

CHEMIE FÜR METALLBERUFE



LEHRBÜCHER FÜR DIE BERUFSAUSBILDUNG

CHEMIE

FÜR METALLBERUFE

Mit 122 Abbildungen

Zweite, durchgesehene Auflage



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN • 1953

Das vorliegende Werk wurde verfaßt von einem Autorenkollektiv

RUDOLF JUNGNICKEL

Berufsschullehrer an der Betriebsberufsschule des Schwermaschinenbaues
Karl Liebknecht, Magdeburg

MAX KARTHE

Berufsschullehrer und Fachspartenleiter für Naturwissenschaften an der
Berufsschule Metall in Leipzig

KARL-HEINZ LEHMANN

Stellvertretender Schulleiter an der Betriebsberufsschule Regis der
Braunkohlenverwaltung Borna

DR. ERNST ESTEL

Oberschullehrer und Lehrbeauftragter am Physikalischen Institut der
Universität Leipzig

WALTER HEIDEMANN

Berufsschullehrer an der Berufsschule für Gartenbau und Landwirtschaft,
Markkleeberg bei Leipzig

DR. WERNER RENNEBERG

Dozent an der Pädagogischen Fakultät und Leiter des Chemischen Labo-
ratoriums des Institutes für praktische Pädagogik der Universität Leipzig

in Verbindung mit der Redaktion Lehr- und Fachbuch

Für kritische Durchsicht jeweils einzelner Abschnitte des Manuskriptes
und für zahlreiche Verbesserungsvorschläge sind wir dem Kollegen Lam-
bert Kolar, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Eisenforschungsinstitut,
Berlin-Hennigsdorf, sowie den Kollegen Ludwig Kolb, Dozent am Insti-
tut für Lehrerbildung, Leipzig, und Heinz Röllig, Dozent für Chemie-
methodik der Lehrerbildungskurse des Staatssekretariats für Berufs-
ausbildung, Dresden, zu besonderem Dank verpflichtet.

Redaktionsschluß: 10. 4. 1953

Bestell-Nr. 9525

2,85 DM · 84. bis 143. Tausend · Lizenz Nr. 203 · 1000/53-BI a-44/53
Satz: VEB Deutsche Wertpapierdruckerei, Leipzig (III/18/185)
Druck: VEB Landesdruckerei Sachsen, Dresden A 1 (III-9-5)

V O R W O R T

Zur Erfüllung unserer wichtigen wirtschaftlichen Aufgaben sind gut ausgebildete Facharbeiter notwendig.

Unsere Metallfacharbeiter müssen umfassende chemische Grundkenntnisse erwerben, um die Arbeitsvorgänge richtig zu verstehen.

Bei der Ausbildung muß der theoretische Unterricht deshalb eng mit der Praxis verknüpft werden. Diesem Ausbildungsprinzip muß auch das Lehrbuch entsprechen. Nach dem Erscheinen der vom Staatssekretariat für Berufsausbildung herausgegebenen neuen Ausbildungsunterlagen war erstmalig die Möglichkeit gegeben, Lehrbücher in allen Einzelheiten mit dem Lehrplan zu koordinieren.

Die „Chemie für Metallberufe“ ist für den Chemieunterricht an Berufsschulen bestimmt. Der in der Ausbildung stehende junge Facharbeiter soll dieses Werk benutzen, um den in der Schule erarbeiteten Stoff nochmals in häuslicher Arbeit zu durchdenken und zu vertiefen. Aber auch in der Unterrichtsstunde soll das Lehrbuch sowohl dem Schüler als auch dem Lehrer Arbeitsunterlage sein und Anleitung geben.

Das Buch wurde streng dem Lehrplan entsprechend gestaltet und demgemäß in 6 Ausbildungsabschnitte unterteilt. Wir haben uns bemüht, das Werk klar zu gliedern und leichtverständlich und gegenwartsbezogen zu gestalten. Die eingefügten chemischen Unterrichtsversuche sind derart ausgewählt, daß sie von jeder Lehrkraft ohne Schwierigkeiten durchgeführt werden können. Die jeweils benötigten Lehrmittel sind unmittelbar unter der Überschrift des betreffenden Unterrichtsthemas

angegeben. Durch Aufgaben und Fragen am Schluß eines jeden Kapitels wird dem Lernenden Gelegenheit geboten, zu überprüfen, ob er den Stoff vollständig verstanden hat und beherrscht. Gleichzeitig wird dadurch eine Vertiefung des Wissens erzielt. Wichtige Fachausdrücke und Fremdwörter werden in einem besonderen Verzeichnis erklärt. Das Werk enthält viele Abbildungen, die den Stoff veranschaulichen und die Verbindung mit der Praxis herstellen sollen.

Mit der zuversichtlichen Hoffnung, daß diese Arbeitsunterlage einen Beitrag zur Qualifizierung unserer werktätigen Jugend leistet, wird das Buch dem heranwachsenden Facharbeiter in die Hand gegeben.

AUTORENKOLLEKTIV UND VERLAGSREDAKTION

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT	3
-------------------	---

1. Ausbildungsabschnitt: 1. bis 3. Monat · 13 Stunden
--

1. GRUNDLAGEN	9
a) Elemente	10
b) Atome	12
c) Moleküle	13
d) Gemenge und Verbindung	13
e) Wichtige Verbindungen	19
Aufgaben	19
2. SAUERSTOFF UND WASSERSTOFF	20
a) Sauerstoff	20
b) Wasserstoff	25
c) Oxydation und Reduktion	27
d) Wasser	29
e) Wasserstoffsperoxyd	30
Aufgaben	31
3. LUFT	31
a) Zusammensetzung und Eigenschaften	32
b) Luftverflüssigung	34
Aufgaben	35
4. VERBRENNUNG UND ENTFLAMMBARKEIT	35
a) Voraussetzungen	36
b) Flammpunkt und Entzündungstemperatur	36
c) Leicht entflammbare Stoffe	39
d) Brandgefahren im Betrieb	41
Aufgaben	43
5. WIRKUNG VON FEUERSCHUTZSTOFFEN	43
a) Feuerhemmende Schutzmittel	43
b) Feuerlöschmittel	44
Aufgaben	48

6. KOHLENSTOFF	49
a) Modifikationen	49
b) Feste Brennstoffe	52
c) Kohlenstoffverbindungen	56
Aufgaben	57

2. Ausbildungsabschnitt: 4. bis 6. Monat · 12 Stunden
--

7. LÖSUNGEN	58
a) Lösungen und Löslichkeit	58
b) Technische Bedeutung der Lösungen	61
c) Diffusion	64
d) Emulsionen	66
Aufgaben	66

8. SÄUREN, BASEN, SALZE	67
a) Säuren	67
b) Basen und Laugen	71
c) Salze	73
d) Neutralisation	78
e) Hydrolyse	80
f) Beiz-, Löt- und Flußmittel	80
Aufgaben	83

9. KORROSION UND KORROSIONSSCHUTZ	83
a) Allgemeine Zusammenhänge	83
b) Verhalten von reinem Eisen und legierten Stählen in feuchter Luft, in sauren und alkalischen Flüssigkeiten	86
c) Der Vorgang des Rostens	88
d) Rostschutzmaßnahmen	89
e) Einfluß von Säuren, Laugen und Salzen auf Nichteisenmetalle	91
f) Elektrolytische Korrosion	94
Aufgaben	96

10. ROHEISENGEWINNUNG	96
a) Eisenerze und ihre Aufbereitung	96

3. Ausbildungsabschnitt: 7. bis 9. Monat · 13 Stunden
--

b) Hochofenprozeß	101
Aufgaben	109

11. STAHLGEWINNUNG	109
a) Windfrischen	109
b) Stahlgewinnung im Siemens-Martin-Ofen	114
c) Herstellung von Edelstählen	117
d) Einfluß der Legierungsbestandteile auf die Eigenschaften des Stahles	119
e) Zusammensetzung und Eigenschaften der wichtigsten Bau- und Werkzeugstähle	121
Aufgaben	122

12. GUSSEISEN		123
a) Grauguß und Hartguß		123
b) Stahlguß		125
c) Temperverfahren		126
d) Kohlenstoffgehalt und Eigenschaften der Gußeisensorten		127
Aufgaben		129

4. Ausbildungsabschnitt: 10. bis 12. Monat · 6 Stunden

13. CHEMISCHE VORGÄNGE BEI DER WARMBEHANDLUNG DER STÄHLE		130
a) Kristallform und Gitteraufbau des Eisens		130
b) Gefügebau des Stahles		133
c) Gefügeänderungen im Stahl beim Erwärmen		134
d) Gefügeänderungen des Stahles beim langsamen und schnellen Abkühlen		137
e) Gefügeänderung des Stahles beim Anlassen		139
f) Feingefüge nach Glühbehandlungen		139
g) Oberflächenschäden nach Glühbehandlungen		140
Aufgaben		141

5. Ausbildungsabschnitt: 13. bis 15. Monat · 13 Stunden

14. NICHTEISENMETALLE		142
a) Leichtmetalle		142
b) Unedle Schwermetalle (Buntmetalle)		149
c) Lagermetalle		158
d) Lote		161
Aufgaben		165
15. HARTMETALLE		166
a) Härteprüfverfahren		167
b) Stellite		167
c) Metallkarbide		168
d) Sintermetalle		169
e) Eigenschaften der Hartmetalle		171
f) Arten und Bezeichnung der Hartmetallsorten		173
g) Nitride		174
Aufgaben		176
16. OBERFLÄCHENSCHUTZ UND VEREDELUNGSVERFAHREN		176
a) Notwendigkeit von Oberflächenschutz und Veredelungsverfahren		176
b) Vorbehandlung von Metalloberflächen		177
c) Chemisch erzeugte Schutzschichten auf Metalloberflächen		178
d) Elektrolytisch aufgetragene Metallüberzüge		180
e) Vergiftungsgefahren bei den Oberflächenschutz- und Veredelungsverfahren		183
Aufgaben		187

6. Ausbildungsabschnitt: 16. bis 18. Monat · 12 Stunden

17. SCHMIERMITTEL	188
a) Zweck der Schmierung	188
b) Schmiermittelarten	189
c) Charakteristische Eigenschaften der Schmiermittel	192
d) Prüfung der Schmiermittel	193
e) Schneid- und Kühlmittelöle	194
f) Aufbewahrung und Behandlung	196
Aufgaben	196
18. SCHLEIFMITTEL	197
a) Zweck und Wirkungsweise des Schleifens	197
b) Formen und Abmessungen von Schleifscheiben	198
c) Material	198
d) Körnung	202
e) Bindung	202
f) Härte der Schleifscheiben	204
g) Gefüge	205
Aufgaben	205
19. KUNST- UND PRESSSTOFFE, GUMMI, LEDER	206
a) Zellulosekunststoffe	207
b) Kondensationsstoffe (härtbar)	208
c) Polymerisationsstoffe (nicht härtbar)	209
d) Naturkautschuk, Leder	211
e) Silikone	212
Aufgaben	213
20. ATOMPHYSIK	214
a) Geschichtlicher Überblick	214
b) Atomaufbau	215
c) Das Periodensystem der Elemente	217
d) Ionisierung	219
e) Atomzerfall	219
f) Radioaktivität	220
g) Atomzertrümmerung	222
h) Technische Verwertung der Atomenergie für friedliche Zwecke	224
Aufgaben	224
FACHAUSDRÜCKE UND FREMDWÖRTER	225
SACHVERZEICHNIS	228

1. Ausbildungsabschnitt

1. bis 3. Monat · 13 Stunden

1. Grundlagen

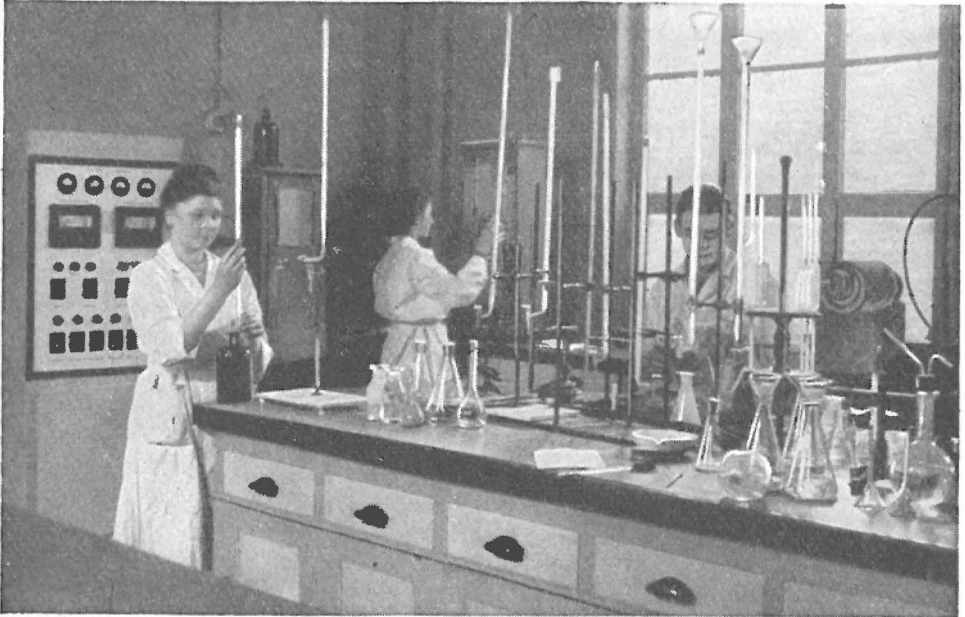


Abb. 1. Laborassistenten untersuchen Stahl im Laboratorium einer Maschinenfabrik.

Das Foto gibt uns einen Einblick in das Laboratorium einer Maschinenfabrik und zeigt die Arbeit einiger Laborassistenten, die mit der Untersuchung von Stahl beschäftigt sind. In unseren großen volkseigenen Betrieben ist ein solches Prüflabor die unerläßliche Voraussetzung für die Einhaltung der vorgeschriebenen Qualitätsbestimmungen. Hier prüft man z. B. die in der Produktion geschaffenen metallischen Werkstoffe auf Zusammensetzung, Güte und andere wichtige Kennzeichen. Gleichzeitig werden dadurch die Grundlagen für die Entwicklung neuer, hochwertiger Stahl- und Gußeisensorten geschaffen.

Im Fünfjahrplan wird unter § 3 „Forschung und Technik“ folgendes angeordnet:
„Die Entwicklung der Friedenswirtschaft der Deutschen Demokratischen Republik und die damit verbundene Steigerung des Wohlstandes der Bevölkerung hat zur Voraussetzung, daß in der gesamten Volkswirtschaft mit allen Kräften der technische Fortschritt gefördert wird.“

Um dieses Ziel zu erreichen, ist es notwendig, die Arbeit der Wissenschaftler und Techniker in Forschungsstellen, Laboratorien und Konstruktionsbüros allseitig zu entwickeln und die Arbeitsergebnisse ohne Verzögerung der Produktion nutzbar zu machen . . .“

Diese Anordnung zeigt, wie notwendig die Anwendung wissenschaftlicher Methoden für den Aufbau der Friedenswirtschaft der Deutschen Demokratischen Republik und zur Erfüllung des Fünfjahresplanes ist.

Da wir einmal als Fachkraft in einem Metallbetrieb arbeiten wollen, müssen wir viel lernen und zunächst wichtige Grundbegriffe der Chemie wiederholen und vertiefen.

a) Elemente

Wandbild: Chemische Elemente (Symbole, Atomgewichte, Wertigkeit)

Reagenzglas — Reagenzglashalter — Bunsenbrenner — Holzspan — Filtrierpapier — Quecksilberoxyd

Versuch 1:

Wir schütten eine kleine Menge Quecksilberoxyd in ein Reagenzglas, um dessen Mitte ein Streifen nasses Filtrierpapier gelegt wird. Nachdem wir das Glas mit dem Bunsenbrenner einige Zeit erhitzt haben, halten wir einen glimmenden Holzspan an seine Öffnung (Abb. 2). Dieser beginnt bald mit heller Flamme zu brennen. Das rote Quecksilberoxyd wird zunächst dunkelbraun und verschwindet nach und nach. An der vom feuchten Filtrierpapier gekühlten Wandung des Glases setzen sich silberweiße Tröpfchen ab.

