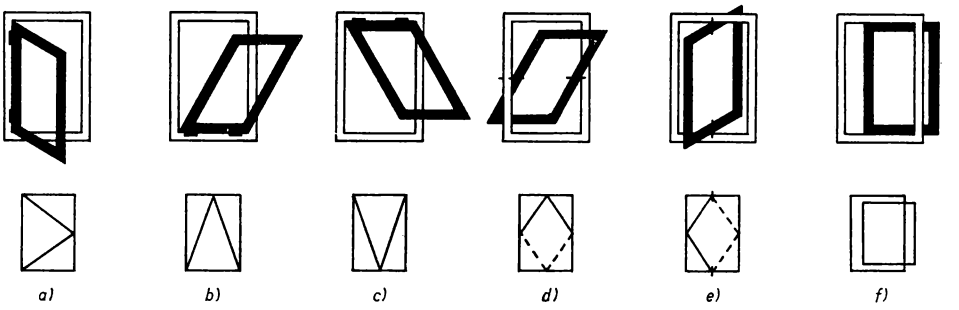


Bild 21.12. Stahlfensterarten; Darstellung bildlich (oben) und symbolisch (unten)
a) Drehflügel, b) Kippflügel, c) Klappflügel, d) Schwingflügel, e) Wendeflügel, f) Schiebeflügel (horizontal und vertikal)

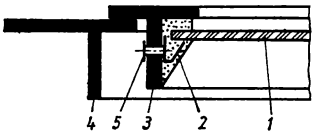


Bild 21.13. Stahleinfachfenster (einfacher Anschlag)
1 Glastafel, 2 Kittfalz, 3 Flügelrahmen, 4 Fensterrahmen, 5 Glashalter

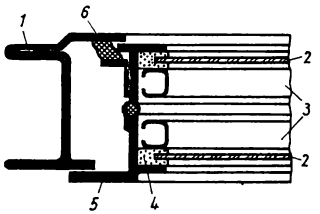


Bild 21.14. Stahlverbundfenster (Horizontalschnitt)
1 Fensterrahmen, 2 Glastafel, 3 Glasleisten, 4 Kittbett, 5 lösbar verbundene Flügelrahmen, 6 Flügelgummi

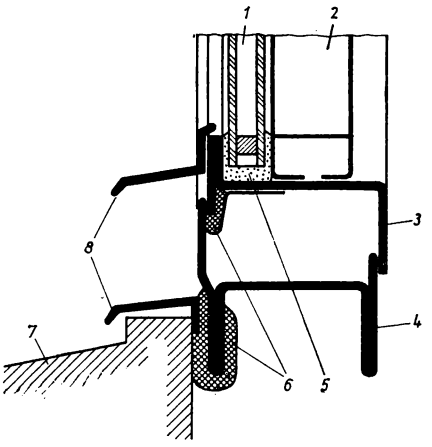


Bild 21.15. Stahlthermofenster (Vertikalschnitt)
1 Thermoscheiben, 2 Glasleiste, 3 Flügelrahmen, 4 Fensterrahmen, 5 Kittbett, 6 Dichtungen (Fugen- und Flügelgummi), 7 Sohlbank, 8 Wetterschenkel

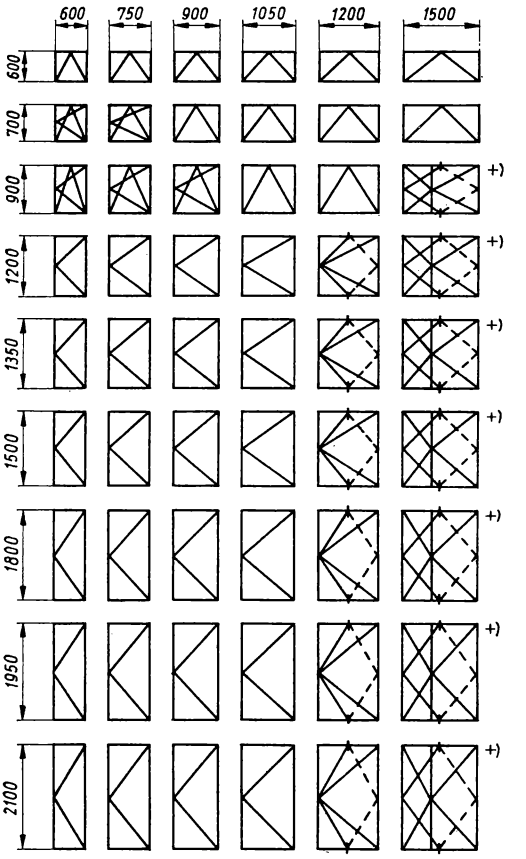


Bild 21.16. Typenreihe für Stahlthermo- und Stahlverbundfenster (nach TGL 22884)
+) Drehflügel mit festem Kämpfer

21.4. Stahlfenster

Durch Stahlfenster läßt sich die Forderung nach großem Lichteinfall bei ausreichender Wärmedämmung und Lüftungsmöglichkeit gut verwirklichen. Die Festigkeit des Stahles gestattet große Glasflächen bei kleinen Profilabmessungen der Flügelrahmen. In entsprechende Rillen der Flügelrahmen eingelegte Profilgummistreifen garantieren die Dichtheit der Flügel. Bild 21.12 zeigt die *Arten der Stahlfenster*, nach Bewegungsrichtung unterschieden.
Die Fenster- und Flügelrahmen werden aus kalt- oder warmgeformten Spezialprofilen im allgemeinen durch Abbrennstumpfschweißen hergestellt. Die Scheiben, deren Abdichtung durch Kitt oder Profilgummi erfolgt, werden mit Glashaltern oder Glashalteleisten in den Flügelrahmen befestigt.
Den unterschiedlichen Forderungen nach Wärmedämmung wird man durch die Scheibenanordnung und entsprechende Rahmenausführung gerecht. Folgende *Fensterarten* werden gefertigt:

a) Stahleinfachfenster (Bild 21.13),
b) Stahlverbundfenster (Bild 21.14),
c) Stahlthermofenster (Bild 21.15).

Sehr oft verwendet man heute *Thermoscheiben*. Diese bestehen aus zwei in einem Flügelrahmen dicht nebeneinander eingesetzten Scheiben im Abstand von höchstens 12 mm. Um die Kondensatbildung zwischen den Scheiben auch bei starker Abkühlung zu verhindern, befindet sich in diesem Raum getrocknete Luft mit einer relativen Luftfeuchte von max. 20 %.
Wie Stahltüren und -tore sind Stahlfenster weitgehend standardisiert. Bild 21.16 zeigt z. B. eine Typenreihe.

Standards

TGL 22884	Fenster aus Stahl; Baurichtmaße, Arten
TGL 21-380311	Fenster aus Stahl; Stahlfenster-Profile Reihe A 36
TGL 21-380314	Fenster aus Stahl; Stahlfenster-Profile Reihe D 60
TGL 21-380316	Fenster aus Stahl; Stahlfenster-Profile Reihe F 80
TGL 21-380333	Fenster aus Stahl; Wetterschenkel
TGL 21-380334	Fenster aus Stahl; Senkmutter mit Ansatz
TGL 21-380341	Fenster aus Stahl; Fensterbänder
TGL 21-380343	Fenster aus Stahl; Drehlager
TGL 21-380347	Fenster aus Stahl; Zungenverschluß
TGL 21-380350	Fenster aus Stahl; Fensterschnäpper mit Schnäppereinschluß
TGL 21-380357	Fenster aus Stahl; Fangbügel
TGL 21-380358	Fenster aus Stahl; Fangscheren, Hauptabmessungen, Anschlußmaße
TGL 21-380363	Fenster aus Stahl; Stulpriegel
TGL 21-380364	Fenster aus Stahl; Flügel-Kupplung, Hauptabmessungen
TGL 21-380366	Fenster aus Stahl; Leistenecken
TGL 21-380367	Fenster aus Stahl; Glashalter
TGL 21-380377	Fenster aus Stahl; Flügelgummi