Die in Versuch 1 erhaltenen silberweißen Tröpfchen sind Quecksilber (ein Metall). Der glimmende Span flammt hell auf, weil das Quecksilberoxyd beim Erhitzen Sauerstoff abgegeben hat. Das gesamte Quecksilberoxyd wurde in Quecksilber und Sauerstoff zerlegt. Da Quecksilberoxyd aus zwei Stoffen besteht, wird es als *chemische Verbindung* bezeichnet.

Wie wir später sehen werden, kann man auch das *Wasser* durch den elektrischen Strom in zwei verschiedene Stoffe, und zwar in *Sauerstoff* und *Wasserstoff*, zerlegen. Eine weitere Zerlegung des Sauerstoffs, des Wasserstoffs oder des Quecksilbers in andere Stoffe ist mit chemischen Methoden jedoch nicht möglich.

Solche nicht weiter zerlegbaren Stoffe werden als *Grundstoffe* oder *Elemente* bezeichnet. Alle chemischen Verbindungen sind aus Elementen aufgebaut.

Stoffe, die chemisch nicht in andere Stoffe zerlegt werden können, heißen Grundstoffe oder Elemente.

Die moderne Naturwissenschaft vermittelt uns die Erkenntnis, daß es eine ganze Anzahl (etwa 100) solcher Elemente gibt. Einige der bekanntesten sind Eisen, Blei, Kupfer, Zink, Schwefel, Quecksilber, Sauerstoff und Wasserstoff. Die Elemente

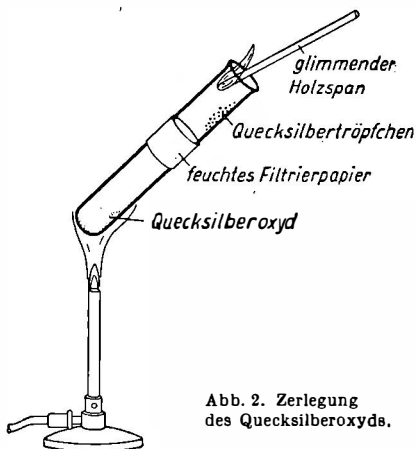


Abb. 2. Zerlegung des Quecksilberoxyds.

tragen als wissenschaftliche Bezeichnung (Symbol) die Anfangsbuchstaben ihrer lateinischen oder griechischen Namen. Das sind die chemischen Kurzzeichen, die wir uns aneignen müssen. Das Eisen (Ferrum) hat z. B. das Kurzzeichen Fe, Sauerstoff

Die wichtigsten Elemente (Internationale Atomgewichte 1951)

Name	Kurzzeichen	Wertigkeit	Atomgewicht	Dichte g/cm ³ ¹⁾	Schmelzpunkt °C	Entdeckt um
Aluminium	Al	3	26,98	2,7	658	1827
Antimon	Sb	3,5	121,76	6,62	630	1450
Arsen	As	3,5	74,91	5,72	sublimiert	1694
Barium	Ba	2	137,36	3,6	850	1808
Beryllium	Be	2	9,013	1,86	1285	1828
Blei	Pb	2,4	207,21	11,34	327,4	Altertum
Bor	B	3	10,82	1,73	2200	1808
Brom	Br	1, (3, 5)	79,92	3,14	— 7,2	1826
Chlor	Cl	1, (3, 4, 5, 7)	35,46	3,214 ¹⁾	— 100,9	1774
Chrom	Cr	(2), 3, 6	52,01	6,7	1520	1797
Eisen	Fe	2, 3, (6)	55,85	7,86	1533	Altertum
Fluor	F	1	19,00	1,6 ¹⁾	— 223	1887
Gold	Au	1,3	197,2	19,3	1063	Altertum
Helium	He	0	4,00	0,178 ¹⁾	272,1	1894
Jod	J	1, (3, 5, 7)	126,91	4,94	113,5	1811
Kadmium	Cd	2	112,41	8,64	320,9	1818
Kalium	K	1	39,10	0,86	63,5	1807
Kalzium	Ca	2	40,08	1,55	800	1808
Kobalt	Co	2,3	58,94	8,8	1480	1735
Kohlenstoff	C	(2), 4	12,01	3,51	3900	Altertum
Kupfer	Cu	1,2	63,54	8,93	1083,2	Altertum
Lithium	Li	1	6,94	0,534	179	1817
Magnesium	Mg	2	24,32	1,74	650,9	1808
Mangan	Mn	2, 3, 4, 6, 7	54,93	7,3	1243	1780
Molybdän	Mo	(2,3,4,5,)6	95,95	10,2	2622	1782
Natrium	Na	1	22,997	0,97	97,9	1807
Nickel	Ni	2, (3, 4)	58,69	8,8	1452,3	1751
Osmium	Os	(2, 3, 4,)6,8	190,2	22,48	2500	1803
Phosphor weiß	P	3,5	30,98	1,83	44	1669
„ rot				2,20	630	
Platin	Pt	(1), 2, (3), 4, 6	195,23	21,4	1764	1748
Quecksilber	Hg	1,2	200,61	13,6 fl.	— 38,87	Altertum
Radium	Ra	2	226,05	6	700	1898
Sauerstoff	O	2	16,000	1,429 ¹⁾	— 218,4	1774
Schwefel	S	2, 4, 6	32,07	2,07	112,8	Altertum
Selen	Se	2, 4, 6	78,96	4,8/4,5	217	1817
Silber	Ag	1, (2)	107,88	10,5	960,5	Altertum
Silizium	Si	4	28,09	2,34	1415	1823
Stickstoff	N	1, 3, 5	14,008	1,25 ¹⁾	— 210,5	1772
Strontium	Sr	2	87,63	2,54	800	1808
Titan	Ti	2, 3, 4	47,90	4,49	1800	1789
Uran	U	(3), 4, 6	238,07	18,7	1650	1786
Vanadium	V	2, 3, 4, 5	50,95	5,6	1720	1830
Wasserstoff	H	1	1,008	0,0898 ¹⁾	— 259	1766
Wismut	Bi	3,5	209,00	9,8	270,95	1546
Wolfram	W	(2, 3, 4, 5,) 6	183,92	19,1	2900	1785
Zink	Zn	2	65,38	7,1	419,44	15. Jh.
Zinn	Sn	2,4	118,70	7,28	231,8	Altertum

¹⁾ Bei Gasen in g/dm³ bei 0° und 760 mm Hg.

(Oxygenium) O, Schwefel (Sulfur) S, Blei (Plumbum) Pb, Gold (Aurum) Au, Silber (Argentum) Ag, Wasserstoff (Hydrogenium) H, Zinn (Stannum) Sn.

Alle Stoffe, z. B. Werkstoffe, Gesteine, Mineralien, pflanzliche und tierische Stoffe, sind aus Elementen aufgebaut. Alle höheren Tiere und auch der Mensch bestehen im wesentlichen aus Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff und enthalten kleine Mengen von Kalzium, Magnesium, Eisen, Schwefel, Phosphor, Natrium, Fluor und Jod.

b) Atome

Wie die Forschung ermittelt hat, ist jedes Element aus kleinsten Bausteinen, den Atomen, aufgebaut, die für das betr. Element kennzeichnend sind. Diese kleinen Gebilde, die man noch nicht einmal mit dem stärksten Mikroskop wahrnehmen kann, lassen sich chemisch nicht weiter zerlegen.

Aus diesem Grunde kann ein Element auf chemischen Wege nicht in ein anderes Element verwandelt werden. Man hat heute bereits eine verhältnismäßig genaue Vorstellung von den Atomen. So kann man ihre Anzahl in einem bestimmten Volumen eines Stoffes, ihren Durchmesser und auch ihr Gewicht bestimmen. Es enthält beispielsweise ein Kubikzentimeter des bei unserem Versuch 1 gewonnenen Sauerstoffs $5 \cdot 10^{19}$ Atome. Der Durchmesser eines Atoms beträgt ungefähr 10^{-7} mm $(= 0,000\,0001\text{ mm}^1)$, seine Masse etwa 10^{-24} g $= 0,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,001$ g.

Der kleinste Baustein eines Elementes, der noch alle Eigenschaften dieses Elementes besitzt, ist das Atom.

Wir wissen heute, daß Atome noch weiter teilbar sind und alle Atome aus elektrischen Teilchen bestehen. Der Kern der Atome ist aus positiv elektrisch geladenen Teilchen (Protonen) und elektrisch nicht geladenen Teilchen (Neutronen) aufgebaut. Der Atomkern wird ständig von elektrisch negativen Teilchen (Elektronen) umkreist, die dabei hohe Geschwindigkeiten (Bruchteile der Lichtgeschwindigkeit) erreichen.

Infolge der Gleichartigkeit der Bausteine aller Atomkerne ist es möglich, auf atomphysikalischem Wege durch Eingriffe in den Bau des Atoms ein Element in ein anderes überzuführen (siehe Kap. 20, S. 222).

Atomgewicht

Jedem Element entspricht eine bestimmte Atomart. Der Unterschied der Atomarten ist in ihrem inneren Aufbau begründet. Die Masse eines Atoms wurde bereits oben angegeben. Da diese sehr klein ist und man mit unfaßbar niedrigen Zahlen zu arbeiten hätte, wird in der Praxis das sog. *relative* Atomgewicht verwendet. Als Bezugs-element wird das häufigste Element, der Sauerstoff, gewählt.

In der Tafel auf S. 11 ist in der 4. Spalte das Atomgewicht eingetragen.

Das Atomgewicht gibt an, wieviel mal schwerer ein Atom eines Stoffes ist als $\frac{1}{16}$ eines Sauerstoffatoms.

¹⁾ Der Dezimalbruch 0,0000001 kann in der Schreibweise 10^{-7} besonders einfach niedergeschrieben werden. Die Zahl „-“ wird „negativer Exponent“ genannt. Der Exponent -7 bringt zum Ausdruck, daß der entsprechende Dezimalbruch an der 7. Stelle hinter dem Komma mit der Ziffer 1 beginnt. 10^{-2} ist gleich 0,01.

c) Moleküle

Molekülmodelle

Bilden mehrere Atome verschiedener Elemente eine chemische Verbindung (Quecksilberoxyd), so bezeichnen wir den dabei entstandenen kleinsten Baustein der Verbindung als *Molekül*. Die Moleküle der Verbindungen vereinigen also Atome verschiedener Elemente. Ein Molekül Quecksilberoxyd (HgO) z. B. besteht aus einem Atom Quecksilber (Hg) und einem Atom Sauerstoff (O). Das Wasser (H_2O) vereinigt 2 Atome Wasserstoff mit 1 Atom Sauerstoff.

Der kleinste Baustein einer chemischen Verbindung, der noch alle Eigenschaften dieser Verbindung besitzt, ist das Molekül.

Beim Zusammenschluß von Atomen zu einem Molekül zeigt es sich, daß die verschiedenartigen Atome eine unterschiedliche Anzahl von Wasserstoffatomen zu binden vermögen. So bindet z. B. 1 Chloratom 1 Wasserstoffatom, 1 Sauerstoffatom 2 Wasserstoffatome, 1 Stickstoffatom 3 Wasserstoffatome. Demgemäß sagt man: Chlor ist *einwertig*, Sauerstoff *zweiwertig*, Stickstoff *dreiwertig* (s. S. 16).

Unter dem *Molekulargewicht* versteht man die Summe der Atomgewichte. Man erhält das Molekulargewicht einer Verbindung, indem man die Atomgewichte der im Molekül enthaltenen Atome addiert.

Beispiel:

Quecksilberoxyd (HgO)	Atomgewicht des Hg:	200,61
	„ „ O:	16,00
	<hr/>	
	Molekulargewicht des HgO :	216,61
Wasser (H_2O)	Atomgewicht 2 H:	2,016
	„ O:	16,00
	<hr/>	
	Molekulargewicht des H_2O :	18,016

Nicht nur verschiedenartige Atome, sondern auch gleichartige Atome können sich zu einem Molekül zusammensetzen. So besteht z. B. Sauerstoff aus Molekülen, die aus je zwei Sauerstoffatomen zusammengesetzt sind.

d) Gemenge und Verbindung

Reagenzglas — Mörser — Magnet — Lupe — Reagenzglashalter — Bunsenbrenner — Eisenpulver — Schwefelpulver

Gemenge

Versuch 2:

Wir mischen 4 g Schwefelpulver mit 7 g feinem Eisenpulver in einem Mörser gut durcheinander. Bei dem entstandenen graugrünen Pulver kann man mit dem bloßen Auge die Eisenteilchen nur schwer von den Schwefelteilchen unterscheiden. Nehmen wir aber ein Vergrößerungsglas zur Hand, so hebt sich das dunkle Eisen deutlich vom gelben Schwefel ab. Mit Hilfe eines Magneten kann man die Bestandteile des Gemisches leicht wieder trennen¹⁾. Schütten wir eine geringe Menge dieser Mischung in ein mit Wasser gefülltes Reagenzglaschen und rühren es um, so sammelt sich das Eisen auf dem Boden an, während die Schwefelteilchen auf der Oberfläche schwimmen.

¹⁾ Eisen und Schwefel müssen vor dem Versuch gut getrocknet werden, da sonst am Eisen Schwefelteilchen haften bleiben und infolgedessen vom Magneten auch angezogen werden.

Beim Versuch 2 erhalten wir nur eine Mischung, ein Gemenge, ein Gemisch. Mit mechanischen (physikalischen) Mitteln, z. B. durch den Magneten, durch Aufschwemmen oder Sieben, kann man die Bestandteile wieder trennen. Ihre Eigenschaften sind unverändert geblieben.

Beim Gemenge kann die Zusammensetzung beliebig sein. Wir können somit 4 g Schwefel mit 7 g Eisen, aber z. B. auch 12 g Schwefel mit 3 g Eisen mischen.

Ein Gemenge ist eine lose Mischung verschiedener Stoffe im beliebigen Gewichtsverhältnis.

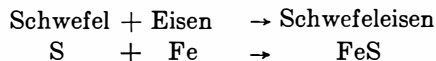
In Gemengen können sowohl feste als auch flüssige und gasförmige Bestandteile enthalten sein. Legierungen sind z. B. Gemenge, die nur feste Bestandteile enthalten. Verdünnte Schwefelsäure ist ein Gemisch von zwei Flüssigkeiten: Schwefelsäure und Wasser. Luft ist ein Gemisch von verschiedenen Gasen. Frisch bereiteter Kalkmörtel ist ein Gemisch von Löschkalk, Sand und Wasser. Rauchgase sind ein Gemisch aus Luft, Verbrennungsgasen, Wassertröpfchen und Kohleteilchen.

Verbindung

Versuch 3:

Wir bringen einen Teil unseres Gemenges (4 g Schwefel, 7 g Eisenpulver) in ein Reagenzglas und erhitzen es über einem Bunsenbrenner. Bald glüht die Masse lebhaft auf. (Vorsicht, Glas springt oftmals!) Nach dem Erkalten zerstoßen wir im Mörser ein Stückchen des neu entstandenen grauen Stoffes. Haben wir die Wägung der vorgeschriebenen Menge genau durchgeführt, so können wir mit einem Magnet das Eisen nicht mehr vom Schwefel trennen. Es ist ein neuer Stoff entstanden.

Mit den Versuchen 2 und 3 kann man klar den Unterschied zwischen einem Gemenge und einer chemischen Verbindung erkennen. Beim Versuch 2 erhielt man nur eine Mischung von Schwefel und Eisen, die man leicht wieder trennen konnte. Aus diesem Gemenge ist im Versuch 3 durch chemische Umsetzung ein neuer Stoff mit neuen Eigenschaften entstanden. Er führt den Namen *Schwefeleisen* oder *Eisensulfid*.