Sachwortverzeichnis

Abbrand 256
Abbrenn-Stumpfschweißen 287
Abformungen 260f.
Abfrageeinheit 147
Abhitzekessel 394, 399f.
Abkühlungs/geschwindigkeit 196
—verlauf 190, 195
Ablaufsteuerung 164, 168
Abmaße 132f., 317ff.
Abrichten 355, 368
Abschaltkreise 168, 171
Abscher/spannung 210
—versuch 210f.
Abschneiden 353
Abschrecken 196f.
Abschroten 280
Absetzen 280
absoluter Fehler 19
Absperr/organ für Rohre 163
—schieber 97
—ventile 97
Abstechen 342
abstraktes System 154
Abtragung 200
Abziehsteine 355
Achsenabschnittsgleichung 24
Acht/eck 20
—kant 81
Addieren 12
Additions/methode 16
—theoreme 23
Äquivalente, elektrochemische 71, 413
Ätzen 205
Ätzflüssigkeiten 204
Akkumulator 109
Akzeptor 116
Algebra 12ff.
ALGOL 148
Algorithmus 151
Alitieren 204
allotrope Modifikationen 190
α-Eisen 194ff.
α-γ-Umwandlung 195
alphanumerische Daten 138
Altern 199
Aluminium 182, 202, 237f.
—bronze 244
— -Gußlegierungen 237, 239ff.
— -Knetlegierungen 237f.
aluminothermisches Schmelzschweißen (AT) 283
Amboß 279f.
Aminoplaste 72f., 77
Ampere 54f.
Analog-Digitalwandler 161
analoger Soll-Ist-Vergleich 179
analoge Speicher 167
analoges Signal 326f.
Analogiegesetz 179
analytische Geometrie 24f.
Anblasen 224
Anlassen 195ff.
Anlaßfarben 196f.
Anreißen 310ff.
Ansatzflansch 96f.
Anschlag/speicher 172
—steuerung 172
—winkel 310
Anschleifen 334, 354
Anschlußmuffen 97
Anschnittsystem 264, 266
Antimon 182
Anzeigegerät 166
Araldit 74
Arbeit 50, 53, 57, 66
Arbeits/information 176
—schutz bei Gasarbeiten 401
— — beim Metallkleben 304
— — — Metallspritzen 411
— — — Schleifen 355f.
— — — Schweißen 308
—speicher 145
—takt 388f.
—zylinder, pneumatischer 375, 383f.
Arcatom-Verfahren 285
arithmetische Operationen (EDV) 139
Armaturen 401
Asphaltüberzüge 203
Assembler 150
Asymptoten 25
Atommassen, relative 69f.
AT-Schweißen 283
Aufblasverfahren 224, 227
Aufdampfverfahren 204
Aufkeilen 369
Auflagerkräfte 61
Aufpassen von Lagern 368
Aufschraubschlösser 417ff.
Aufspannvorrichtungen 371
Aufsticken 198
Ausbreitprobe 214
Ausdehnungskoeffizient 63f., 180ff.
Ausdrehen 341
Ausgabegeräte 144ff.
Ausgangs/größe 163
—kanäle 151
—signal 156
—teilsystem 163
Aushärten 199, 237
Auslagern 199
ausländische Maße 49
Auslaufventile 97f.
Ausschalter 101f.
Ausschmelzmodelle 271
Ausschneiden 353f.
Außen/durchmesser beim Gewinde 85ff.
— — von Rohren 92ff.
—gewinde 341f.
—kegel 127
—maße 317, 320f.
—schleifen 354
—taster 311
—türen 416f.
Austausch/mischkristalle 191
—stähle 237
Austenit 192ff.
Austreiber 373
Autogenhärten 198
automatisches Schweißen 282
Automatisierung 151ff.
Axial/kolbenpumpen 375
—turbinen 386
Azetylenentwickler 287

Badnitrieren 198
Bahnsteuerung 178f.
Bakelit 73
Ballhammer 280
Band/kantenreglung 377, 380
—säge 329
—schweißung 286
Barium 182
Basis 14, 16
—strom 118
Batterie 109
Bauelemente 108, 372
Bau/glieder 155ff., 160
—gliedplan 156, 324
—gruppen 108
—schlosserarbeiten 416ff.
—stahl 223
Bedientisch 146
Befähigungsnachweis für Schweißen 300
Befehl 144
Befehls/arten 145
—folge 145
—geräte 115
Belastungsfälle 61ff.
Beleuchtungs/anlagen 101ff.
—stärken 101
Benzinwäscher 400
Benzolwäscher 399
beruhigte Stähle 231, 236
Beryllium 182
Beschichten 76, 256, 406ff.
Bessemer-Birne 226f.
— -Flußstahl 222ff.
—verfahren 227
Betriebs/bereitschaft von Öfen 199
—meßtechnik 323ff.
—spannung 106
Bewegungsenergie 180
Biegen 280
Biege/spannung 209ff.
—versuche 208ff., 214
Bimetall 116, 325
binäre Grundoperationen 140
binäres Signal 326
Binärzeichen 139
Bindung 355
bit 141
black-box 151, 153
Blasen 275
Blasverfahren 224ff.
Blatt/federhammer 281
—größen 121
Blechlehre 314
Blei 182f., 201
—löten 309
Blind/leistung 67
—widerstand 67, 112, 114
Blutsättigungskurve 401f.
BMSR-Technik 153, 155ff., 404
Bördelversuch 214
Bogen/maß 122, 130
— -Stranggußanlage 272f.
Bohren 77, 328, 344f., 364
Bohrer 334
—durchmesser für Gewinde 89
—hülse 373
Bohr/futter 373
—maschine 335
—stange 348
—vorrichtung 372
—werkzeuge 335
Bolzen/gewinde 88
—herstellung 172f.
Brandstellen 275
*Braun*sche Röhre 325
Breit/bandverstärker 119
—messer 342
Brenn/gase, Kenndaten von 403
—härten 198
—test zur Plastbestimmung 219f.
Brinell-Härte 180, 182ff., 195, 211f., 410
Bronze 243ff.
Bruch/aussehen 214
—dehnung 195, 207f.
—einschnürung 208

Bruch/festigkeit 207
—rechnung 12f.
Brückenschaltung 66
Brünieren 203
Buckelschweißen 286f.
Bügelsäge 329
Bürstenscheiben 355
*Bunsen*brenner 404
Bunt/bartschloß 418
—metalle 181
B-Zeit 221
BZ-Scheiben 356

Candela 55
*Carnot*scher Kreisprozeß 389
Cellit 73
Cellon 73
Chemie 68ff.
chemisch aktivierbare Klebstoffe 301f.
chemische Äquivalente 71
— Elemente 68ff.
— Korrosion 200
— Zusammensetzung der Stähle 223, 231, 235ff.
chemisch reines Eisen 223
— -technische Prüfverfahren 217f.
Chrom 183, 202
Chromatieren 203
*Chubb*schloß 418
C-Löslichkeit 194f.
COBOL 148
Code ROBOTRON 300 143
Codierer 177
Codierung 141ff., 151
Collophan 73
Compiler 150
Container 385
CO-Prüfung 401
Coulomb 54
CO_2-Schutzgas-Lichtbogenschweißung 283f.
CO_2-Verfahren 270
C-Profile 247ff., 252f.
*Curie*punkt 190
*Curtis*rad 387

Dampf/düse 386f.
—druck-Thermometer 325
—hammer 282
—kraftmaschinen 386ff.
—maschinen 386ff.
—strahlpumpe 381
—turbinen 386f.
Daten 138f.
—erfassung 141f.
—flußpläne 143ff.
— —, Sinnbilder für 149
—träger 141f.
—verarbeitung 177
— —, elektronische 138ff., 176ff.
Dauer/formen 262ff., 271ff.
—schwingversuch 206, 211
—standfestigkeit 230
Decelith 74
Dederon 74
Dehnungsmeßstreifen 324
Dekodierung 151
Dekorit 73
Dermadur 74
deutsches Alphabet 11
Dezibel 46ff.
Dezimalsystem 139
Diagonalkreuz 125f.
Diamant-Igel 355
— -Schleifscheiben 356
Dichte 59f., 180ff.
—untersuchungen 219
Dichtungsmaße 98
Didi 73
Dielektrikum 112f.
Dielektrizitäts/konstante 113
—zahl 113
*Diesel*motor 392
Differential/flaschenzug 57
—verhalten 158
Differenzdruckmessung 325
Diffusions/glühen 196
—schweißen 288
—verfahren 204
digitaler Soll-Ist-Vergleich 279
—Speicher 167
digitales Signal 326f.
Digitalrechner 145
Diode 110, 117f.
Disjunktion 140
diskretes Signal 326ff.
Dividieren 12, 18
Divisionsstelle 159
Donator 116
Doppel/injektor 381
—übersetzung 82
Dorn 280
Dotierung 116
Drahtlehre 314
Drall/arbeiten, Berechnung von 351
—bohrer 334, 355
Drehbeanspruchung 61
Drehen 328, 339ff., 364ff.
— von Plasten 77
Dreh/flügel 416
—herz 373
—kondensator 109
—magnetmeßwerk 325
—maschine 345ff.
—maschinenfutter 373
—maschine, programmgesteuerte 175ff.
—meißel 339ff., 347
— —, Kräfte am 345
—momente 61f.
—rostgenerator 396
—spulmeßwerk 325
—strom 68, 101, 106
— —netze 106
—winkelmotor 375f.
—zahl 325
Drei/backenfutter 373
—eck/berechnung 19, 22f.
— —schaltung 67f.
—phasenstrom 68
Drosseln 114
Drosselventile 384f.
Druck 51, 53, 325
—beanspruchung 60, 63
—gaswerk 399f.
—gefälle 387
—gießwerkzeuge 262, 264
—guß 239ff., 246, 272
— —maschine 272
—höhe 325
—knopfschalter 105
—pyramiden 279
—speicher 378
—stufen 92, 387
— —turbinen 386ff.
—ventile 375f.
—vergasungsanlagen 396ff.
—verlustberechnung 401
—versuch 206, 209ff.
Dualsystem 139
Dünnfilmtechnik 108
Düse 386f.
— -Prallplatte 379
Duralumin 185
Durchbiegung 61
Durchblasverfahren 224
Durchfluß 325
—strom 374
Durchgangsventile 97f.
Durchlaßrichtung 118
Durchmesserzeichen 125
Durchschallungsverfahren 216
Duro/plaste 72ff.
—skop 213
dynamische Festigkeitsprüfungen 210f.
— Härtemessung 213
Dynamostahlguß 222

Ecelen 74
Eckenmaß 81
Edel/gase 181
—metalle 181, 201
— —, Anwendungen der 138
EDV 138ff.
EDVA, Aufbau einer 142ff.
EDVA-Blockschaltbild 144, 146
EDVA ES 1040 147f.
EDVA ROBOTRON 21 150
EDVA ROBOTRON 300 142, 146f.
EG-Verfahren 285
Eigenleitung 116f.
Eilrücklaufbewegung 380
Einbausicherungen 417f.
Einfallstellen 275
Einfetten 203
Einformbeispiele 267f.
Einfriertemperatur 221
Eingabegeräte 144ff.
Eingangs/größe 151, 163
—kanäle 151
—signal 156
—teilsystem 163
Einheiten 48ff.,
einheitliches System der elektronischen Rechentechnik (ESER) 147, 150
Einheits/bohrung 323
—signale 168, 170
—welle 322f.
Einlagerungsmischkristalle 191
Einlegekeile 79
Einsatz/härten 196, 198
—verfahren 198
Einschlüsse 276
Einschnürdehnung 207f.
Einsetzungsmethode 15
Einspannen von Werkstücken 368
Einsteckschlösser 417
Eisen 180, 183, 190, 202, 223
—, Anwendungsbereiche des 271
—, Behandlungszustand des 230
—, Benennung von 230
—erze 223
—karbid 193, 196
—legierungen 222
— -Kohlenstoff-Legierungen 192ff.
— - — -Schaubild 192ff.
— -Kokillenguß 271
—pulverelektroden 289
—sorten 230ff.
—werkstoffe 181
Ekadur 74
Ekalith 74
Elastizitäts/grenze 207, 209
—modul 180, 182ff., 209
Elastoplaste 72
Elektrik 101ff.
elektrische Einheiten 54f.
— Feldstärke 54
— Ladung 54, 66, 112
— Leistung 51, 54, 57, 66ff.
— Leitfähigkeit 68, 180
elektrischer Leitwert 68, 180, 182ff.
— Widerstand 55, 66ff., 180, 182ff.
Elektrizitätsmenge 54
elektrochemische Äquivalente 71, 413
— Korrosionsvorgänge 200, 205
elektrochemischer Korrosionsschutz 205
Elektrodentypen 288ff.
Elektro-Gas-Schweißverfahren (EG) 285f.
—hochofen 224
Elektrolyse 204
elektrolytische Spannungsreihe 205
Elektrolytkondensator 109, 113f.
Elektronen/gas 180
—strahl/ofen 228
— —schweißen 288
Elektronik 101ff., 108ff.
elektronische Daten/verarbeitung (EDV) 138ff.
— —verarbeitungsanlage (EDVA) 142ff.
elektronische Relais 116
— Schaltungen 119f.
Elektronmetall 185
Elektro/öfen 228, 256ff.
—schlackeschweißverfahren 286
—schweißverfahren (ES) 286
—stahl/ofen 227
— —verfahren 224, 228

elektrostatisches Meßwerk 325
Elemente, chemische 68ff.
— in der Kybernetik 151f.
Elementvorkommen 181
Ellipse 20, 25
Eloxieren 203
Emaillieren 203
Emitter 118
Endmaße 313
Energie 50, 53, 56
englisch Zoll 50
Entfernung der Metalloxide 202
Entfetten 202, 303
Entgasung 394f.
Entgasungsöfen 394
Entkernen 273
Entropiesatz 389
Entspannungsversuch 209
Epilox 74
Epoxidharze 74, 77, 303
Erd/gas 400, 404
—kruste 181
—verbindung 109
Ermüdungs/bruch 211
—erscheinungen 211
Erschmelzungsart 230
Erwärmungs/kurve 190
—verlauf 195
Erweichungstemperatur 221
Erweitern von Brüchen 13
Erzaufbereitung 223
ESER 147, 150
ES-Verfahren 286
Eutektikum 190ff.
Eutektoid 192
Evolventenverzahnung 134
Explosibilität, Gas- 402
Exponent 14
Exponentialfunktion, Werte der 44f.
Extrudieren 75
Extrusionsblasen 76
Exzenterpresse 281

Faktoren/flaschenzug 57
— zur Wechselräderberechnung 350
Falt/flügel 416
—versuch 214, 230
Farad 54
*Faraday*sche Gesetze 71
Farb/code, internationale 111f.
—kennzeichnung für Holzmodelle 262
— — — Widerstände 111f.
—überzüge 203
Fase 129
Fehlerfortpflanzung 18f.
Feilen 328, 330ff.
—arten 330
— von Flächen 367
— — Keilen 369
Feil/kloben 370f.
—maschine 331
Fein/drehmaschine 357
—guß 270f.
—meßzeuge 311ff.
—scheiben 355
—schleifen 357
Feinstbearbeitung 356
Feinzink-Guß-Legierungen 246
Feldstärke 54f.
Fern/gasnetz der DDR 400f.
—meßeinrichtung 323, 327
Ferrit 192ff.
—kernspeicher 111
Ferrolegierungen 222
Fertigschneider 342
Fertigungsverfahren 256ff.
Festigkeits/eigenschaften von Metallen, 182ff., 231ff.
—lehre 60ff.
—prüfverfahren 206ff., 211
Festigkeit von Gewinde 90
— — Rohren 93
Festwertregelung 167
Feuer/verbleien 204
—verzinken 204
—verzinnen 204
Filzscheiben 355
Flach/kant und Spitzkant 81
—keile 79
—kopfniet 84
—riemen 81
Flächen/bearbeitung 367
—berechnung 19f.
Flammenbildung, Gas- 287
Flamm/härten 198
—öfen 227, 256, 258, 279
—spritzen 77, 203
Flanken/durchmesser 85ff.
—spiel 88
Flanscharten 97
Flanschen 80, 92ff.
— für Gasrohre 96f.
—rohre 93f.
—schieber 97
Flaschen/schraubstock 370
—zug 57
Fliehpendel 325
Fließ/bahnen 274
—temperatur 221
Flip-Flop 120
Flügel/formen 416
—pumpen 381
—rad 325
Flüssiggasspaltung 400
Flüssigkeits/pumpen 379ff.
—stand 325
Fluidoplaste 72, 74
Fluß/stahlrohre 92ff.
—technik 147f.
Förder/mengen in Rohrleitungen 402
—strom 374
Fogesteuerung 164
Foliengießen 76
Form/änderungsvermögen 206, 214
—anlage, mechanisierte 269
—beschädigungen 274
—drehen 342
Formelzeichen 48f.
Formen 259ff.
Formerei 259ff.
Formerwerkzeuge 264f.
Form/gießen (Plast) 76
—herstellung 262ff.
—meißel 342f.
—pressen 75
—speicher 172
—spritzen 409
—stoffe 262, 265
—stoffeinschlüsse 276
—stücke 92ff., 96f.
—überzugsstoffe 264ff.
—verfahren 260f., 267ff.
FORTRAN 148
Fotodiode 117f.
Fräsdorn 337
Fräsen 328, 336ff., 363f.
— von Plasten 77
Fräser 336ff., 354
—brüche 338
—schleiflehre 355
Fräs/maschine 337f.
—meißel 338f.
*Francis*turbine 386
freie Elektronen 180
Frei/formschmieden 282
—strahlturbine 386
—winkel 328, 336, 339ff.
Frequenz 52
*Friedrich*sche Formeln 20
Fügen 256, 282ff.
Fühllehren 314
Führungs/größe 160, 163, 165ff.
—größengeber 166
—regelung 167
—steuerung 164
Füllstoffe 73f.
Fünferanalyse 217
Funkenlöschung 118

Galalith 73
Gallium 183
galvanische Bäder 204, 412f.
galvanische Elemente 109, 200
Galvanisieren 204
Galvanotechnik 412ff.
γ-α-Umwandlung 194
γ-Apparatur 215
γ-Defektoskopie 215
γ-Mischkristalle 192ff.
γ-Strahlen-Prüfverfahren 214f.
Gangzahl 88, 90f.
Garschaumgraphit 194
gasanalytisches Prüfgerät 402
Gas/anwendungs/anlagen 402f.
— —technik 402ff.
—aufbereitungstechnik 395, 399ff.
—beschaffenheit 395
—brenner 404f.
—erzeugungstechnik 394ff.
—feuerstätte 402
—fortleitungstechnik 401f.
—geräte 402
—geruch 402
—kompressor 382ff.
—konstante 393
—kühler 399f.
—nitrieren 198
—periode 397
—preßschweißen 288
—regleranlage 401
—reinigung 395, 399f.
—rohr/abschneider 353
— —flansche 96
— —gewinde 91
— —schraubstock 370
—sauger 399
—schweißen 287f.
—spritzverfahren 406
—technik 394ff.
—turbinen 392f.
—verteilungstechnik 401f.
—zusammensetzung 395, 397, 402f.
Geber für Führungsgrößen 160
Gebläse 224ff.
Gefüge 190ff.
—änderungen 195ff.
—zusammensetzung von Eisen 194f.
Gegentaktverstärker 119
Gelbguß 279
Genauigkeitsklassen (Modelle) 259
Generatoren 119, 394ff.
Generatorgas 403f.
Geometrie 19ff.
—, analytische 24f.
geometrische Konstruktionen 24f.
Germanium 116f., 183
—eigenleitung 117
—kristallgitter 117
Gesenk/platte 281
—schmieden 282
gesetzliche Einheiten 51ff.
gesinterte Hartmetalle 357ff.
Gestaltabweichungen 274ff.
gesteuerte Größe 164f.
Gewährleistungsumfang 230
Gewichtskraft 325
Gewinde 85ff., 341ff.
—bezeichnungen 88
—bohrer 351f.
—darstellung 131ff.
—festigkeit 90
—meißel 341f.
—messung 313f.
—passung 88
—rillen 131
—rohre 92ff.
—rollen 343
—schneidbacken 352
—schneiden 341ff., 348ff., 368
— — von Hand 351f., 368
—schneidwerkzeuge 341ff., 352ff.
—strähler 342
—tiefe 87ff.
—toleranzen 89
Gichtgas 224, 403
—reiniger 225
Gießen 256ff.
Gießereiöfen 256ff.