Jeder chemische Prozeß führt zu einem neuen Stoff mit neuen Eigenschaften.

Im Gegensatz zum Gemenge, das in jedem beliebigen Gewichtsverhältnis hergestellt werden kann, stehen die Elemente, die in einer chemischen Verbindung enthalten sind, stets in einem bestimmten Gewichtsverhältnis zueinander (Gesetz von den bestimmten Gewichtsverhältnissen). Zum Beispiel verhalten sich in Schwefeleisen (FeS) die darin enthaltenen Mengen von Eisen und Schwefel zueinander wie die Atomgewichte von Eisen und Schwefel, also wie 55,84 zu 32,07 (rund 7:4). Hätten wir z. B. im Versuch 3 ein anderes Mischungsverhältnis verwendet, wäre je nach der Zusammensetzung entweder Schwefel oder Eisen übrig geblieben.

Eine chemische Verbindung ist ein aus mehreren Elementen in einem bestimmten Gewichtsverhältnis zusammengesetzter Stoff, der völlig andere Eigenschaften besitzt als die Elemente, aus denen er besteht.

Kochsalz ist z. B. eine Verbindung, die aus einem weichen, schon bei 98° schmelzendem Metall (Natrium), das mit Wasser reagiert, und aus einem gelbgrünen giftigen Gas (Chlor) besteht. Kochsalz hat völlig andere Eigenschaften als jedes seiner Bestandteile.

Legierungen

Messing, Bronze, Rotguß sind sog. *Legierungen* (s. S. 154). Sie werden durch Mischen verschiedener Metalle im *flüssigen* Zustand gebildet (Lösungen). Der Unterschied zwischen *Legierung* und *Verbindung* besteht darin, daß die einzelnen Bestandteile einer *Legierung* in verschiedenen Gewichtsmengen ineinander gelöst werden können. Dabei können auch *Verbindungen* zwischen einzelnen Metallen, sog. *intermetallische Verbindungen*, auftreten. Aber auch mit Nichtmetallen lassen sich die Metalle *legieren*, z. B. ist Stahl eine *Eisen-Kohlenstoff-Legierung*, in der auch *Verbindungen* von Eisen mit *Kohlenstoff* enthalten sind.

Analyse und Synthese

Es gibt verschiedene chemische Vorgänge, z. B.:

1. chemische Zerlegung (Analyse),
2. chemische Verbindung (Synthese).

Eine chemische Zerlegung haben wir in Versuch 1 durchgeführt. Dabei wurde Quecksilberoxyd in Quecksilber und Sauerstoff zerlegt.

Ein Beispiel für eine Synthese zeigt Versuch 3. Aus Schwefel und Eisen entsteht Schwefeleisen.

Bei beiden Versuchen haben wir jeweils neue Stoffe mit anderen Eigenschaften erhalten. Wir bezeichnen chemische Vorgänge oder Prozesse als chemische *Reaktionen*.

Die Zerlegung einer chemischen Verbindung in ihre Bestandteile nennt man chemische Zerlegung oder Analyse.

Verbindet sich ein Element mit anderen Elementen zu einem neuen Stoff, so spricht man von einer chemischen Vereinigung oder Synthese.

Symbole — Formeln — Gleichungen

Wir bezeichnen die Elemente mit den Anfangsbuchstaben ihrer lateinischen oder griechischen Namen. Diese *Symbole* haben zweifache Bedeutung, eine qualitative und eine quantitative. Das Kurzzeichen H bezeichnet das *Element* Wasserstoff und gleichzeitig 1 *Atom* bzw. 1 *Gewichtsteil* Wasserstoff.

H_2 bedeutet 1 Molekül Wasserstoff mit 2 gleichartigen Atomen

$Fe + S$ „ 1 Atom Eisen und 1 Atom Schwefel, gleichzeitig aber auch eine Mischung von Eisen und Schwefel im Verhältnis ihrer Atomgewichte.

Sauerstoff besteht aus Molekülen, die aus je 2 Sauerstoffatomen aufgebaut sind. Demgemäß ist die Formel für Sauerstoff: O_2 . Das gleiche gilt für die meisten gasförmigen Elemente. Stickstoff hat die Formel: N_2 , Wasserstoff: H_2 . Jedes kleinste Teilchen dieser Gase ist also ein Molekül, das aus je zwei gleichartigen Atomen besteht. Die genannten Gase enthalten also keine freien Atome. Man sagt: Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff u. a. Gase befinden sich in *molekularem* Zustand.

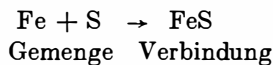
Die Edelgase (z. B. Helium) und Metalldämpfe jedoch befinden sich im *atomaren* Zustand. Die Formel z. B. für Quecksilberdampf lautet deshalb: Hg. Die Atome dieser Gase schließen sich nicht zu Molekülen zusammen.

Um den Aufbau eines zusammengesetzten Stoffes kurz zu kennzeichnen, geben wir ihm eine chemische *Formel*. Wir nennen z. B. das Kochsalz Natriumchlorid und schreiben als Formel: NaCl. Die Formel läßt die Zusammensetzung eines Stoffes leicht erkennen. NaCl (Kochsalz) besteht aus Na (Natrium) und Cl (Chlor).

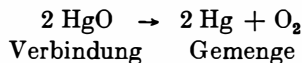
HgO (Quecksilberoxyd) besteht aus Hg (Quecksilber) und O (Sauerstoff). HCl (Chlorwasserstoff) besteht aus H (Wasserstoff) und Cl (Chlor).

Die Formel gibt nicht nur Aufschluß über die Elemente, die in einer Verbindung enthalten sind, sondern kennzeichnet zugleich die mengenmäßige Zusammensetzung. Beispielsweise besagt die Formel für Kochsalz (NaCl), daß diese Verbindung aus Natrium und Chlor im Mengenverhältnis der Atomgewichte (23:35,46; s. S. 11) zusammengesetzt ist.

Der Chemiker beschreibt die chemischen Vorgänge durch *Gleichungen*. Beim Gemenge steht zwischen den Symbolen ein +; bei der Verbindung stehen die Zeichen nebeneinander.



Die Zerlegung einer Verbindung beschreibt man durch eine Gleichung, z. B. wie folgt:

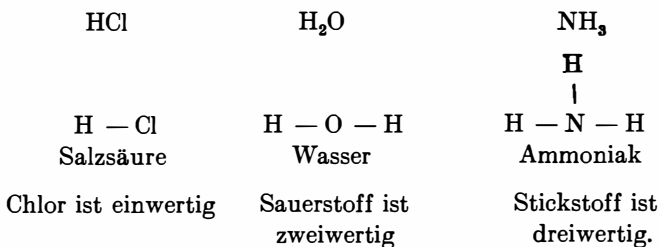


Wertigkeit

Ein jedes Element bzw. ein jedes Atom vermag jeweils eine bestimmte Anzahl anderer Atome an sich zu binden. Maßgebend dafür ist die *Wertigkeit* des Elementes. Sie bedeutet eine bestimmte Bindungskraft eines Atoms eines bestimmten Elementes.

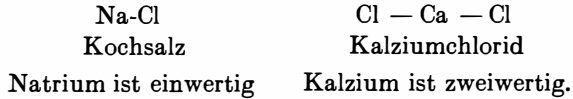
Ein Atom Chlor vermag z. B. *ein* Atom Wasserstoff zu binden. Ein Atom Sauerstoff hingegen bindet *zwei* Atome Wasserstoff. Aus diesem Grunde sagt man: Chlor ist in diesem Falle *einwertig*, Sauerstoff *zweiwertig*.

Die Wertigkeit wird in der Formel oft durch Striche gekennzeichnet



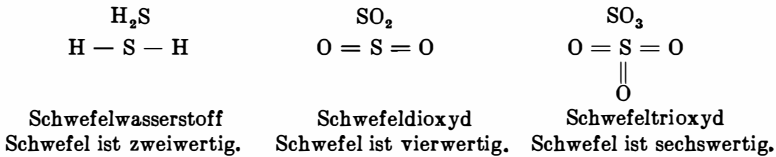
Da man für Kochsalz die Formel NaCl ermittelte und Chlor einwertig ist, so ist zu schließen, daß auch Natrium einwertig ist. Vergleicht man die Formel von Kochsalz mit der Formel von Salzsäure, so erkennt man, daß aus dem Salzsäuremolekül das

Kochsalzmolekül entsteht, wenn das H-Atom des Salzsäuremoleküls durch ein Natriumatom ersetzt wird. Natrium ist einwertig, da es *ein* Wasserstoffatom zu ersetzen vermag.



Die Wertigkeit eines Grundstoffes gibt die Anzahl von Wasserstoffatomen an, die ein Atom des betrachteten Elementes zu binden oder in einer anderen Verbindung zu ersetzen vermag.

Manche Elemente besitzen mehrere Wertigkeiten. Beispielsweise ist Schwefel 2-, 4- oder 6-wertig.



Auch Eisen, Kupfer, Blei und viele andere Elemente können mit verschiedenen Wertigkeiten auftreten (s. S. 11).

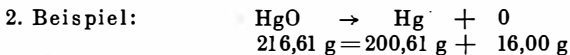
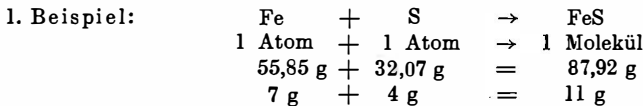
Gesetz von der Erhaltung der Masse

Verbinden sich zwei oder mehrere Elemente zu einem neuen Stoff, dann ist die Summe der Gewichte der Elemente gleich dem Gewicht des neuen Stoffes. Zerfällt ein zusammengesetzter Stoff in seine Elemente, so ist das Gewicht der Summe der Zerfallprodukte gleich dem Gewicht des Ausgangsproduktes.

Diese Gesetzmäßigkeit erkannte als Erster der große russische Naturwissenschaftler *Lomonossow* (1711 . . . 1765); der französische Chemiker *Lavoisier* (1743 . . . 1794) erfaßte sie einige Jahre nach Lomonossow in seiner vollen Bedeutung.

Sie wird durch das *Gesetz von der Erhaltung der Masse* beschrieben:

Bei chemischen Reaktionen geht an Stoff nichts verloren.



Hierdurch können wir nun auch das Gesetz von den bestimmten Gewichtsverhältnissen erweitern und exakter formulieren:

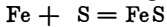
Bei chemischen Reaktionen verhalten sich die miteinander reagierenden Stoffmengen wie die entsprechende Anzahl ihrer Atomgewichte bzw. ihrer Molekulargewichte.

Die besondere Bedeutung dieses Gesetzes liegt darin, daß es ermöglicht, die bei einer chemischen Reaktion anzuwendenden Gewichtsmengen genau vorher zu berechnen. Hierzu ist zunächst (wie in Beispiel 1 und 2) das Aufstellen der chemischen Reak-

tionsgleichung notwendig. Die Atom- bzw. Molekulargewichte werden darunter geschrieben. Mit Hilfe eines einfachen Dreisatzes ist es dann möglich, jedes bei dieser Reaktion gesuchte Gewicht zu ermitteln.

3. Beispiel:

Wieviel Gramm Eisen benötigen wir zur Gewinnung von Schwefeleisen aus 80 g Schwefel? Abgerundete Atomgewichte verwenden!



$$56 + 32 = 88$$

Für 32 g Schwefel brauchen wir 56 g Eisen

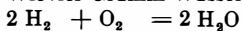
„ 80 g „ „ „ ? g Eisen

$$\frac{56 \cdot 80}{32} = 140$$

Zur Umsetzung von 80 g Schwefel brauchen wir 140 g Eisen. Wir erhalten 220 g Schwefeleisen.

4. Beispiel:

Wieviel Gramm Wasser erhalten wir beim Verbrennen von 10 g Wasserstoffgas?



$$2 \cdot 2 \cdot 1 + 2 \cdot 16 = 2 \cdot 18$$

$$4 + 32 = 36$$

Aus 4 g Wasserstoff erhalten wir 36 g Wasser

„ 10 g „ „ „ ? g „

$$\frac{36 \cdot 10}{4} = 90$$

Aus 10 g Wasserstoff erhalten wir 90 g Wasser.

Das Gebiet der Chemie, das die Mengenverhältnisse bei chemischen Reaktionen behandelt, nennt man *Stöchiometrie* (chemisches Rechnen).

Äquivalentgewicht

In Beispiel 3 verband sich 1 Atom Eisen mit einem Atom Schwefel, da beide Elemente gleichwertig sind. Die Gewichtsmengen verhielten sich wie die Atomgewichte.

In Beispiel 4 kam dagegen auf 2 Atome Wasserstoff 1 Atom Sauerstoff, da Wasserstoff ein-, Sauerstoff aber zweiwertig ist. Die Gewichtsmengen verhielten sich wie die durch die Wertigkeit dividierten Atomgewichte:

$$\frac{1}{1} : \frac{16}{2} = 1 : 8.$$

Da für das chemische Rechnen dieser Quotient (Atomgewicht durch Wertigkeit) von ausschlaggebender Bedeutung ist, bekommt er einen besonderen Namen. Man nennt ihn *Verbindungs- oder Äquivalentgewicht*. Berücksichtigt man, daß Wasserstoff immer einwertig ist, so kann man das Äquivalentgewicht auch wie folgt definieren:

Das Äquivalentgewicht eines Stoffes ist diejenige Gewichtsmenge, die sich mit einem Gewichtsteil Wasserstoff zu verbinden bzw. die einen Gewichtsteil Wasserstoff zu ersetzen vermag.

e) Wichtige Verbindungen

Gewerbliche Benennung	Chemische Benennung	Chemische Formel
Azetylgas	Azetylen	C_2H_2
Benzol	Benzol	C_6H_6
Bleiweiß	basisches Bleikarbonat	$Pb(OH)_2 \cdot 2PbCO_3$
Blutlaugensalz, gelb	Kaliumeisen(II)zyanid ¹⁾	$K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$
Borax	Natriumtetraborat	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$
Chlorkalk	Chlorkalk	$CaCl(OCl)$
Eisenchlorid	Eisen(III)chlorid ¹⁾	$FeCl_3$
Eisenrost	Eisen(III)hydroxyd ¹⁾	$Fe(OH)_3$
Essig	Essigsäure	CH_3COOH
Gips	Kalziumsulfat	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Glycerin	Glycerin	$CH_2OH \cdot CHOH \cdot CH_2OH$
Kalisalpeter	Kaliumnitrat	KNO_3
Kalk, gebrannter	Kalziumoxyd	CaO
Kalk, gelöschter	Kalziumhydroxyd	$Ca(OH)_2$
Karbid	Kalziumkarbid	CaC_2
Karborundum	Siliziumkarbid	SiC
Ätznatron	Natriumhydroxyd	$NaOH$
Kochsalz	Natriumchlorid	$NaCl$
Kohlenoxyd	Kohlenmonoxyd	CO
Kohlensäure	Kohlendioxyd	CO_2
Korund	Aluminiumoxyd	Al_2O_3
Kreide, Kalkstein	Kalziumkarbonat	$CaCO_3$
Lötsalz	Zinkammoniumchlorid	$ZnCl_2 \cdot 2NH_4Cl$
Mennige	Blei-(II, IV)oxyd ¹⁾	Pb_3O_4
Salmiaksalz	Ammoniumchlorid	NH_4Cl
Salmiakgeist	Ammoniumhydroxyd	$NH_3 \cdot H_2O$
Salpetersäure	Salpetersäure	HNO_3
Salzsäure	Chlorwasserstoffsäure	HCl
Schwefelsäure	Schwefelsäure	H_2SO_4
Soda	Natriumkarbonat	$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$

Aufgaben:

1. Was ist ein Element?
2. Nenne einige bekannte Elemente mit ihren chemischen Zeichen!
3. Welche chemischen Vorgänge bezeichnen wir mit Synthese und welche mit Analyse?
4. Erkläre die Begriffe Atom und Molekül!
5. Gib den Unterschied zwischen einer chemischen Verbindung und einem Gemenge an!
6. Rechne mit Hilfe der Atomgewichte das Molekulargewicht von Kalziumkarbid aus!
7. Wieviel Gramm Schwefel benötigt man zur Gewinnung von Schwefeleisen aus 60 g Eisen?
8. Schreibe die Eigenschaften und die Verwendungen von einigen chemischen Verbindungen nieder!