Gießerei/roheisen 222ff.
—werkzeuge 259ff.
Gieß/metalle 256
—pfanne 226f.
—verfahren 76, 271ff.
Gitter 417f.
—abstände 180, 418f.
—konstante 189
—länge 419
—maße 417ff.
—stäbe 417f.
—typen 189f.
Gleich/maßdehnung 208
—richter 110, 117f.
—setzungsmethode 15f.
—strom 101, 106
Gleichung einer Geraden 24f.
— ersten Grades 15
— zweiten Grades 16
Gleit/lager aus Plast 77f.
— —, selbstschmierende 278
—reibung 58f.
—systeme 190
Glühen 195f.
Glüh/farben der Stähle 196
—temperaturen 195
—test 219
Gold 183, 201
Goniometrie 21ff.
G-Profil 247ff., 252f.
Gradteilungen 130
Graphiteutektikum 194
Grat 274
graues Roheisen 224
Grenz/dicken von Stählen 215
—lehrdorne 313
—maße 315
—schicht 116f.
griechisches Alphabet 11
Grobkornglühen 196
Größtmaß 134, 315
Großgaswerk 399
Grund/einheiten 51ff.
—konstruktionen 24f.
—metall 191
—rechenarten 12
—schaltelemente 108f., 111ff.
—schaltungen der Ü-Glieder 159
Güte/gruppen der Stähle 231
—verhältnis 389
*Guldin*sche Regeln 20
Gummikleber 303
Guß/bezeichnung 230
—bronze 245
—eisen 195, 222ff., 256ff.
— —rohre 95
—fehler 273ff.
— —behebung 273, 277
— —klassifizierung 274ff.
—messing 244
—putzen 273ff.

Härtemessung 211ff.
—, dynamische 213
— nach *Brinell* 211f.
— — *Rockwell* 211f.
— — *Vickers* 211f.
Härten 195ff.
Härte/öl
—ofen 199f.
—temperaturen 196f.
Härtungsbeispiele 197
Hafnium 183
Hakenmeißel 347
Halb/adder 140
—kokille 263
—leiter/bauelemente 110f., 116ff.
— —dioden 117f.
— —widerstände 117f.
—messer 125
— — und Sehne, Verhältnis von 80
—rundniet 83
—versenkniet 83
—zeuge 230ff.
Haltezeuge 370ff.
Hammerschlag 279
Hand/bohrmaschine 335
—drehmeißel 348
—formerei 259, 267
—mutterbohrer 351
—scheren 353
—schweißen 382
—stampfer 264
Harnstoffharze 73
Hart/guß 223, 256
—löten 308f.
—lot 246
—lote 308
—metall-Drehmeißel 357ff.
Harze 72ff.
Haupt/sätze 389
—speicher 146f., 150
Hausanschlußleitung, Gas- 401
Hebel 56f.
Heißwind-Kupolofen 257
Heiz/periode 397
—wert 403
Herd/formerei 267
—frischen 224ff.
—guß 267
—werkzeuge 279
Heroult-Ofen 228
hexagonales Gitter 189f.
HF-Spulen 114
Hilfsenergie 165
Hinterdrehen 341, 343
Hinundherbiegeversuch 214
Hobel/maschine 332f.
—meißel 331
Hobeln 77, 331ff., 363
Hoch/druck-Kompressor 382f.
— —turbinen 386
—frequenzofen 257
—glühen 196
—leistungsmeißel 344
—ofen 223ff.
—stromtechnik 284
—temperaturentgasung 394
Höhenreitstock 337f.
Hohl/fräser 337
—keile 79
—zylinder 21
Holzmodelle 259, 262
Homogenisieren 196
Honen 357
*Hooke*sches Grundliniengesetz 207
H-Scheiben 356
Hub/einrichtung 384
—flügel 416
—kolbenmotoren 388ff.
—raummaße 389
—systeme, senkrechte 378f.
—verhältnis 389
Hüttenaluminium 237
Hutprofile 255
Hydraulik 374ff.
—systeme 374, 378f.
hydraulischer Widder 381
Hydromotoren 375ff.
Hyperbel 25

Impuls-Echo-Verfahren 216
—formerstufen 119f.
—regler 168
—zähler 111
Induktions/härten 198
—öfen 257f.
Induktivität 55, 114
industrielle Gasanwendungsanlagen 403
informationelles System 154, 156
Informations/aspekt 151
—darstellung 138f.
—parameter 157, 161, 326
—speicher 153
—übertragung 153, 156
Informen 256
Infrarotgasstrahler 405
Injektor 381
Innen/drehen 341
—gewinde 341f., 351
— —strahler 341
—kegel 127
Innen/maße 317ff.
—rundmeißel 341, 347
—schleifen 354
—taster 311
—türen 416f.
Inoxydieren 203
input 153
Installationsplan 102ff.
integrales Verhalten 158
integrierte Datenverarbeitung 138
— Schaltkreise 108
inter/kristalline Korrosion 201
—metallische Phase 191
—nationale Farbcode 111f.
I-Regler 168
Iridium 183
ISA-Toleranzsystem 316ff.
ISO-Gewinde 85ff.
Ist-Information 179
—maß 315

*Jäger*meißel 344

Kabel 108
Kadmium 183f.
Kalandrieren 76
Kalium 184
Kalorisieren 204
Kalt/auslagern 199
—klebeverfahren 301
—lauf/durchbrüche 276
— —kerben 276
—preßschweißen 288
—risse 276
—schroter 280
—stauchversuch 214
—wasserdruckprobe 94
—wind-Kupolofen 257
Kalzium 184
Kammerofen 394ff.
Kanaleinrichtungen 147
Kapazität 54, 113
*Kaplan*turbine 386
Kapselmesser 325
Karbamidharze 73
Karburator 400
Kaschieren 76
Kasten/formerei 267f.
—rost 274
Kavitation 200
Kegel 21, 23, 126f., 340, 344f.
—bolzenherstellung 348
—drehen 340, 343ff.
—gewinde 343
—räder 134
—winkel 344f.
Kehlnähte 300f.
Keile 79f.
Keilen 369
Keil/riemen 98ff.
— —scheiben 98
— —trieb 98ff.
—schieber 402
—winkel 328, 339f.
Kelvin 53
Kennfarben für Widerstände 111f.
keramische Kondensatoren 113
Kerbschlag/biegeversuche 200, 206, 210
—zähigkeit 210, 230
Kern/bleche 114
—durchmesser 85ff.
Kerne 259, 265, 267
Kern/formstoffe 265
—gratkerben 276
—herstellung 267ff.
—ladungszahl 69f.
—querschnitt 87, 89
—überzugstoffe 264ff.
—verlagerung 275
Kettenräder 135
Kfz-Gitter 189f.
Kilogramm 52
Kippstufe 111
*Kirchhoff*sche Gesetze 66
Klangprüfung 214
Klappkokille 263

Klebe/festigkeiten 305
—technik 301f.
— —, Vor- und Nachteile der 302
—verbindungen, Konstruktion von 305ff.
Klebflächenbehandlung 303f.
klebgerechtes Konstruieren 307
Kleb/stoffe 302
—stoffverarbeitung 304
Klebung, Grundregeln der 304f.
Klein-*Bessemer*-Birne 256, 258
— -*Siemens-Martin*-Ofen 256f.
Kleinstmaß 134, 315
Klemmlängen 84
Knickversuch 206, 210
Koaxialkabel 108
Kobalt 184, 190
—stahl 223
Kohlen/säure-Wasserglas-Verfahren 270
—stoff 192
— —gehalte 193f.
—vorbereitungsanlage 395
Kokillen 226f., 262f.
—guß 239ff., 246
— —maschine 271
Kolben/antrieb 162
—flächenverhältnis 383
—geschwindigkeit 390
—kompressor 382
—kraft 390
—pumpen 378ff.
Kollektor 118
Kommunikation 153
Kompressoren 382f.
Kondensatoren 109, 112ff.
Konjunktion 140
Konstanten, physikalische 71
Kontakt/kleber 301
—thermometer 325
Konvektionsrekuperator 257
Koordinateneinrichtungen 178
Kopfkreis 82
Kopierdrehmaschine 343
Kordel 343
Kordieren 343
Korrosion 200ff.
Korrosions/arten 200f.
—prüfung 218
—schutz 200ff., 406ff.
— —, elektrochemischer 205
— —überzüge 407
—verhalten 200ff.
Kosinussatz 23
Kräfte am Drehmeißel 345
Kraft 52
—magnete 114f.
—maschinen 386ff.
—stoffverbrauch 388
Kreis 20, 25ff.
—bewegung 79, 81
Kreiselpumpe 382
Kreis/frequenz 113
—gleichung 25
—kolbenmotor 392
—magnetisierung 217
—prozeß, *Carnot*scher 384
—ring 20
—säge 329ff.
—teilungen 130
Kreuzrändel 343
Kriechgeschwindigkeitsgrenze 209
Kristall/arten 190f.
—gemisch 190ff.
—gitter 116, 180
kristalliner Aufbau 180ff.
Kristallisations/geschwindigkeit 190
—keime 180
Kristallite 190
Kristalloplaste 72
Krümmer 94, 96
krz-Gitter 189f.
K-Scheiben 356
kubisch-flächenzentriert 189f.
— -raumzentriert 189f.
Kühlmittel 356
Kürzen von Brüchen 13
Kugel 21, 126
Kupfer 184, 201
— -Gußlegierungen 243ff.
—kristallisator 228
—rohre 94
Kupolöfen 256ff.
Kurbel/presse 281
—welle (Bemaßung) 125
Kurvensteuerung 172f.
Kurzlichtbogenschweißen 284
K-Wert 221
Kybernetik 151ff.
—, technische 152f.

Lackieren 203
Lacküberzüge 203
Ladung 54, 66
Längen/ausdehnung von Metallen 63f.
—toleranzen an Feingußteilen 270
Längs/keile 79
—schrumpfungen 295
Läppen 357
Lärmschutz für Pneumatik-Anlagen 384
Lager/aufpassen 368
— aus Plast 77f.
—spiel 78
Lamellengraphit 209
Lampenleistungen 101
Langdrehen 339f.
Lanthan 184
Laschennietung 84
Lastschalter 114
Laufrad 382, 386
Laval-Dampfdüse 387
Lebensdauer 152
Ledeburit 192ff.
legierter Stahl 223
Legierungen 191, 246
Legierungsmetalle 181
Lehm/formerei 268
—kernherstellung 268
Lehren 313f.
Leicht/bauprofile, Stahl- 181, 247ff.
—metalle 181, 237ff.
—metall/legierungen 237ff., 256
—profile 247ff.
Leistung 51, 53f., 57f., 66ff.
—, elektrische 51, 54, 66ff., 101, 107
—, mechanische 51, 53, 57f., 415
Leistungsfaktor 68
Leiterplatte 108
Leit/fähigkeit 64, 66ff., 180
—rad 382, 386
—spindeldrehmaschine 345f.
Leitungsverbindungen 108f.
Leit/werk 144ff.
—wert 55, 66, 68
Lernfähigkeit 153
Letternmetall 181, 191
Leucht/dichte 55
—stofflampen 101, 106
Licht/bogen/handschweißen 283
— —öfen 228, 257
— —schmelzschweißen 283
—einheiten 55f.
—technik 101ff.
—verteilung 106
Linien/arten 121f.
—gruppen 121f.
Links/gewinde 88, 131
—tür 416
*Lipowitz*metall 186, 309
Liquiduslinie 190ff.
Literleistung 388f.
Lithium 184
Loch/abstände bei Nietung 85
—bandstation 147
—dorn 280
Lochen 280, 353
Loch/fraß 200
—karte 141ff.
—kreis 80
—lehre 312
—maschine 353
—platte 281
—streifen 141ff., 176f.
—teilungen 129f.
Loch/versuch 206, 210f.
Lösch/spieß 279
—wedelhalter 279
Löslichkeit 190ff.
Löslichkeitsverhalten 219f.
Löten 308ff.
Löt/fett 308
—kolben 308
—lampe 308
—verbindungen 309
—wasser 308
—zinn 309
Logarithmen 16f., 36f.
—, natürliche 42f.
—tafeln 36ff.
Logikglieder 140
logische Operationen 139f.
Lote 246
Lot fällen 24
L-Signal 170ff.
Luft/federhammer 281
—kompressor 382ff.
Lumen 55
Lupolen 74
Lux 55

Magnesium 184f., 202
— -Gußlegierungen 238, 242
— -Knetlegierungen 238
Magnet/antrieb 162
—band 142
— —speicher 145ff.
—fluß 114
magnetische Feldstärke 55
— Prüfverfahren 216f.
Magnet/karte 142
—pulverprüfung 216f.
—spulen 114f.
Makro/lunker 275
—molekül 72
Mangan 185, 190
Manometer 324
Mantissen 36f.
Martensit 195f.
Maschinen/backenbohrer 351
—befehle 147f.
—, einfache 56f.
—elemente 79ff.
—formerei 259, 268f.
—hämmer 281
—karte 364
—mutterbohrer 351
—reibahle 333
—scheren 353
—schraubstock 370
—sprache 148
Maskenformverfahren 259, 270
Maß/abweichungen 275
Masse 52
Maße, ausländische 49
Maßeintragung 122ff., 127ff.
Masse-Leistungs-Verhältnis 389
Maß/hilfslinien 122f.
—ketten 129
—linien 122f.
—pfeile 123
—zahlen 122ff.
Mathematik 11ff.
mathematische Grundlagen (EDV) 139f.
— Modellierung 147
— Zeichen 11
Matrize 353
Mechanik 56ff.
mechanische Vorrichtungen 370ff.
mechanisch-technologische Prüfverfahren 206ff.
Mehrdrahtschweißung 286
mehrgängiges Gewinde 88
Mehr/kammerofen 228
—punktregler 168
—stoffsystem 190f.
Meißel/formen, Dreh- 339f., 347
—halter 341ff.
Meißeln 328ff.
Melaminharz 73
Membranantrieb 162

Meß/bereichserweiterung 66
—dynamo 325
Messen 165, 311ff.
Messerkopf 328, 337
Meßfühler 166, 324f.
Messing 244
Meß/ort 166
—schieber 311
—schraube 312
—steuerung 172ff.
—system 179
—uhr 315
—wandler 166
—werke 325
—zeuge 311ff.
Metall/atome 180
—bearbeitung, spanende 328ff.
Metalle 180ff.
Metall/eigenschaften 180ff., 195, 231ff.
— -Inertgas-Verfahren (MIG) 284f.
metallische Bindung 180
— Schutzschichten 204
— Werkstoffe 180ff.
Metall/kleben 301ff.
— —, Technologie des 303f.
—kunde 180ff.
—mikroskopie 218f.
metallographische Prüfverfahren 218f.
Metall/oxide 276
— —, Entfernung von 202
— -Papier-Kondensatoren 113
—pulvergewinnung 277f.
—scheiben 355
—spritz/anlage 410f.
— —drähte 408ff.
—spritzen 204, 406ff.
— —, Korrosionsschutz durch 406ff.
—verflüssigung 406
metastabiles System 193f.
Meter 51, 311
metrisches Gewinde 88ff.
MIG-Schweißverfahren 284f.
Mikro/elektronik 108
—lunker 275
—photographie, Maßstäbe der 218
Millibar 49
Mindestzugfestigkeit 231
Mipolam 74
Miramid 74, 77
Misch/kristalle 191ff.
—stelle 159, 166
Mittel/frequenzofen 257
—punkt 24
Mittigkeitslage 131
Modelle 259ff.
Modell/einrichtungen 259ff.
—methode 153
—platten 268f.
modifizierte Naturstoffe 73
Modul 81ff., 134
Modulator 119
Modulreihe 82, 134
Mol 56
*Mollweide*sche Formeln 23
Molybdän 185
Monomere 72
MOPS 148
*Morse*kegel 340
Motoren 388ff.
—öle 414
Motorleistung 388
Muffen/deckel 94
—gewinde 92f.
—rohre 93ff.
—schieber 97
Multi/plexkanal 145, 150
—plikations/karte 364
— —stelle 159
—plizieren 12, 17
—vibrator 111, 119f.
Muttergewinde 88
Muttern 86ff.

Nachbehandlung geschweißter Teile 294f.
— von Spritzschichten 411
Nachformsteuerung 172ff.
Nachlinksschweißung 288
Nachrechtsschweißung 288
Nachschneider 342
Nageleisen 281
Nahtformen 296ff.
Narbenkorrosion 200
Naß/guß 266
—schliff 355
natürliche Logarithmen 42f.
— Werte der Winkelfunktionen 38ff.
Natrium 185
Naturmodell 259
NC-Maschinen 176ff.
n-Eck 80
Negation 140
Neigung 126, 345
Neigungswinkel 126f.
NE-Metall-Kokillenguß 271
Nenn/druck 92, 97, 374
—durchmesser 85ff.
—maß 315
—spannung 106f.
—ströme 101, 107f.
—verdrängungsvolumen 375
—weite 92, 97, 374
Neper 46ff.
Netzfrequenzöfen 257f.
Neusilber 244
neutrale Faser 209
NF-Spulen 114
Nichteisenmetalle 181
nichtmetallische Schutzschichten 203
Nickel 185, 202
Niederdruck-Kokillenguß 272
—turbinen 386
Niedrigtemperaturentspannen 294
Niet/abstände 85
—arten 83
—längenzugabe 84
—verbindungen 83ff.
Niob 185
Nitrierdiagramm 198
Nitrieren 198
n-Leitung 116ff.
Nockensteuerung 172
Normal/glühen 195f., 294
—potentiale 201f.
*Norton*getriebe 345f.
numerische Steuerung 176ff.
— Zeichen 138
Numerus 16
Nuten 127
—fräser 336
—keile 79
—meißel 331
Nutzrechnung 148

Oberflächen/härten 198
—kennzeichnung 205
—veredlung 202f., 356, 406f.
Öfen zum Erhitzen 199f.
Öffner 109, 115
Ölsteine 355
Ohm 55
*Ohm*sches Gesetz 66, 68
ohmsche Widerstände 111f.
Operationsarten 139f., 145
Opferanoden 242
Oppanol 74
optische Einheiten 55f.
Osmium 185
Oszillator 119
Otto-Kreisprozeß 390
— -Motor 388ff.
output 153
Ovaldrehen 343
Oxidhäute 274