¹⁾ Die römische Ziffer gibt die Wertigkeit an, mit der das vor der Ziffer genannte Element in der Verbindung enthalten ist.

2. Sauerstoff und Wasserstoff

Metallische Konstruktionsteile werden oft durch autogenes Schweißen (autogen — selbst erzeugt, d. h. ohne Druck) aneinandergesetzt. Bei diesem Verfahren wird die Schweißstelle mit einer Stichflamme erhitzt, die durch die Verbrennung von Wasserstoff oder von Acetylen in einem Sauerstoffstrom erzeugt wird. Die Temperatur der Wasserstoffflamme beträgt ungefähr 2000° , die der Acetylenflamme 3000° C. Durch die hohen Temperaturen der Stichflamme werden die Ränder der Schweißstücke flüssig und schmelzen zusammen. Eine Schweißplatzausrüstung und das Schweißen einer Schutzkappe zeigt uns die Abb. 3.

Über Gewinnung, Eigenschaften und technische Verwendung von Sauerstoff und Wasserstoff gibt uns das folgende Kapitel Auskunft.

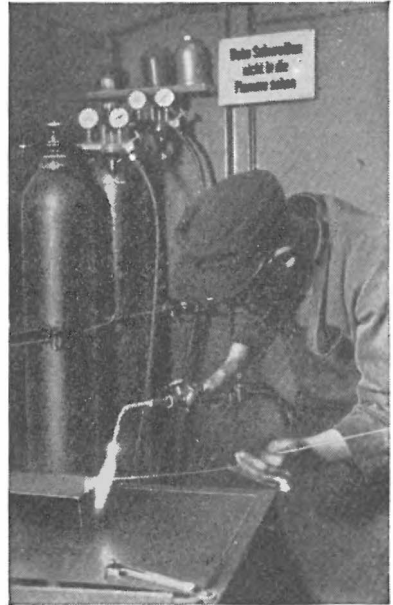


Abb. 3. Schweißanlage.
Schweißen einer Schutzhaube

a) Sauerstoff

*Reagenzglas — Gummistopfen — Glasröhre — Gummischlauch — Flasche — pneumatische Wanne — Bunsenbrenner — Holzspan — Stativ — Druckminderventil — Schweißbrenner — Schneidbrenner — Sauerstoffschutzgerät — Stahldraht
Kaliumchlorat — Braunstein — Kaliumpermanganat — Holzkohle — Schwefelfaden*

Sauerstoff kann nach verschiedenen Verfahren gewonnen werden.

Wie bei allen Stoffen unterscheiden wir auch beim Sauerstoff grundsätzlich zwischen technischer Gewinnung und labormäßiger Darstellung.

Die Technik braucht große Stoffmengen, meist Tausende von Tonnen; sie wird daher Wert auf möglichst billige Rohstoffe legen, während die Apparatur aus Gründen der Stabilität und Dauerhaftigkeit kostspielig sein wird. Im Laboratorium will man nur kleine Mengen gewinnen. Da spielt der Preis des Rohstoffs keine allzugroße Rolle, wohl aber muß die Apparatur einfach, übersichtlich und billig sein.

Darstellung im Labor

Im Laboratorium wird der Sauerstoff dargestellt durch Erhitzen von

1. Peroxyden (z. B. Wasserstoffperoxyd, Bariumperoxyd),
2. Oxyden edlerer Metalle (z. B. Quecksilberoxyd),
3. Oxyden einiger höherwertiger Metalle (z. B. Mangan(IV)oxyd),
4. Salzen sauerstoffreicher Säuren (z. B. Kaliumnitrat, Kaliumchlorat, Kaliumpermanganat).

Versuch 1:

Wir mischen 6 g Kaliumchlorat mit 2 g Braunstein vorsichtig auf einer sauberen Unterlage.

Achtung: Die Stoffe müssen unbedingt staubfrei sein.

Explosionsgefahr!

Das Gemisch wird in ein Reagenzglas gefüllt. Das Glas wird mit einem Gummistopfen verschlossen, durch dessen Bohrung ein kurzes Glasrohr gesteckt ist. Über die Glasröhre wird ein Gummischlauch geschoben, dessen anderes Ende mit einer rechtwinklig umgebogenen Glasröhre versehen wird. Das Gemisch im Reagenzglas wird erhitzt. Es entwickelt sich ein Gas, das in einer Flasche über einer pneumatischen Wanne aufgefangen wird (s. Abb. 4). Das erzeugte Gas ist *Sauerstoff*. Zum Nachweis des Sauerstoffs halten wir einen glimmenden Holzspan in die Flasche. Der Holzspan flammt auf.

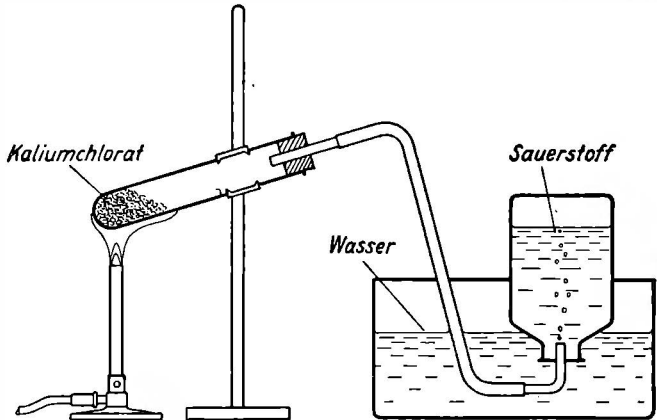
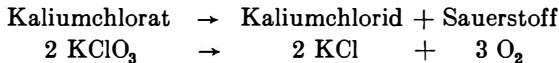


Abb. 4. Gewinnung von Sauerstoff durch Erhitzen von Kaliumchlorat

Das Kaliumchlorat wurde durch Erwärmen in Kaliumchlorid und Sauerstoff zerlegt.



Der Braunstein wirkte bei unserem Versuch *katalytisch*, d. h. er beschleunigte die Umsetzung des Kaliumchlorats und setzte seine Zerfalltemperatur von 400° auf 200°C herab. *Katalysatoren* wirken lediglich durch ihre Anwesenheit und werden bei dem betreffenden chemischen Prozeß nicht verbraucht.

Versuch 2:

Wir wiederholen Versuch 1, füllen das Reagenzglas aber anstatt mit der Kaliumchlorat-Braunsteinmischung mit 10 g Kaliumpermanganat. Auch hier erhalten wir Sauerstoff, den wir wie im Versuch 1 mit einem glimmenden Span nachweisen können.

Das Arbeiten mit Kaliumpermanganat ist gefahrloser als mit Kaliumchlorat; aus diesem Grunde wird es bei Schülerexperimenten dem Chlorat vorgezogen.

Technische Gewinnung

Der in der Technik verwendete Sauerstoff wird gewonnen:

1. durch Zerlegung des Wassers mit Hilfe des elektrischen Stromes,
2. durch Abdampfen des Stickstoffs aus flüssiger Luft.

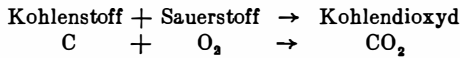
Das zweite Verfahren wird in der Technik in der Hauptsache angewandt. Wir kommen bei der Besprechung der Luft ausführlich hierauf zurück (siehe S. 34, Lindeverfahren).

In den Sauerstoffwerken wird der Sauerstoff in starkwandige Stahlflaschen gedrückt (150 at) und in dieser Form an die Betriebe geliefert.

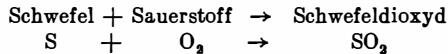
Größere Fabriken besitzen oft selbst Luftverflüssigungsanlagen, von denen der Sauerstoff in Rohrleitungen zu den Werkstätten geführt wird.

Eigenschaften**Versuch 3:**

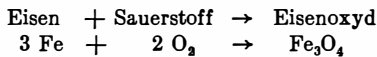
Halten wir glühende Holzkohle in reinen Sauerstoff, so verbrennt sie unter greller Lichterscheinung. Kohlenstoff und Sauerstoff verbinden sich zu Kohlendioxyd.

**Versuch 4:**

Bringen wir einen brennenden Schwefelfaden in Sauerstoff, so strahlt die Flamme ein grelles blaues Licht aus. Es entsteht ein stechend riechendes Gas, Schwefeldioxyd (SO_2).

**Versuch 5:**

Ein spiralförmig gewundener glühender Stahldraht oder ein Büschel Stahlwolle verbrennt in reinem Sauerstoff unter lebhaftem Funkensprühen.



Dieses Funkensprühen bei der Verbrennung von Eisen können wir auch beim autogenen Schneiden beobachten.

Wie wir bei dem obigen Versuche feststellen konnten, ist Sauerstoff ein farbloses und geruchloses Gas, das nicht brennbar, jedoch zu jeder Verbrennung notwendig ist.

Bei jeder Verbrennung verbindet sich ein Stoff mit Sauerstoff.

Die Verbrennung in reinem Sauerstoff verläuft bedeutend lebhafter als in der Luft.

Vorkommen und Bedeutung

Der Sauerstoff ist das verbreitetste Element der Erde (50% der Erdrinde). Luft enthält etwa 21 Vol.-%, Wasser etwa 89 Gew.-% Sauerstoff. Auch in vielen Mineralien und Gesteinen, z. B. in Eisenerzen, ist Sauerstoff enthalten. Der Sauerstoff ist unentbehrlich für alles Leben. Mensch und Tier atmen Sauerstoff ein und atmen Kohlendioxyd aus. Pflanzen „assimilieren“, d. h. sie nehmen Kohlendioxyd auf und geben Sauerstoff ab.

Technische Verwendung

Beim Schweißen mit reinem Sauerstoff können bedeutend höhere Temperaturen erzielt werden, als beim Schweißen mit Luft, weil hier kein wärmeverbrauchender Stickstoff vorhanden ist.

Schweißausrüstung

Zu einer Schweißausrüstung für das autogene Schweißen oder Schneiden gehören folgende Geräte (Abb. 3):

1 Flasche Sauerstoff,	5 m Gummischlauch für Sauerstoff (rot),
1 Flasche Brenngas (Wasserstoff oder Azetylen),	5 m Gummischlauch für Brenngas (grau),
1 Reduzierventil für Sauerstoff,	1 Schweißbrenner,
1 Reduzierventil für Brenngas,	1 Schneidbrenner.

Inhalt der Sauerstoff-Flaschen

Der Rauminhalt einer solchen Stahlflasche beträgt 40 l. Der Sauerstoff in der Flasche steht unter einem Druck von 150 at. Läßt man diesen Sauerstoff ausströmen, so nimmt er einen Raum von 6000 l (150×40) ein. Ist der Druck durch Sauerstoffentnahme auf 110 at herabgesunken, dann sind nur noch $110 \times 40 = 4400$ l Sauerstoff in der Flasche enthalten.

Behandlung

Gefüllte Sauerstoff-Flaschen müssen besonders vorsichtig behandelt werden. Folgende Vorsichtsmaßnahmen sind zu beachten:

1. Nur geprüfte Flaschen verwenden!
2. Jedes Umwerfen vermeiden!
3. Stehende Flaschen gegen Fall sichern!
4. Flaschenventil langsam öffnen!
5. Vor direkter Sonnenbestrahlung schützen (Drucksteigerung)!
6. Flaschen- und Reduzierventil frei halten von Öl und Fett (Explosionsgefahr)!

Kennzeichnung der Stahlflaschen

Um Verwechslungen von Sauerstoff- und Brenngasflaschen zu vermeiden, ist jede Art besonders gekennzeichnet.

1. Sauerstoffflasche: Blauer Anstrich, Rechtsgewinde ($R\frac{3}{4}$ ").
2. Wasserstoffflasche: Roter Anstrich, Linksgewinde ($R\frac{1}{2}$ " links).
3. Azetylenflasche: Gelber Anstrich, Bügelverschluß.

Reduzierventil

Das Reduzier- oder Druckminderventil hat die Aufgabe, den hohen Flaschendruck auf einen vorgeschriebenen Arbeitsdruck ($\frac{1}{3}$ bis $2\frac{1}{2}$ at) herabzusetzen und stets gleichmäßig zu halten. Der Flaschendruck wird vom Inhaltsmanometer, der Arbeitsdruck vom Arbeitsmanometer angezeigt (Abb. 5).

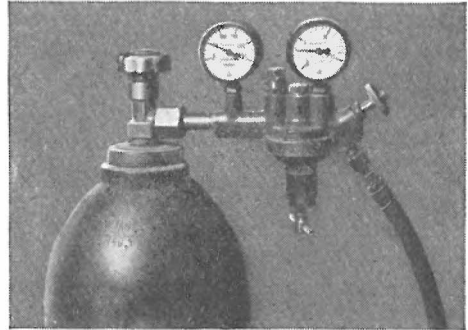
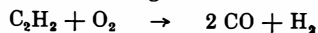


Abb. 5. Reduzierventil für Sauerstoffflaschen

Schweißen

Der Schweißbrenner hat die Aufgabe, die Gase zu mischen. Das Brenngas wird vom Sauerstoff angesaugt und das Gemisch am Schweißmundstück entzündet. Abb. 6 zeigt uns einen Schweißbrenner.

Beim Schweißen mit Azetylen und Sauerstoff werden die Oxydschichten an den Schweißstellen durch die Schweißflamme beseitigt. Azetylen (C_2H_2) wird in Kohlenoxyd und Wasserstoff zerlegt, die beide eine reduzierende Wirkung haben.



Azetylen + Sauerstoff \rightarrow
Kohlenmonoxyd + Wasserstoff

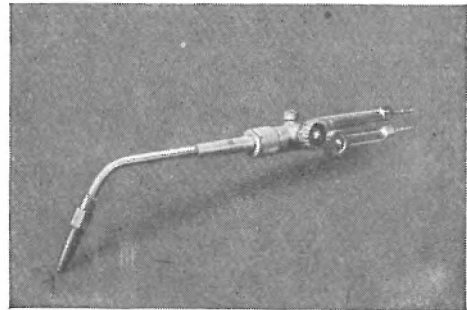


Abb. 6. Schweißbrenner

Bei Metallen, die eine schwer reduzierbare Oxydschicht aufweisen (z. B. Aluminium, Magnesium), hilft man sich durch Zusatz von Schweißpulver. Das Schweißen erfolgt mit

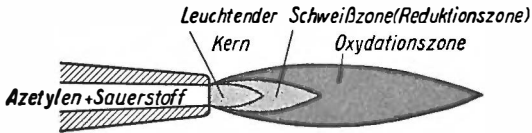


Abb. 7. Richtig eingestellte Schweißflamme

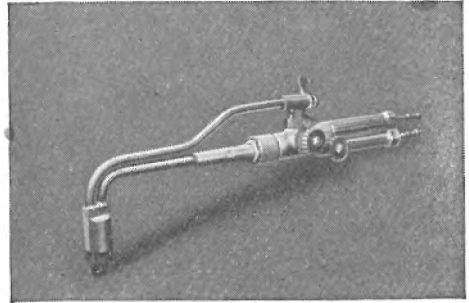


Abb. 8. Schneidbrenner

neutraler Flamme, d. h. ein Überschuß an Sauerstoff oder Brenngas ist nicht vorhanden. Bei richtig eingestellter Schweißflamme bildet sich ein scharf umgrenzter, länglicher heller Kegel (Abb. 7). Überschuß an Sauerstoff muß vermieden werden, da eine Überhitzung und Verbrennung des Arbeitsstückes die Folge wäre. Überschuß an Brenngas ergibt eine harte und spröde Schweißnaht.