Palladium 186
Papierkondensator 113
*Papin*sche Dampfmaschine 386
Parabel 25
Parallel/drahtschweißung 286
—drucker 146f.
Parallele 24
Parallelendmaße 313
Parallelogramm 19
Parallel/schaltung 66f., 159
—schere 353
—schraubstock 370
Partialturbinen 386
partielle Datenverarbeitung 138
Paß/systeme 322f.
—toleranzen 322
Passungen 132ff., 317ff.
Passungsbeispiele 322
PD-Regler 161, 168
*Pelton*rad 386
Pendelkammer 213
Penetrierflüssigkeiten 217
Perfol 74
Periodensystem 68ff.
Peripheriegeräte 145ff.
Perlit 192ff.
Pferdestärke 51, 53
Pfostenabstand 417ff.
Phasenfaktor 67
Phenolharze 73, 303
Phenoplaste 72f., 77
Phosphatieren 203
Physik 48ff.
physikalische Konstanten 71
Piakryl 74
PID-Regler 168
Pilzkopfniet 84
PI-Regler 168
Plandrehen 340f.
Planimetrie 19f.
Planschleifen 354
Plasma/ofen 228f.
—schweißen 285
Plastatex 73
Plaste 72ff.
Plast/eigenschaften 72ff.
—formteile 75ff.
—halbzeuge 75ff.
—identifizierung 219ff.
—kennwerte 221
—lager 77f.
—prüfung 219ff.
—überzüge 203
—verarbeitung 75ff.
—verwendung 77f.
Platin 186, 201
Plattenfeder 325
Plattieren 204
p-Leitung 116ff.
Plexi/glas 74
—gum 74
Plungerkolben 381
Pneumatik 382ff.
pneumatische Arbeitszylinder 383
— Wegeventile 383f.
Polderprüfung 214
*Poldi*hammer 213
Polieren 354ff.
Polier/mittel 355, 357
—scheiben 355
—werkzeuge 264f.
Polmagnetisierungsverfahren 216
Poly/additionsprodukte 72ff.
—äthylen 74, 77
—akrylnitril 74
—amid 74, 77
—esterharze 73f., 77, 303
—isobutylen 74
—kondensationsprodukte 72ff.
—mere 72
—merisationsprodukte 72ff.
—methakrylat 74
polymorphe Metalle 190
Poly/styrol 72, 74, 77
—urethan 72, 74
—veresterungsprodukte 73ff.
—vinyl/azetat 74
— —chlorid 74ff.
Ponton 21
Poren 275
Positionieren 178
Potentialschwelle 116f.
Potenzieren 14

Potenzwerte 26ff.
P-Regler 168
Prelana 74
Preß/masse 72, 75
—passung 317, 322
—schweißen 288
Primär/ausscheidung 194
—gebiet 192ff.
—zementit 194f.
Probe/druck 92
—stäbe 206f.
Problemanalyse 148
Profile 230ff., 247ff.
Profil/kennzeichnung 248
—tiefe des Gewindes 87ff.
Programm 144f.
—ablaufplan 147, 149
— —, Sinnbilder für 149
Programmierer 177
Programmiersprache 148
Programmierung 147ff.
Programm/kanal 145
—steuerung 144, 164, 172f.
Propellerturbinen 386
—luftstrahltriebwerk 393
Proportionalitätsgrenze 207
Proportionalstab 208
Proportionen 13f.
Prozentrechnung 14
Prozeßrechner 138, 145
Prüf/bit 141
—rot ZIS 217
—verfahren, Werkstoff- 206ff.
Pulvermetallurgie 277f.
pulvermetallurgische Werkstoffe 277
Punkt/richtungsgleichung 25
—steuerung 178f.
— -zu-Punkt-Steuerung 178
PVC 74ff.
Pyramide 21
Pythagoras, Satz des 23

Quader 21
quadratische Gleichungen 16
— Profile 254
Quadrat/wurzeln 14f., 18
—zeichen 125f.
Quadrieren 18
Qualität 316
Quarz 262
Quecksilber 186
Querschrumpfungen 295
Quetschgrenze 209
Quotient 12

Rachenlehre 313ff.
Radial/kolbenpumpe 374f.
—turbinen 386
Radikand 14
Radioisotope 215
Radium 186
Radius 125
Radizieren 14f., 18
Rädervorgelege 345f.
Rändern 343
Räumen 333f.
Räumnadel 333
Rahmengitter 418f.
Raketentriebwerk 393
Randabstand 85, 128
Raspel 330
Raum/gitter 180, 189, 194
—inhalte 20f.
—winkel 52
RC-Verstärker 119
Reaktionsturbinen 386
reales System 153f.
Rechen/stab 17f.
—werk 144ff.
rechteckige Profile 254
Rechteckwellengenerator 119
Rechts/gewinde 88, 131
—tür 416
Regel/abweichung 165, 167
—aspekt 151
—einrichtung 165f.
Regel/größe 165f.
—klappe 163
—kreis 165
regelmäßiges Vieleck 80
Regeln 153ff., 165ff.
Regelstrecke 165f.
Regelungstechnik 165ff.
Regenerator 397
Regler 161ff., 165ff.
Reibahle 333
Reiben 328
Reibschweißen 288
Reibung 58f., 412f.
Reibungszahlen 58, 415
Reibverschleiß 219
Reihen/kopplung 151
—schaltung 66f.
—spannung 106
Reinaluminium 237
Reinigungsrohre 94
Reiß/nadel 310
—stock 310
Rekrillisationsglühen 196
Rektisol-Anlage 400
Rekuperativofen 394
Relais 114ff.
—arten 116
relative Atommassen 69f.
relativer Fehler 19
Resinoplaste 72
Resopal 73
Retorten 394ff.
Revolver/drehautomat 174
—köpfe 346ff.
reziproke Werte 18
Rhenium 186
Rhodium 186
rhomboedrisches Gitter 189
Rhomboid 19
Rhombus 19
Richthorn 281
Riefen 276
Riementrieb 79, 81
Ring/kluppe 352
—waage 324f.
Rippenheizrohr 93
Ritzhärtebestimmung 213
*Rockwell*härte 197, 212f.
römische Zahlzeichen 11
Röntgen-Defektoskopie 215
— -Feinstrukturuntersuchung 218
— -Prüfverfahren 214ff.
Rösten 223
Roheisen 195, 222ff.
—, Darstellung des 223ff.
—erzverfahren 227
—gewinnung 223ff.
—mischer 224, 226
Rohrabschneider 353
Rohre 92ff., 402
—, gußeiserne 94f.
Rohr/feder 325
—gewinde 91, 98
—leitungsmaterialien 401
—masse 93ff., 402
—reibungszahlen 401
Rolle 57
Roll/flügel 416
—gänge 228
—reibung 58f.
—verschleiß 219
Roses Metall 187, 309
Rotationsgießen 76
Rotguß 243
Rubidium 186
Rück/führschaltung 159
—kopplung 151
—schlagventil 376, 383f.
—sprunghärtemessung 213
Rüttel-Preßformmaschine 269
Rund/gewinde 90, 92
—meißel 342f.
—schleifen 354
russisches Alphabet 11
Ruthenium 186
Rutschkörper 279

Sägen 328ff.
—diagramm 364, 366
—gewinde 90, 92
— von Plasten 77
Sägezahngenerator 119
Säulenbohrmaschine 335
Salz/ausblühungen 274
—einschlüsse 276
Sand/formerei 266
—guß 239ff., 246
—schülpen 274
—strahlgebläse 202
Sankey-Diagramm 391f.
Saug-Hubpumpe 381
Schaben 333, 368
Schablonen 172, 259, 310f.
—formerei 268
Schadenslinie 211
Schäumen 77
Schalen 274
Schall/pegel 384
—sichtverfahren 216
Schaltelemente 108ff.
Schalter 115, 119
Schalt/geräte 110
—information 176
—kontakte 115, 325
—symbole 110, 115
Schaltungen 101ff., 119f.
Schaltzeichen und Symbole 108ff.
Schaumstellen 275
Scheiben 92
—federn 79f.
—fräser 336
—kolben 381
—kurven 172
Scheinleistung 67f.
Scherbeanspruchung 61
Schere 353
Scherversuch 206, 210f.
Schicht/pressen 75
—preßstoffe 72f.
—träger 411
Schiebe/flügel 416
—kokille 363
schiefe Ebene 57
Schienen 248
Schiffsdieselmotor 391f.
Schlackeneinschlüsse 276
Schlag/biegeversuch 206, 211
—härtemessungen 213
—lot 309
—torsionsversuch 206, 211
—zugversuch 206, 211
Schleifen 354ff., 363
— von Plasten 77
Schleif/funkenbilder 218
—maschinen 356
—regeln 355f.
—scheiben 354ff.
— —drehzahlen 356
—stein 355
Schleuder/guß 243, 272f.
—pumpen 382
Schlichtemarken 274
Schlichten 280f., 336, 340, 367
Schlicht/gesenk 280
—hammer 280
—meißel 347
Schließer 109, 115
Schließ/kopf 83f.
—system 417f.
Schlittenspanner 371
Schlösser für Türen und Tore 417ff.
Schloßbezeichnung 416ff.
Schlosserarbeiten, Arbeitszeiten für 366ff.
Schloß mit Besatzung 418
Schlüsselweite 81, 89ff.
Schmelz/index 221
—schweißverfahren 283ff.
—temperatur 64f., 180, 182ff.
—vorgang 224
—wärme 64f.
schmiedbare Metalle 279
Schmiedbarkeit 195, 279