Brennschneiden

Das Brennschneiden gründet sich auf den Vorgang, daß glühender Stahl in reinem Sauerstoff verbrennt (s. Versuch 5). Der Werkstoff wird zuerst auf Weißglut erhitzt. Dann wird ein Sauerstoffstrahl unter starkem Druck hinzugefügt, der nun die Verbrennung durchführt. In der Abb. 8 ist ein Schneidbrenner dargestellt. Die Anwendung des Brennschneiders ist überall möglich, wo grobe Schnitte ausgeführt werden dürfen. Das Brennschneiden ist ein chemischer Vorgang. Mit besonderen automatischen Schneidmaschinen können Materialstärken bis zu 800 mm durchgeschnitten werden.

Weitere Verwendung

Weiterhin wird der Sauerstoff in den sog. Sauerstoffschutzgeräten verwendet, die zur Atmung in vergastem und luftverdünnten Räumen benutzt werden. Zur künstlichen Atmung, z. B. bei Vergiftungen (s. Kap. 16, S. 185), und zur Wiederbelebung dient das Sauerstoff-Behandlungsgerät.

Bei Arbeiten unter Wasser mit einem schlauchlosen Taucheranzug wird die Atemluft des Tauchers durch verdichteten Sauerstoff erneuert, der in einer Stahlflasche mitgeführt wird. Die ausgeatmete, kohlenstoffhaltige Luft wird über Kaliumhydroxyd gereinigt.



Abb. 9. Lehrlinge beim Arbeiten mit dem Schneidbrenner

b) Wasserstoff

Erlenmeyerkolben — Reagenzglas — pneumatische Wanne — Glasrohr — Gummistopfen — Kippischer Gasentwickler — Tropftrichter — Zink — Salzsäure

Wasserstoff kann gewonnen werden:

1. durch Elektrolyse (z. B. von verdünnter Schwefelsäure),
2. durch Einwirkung von unedlen Metallen auf Wasser (z. B. Natrium, Kalium),
3. durch Einwirkung von Säuren auf unedle Metalle (s. Versuch 6),
4. durch Zerlegung von Wasserdampf (s. S. 26).

Darstellung im Labor

Im Laboratorium stellt man den Wasserstoff durch Einwirken von Säuren auf unedle Metalle dar.

Versuch 6:

In einem Erlenmeyerkolben, der mit Tropftrichter und Gasableitungsrohr versehen ist, gießen wir verdünnte Salzsäure auf einige Zinkstückchen. Unter Aufbrausen entwickelt sich Wasserstoff, den wir in einem über Wasser aufgestülpten Reagenzglas auffangen können (Abb. 10).

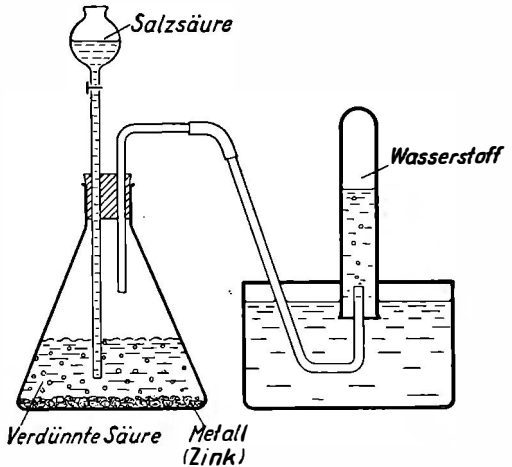
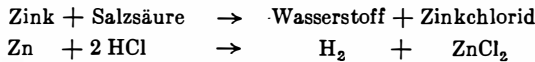


Abb. 10. Wasserstoff entsteht durch Einwirkung von Salzsäure auf Zink.

Das Zink verdrängt den Wasserstoff aus der Säure und verbindet sich mit dem Chlor der Salzsäure zu Zinkchlorid, einem Salz.



In den meisten Fällen werden auch andere unedle Metalle durch Säuren unter Wasserstoffentwicklung aufgelöst.

Zur schnellen und gefahrlosen Erzeugung von Wasserstoff dient der *Kippische Apparat* (Abb. 11). Dieser Apparat hat den Vorzug, daß ihm jederzeit sofort Wasserstoff entnommen werden kann, und daß bei seiner Handhabung automatisch die Wasserstoffentwicklung eingeleitet oder unterbrochen wird. Nach dem Öffnen des Ausgangshahnes gelangt die im oberen Gefäß aufbewahrte Säure an das Metall, und es entwickelt sich Wasserstoff. Schließen wir den Hahn, so drängt das Gas die Säure in die obere Kugel zurück. Eine weitere Wasserstoffentwicklung wird dadurch verhindert.

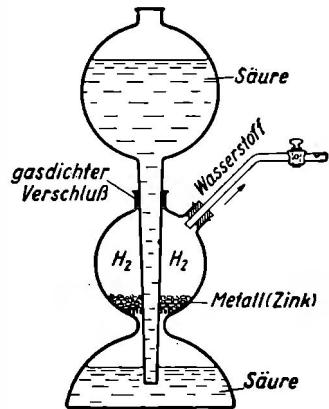
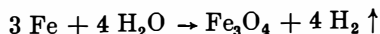


Abb. 11. Kippischer Gasentwicklungsapparat

Technische Gewinnung

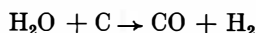
Während im Laboratorium der Wasserstoff meist durch Einwirkung von Säuren auf Zink unter Verwendung des Kippischen Apparates dargestellt wird, gewinnt man in der Technik den Wasserstoff ausschließlich aus Wasser.

Leitet man Wasserdampf über rotglühendes Eisen, so verbindet sich der Sauerstoff des Wassers mit dem Eisen zu Eisenoxyd, und der Wasserstoff wird frei.



Dieses technische Verfahren zur Gewinnung von Wasserstoff wird als *Eisenverfahren* bezeichnet. Die Reaktion wird bei einer Temperatur von etwa 300° C und einem Druck von etwa 100 at durchgeführt. Das bei der Reaktion entstehende Eisenoxyd wird von Zeit zu Zeit durch geeignete Maßnahmen wieder in Eisen verwandelt, so daß es immer wieder zur Wasserstoffgewinnung verwendet werden kann.

Ein weiteres Verfahren der technischen Gewinnung von Wasserstoff verwendet als Ausgangsstoffe Koks und Wasserdampf. Der Wasserdampf wird bei einer Temperatur von etwa 1000° C über rotglühenden Koks geleitet. Dabei entsteht ein Gemisch von Kohlenmonoxyd (CO) und Wasserstoff (H₂), das als *Wassergas* bezeichnet wird.



Aus Wassergas kann Wasserstoff gewonnen werden.

Wasserstoff entsteht ferner als Nebenprodukt bei der technischen Gewinnung von Natronlauge. Dabei wird wäßrige Kochsalzlösung der *Elektrolyse* unterworfen. Es entsteht Natronlauge, Chlor und Wasserstoff. Auf Einzelheiten des Verfahrens kann hier nicht eingegangen werden.

Eigenschaften

Versuch 7:

Wir verschließen ein mit Wasserstoff gefülltes Reagenzglas mit einem Korken, durch den eine Glasröhre führt, die zu einer Spitze ausgezogen ist. Beim Entzünden verbrennt das Gas mit bläulicher Flamme.

Versuch 8:

Lassen wir ein mit Wasserstoff gefülltes Reagenzglas nur einige Sekunden unbedeckt stehen (Öffnung nach oben), so entweicht das Gas.

Versuch 9:

Wir mischen Wasserstoff und Luft im Reagenzglas. Dies Gemenge führt den Namen *Knallgas*. Bei der Entzündung macht sich ein pfeifendes Geräusch bemerkbar. (Vorsicht!)

Wasserstoff ist ein farbloses und geruchloses Gas, das mit bläulicher, schwach leuchtender, aber sehr heißer Flamme zu Wasser verbrennt. Wasserstoff ist das leichteste Element, 1 Liter wiegt 0,09 g; während 1 Liter Luft 1,293 g wiegt.

Technische Verwendung

Im Jahre 1783 wurde erstmalig ein „Luftballon“ mit Wasserstoff gefüllt. Später füllte man auch Luftschiffe mit Wasserstoff. Da Wasserstoff brennbar ist und ein Gemisch von Wasserstoff und Luft hochexplosiv ist, eigneten sich in der Luftfahrt

viele Katastrophen, bei denen z. B. Luftschiffe durch Explosion und Brand des Füllgases zerstört wurden. Deshalb wurde später in der Luftfahrt das unbrennbare Edelgas Helium als Füllgas benutzt.

Wasserstoff wird auch bei der Verflüssigung der Kohle (Hydrierung) verwendet. Dabei verbindet sich der Wasserstoff mit dem Kohlenstoff der Kohle zu synthetischem Benzin und anderen Kohlenwasserstoffen.

Ein Gemenge von Wasserstoff mit Sauerstoff wird Knallgas genannt. Bei der Entzündung von Knallgas vereinigen sich die beiden Elemente Wasserstoff und Sauerstoff in einer heftigen Explosion, bei der sehr hohe Temperaturen entstehen. Um die hohe Temperatur nutzbar zu machen, muß man die Explosionsgefahr beseitigen. Das geschieht, wenn die beiden Gase in einem Wasserstoffgebläse (Daniellscher Hahn) erst kurz vor der Brennstelle vereinigt werden (Schweiß-, Schneidbrenner). Zum autogenen Schweißen und Schneiden wird heute anstatt des Wasserstoffes in erster Linie Azetylgas verwendet, da dies eine noch heißere Flamme liefert. Die Sauerstoff-Wasserstoff-Schweißung wird nur noch zum Schweißen dünner Bleche und von Aluminium benutzt. Die geringere Temperatur der Wasserstoffflamme schließt eine Überhitzung aus. Wasserstoff-Flaschen sind ebenso vorsichtig zu behandeln wie Sauerstoff-Flaschen (s. S. 23). Wasserstoff-Flaschen werden mit einem Druck von 150 at gefüllt.

c) Oxydation — Reduktion

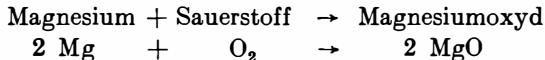
Tiegelzange — Bunsenbrenner — Stativ — Reagenzglas — Glasrohr — Gummistopfen — Becherglas — Magnesiumband — Kupfer(III)oxyd — Kalkwasser

Oxydation

Versuch 10:

Wir halten ein etwa 10 cm langes Stück Magnesiumband mit einer Tiegelzange in die Flamme. Das silberweiße Metall verbrennt mit blendendem Licht zu weißer Asche.

Bei der Verbrennung verbindet sich das Magnesium mit Sauerstoff. Es bildet sich Magnesiumoxyd.



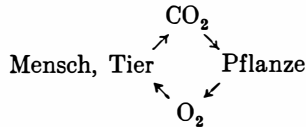
Im Versuch 3 verbrannte Kohlenstoff mit Sauerstoff zu Kohlendioxyd. Im Versuch 4 erhielten wir bei der Verbrennung von Schwefel im Sauerstoff Schwefeldioxyd.

Die bei einer Verbrennung entstandenen Verbindungen nennt man Oxyde. Die Zahl der Sauerstoffatome, die im Molekül des Oxydes vorhanden sind, wird durch eine entsprechende Bezeichnung des Oxydes zum Ausdruck gebracht.

Element	+ 1 Atom	Sauerstoff	=	— monoxyd
„	+ 2 Atome	„	=	— dioxyd
„	+ 3 „	„	=	— trioxyd
„	+ 4 „	„	=	— tetroxyd
„	+ 5 „	„	=	— pentoxyd.

Die Vereinigung eines Stoffes mit Sauerstoff wird Oxydation genannt.

Es gibt langsam und schnell verlaufende Oxydationen. Unsere Kohlen verbinden sich bei normaler Temperatur nur langsam mit Sauerstoff. Eine schnelle Vereinigung erfolgt bei der Explosion. Eine langsame Oxydation findet bei der *Atmung* statt. Der Sauerstoff gelangt bei der Atmung in die Lungengewebe und wird von dort mit dem Blutstrom in alle Teile des Körpers gebracht. Die hier stattfindenden Oxydationsvorgänge erzeugen die Wärme, die für die Aufrechterhaltung der Körpertemperatur der Menschen und Tiere notwendig ist. Als *Verbrennungsprodukt* entsteht Kohlendioxyd (CO₂), das ausgeatmet wird. Kohlendioxyd wird von den grünen Pflanzen im Sonnenlicht aufgenommen.



Die Pflanze verwendet den Kohlenstoff zu ihrem Aufbau und gibt den Sauerstoff ab. Alle unedlen Metalle oxydieren an feuchter Luft, z. B. Eisen rostet. Die beim Blei, Zink, Aluminium, Kupfer u. dgl. sich bildenden Oxydschichten schützen das darunterliegende Metall vor Zerstörung. Bei Stahl und Eisen jedoch kann der Rost tief eindringen. Wasserstoffsperoxyd, Salpetersäure, Salpeter und noch manche andere Stoffe sind sauerstoffreiche Verbindungen, die den Sauerstoff leicht an andere Stoffe abgeben. Sie werden deshalb als *Oxydationsmittel* bezeichnet.

Reduktion

Versuch 11:

Wir erwärmen in einem Reagenzglas ein wenig Kupferoxyd und pulverisierte Holzkohle. Das entweichende Gas wird in ein mit Kalkwasser gefülltes Becherglas geleitet. Das Kalkwasser trübt sich. Im Reagenzglas entsteht reines Kupfer (Abb. 12).

Die Trübung des Kalkwassers beweist, daß aus dem Reagenzglas Kohlendioxyd entwichen ist.

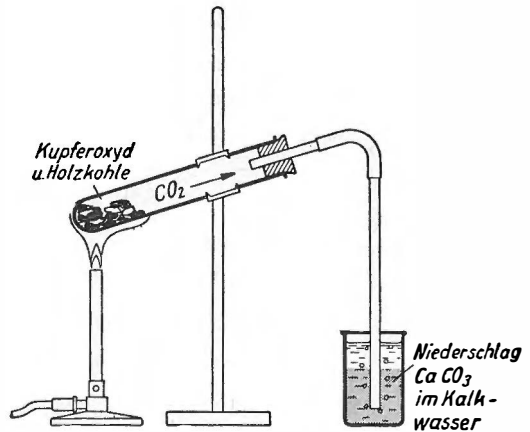
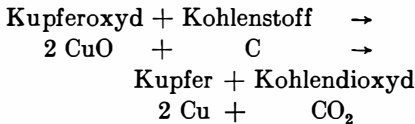


Abb. 12. Reduktion von Kupferoxyd

Der Entzug von Sauerstoff aus einer chemischen Verbindung wird Reduktion genannt.

In den meisten Fällen sind es Sauerstoffverbindungen, aus denen Metall durch Reduktion mit Kohlenstoff (Koks) gewonnen werden kann (Hochofenprozeß).

Reduktionsmittel sind Stoffe, die Sauerstoff aufnehmen. Kohle und Wasserstoff sind z. B. wichtige Reduktionsmittel in der Technik.

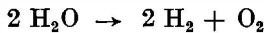
d) Wasser

*Hofmannscher Zersetzungsapparat — Akkumulator — Glastrichter — Becherglas — Trichter
 Filtrierpapier — Erlenmeyerkolben — Liebig'scher Kühler
 Salzsäure — Schwefelpulver — Kreidestaub — Kohlepulver — Kochsalz — Kaliumper-
 manganat*

Elektrolyse

Versuch 12:

Wir füllen einen Hofmannschen Zersetzungsapparat mit Wasser, dem etwas Schwefelsäure zugesetzt ist. Der Wasserzersetzungsapparat besteht aus einem U-Rohr, in dessen beiden Schenkeln je ein Platinblech hineinragt (Elektroden). Leitet man nun den elektrischen Strom durch das Wasser, so steigen an beiden Elektroden Bläschen auf. Über der positiven Elektrode (Anode) bildet sich ein Raumteil Sauerstoff, über der negativen Elektrode (Kathode) sammeln sich zwei Raumteile Wasserstoff an (Abb. 13). Nachweis!



Das Zersetzen des Wassers mit Hilfe des elektrischen Stromes wird Elektrolyse genannt.

Filtrieren

Versuch 13:

Wir verunreinigen ein Glas Wasser mit Schwefelpulver, Kreidestaub, Kohlepulver und gießen dieses Schmutzwasser durch einen mit Filtrierpapier ausgelegten Trichter. Die Schmutzteilchen dringen nicht durch die Poren des Filtrierpapiers hindurch.

Unter „Filtrieren“ verstehen wir das Trennen einer Aufschwemmung in klare Flüssigkeit und ungelöste Bestandteile.

Alle Flüssigkeiten, die ungelöste, feste Stoffe enthalten (Gemenge), können durch Filtrieren von den ungelösten Stoffen getrennt werden. Man verwendet Filter aus Papier, Kies, Holzkohle, Textilien u. a.

In den Wasserwerken wird durch Filtrieren einwandfreies Trinkwasser gewonnen. Hier wird das den Flüssen entnommene Wasser in großen Behältern gereinigt, in denen mehrere Schichten Steine, Kies und feiner Sand lagern. Gelöste Stoffe werden durch chemische Zusätze (z. B. gelöschten Kalk) niedergeschlagen. Bei dieser Klärung bleiben schon die meisten im Wasser befindlichen Krankheitskeime (Bakterien) zurück. Der Rest kann durch Behandlung mit Chlor vernichtet werden. Auch in Badeanstalten wird Wasser durch Chlorieren entkeimt.

Destillieren

Versuch 14:

Wir lösen in einem Glase Wasser ein wenig Kochsalz und etwas Kaliumpermanganat auf. Die Lösung ist rot und schmeckt salzig. Wir filtrieren die Lösung. Nach dem Filtrieren hat die Flüssigkeit noch die gleichen Eigenschaften.

Im Wasser gelöste Stoffe lassen sich *nicht* durch Filtrieren entfernen.

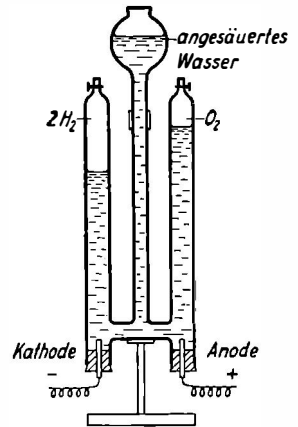


Abb. 13. Hofmannscher Zersetzungsapparat

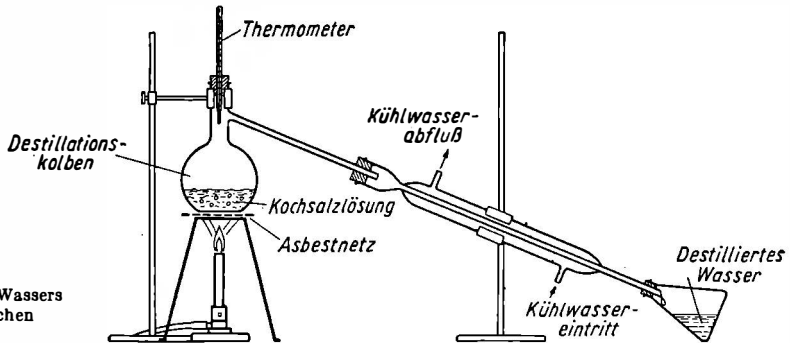


Abb. 14.
Destillation des Wassers
mit dem Liebigsschen
Kühler

Versuch 15:

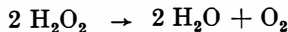
Wir erhitzen das gefärbte Salzwasser in einem Erlenmeyerkolben (Abb. 14) und leiten die Dämpfe durch einen Liebigsschen Kühler. Der entstehende Wasserdampf verdichtet sich im Gegenstromkühler wieder zu Wasser, das wir an der Ausflußöffnung in einem Becherglas auffangen. Das aufgefangene Wasser hat die Färbung verloren; eine Geschmacksprobe zeigt, daß das Wasser nicht mehr salzig schmeckt. Wir stellen hierdurch fest, daß das in gasförmigen Zustand überführte Wasser keine Lösungsbestandteile mitgeführt hat.

Wir erhielten *destilliertes Wasser* (aqua destillata), d. i. chemisch reines Wasser, wie es in chemischen Fabriken, im Gewerbe und in der Heilkunde verwendet wird.

e) Wasserstoffsperoxyd

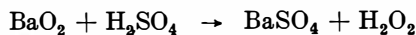
Wasserstoffsperoxyd (3%ig) — Anilinfarbe — Filtrierpapier

Eine weitere Wasserstoff-Sauerstoff-Verbindung ist das uns als Gurgelmittel bekannte Wasserstoffsperoxyd (H_2O_2), das auch *Wasserstoffperoxyd* genannt wird. Diese farblose, wenig beständige Flüssigkeit zerfällt leicht in Sauerstoff und Wasser.



Wasserstoffsperoxyd wirkt infolge seiner Sauerstoffabgabe bleichend und desinfizierend.

Wasserstoffsperoxyd wird aus Bariumsperoxyd (BaO_2) und Schwefelsäure bzw. elektrolytisch hergestellt.



Versuch 16:

Tauchen wir ein mit Tinte (Anilinfarben) beschriebenes Blatt Papier in eine angesäuerte wässrige Lösung von H_2O_2 , so verschwindet nach kurzer Zeit die Schrift.

Das Wasserstoffsperoxyd wird u. a. beim Bleichen von Wolle, Seide, Federn, Horn, Knochen, Elfenbein und Haaren (Blondieren) angewendet. Da Wasserstoffsperoxyd keimtötend wirkt, wird es auch als Mundwasser benutzt (3%ige Lösung). Perhydrol ist eine 30%ige Lösung von Wasserstoffsperoxyd in Wasser.

Aufgaben:

1. Beschreibe die Verfahren der Sauerstoffgewinnung!
2. Nenne die Eigenschaften des Sauerstoffs!
3. Wozu verwendet man Sauerstoff ?
4. Welche Brenngase werden beim autogenen Schweißen verwendet ? Welche Temperaturen entstehen ?
5. Nenne die Vorsichtsmaßnahmen, die bei der Verwendung von Sauerstoff-Flaschen und Brenngasflaschen zu beachten sind!
6. Welche Aufgaben hat der Schweißbrenner ?
7. Welcher chemischer Vorgang findet beim Brennschneiden statt ?
8. Wie stellt man Wasserstoff her ?
9. Welche Eigenschaften hat Wasserstoff ? Wozu wird er verwendet ?
10. Was ist eine Oxydation ?
11. Was versteht man unter Reduktion ?
12. Was sagt uns die chemische Formel für Wasser ?
13. Wie stellt man chemisch reines Wasser her ?
14. Welchen Zweck hat das Filtrieren ?
15. Wozu verwendet man Wasserstoffsperoxyd ?
16. Das Inhaltsmanometer einer Sauerstoffflasche zeigt einen Gasdruck von 130 at an. Wieviel Liter Sauerstoff können aus der Flasche entnommen werden ?

3. Luft

Wir wissen, daß Menschen und Tiere zum Atmen Luft brauchen. Ebenso wissen wir aus unserer täglichen Erfahrung, daß eine Verbrennung ohne Luft unmöglich ist. An Herden und Öfen wird die Luftzufuhr durch Klappen und Schieber reguliert. Der Schmied facht das Feuer mit dem Blasebalg an, weil er durch erhöhte Luftzufuhr die Verbrennung der Kohle fördern und damit höhere Temperaturen zum Glühen des Stahles erreichen will. In der Industrie (z. B. beim Verhüttungsprozeß, bei der Stahlgewinnung und bei vielen anderen technischen Verfahren) beeinflussen Bestandteile der Luft die chemischen Vorgänge. Aus diesem Grunde gehört die Kenntnis von der Zusammensetzung und den Eigenschaften der Luft zum chemischen Grundwissen der Metallberufe.

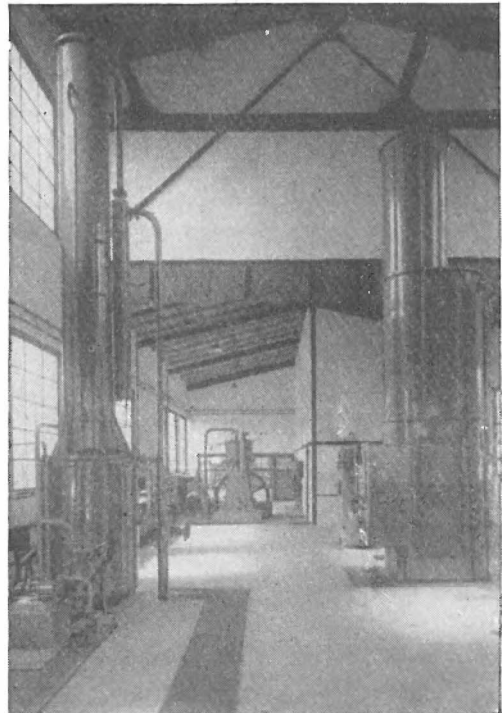


Abb. 15. Teilansicht der Räume einer Luftverflüssigungs- und Sauerstoffgewinnungsanlage (Leistung 50 m³/h)

a) Zusammensetzung und Eigenschaften

Pneumatische Wanne — Porzellantiegeldeckel — Becherglas (1 l, hohe Form) — Roter Phosphor

Versuch:

Wir lassen einen kleinen Porzellantiegeldeckel, auf den wir eine Messerspitze roten Phosphor gegeben haben, auf Wasser in einer pneumatischen Wanne schwimmen. Nach dem Entzünden des Phosphors stülpen wir ein hohes Becherglas darüber. Nach einiger Zeit erlischt der Phosphor, und der Wasserspiegel im Becherglas steigt. Es ist ersichtlich, daß ein Teil der Luft bei der Verbrennung des Phosphors verbraucht wurde.

Wie bei jeder Verbrennung, wird in unserem Versuch bei der Verbrennung des Phosphors der Sauerstoff im Becherglas verbraucht. Den Raum, der bisher vom Sauerstoff der Luft eingenommen wurde, füllt nunmehr das nachdrängende Wasser aus. Das übrigbleibende Gas hat die Flamme erstickt. Es wird deshalb als *Stickstoff* bezeichnet. Unser Versuch läßt erkennen, daß die Luft etwa $\frac{1}{5}$ Sauerstoff enthält. Wissenschaftliche Untersuchungen haben ergeben, daß die Luft ein Gemenge ist, dessen Litergewicht 1,293 g beträgt. Sie besteht in der Hauptsache aus 20,95 Vol.-% ($\frac{1}{5}$) Sauerstoff und 78,08 Vol.-% ($\frac{4}{5}$) Stickstoff.

Außer diesen beiden Bestandteilen finden sich in der Luft noch geringe Mengen Edelgase (0,94 Vol.-%), Kohlendioxyd (0,03 Vol.-%), Rauchgase und Wasserdampf.

Stickstoff

Beim Versuch 1 entzog der brennende Phosphor der Luft den Sauerstoff, und der Stickstoff blieb zurück. Im Stickstoff kann keine Verbrennung stattfinden. Menschen und Tiere müßten darin ersticken. Daß die Verbrennung in gewöhnlicher Luft nicht ebenso lebhaft vor sich geht wie in reinem Sauerstoff, liegt darin begründet, daß der Stickstoff den Sauerstoff verdünnt und damit seine Wirkung herabsetzt. Stickstoff ist ein farb-, geschmack- und geruchloses Gas, das nicht brennbar ist und auch den Verbrennungs- und Atmungsprozeß nicht unterhält. Bei normaler Temperatur verbindet er sich mit keinem Element. In gebundenem Zustand ist Stickstoff ein *wichtiger Bestandteil der organischen Eiweißstoffe, des Salpeters und des Ammoniaks*.

Die technische Gewinnung von Stickstoff erfolgt durch fraktionierte Destillation der nach dem Lindeverfahren (s. S. 34) verflüssigten Luft, oder indem man der Luft den Sauerstoff durch leichtoxydierbare Stoffe entzieht (z. B. Bindung des Sauerstoffs an Kohle im Haber-Bosch-Verfahren zur Ammoniakgewinnung).

Edelgase

Die in der Luft als freie Elemente auftretenden Edelgase sind Helium, Argon, Neon, Krypton und Xenon.

Das *Helium*, ein leichtes, nichtbrennbares, geschmack- und geruchloses Gas, gewinnt man aus Erdgasquellen, die etwa 1% Helium enthalten. Auch bei der Luftverflüssigung wird Helium aufgefangen; diese Gewinnung hat aber keine praktische Bedeutung, da aus 200000 l Luft nur 1 l Helium gewonnen werden kann. Helium wird wegen seiner geringen Dichte und seiner Nichtbrennbarkeit zur Füllung von Luftschiffen, wegen seines tiefen Verflüssigungspunktes zur Füllung von Gasthermometern verwendet.

Neon dient zur Füllung von Glimmlampen (Notbeleuchtung, Kontrollampe, Leitungsprüfer) und Leuchtröhren (Reklamebeleuchtung). Auch Glühlampen werden mit Stickstoff, *Argon*, *Krypton* und *Xenon* gefüllt, da diese Gase eine Oxydation und ein rasches Verdampfen der Glühfäden verhindern.

Kohlendioxyd

Das in der Luft enthaltene Kohlendioxyd trägt besonders zur Verwitterung der Gesteine und zum Rosten von Stahl und Eisen bei. Kohlendioxyd ist eine unerläßliche Voraussetzung für den Aufbau der Kohlénhydrate mit Hilfe des grünen Farbstoffs in der Pflanze. Die vom Menschen ausgeatmete Luft enthält rund 4% Kohlendioxyd (s. S. 28).

Unter dem Einfluß des Kohlendioxyds der Luft entsteht z. B. auf Kupferdächern ein grüner Überzug von Patina (basischem Kupferkarbonat, siehe auch Kap. 9, S. 92). Die Patina auf Kupferdächern wirkt als Schutzschicht, die eine weitere Zerstörung der unteren Kupferschichten verhindert.

Rauchgase

Die bei Verbrennungen, z. B. aus der Feuerung von Dampfkessel- oder anderen Industrieanlagen entweichenden Rauchgase bilden vor allem über Industrieanlagen und großen Städten eine Dunstschicht. Diese Rauchgase enthalten Stickstoff, Kohlendioxyd, Säuren und feste Stoffe wie Ruß und Asche. Infolge ihrer erstickenden und giftigen Bestandteile verschlechtern die Rauchgase die Atemluft und zerstören durch ihren Säuregehalt Steinbauten und Metalle.

Zur Vermeidung von Rauchschäden muß vor allen Dingen in industriellen Feuerungen für eine richtige Luft- bzw. Sauerstoffzufuhr gesorgt werden. Die Abführung der Rauchgase, besonders von unseren Hüttenwerken, geschieht durch hohe Schornsteine. Das Abscheiden fester Stoffe erreicht man durch Einbau von Filtern hinter den Feuerungen.

Wenn die Luft in Arbeitsräumen durch gesundheitsschädliche, beim Arbeitsvorgang entstehende Gase und Dämpfe verschlechtert wird, muß für ausreichende Ventilation gesorgt werden.

Wasserdampf

Die Verdunstung des überall vorhandenen Wassers bewirkt einen mehr oder weniger schwankenden Gehalt an Wasserdampf in der Luft, der als Luftfeuchtigkeit bezeichnet wird. Die Fähigkeit der Luft, Feuchtigkeit aufzunehmen, steigt mit zunehmender Temperatur. Unter *absoluter Luftfeuchtigkeit* versteht man die in Gramm gemessene Masse des Wasserdampfes in einem m³ Luft.

Diejenige Wasserdampfmenge, die die Luft bei einer bestimmten Temperatur bis zu ihrer Sättigung aufnehmen kann, wird als *Sättigungsmenge* bezeichnet.