Schmiede/feuer 279
—hammer 281f.
—herd 279
Schmieden 279ff.
Schmier/mittel 356, 414
—öle, Viskositätsgruppen der 414
Schmierung 328, 356, 412
Schmirgel/leinen 355
—papier 355
Schmitt-Trigger 119f.
Schneckentrieb 83
Schneid/backen 352
—eisen 352
—elektroden 289
Schneidenform 334ff., 338ff., 363ff.
Schneid/kluppe 352
—öl 414
—vorgang 353
—werkzeuge 264f., 353f.
Schnell/arbeitsstahl 197, 223, 230
—löseventil 384f.
Schnitt/geschwindigkeit 328, 357, 363ff.
—winkel 328, 339ff.
schräge Schrift 121
Schraube 57
Schrauben/abstände 85, 85ff.
—arten 86
—darstellung 134f.
—masse 90
—sicherungen 85
Schraub/stock 370ff.
—verbindung 85
—zwinge 371
Schrift, schräge 121
Schrittregler 168
Schroten 280
Schrotmeißel 280
Schrottverfahren 227
schrumpfarmes Schweißen 295
Schrumpfen 281
Schrumpfungen 294f.
Schruppen 331, 336, 340
Schruppmeißel 347
Schubbeanspruchung 61
Schutz/gas 283
— —lichtbogenschweißen 283
—schalter 114
—schichten 203f.
Schwabbeln 356
Schwabbelscheiben 355
Schwachgas 394f.
Schwärzeschülpen 274
Schwanzhammer 281
Schwarz/brennen 203
—metalle 181
Schweiß/ausführungsklassen 300f.
—barkeit der Stähle 231
—brenner 287
—drähte 288ff.
—elektroden 288ff.
Schweißen 282ff.
—, Richtlinien für das 300f.
—, Vor- und Nachteile des 283
Schweiß/folgeplan 294
—generator 290, 294
—gleichrichter 290, 294
—hitze 279
—kerndraht-Werkstoffe 290, 293
—nähte 300
—pulver 283, 290, 294
—richtungen 288
—stromquellen 290, 294
—transformator 290, 294
—verbindungen, Berechnung der 295, 300
—verfahren 283ff.
—versuch 214
Schwenkkokille 263
Schwer/metalle 181
—metallegierungen 243ff.
Schwimmer 325
Schwindmaße 259
Schwingflügel 416
Schwitzperlen 274
Sechs/eck 20
—kant 81
Segas-Verfahren 397f.
Sehne und Halbmesser 80
Seil/trieb 81
—trommel 57
Seitenmeißel 340ff., 347
Sekundär/ausscheidung 194
—gebiet 192ff.
—zementit 194f.
Sekunde 52
selektive Korrosion 201
Selektorkanal 145, 150
seltene Erdmetalle 180
Senken 328, 334f.
Senk/flügel 416
—lot 313
—niet 83
—rechtfräsmaschine 338
Serienschalter 101, 103
Servoventil 377f.
Setz/eisen 280
—hammer 280
—kopf 83
—zone 85
Shapingmaschine 332f.
Sheradisieren 204
*Shore*härte 213
Sicherheitszahl für Knickbeanspruchung 61
— — Rohre 93
Sicherung 109
Siebschaltung 118
Siedetemperatur 64f., 180, 182ff.
SI-Einheiten 48, 52ff.
Siemens-Martin-Ofen 226ff., 256ff.
— - — -Stahl 222ff.
Signal 153, 157, 323, 326f.
—arten 170, 326f.
—fluß/bild 171
— —plan 155f.
— — —, Symbole für 159
—leitungen 155f.
—träger 170
—verarbeitung 165
Silber 186, 201
Silikone 74ff.
Silikonharze 74, 303
Silizium 116, 186f.
Sinnbilder für Datenfluß 149
Sinter/lager 412f.
—metalle 181, 277f.
Sintern 256, 277
Sinus/satz 23
—wellengenerator 119
Skleroskop 213
Sohlkanal 394
Soliduslinie 190ff.
Soll-Information 179
— -Ist-Vergleich 179
—wertgeber 160
Sonder/roheisen 222f.
—schmelzverfahren 228
—schweißverfahren 288
Spalt 386
—vergasungsanlagen 396ff.
Spanneisen 371
Spannen bei Schlosserarbeiten 368
Spannpatrone 373
Spannung 66ff., 206ff.
Spannungen beim Schweißen 294
Spannung für elektrische Anlagen 101, 106
Spannungs/armglühen 294
— -Dehnungs-Schaubild 207f.
—freiglühen 195f.
—korrosion 201
—messer 109
—querschnitt 87
—reihe 205
— -Stauchungs-Schaubild 209
— -Verformungs-Schaubild 209
Spannzeuge 370ff.
Speicher/platzbelegung 144
—schaltung 111
—steuerung 164
—system, hydraulisches 380f.
—werk 144ff.
Speiser 266
Spektral/analyse 218
—automaten 218
Sperr/richtung 118
—schicht 116f.
—ventil 376
spezifischer elektrischer Widerstand 55 66f.
— Kraftstoffverbrauch 388
spezifische Wärmekapazität 53, 63f., 393
Spiel 317
—passungen 317, 322
Spindelpresse 281
Spitzenspiel 89
Spitzkant und Flachkant 81
Sprachumwandler 150
Sprengniet 84
Spritz/alitieren 406
—gießen 76
—kugeln 276
—pistole 406, 411
—pressen 75
—schichtdicke 407ff.
—technologie 410ff.
—verfahren 204
Sprungfunktion 156f.
Spule 109, 114f.
S-Scheiben 356
Stabelektroden 288ff.
stabiles System 293f.
Stadtgas 397ff.
Stahl 194ff., 222ff., 230
— Behandlungszustand von 230
— Benennung von 230ff.
—eigenschaften 231ff.
—erzeugung 224ff.
—fenster 421f.
—gebiet 194f.
—gitter 417ff.
—gruppen nach GOST 236
—guß 222f., 256ff.
—leichtbauprofile 247ff.
—marken 197ff.
—roheisen 222f.
—rohre 92ff.
—sorten 222, 230f., 236f.
—spritzdrähte 410
—tore 416f.
—türen 416f.
—zusammensetzung 231ff.
Stampfwerkzeuge 264
Standard-Antriebsaggregate 378
—interface 148
—versuch 206
Standhärtung 198
Stanzvorrichtungen 311
Starkgas 394f.
statische Kennlinie 157
— Prüfverfahren 206ff.
Stauchen 209, 230, 279f.
*Stauffer*buchsen 79f.
Stauscheibe 325
Stechmeißel 347f.
Steck/bausteine 108
—dose 102ff.
—verbindungen 110, 115
Steigung 85ff., 344f.
Steinkohlenkokerei 399
Stellantrieb 162
Stellen 165
Stell/glieder 162f., 166f.
—größe 163, 165ff.
—motor 166f.
—ort 166f.
Stereometrie 20f.
Sternschaltung 67f.
Stetigbahn-Steuerung 178
Steuer/befehl 145
—blockkombination 381
—blöcke 378
—einheiten 377, 383f.
—einrichtung 163
—entfernung 165
—gerät 163
—kette 164

Steuern 153ff.
Steuer/programm 150
—spannung 118
—strecke 163f.
Steuerungen 164f., 176ff., 179
Steuerungstechnik 164f.
Steuerwerk 144ff.
Stiftschrauben 131, 351
Stirn/fräser 336f.
—raddarstellung 135
Stockschere 353
Stör/größe 163, 165, 168
—stellenleitung 116f.
Stoffmenge 56
Stoßdruck 93
Stoßen 331ff.
Stoß/maschine 332f.
—meißel 331
Strähler 341f.
Strahlen 273
Strahlturbinentriebwerke 393
Strahlungs/einheiten 56
—quellen 215
Strang/guß 272f.
—pressen 75
—spannung 106
Strecken 279
—mittelpunkt 24
—steuerung 178f.
Streckgrenze 207f., 230
Strömungsverschleiß 219
Strom/durchflutungsverfahren 217
—messer 109
—stärke 60ff., 101, 107f.
— — und Leistung 107
—ventil 376f.
Strontium 187
Struktur 152
St-Scheiben 356
Stufenscheiben 345f.
Stumpf/schweißen 286
—stöße 300
Stutzen 96
Styroflex 74
Sub/trahieren 12
—traktionsmethode 16
Sudverfahren 204
Sulfonitrierung 198
Support 332
System/aspekt 151ff.
—, metastabiles 193f.
—programme 150
—, stabiles 193f.
—unterlagen 150
— ursamat 168f.

Tandemschweißung 286
Tangenssatz 23
Tangente 24
Tangentengleichung 25
Tangentialkeile 79
Tantal 187
Tastspeicher 172
Tauchen 76
Tauch/glocke 325
—härten 198
—verfahren 204
technische Kybernetik 152f.
technisches Eisen 223
— Zeichnen 121ff.
technologische Untersuchungen 214
Teerüberzüge 203
Teflon 74
Teil/kopf 337f., 349ff.
—kreis 80, 82
Teilung 81f.
Teller/scheibe 354
—verschiebung 344f.
Temperatur 53, 325, 404
Temper/guß 222f., 256, 258
—kohle 194
—ofen 258
Tesla 55
tetragonal-raumzentriert 189
Thallium 187
thermische Analysen 218
thermische Relais 116
Thermistor 117f.
Thermit-Schweißverfahren 283
Thermo-Element 325
—plaste 72ff.
—scheiben 421
Thomas/birne 226ff.
—stahl 222ff.
—verfahren 226f.
Thorium 187
Thyristor 111, 117
Tief/einbrandelektroden 289
—ofen 226f.
—ziehversuch 214
Tiegelofen 256, 258
Titan 187, 189
Toleranzen 132ff., 315ff.
—feld 315ff.
— für Gewinde 89
— und Passungen 315ff.
Ton-Wasserglas-Verfahren 270
Topfscheibe 354
Tore aus Stahl 416f.
Torr 49, 53
Torsionsversuch 206, 209ff.
Totzeitverhalten 158
Trägerstoß 301
Trägheitsmomente 61f.
Tragtiefe beim Gewinde 87ff.
Trans/ferpressen 75
—formator 109, 114
Transistoren 110f., 117ff.
transkristalline Korrosion 201
Transportbefehl 145
Trapezgewinde 91f., 342
Treibstellen 274
Trennen 256, 328ff.
Treppen/schalter 101, 105
—schraubstock 370
Trial-error-Methode 153
Trigger 119f.
Trigonometrie 23
Trimmer 109, 113
Trivialnamen 70f.
Trocken/guß 266
—reinigung 399
—schliff 355
Trolit 73
Trommeln 356
Trommel/ofen 257f.
—revolverdrehmaschine 348
—speicher 146
T-Stutzen 96
Tüpfelprobe 217f.
Türen aus Stahl 416f.
Tunneldiode 117
Turbine 382, 386ff.
Turbinenluftstrahltriebwerk 393
Turbo/kompressor 382f.
—pumpe 382
Tuschieren 368
Tuschierplatte 313