Das Verhältnis der absoluten Luftfeuchtigkeit zur Sättigungsmenge wird *relative Luftfeuchtigkeit* genannt. In den Werkstätten und Büroräumen soll die relative Luftfeuchtigkeit 50 bis 70% betragen. Bei bestimmten Industriezweigen (z. B. Textilbetrieben) muß durch Klimaanlage für die Erhaltung einer bestimmten Luftfeuchtigkeit gesorgt werden.

b) Luftverflüssigung

Sowohl Stickstoff als auch Sauerstoff sind technisch wichtige Gase, die durch industrielle Verfahren gewonnen werden. Die größte Bedeutung kommt dem Lindeverfahren zu, das seinen Namen nach dem Münchener Prof. v. *Linde* hat, dem es 1895 gelang, einen Apparat zu konstruieren, mit dem man flüssige Luft für die praktische Verwertung in ausreichenden Mengen erzeugen kann. Heute besitzt fast jede größere Maschinenfabrik eine Luftverflüssigungsanlage, vor allem zur Gewinnung von reinem Sauerstoff.

Abb. 16 zeigt uns den schematischen Aufbau einer solchen Anlage.

Im Luftfilter werden Verunreinigungen, Staub, Ruß usw., entfernt. Im CO_2 -Abscheider wird das Kohlendioxyd der Luft durch Lauge gebunden. Die derart gereinigte und dann getrocknete Luft wird durch den Kompressor angesaugt, auf etwa 60 atü verdichtet und in den Kühler gedrückt.

Von hier aus gelangt sie in den Gegenstromapparat. Beim Öffnen des Entspannungsventils wird die zusammengepreßte (komprimierte) Luft entspannt. Sie kühlt sich hierbei erheblich ab und strömt in einen mit dem Gegenstromapparat gekoppelten Behälter. Diese kalte Luft wird nun in den Gegenstromapparat zurückgeleitet, dient dort zur Kühlung weiterer komprimierter Luft vor ihrer Entspannung. Der Vorgang wird so lange wiederholt, bis die Temperatur auf etwa -200°C gesunken ist und eine schwach bläuliche Flüssigkeit, die flüssige Luft, in den Auffangbehälter fließt.

Die Trennung des Sauerstoffs vom Stickstoff wird dadurch möglich, daß der Stickstoff sich schneller verflüchtigt als der Sauerstoff, denn die Verdampfungstemperatur

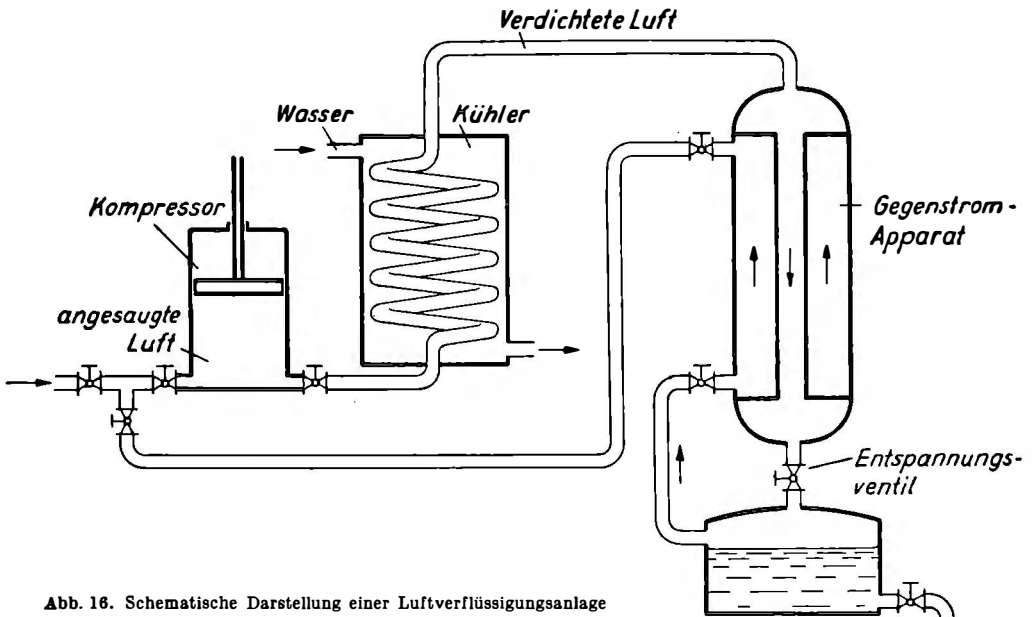


Abb. 16. Schematische Darstellung einer Luftverflüssigungsanlage

des Sauerstoffs liegt bei -183° und die des Stickstoffs bei -196° C. Man bezeichnet das teilweise Abdampfen eines Bestandteiles aus einer Flüssigkeitsmischung als *fraktionierte Destillation*.

Aufgaben:

1. Gib an, welche Bestandteile der Luft technisch ausgewertet werden!
2. Erläutere die Methoden, die zur Verbesserung der Luft in Arbeitsräumen oder bei besonderen Fertigungsverfahren angewendet werden!
3. Welche Eigenschaften hat Stickstoff?
4. Beschreibe den Vorgang der Luftverflüssigung!
5. Was sind Rauchgase, und welche Eigenschaften haben sie?

4. Verbrennung und Entflammbarkeit



Abb. 17. Gelagerter Koks und gelagerte Braunkohle müssen im Sommer oft mit Wasser besprengt werden, damit sie sich nicht selbst entzünden.

Die Erfüllung des Fünfjahrplans wird nicht allein durch die Erhöhung der Arbeitsproduktivität und ständig verbesserte Arbeitsmethoden gesichert, sondern jeder Werktätige muß außerdem durch Einhaltung der Arbeitsschutzvorschriften dazu beitragen, daß kein Verlust an Arbeitskraft und Material entstehen kann. Schwere Brandschäden und Unglücksfälle wurden schon häufig durch Fahrlässigkeit hervorgerufen. In Betrieben und Räumen, in denen mit feuergefährlichem Material gearbeitet wird, darf z. B. nicht geraucht werden.

Wenn auch in der letzten Zeit die Zahl der Brände stark zurückgegangen ist, so werden immer noch erhebliche Werte durch Fahrlässigkeit und Brandstiftung ver-

nichtet. So wurde z. B. im Lande Sachsen-Anhalt in den Jahren 1946 bis 1949 folgender Sachschaden durch Brände verursacht:

1946 22 Mill. DM 1947 15,5 Mill. DM 1948 9,2 Mill. DM 1949 8,3 Mill. DM.

Alle Angehörigen eines Betriebes müssen wachsam sein, müssen die Sicherheitsvorschriften streng einhalten und bei evtl. Bränden gemeinsam mit der Feuerwehr für die Erhaltung ihrer Produktionsstätten sorgen.

a) Voraussetzungen

Bunsenbrenner — feuerfeste Unterlage — Zeitungen

Die Verbrennung ist ein chemischer Vorgang, bei dem sich der Sauerstoff mit einem brennbaren Stoff verbindet (Oxydationsvorgang). Die Verbrennung geht unter physikalischen Begleiterscheinungen, wie z. B. erheblicher Wärmeentwicklung und großer Lichterscheinung, vor sich.

Versuch 1:

Wir drücken mehrere Zeitungen zu einem festen Stapel zusammen und zünden sie auf einer feuerfesten Unterlage mit einem Bunsenbrenner an. Der Zeitungsstapel verbrennt nur an den Außenkanten, und die Flammen erlöschen bald. Zünden wir jedoch danach eine offene Zeitung an, so verbrennt sie außerordentlich rasch.

Aus dem Versuch ergibt sich, daß für eine Verbrennung mehrere Voraussetzungen notwendig sind, die genau untersucht werden müssen.

Wir wissen, daß für jede Verbrennung Stoffe erforderlich sind, die sich mit dem Sauerstoff verbinden können. Wir unterscheiden demzufolge brennbare und nichtbrennbare Stoffe.

Der Versuch 1 beweist uns, daß ein brennbarer Körper sich um so schneller mit dem Sauerstoff verbinden kann, je größer seine Oberfläche ist.

Die brennbaren Stoffe können mit und auch ohne Flamme verbrennen. Nur diejenigen Stoffe, die in der Verbrennungshitze brennbare Gase entwickeln (z. B. Holz, Schwefel, Öl), verbrennen mit Flamme. Bei den übrigen Stoffen tritt nur eine Glüherscheinung auf (z. B. Koks, Eisen). Bei jeder Verbrennung muß der Sauerstoff nicht nur vorhanden, sondern auch in ausreichender Menge vorhanden sein. Enthält die Luft nicht mindestens 15% Sauerstoff, so findet keine oder nur eine unvollkommene Verbrennung statt.

b) Flammpunkt und Entzündungstemperatur

*Porzellanschale — Thermometer — Bunsenbrenner
Öl — Schwefel*

Flammpunkt

Versuch 2:

In einer Metall- oder Porzellanschale erhitzen wir etwas Öl bis zur beginnenden Dampfbildung. Wir entzünden die in der Mitte der Schale aufsteigenden Öldämpfe mit einer kleinen Zündflamme. Im Augenblick des Aufflammens wird die Temperatur des Öls mit einem Thermometer festgestellt. Die Temperatur, die zur Entzündung der sich aus Flüssigkeiten entwickelten Dämpfe notwendig ist, bezeichnet man als *Flammpunkt*. Die Flamme verlöscht sofort wieder, da die gebildeten Dämpfe durch die Entzündung verbraucht sind.

Nur bei Flüssigkeiten, die brennbare Gase abgeben, wird von einem Flammpunkt gesprochen. Er ist für die Feuergefährlichkeit dieser Stoffe kennzeichnend. Bei Temperaturen, die unterhalb des Flammpunktes liegen, können Flüssigkeiten nicht zur Entzündung gebracht werden.

Entzündungstemperatur

Die Entzündungstemperatur (Zündpunkt) ist die Temperatur, auf die ein Stoff erhitzt werden muß, um sich zu entzünden. Sie liegt bei den einzelnen Stoffen verschiedenen hoch.

Versuch 3:

Wir erhitzen ein Stückchen Schwefel in einer Schale. Der Schwefel entzündet sich ohne jegliche Berührung mit einer offenen Flamme.

Flamm- und Zündpunkte einiger brennbarer Flüssigkeiten

Flüssigkeit	Flammpunkt	Zündpunkt
Leichtbenzin	— 45°	+ 530°
Normalbenzin	— 30°	+ 470°
Dieselöl	+ 76°	+ 350°
Lagerschmieröl	+ 165°	+ 400°
Alkohol	+ 16°	+ 450°
Benzol	— 16°	+ 560°
Äther	— 40°	+ 190°
Schwefelkohlenstoff	— 20°	+ 105°

Zündpunkte von Gasen, Dämpfen und festen Stoffen

<i>Gase</i>	Azetylen	+ 335° C	<i>Dämpfe</i>	Schwefelkohlenstoff	+ 105° C
	Butan	+ 490° C		Äther	+ 190° C
	Propan	+ 510° C		Schmieröl	+ 400° C
	Wasserstoff	+ 530° C		Dieselöl	+ 350° C
	Leuchtgas	+ 560° C		Benzin	+ 530° C
	Kohlenmonoxyd	+ 610° C		Benzol	+ 560° C
	Methan	+ 645° C		Alkohol	+ 450° C
<i>Feste Stoffe</i>	Kohlen			Papier	
	Graphit	+ 850° C		Schreibpapier	+ 360° C
	Hüttenkoks	+ 750° C		Krepppapier	+ 280° C
	Gaskoks	+ 450° C		Seiderpapier	+ 260° C
	Steinkohle	+ 350° C		Zeitungs-papier	+ 185° C
	Holz-kohle	+ 300° C			
	Braun-kohle	+ 260° C			
	Anthra-zit	+ 250 bis 280° C			
	Steinkoh-lenstaub	+ 145 bis 190° C			
	Holz-koh-lenstaub	+ 165° C			
	Braun-koh-lenstaub	+ 150 bis 170° C			
	Holz			Verschiedenes	
	Fichte	+ 280° C		Phosphor	+ 60° C
	Buche	+ 295° C		Schwefel	+ 250° C
	Eiche	+ 340° C		Tabak	+ 175° C
				Watte	+ 320° C

Entzündungsursachen

Man unterscheidet Entzündungen durch äußere Einwirkung und Selbstentzündungsvorgänge. Bei beiden müssen die gleichen Voraussetzungen gegeben sein.

Die Entzündungstemperatur kann herbeigeführt werden durch:

1. Brennende oder glimmende Stoffe (Flammen, Funken, Glut).
Beispielsweise können mit einem brennenden Zündholz (600°) Benzin, Öl, Holz und andere Stoffe zur Entzündung gebracht werden. Die Funken eines Feuerzeugs entzünden Benzindämpfe.
2. Reibung, Schlag oder Stoß.
Gummireifen der Kraftfahrzeuge können sich durch starke Reibung mit dem Erdboden entzünden.
3. Wärmeleitung, Wärmestrahlung.
Durch die Wärme des eisernen Rauchabzugsrohres eines glühenden Ofens kann anliegendes Holz entzündet werden.
4. Gärungsvorgänge.
Feucht eingelagertes Heu kann in Gärung übergehen, hierbei entsteht Wärme, die ausreichen kann, die Entzündungstemperatur des Heues zu erreichen.
5. Zersetzungs Vorgänge.
Die Selbstentzündung von Kohlen, Putzlappen u. ä. wird durch Zersetzungs Vorgänge ausgelöst, bei denen sich leichtentflammbare Gase entwickeln und bei denen gleichzeitig Wärme frei wird.

Verbrennungswärme

Halten wir ein brennendes Streichholz an Papier, das im Ofen unter einem Kleinstholzstapel liegt, so besitzt das brennende Streichholz die Entzündungstemperatur des Papiers, während es uns kaum gelingen würde, während der Brenndauer des Streichholzes ein Stück Holz oder gar ein Stück Kohle zu entzünden. Die Wärme, die das brennende Papier entwickelt, reicht aber nunmehr aus, um das Holz zu entzünden. Das brennende Holz kann wiederum daraufgeschichtete Kohlen in Brand setzen. Dieses einfache Beispiel zeigt, daß ein Stoff mit niedriger Entzündungstemperatur bei seiner Verbrennung so viel Wärme abgibt, daß mit dieser die Entzündungstemperatur des Stoffes mit der nächsthöheren Entzündungstemperatur erreicht werden kann. Diese bei der Verbrennung freiwerdende Wärmemenge bezeichnet man als *Verbrennungswärme*. Entstehen Wärmeverluste, so daß die Entzündungstemperatur nicht beibehalten wird, hört die Verbrennung auf. Reicht z. B. die durch das Papier oder Holz entwickelte Wärme nicht aus, um die Entzündungstemperatur des nächstschwerer entzündbaren Stoffes zu erreichen (etwa bei der Verbrennung von zu wenig Papier), dann kommt es nicht zu einer Entzündung dieses Stoffes.

Zusammenfassung

Damit eine Verbrennung stattfinden kann, sind vier Voraussetzungen notwendig:

1. Ein brennbarer Stoff muß vorhanden sein.
2. Sauerstoff muß in ausreichender Menge hinzutreten können.

3. Die Entzündungstemperatur muß erreicht werden.
4. Die Entzündungstemperatur muß erhalten bleiben.

Durch Hinzufügen großer Mengen Sauerstoff (Gebläse, Schornsteine) kann die Verbrennungstemperatur bedeutend gesteigert werden.

c) Leicht entflammbare Stoffe

*Stahldraht — Reagenzgläser — Fließpapier — Porzellantiegeldeckel — Porzellanschale — Bunsenbrenner — Korken — Glasröhre
Weißer Phosphor — Schwefelkohlenstoff — Magnesiumpulver — Kalziumkarbid — Schwefelfaden — Zelluloid — Benzin — Benzol*

Phosphor

Versuch 4:

Berühren wir ein Stück weißen Phosphor mit einem erwärmten Stahldraht, so entzündet er sich sofort.