Über/bits 141
—druckturbinen 386
über/eutektisch 192ff.
—eutektoid 192ff.
Über/fall 325
—gänge 94
—gangspassung 317, 322
—lappungsnietung 83f.
—maß 317
—setzung 81ff.
—setzungsprogramme 150
—struktur 191
—tragungsglieder 155ff.
— —, Grundschaltungen der 159
—zugsstoffe 266
Ultraschall-Prüfverfahren 216
—schweißen 288
Umdrehungs/fläche 20
—körper 20
Umfangsgeschwindigkeit 81
— beim Keilriemenantrieb 98f.
— für Zahnräder, größte 83
Umformen 256, 279ff.
Umformer 161
umhüllte Elektroden 298ff.
Umkehrspülung 389
Umrechnung Arbeit/Energie 50
— ausländischer Maße 49
— Kilowatt/PS 51
— Neper/Dezibel 48ff.
— Torr/Millibar 49
— von Druckeinheiten 51
— — Leistungseinheiten 51
— Zoll/Millimeter 50
Umrechnungsdiagramme zum Härten 212f.
Umschalter 110, 115
Umschlingungswinkel 98f.
Umschlüsselung für Stahl 237
Umschmelzverfahren 228
Umsetzer 161
unberuhigte Stähle 231, 236
unedle Metalle 181, 201
Universal/diode 117
— -Meßständer 315
—teilkopf 349ff.
Univibrator 120
unter/brochene Nähte 300
—eutektisch 192ff.
—eutektoid 192ff.
Unter-Pulver-Schweißverfahren (UP) 283ff.
—wasserschweißelektroden 289
UP-Schweißverfahren 283ff.
Uran 187
Urformen 256ff.
Urform/werkstoffe 264
—werkzeuge 259ff.
ursamat 168f.

Vakuum-Druckanlage 277
—gießen 229
— -Induktionsofen 228
— -Tiefziehen 76
Valenzelektronen 116
Vanadin 187
—stahl 223
Varistor 117f.
Ventilator 383
Ventile 97f., 375ff.
Verarbeitungsbefehl 145
Verbindungselemente 79
Verbrennungs/druck 390
—kraftmaschinen 387ff.
—wärme 403
Verbund/fehler 276
—guß 245
Verdampfungswärme 64
verdeckter Herdguß 267
Verdichteröl 414
Verdichtung 389f.
Verdichtungs/änderung 389f.
—druck 390
—verhältnis 389f.
Verdrehen 281
Verdrehversuch 206, 209f.
Vergasung 395ff.
Vergleichen 165
Vergleicher 165, 167
Vergüten 195ff., 199, 237
Verjüngung 126, 344f.
Verkokung 394f.
Verkokungsofen 394ff.
verlorene Formen 259ff.
verlorener Kopf 266
Verlustleistung 415
Vernickeln 204
Versatz 275
Verschleiß/festigkeit 198, 406ff.
—prüfung 219
—schutz 408f.
Verschlüsselung 141f.
Verstärken 165
Verstärker 111, 117ff., 161
Verstärkungsfaktoren 119
Verstampfungen 275
Verwandeln von Brüchen 13
Verzweigungsstelle 159
*Vickers*härte 212f.

Viel/eck 20, 80
—meißeldrehmaschine 344
Vier/kant 81
—kante für Werkzeuge 366f.
—takt/motor 288ff.
— — -Schiffsdieselmotor 391f.
Vinidur 74
Viskositätsgruppen der Schmieröle 414
Vitroplaste 72
Vollturbinen 386
Volt 54
Volumenberechnung 20f.
Vorrichtungen 370ff.
Vorrichtungsbaukastenreihen 372f.
Vorsätze der Einheiten 48
Vorschlaghammer 279f.
Vorschneider 342
Vorschub 328, 357, 363ff.
—härtung 198
—system 379f.
Vorspannung 85
Vulkanfiber 73

Wärme/ausdehnungskoeffizienten 63f., 180, 182ff.
—behandlung 195ff.
—dämmwert 66
—einheiten 53f., 63f.
—elektroden 289
—inhalt des Dampfes 388
—kapazität 63f., 393
—kraftmaschinen 386ff.
—lehre 63ff.
—leitfähigkeit 64ff., 180, 182ff.
—werte vergütbarer Stähle 199
Wäscher 395ff.
Wahrscheinlichkeit 152
Walzenstraße 226ff.
Walz/stahl 223
—werk 226, 228
Wanddicke bei Rohren 93ff.
Wandler 111, 160f.
*Wankel*motor 392
Warm/auslagern 199
—badhärtung 197
—formgebung (Richtwerte) 197
—klebeverfahren 301
—lochversuch 214
—risse 276
—säge 329
—schroter 280
—zugversuch 208
Waschkühler 399f.
Wasser/dampftabellen 388
—kraftmaschinen 386
—strahlpumpe 381
—töpfe 401
—turbine 386
—waage 312
Watt 54
Wechsel/plattenspeicher 147
— räderberechnung 348ff.
—schalter 101, 104
—spannung 68, 108
—strom 68, 106, 108
Wegeventil 376f.
—, pneumatisches 383f.
Weg/information 176
—plansteuerung 165
Weich/eisenmeßwerk 325
—glühen 195ff.
weich/löten 308f.
—lote 191, 246, 308f.
weißes Roheisen 224
Weiß/glut 279
—metalle 181
Wellen 79f.
—durchmesser 79
Wellrohr 325
Wendeformmaschine 269
Werkstoff/analysen 217f.
—bezeichnungen 230f.
—fehler 276
—prüfung 206ff.
— —, chemisch-technische 217f.
— —, dynamische 210f.
— —, magnetische 216f.
— —, mechanisch-technologische 206ff.
— —, metallographische 218f.
— — mit Penetrierflüssigkeiten 217
— — — Röntgen- und Gammastrahlen 214ff.
— — — Ultraschall 216
— —, statische 206ff.
— —, zerstörungsfreie 214ff.
Werkzeuge 230ff., 259ff.
Werkzeug/kegel 367
—maschine, gesteuerte 171ff.
—stähle 197
—stahl 223
— — -Gütestufen 230
Wertigkeit 70f.
Wertmarkenbit 141
Wheatstone-Schaltung 66
*Whitworth*gewinde 88ff., 342
Widder, hydraulischer 381
Widerstände 55, 66f., 109, 111f.
—, Kennzeichnung der 112
—, ohmsche 111f.
Widerstands/momente 60ff.
—ofen 258
—schweißen 286f.
—thermometer 325
WIG-Verfahren 285
Wilaphan 73
Wind/erhitzer 225
—frischverfahren 224ff.
Winkel 22, 310, 344f.
—fräser 337
—funktionen 21ff.
— —, natürliche Werte der 38ff.
—geschwindigkeit 81
—maße 122, 130
—messer 314f.
—schablone 342
—schrumpfungen 295
—stahl 247ff.
Wirbel/sintern 77, 203
—strom 325
Wirk/leistung 67f.
—richtung 164
Wirkungs/grad 386ff.
—weg 156
Wirkwiderstände 67
Wismut 187f.
Wobbezahl 403
Wöhler-Diagramm 211
Wolfram 188
— -Inertgas-Verfahren (WIG) 285
Wolpryla 74
Woods Metall 183f., 309
Wortmarkenbit 141
Würfel 20
Wulst-Stumpfschweißen 287
Wurzel/werte 26ff.
—ziehen 14f.

Zäsium 188
Zahlen/darstellung (EDV) 139
—systeme 139
—tafeln 25ff.
Zahn/rad/berechnung 82
— —darstellung 134f.
— —einformung 268
— —pumpe 374f., 381
— — trieb 79, 81f.
—räder 81f.
Zarge 416
Z-Diode 110, 117
Zeichen 138f.
Zeit/bruch/einschnürung 209
— —dehnung 209
— —linien 208
—plan/regelung 167
— —steuerung 165
—schaltung 111
—stand/festigkeit 209
— —versuch 208f.
Zelluloid 73
Zellulose 72f.
Zementieren 198
Zementit 191ff.
—eutektikum 193
Zementsandformverfahren 269f.
Zentraleinheit 145ff.
Zentrier/bohrer 334
—winkel 310
Zentrifugalpumpe 382
Zer 188
Zerreiß/festigkeit 207
—versuch 206ff.
Zersetzungstemperatur 221
zerstörungsfreie Werkstoffprüfung 214ff.
Ziehschleifen 357
Zink 188, 202
Zinn 188, 190, 202
—bronze 243
—lote 309
Zirkel 310
Zirkonium 188, 190
*Zoelly*turbine 387f.
Zollmaßsystem 311
Z-Profil 247ff.
Zubrand 256
Zug/beanspruchung 60, 195, 207f., 231
—magnete 114
—versuch 206ff., 211
Zunder 274
Zusatz/element 191
—speicher 146
—werkstoffe 283
Zuschläge 223, 225
Zustandsdiagramm 190ff.
Zuverlässigkeit 152
Zwei/punkt/gleichung 24f.
— —regler, Signalflußplan eines 155
—stoffsysteme 190f.
—taktmotor 388ff.
Zyanisieren 198
Zylinder 21
—bohrmaschine 325
—leistung 390
—schloß 418
zylindrischer Ring 21