Versuch 5:

Wir lösen Phosphor in Schwefelkohlenstoff auf und bringen die Lösung auf Fließpapier. Schon nach kurzer Zeit tritt Entzündung ein.

Der gelblich-weiße Phosphor ist ein äußerst feuergefährlicher Stoff, der sich bereits bei $+60^{\circ}\text{C}$ an der Luft selbst entzündet. In feinverteiltem Zustand entwickelt der Phosphor bereits bei Zimmertemperatur Dämpfe, die sich in Berührung mit dem Luftsauerstoff erhitzen, bis sie bei Erreichung der Entzündungstemperatur brennen.

Die Aufbewahrung von Phosphor erfolgt deshalb stets unter Wasser. Er verbrennt an der Luft zu dichten weißen Nebeln von Phosphorpentoxyd. Brennender Phosphor ist schwer zu löschen, denn durch die Bekämpfung mit Wasser werden die brennenden Teilchen fortgeschwemmt und tragen das Feuer weiter.

Phosphorbrände werden durch Aufwerfen nasser Erde oder mit Trockenfeuerlöschern bekämpft.

Im Gegensatz zum chemisch unbeständigen und giftigen weißen Phosphor oxydiert die beständige Formart, der rote Phosphor nicht an der Luft. Seine Entzündungstemperatur liegt erst bei 400°C . Da er ungiftig ist, wird er an den Reibflächen der Streichholzschachteln verwendet. Beim Anstreichen der Reibfläche löst der sauerstoffabgebende Stoff im Zündholzkopf die Entzündung der kleinen Menge abgeriebenen roten Phosphors aus.

Magnesium

Versuch 6:

Wir erhitzen Magnesiumpulver in einem Porzellandeckel bis zur Entzündung. Magnesium verbrennt unter lebhafter Lichterscheinung zu Magnesiumoxyd (MgO).

Magnesium ist in Form von Platten oder Blöcken ungefährlich. Beim Bearbeiten dieses Materials ist aber größte Vorsicht geboten, da Späne und Pulver feuer- und explosionsgefährlich sind.

Zum Löschen von Magnesiumbränden darf kein Wasser verwendet werden, da sich sonst explosives Knallgas bildet (s. Kap. Sauerstoff u. Wasserstoff, S. 27). Das beste Löschergebnis erreicht man durch Aufwerfen von trockenem Sand.

Kalziumkarbid

Versuch 7:

Wir werfen einige Stückchen Karbid in ein mit Wasser gefülltes Reagenzglas und verschließen es mit einem Korken, durch den eine dünne, zu einer Spitze ausgezogene Glasröhre gesteckt wird. Das sich entwickelnde Gas lassen wir erst eine geraume Zeit ausströmen und entzünden es dann.

Das Kalziumkarbid entwickelt in Verbindung mit Wasser das äußerst feuer- und explosionsgefährliche Azetylen. Deshalb erfolgt die Aufbewahrung von Kalziumkarbid in besonderen Behältern und Räumen.

Brennendes Karbid kann mit Wasser nicht gelöscht werden. Nach Möglichkeit ist das Kalziumkarbid aus dem Brandraum zu entfernen. Gute Löschwirkung erreicht man mit dem Kohlensäureschnee-Löscher.

Schwefel

Versuch 8:

Wir verbrennen Schwefelfäden. Die abfallenden Tropfen entzünden sich wieder.

Der gelbe Schwefel brennt mit bläulicher Flamme, schmilzt hierbei und entzündet sich an der Luft immer wieder von selbst. Bei seiner Verbrennung entwickelt er ein stechend riechendes giftiges Gas, Schwefeldioxyd (SO_2), das stark zum Husten reizt. Schwefelbrände sind schwer zu löschen. Man bekämpft sie mit Wasser und Schaumlöschern.

Zelluloid

Versuch 9:

Wir entzünden ein Stückchen Zelluloid.

Zu den äußerst leicht entflammaren Stoffen rechnet man das Zelluloid. Da Zelluloid einen hohen Gehalt an Sauerstoff besitzt, ist es schwer zu löschen. Die sich entwickelnden Gase sind giftig. Zelluloidbrände werden durch Aufwerfen von Erde und mit viel Wasser gelöscht.

Treibstoffe (Benzin, Benzol)

Versuch 10:

Wir bringen ein brennendes Streichholz in die Nähe der Oberfläche einer kleinen, in einer Porzellanschale befindlichen Menge Treibstoff. Vorsicht!

Flüssige Brennstoffe, die sich sehr schnell verflüchtigen und einen niedrigen Siedepunkt haben, sind besonders feuergefährlich. Die bei der Verbrennung entwickelte Wärme begünstigt eine weitere schnelle Verdampfung, so daß eine Brandbekämpfung sehr schwer und nur mit besonderen Mitteln möglich ist. Da Treibstoffe leichter als Wasser sind und sich auch nicht mit Wasser mischen, können sie nicht mit Wasser gelöscht werden. Das Ablöschen erfolgt deshalb mit Erde, mit Sand oder Speziallöschern wie Kohlensäureschnee-, Schaum- oder Tetralöschern.

Benzindämpfe mit Luft gemischt sind stark explosiv!

Lösungsmittel

Auch Lösungsmittel wie Spiritus, Äther, Azeton, Schwefelkohlenstoff und Alkohol haben ähnliche Eigenschaften wie Treibstoffe und sind deshalb ebenfalls höchst feuergefährlich.

Die Brandbekämpfung dieser Stoffe entspricht der des Benzins und Benzols.

Im Gegensatz dazu wirken die aus hochhalogenierten (mit viel Halogen verbundenen) Kohlenwasserstoffen bestehenden Lösungsmittel feuerlöschend, z. B. Tetrachlorkohlenstoff (s. Kap. 5, S. 47).

Schmiermittel, Anstrichmittel

Brennbare Dämpfe können sich außerdem aus Heizölen, Dieselölen, Schmierölen, Firnis, Lacken und Teer entwickeln. Brände dieser Stoffe sind schwer und nur mit besonderen Mitteln zu bekämpfen (siehe Benzin und Benzol).

d) Brandgefahren im Betrieb

In allen Betrieben müssen Schutzmaßnahmen gegen Schadenfeuer getroffen werden. Dabei sind bestimmte Betriebe oder manche Räume eines Betriebes besonders zu schützen.

1. Holzverarbeitende Betriebe (z. B. Modelltischlerei).

In diesen Räumen ist das Rauchen, Umgang mit offenem Feuer und die Lagerung von brennbaren Flüssigkeiten grundsätzlich verboten. Nach Betriebsschluß muß durch peinliche Sauberkeit und Ordnung ein Überblick geschaffen werden, der evtl. Brandmöglichkeiten sofort erkennen läßt.

2. Heiz- und Maschinenhäuser.

Die Lagerung von leicht brennbaren Flüssigkeiten und festen feuergefährlichen Stoffen ist verboten. Ölige Putzwolle ist nur in besonderen, nicht brennbaren Behältern unterzubringen.

Bei Reparaturen in den Maschinenhäusern sind die Unfallverhütungsvorschriften genau zu beachten.

3. Malerei und Farbenlager.

In den verarbeitenden Werkstätten darf nur der jeweilige Tagesbedarf an Lacken, Farben und Harzen gelagert werden. Auch in diesen Räumen besteht grundsätzliches Rauchverbot.

4. Karbidlagerung.

Karbid darf nur in trockenen, wasserdicht verschlossenen Gefäßen gelagert werden und muß gegen jeglichen Zutritt von Feuchtigkeit geschützt werden.

Die Anwendung von Entlötungsgeräten oder funkenerzeugenden Werkzeugen zum Öffnen der Gefäße ist verboten. Mengen von mehr als 100 kg dürfen nur in trockenen, hellen und gut gelüfteten Räumen gelagert werden.

5. Azetylenanlagen.

Das Rauchen und das Umgehen mit glühenden oder brennenden Gegenständen in den Azetylenanlagen und in deren unmittelbarer Nähe sowie in der Nähe von Karbidkalk-Schlammgruben und Azetylengasbehältern ist verboten.

Motoren sowie Sicherungen und Kontaktverbindungen der elektrischen Anlagen müssen außerhalb des Entwickelraumes aufgestellt oder angebracht werden.

6. Gasgeneratorenanlage.

Reinigungskanäle und Öffnungen sind samt ihren Ableitungskanälen explosionsgefährdet. Deshalb Vorsicht beim Öffnen der Gaskanäle, auch nach dem Absperren

der Gaszufuhr! Wegen der Gefahr einer Selbstentzündung müssen brennbare Bauteile von solchen Reinigungsöffnungen ferngehalten werden. Die Feuerwehr ist bei diesen Arbeiten zur Sicherung heranzuziehen.

7. Lagergebäude (Magazine).

In den Magazinräumen ist grundsätzlich das Rauchen und der Umgang mit offenem Feuer verboten.

Schweißarbeiten, die zu erledigen sind, dürfen nur nach Freigabe der Schweißstelle durch die Feuerwehr ausgeführt werden.

8. Kohlenlagerung.

Rohbraunkohle, Schwelkoks, Koks und Briketts sind getrennt auf trockenem Lager aufzubewahren. In Dauerlager von Rohbraunkohle sind eiserne Röhren einzubauen, in denen die Temperatur gemessen werden kann.

Achtung! Da Kohlenstaub in feinsten Verteilung sich selbst entzündet, ist aufgewirbelter Kohlen- und Koksstaub feuer- und explosionsgefährlich!

Im Bunkerraum eines Licht- und Kraftwerkes ist deshalb auf besondere Sauberkeit zu achten!

Schweiß-, Schneid- oder Lötarbeiten dürfen nur mit schriftlicher Genehmigung der Feuerwehr vorgenommen werden. Vor Beginn der Arbeiten sind alle mit Kohlenstaub behafteten Teile zu reinigen.

Kohlenstaubbrände werden mit Schaumlöschern bekämpft, die das Aufwirbeln von Staub verhindern.

9. Kraftfahrzeug-Reparaturwerkstätten und Garagen.

Die Werkstatt ist von leichtbrennbaren Gegenständen, Putzmaterial, Kisten und dgl. freizuhalten. Das Arbeiten mit offenem Feuer an Kraftfahrzeugen, bei denen sich im Kraftstoffbehälter befindliche Dämpfe entzünden können, ist selbstverständlich verboten. Garagen dürfen keine Feuerstätten oder sonstige Zündquellen enthalten. Eine unmittelbare Verbindung zu Räumen mit Feuerstätten ist verboten (s. Abb. 18).

10. Laboratorien.

Oxydierende Säuren (z. B. Salpetersäure) und brennbare Flüssigkeiten (z. B. Äther, Benzin) sind besonders sorgfältig zu lagern.

Wasserstoffperoxyd (besonders in hochkonzentrierter Form), leicht Sauerstoff abspaltende Substanzen und Sprengstoffe müssen getrennt aufbewahrt werden.

Stoffe, die miteinander reagieren, dürfen nicht nebeneinander lagern.

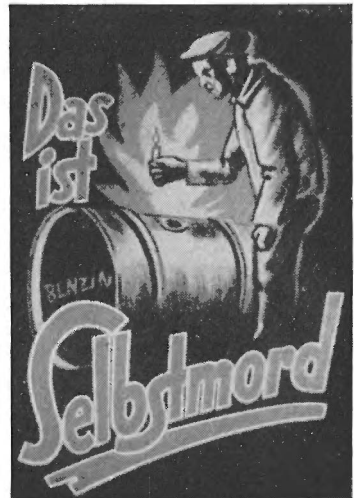


Abb. 18. Warnplakat für Betriebe, in denen Benzinflässer gelagert werden.

Alle Hinweise müssen mit dem notwendigen Verantwortungsbewußtsein befolgt werden.

Schützt Volksvermögen vor Vernichtung durch Brand!

Aufgaben:

1. Was ist eine Verbrennung?
2. Wodurch ist der Flammpunkt gekennzeichnet?
3. Was versteht man unter der Entzündungstemperatur?
4. Welche Voraussetzungen gehören zur Entstehung einer Verbrennung?
5. Weshalb kann ein brennendes Streichholz Holz, Kohle oder Öl zur Entzündung bringen?
6. Nenne die Stoffe, die sich leicht selbst entzünden!
7. Wodurch kann die Entzündungstemperatur erreicht werden?
8. Zähle einige feuergefährliche Stoffe auf!
9. In welchen Räumen eines Betriebes ist der Umgang mit offenem Feuer verboten?

5. Wirkung von Feuerschutzstoffen

Als vorbeugende Maßnahme gegen Brandgefahr sind in den Betrieben *Handfeuerlöcher* verschiedener Typen aufgehängt. Diese Feuerlöcher dienen zur Selbsthilfe bei der Entstehung von Brandherden. Außer der Arbeitsschutzkommission muß die gesamte Belegschaft dafür Sorge tragen, daß die Feuerlöcher ständig in einwandfreiem Zustand sind.

Aus Abb. 19 ist ersichtlich, daß sogar kleine Ölbrände mit dem Handfeuerlöcher erfolgreich bekämpft werden können.

Durch schnellen Einsatz eines Feuerlöschers kann wertvolles Volksgut vor der Vernichtung geschützt werden.

Jeder Betriebsangehörige muß sich mit der Handhabung und der Wirkungsweise der einzelnen Feuerlöcher vertraut machen!

a) Feuerhemmende Schutzmittel

Bunsenbrenner — Wasserglas — Holzspäne — Gewebe

Bei der baulichen Gestaltung der Betriebe müssen die polizeilichen Sicherheitsvorschriften beachtet werden (Brandschutzmauern, Feuerchutzanstrich, Einplanung eiserner Sicherungstüren). Die Bauleiter, die für Bauanlage, Baustoffe und Bauweise verantwortlich sind, haben ihre ausgearbeiteten Pläne, sowohl von Neu- als auch von Umbauten den jeweiligen Brandschutzverantwortlichen zu unterbreiten.



Abb. 19. Löschen eines Ölbrandes mittels Kohlendioxid-Löcher

Man unterscheidet die feuerhemmenden Schutzmittel nach folgenden Gesichtspunkten:

1. Bauteile aus nicht brennbaren Baustoffen

Baustoffe, die bei Bränden den Durchgang des Feuers bei 880° C bis 30 Min. verhindern, gelten als feuerhemmend.

Nichtbrennbare Stoffe sind:

Natursteine, gebrannte Kunststeine, Lehmsteine, Glasbausteine, Kalk-, Zement-, Gipsmörtel, Beton, Fensterglas, Glimmer, Asbest, Gußeisen und Baustahl.

2. Schutzanstriche

Sie werden verwendet, um brennbare Bauteile schwer entflammbar zu machen.

Behelfsmäßige Feuerschutzanstriche sind: Zementschlamm, Kalkmilch, Lehmbrühe. Als *vollkommenere Feuerschutzanstriche* werden verwendet: Wasserglas, Magnesiumchlorid, Ammoniumchlorid, Ammoniumphosphat, Alaun und Natriumkarbonat. Für Gewebe benutzt man vor allem Aluminiumsalze und Zinndioxyd.

Zinkchlorid, das früher häufig als Feuerschutzmittel verwendet wurde, ist weniger geeignet, da es stark hygroskopisch (wasseranziehend) wirkt und durch Salzsäureabspaltung Korrosion verursacht.

Versuch 1:

Wir halten Holzspäne oder Gewebe, die mit Wasserglaslösung getränkt wurden, in eine Flamme. Durch das Tränken mit Wasserglas bildet sich ein glasartiger Überzug, der den Zutritt von Luft verhindert und damit eine gewisse Zeit die Brandgefahr hemmt.

Der Wert der Schutzanstriche ist begrenzt. Bei längerer Feuereinwirkung bieten sie keinen Schutz mehr.

b) Feuerlöschmittel

Erlenmeyerkolben — Tropftrichter — Glasröhren — Korken — Salzsäure — Natriumhydrogenkarbonat¹⁾

Um ein Feuer zu löschen, müssen wir mindestens eine der Voraussetzungen der Brandentwicklung (Kap. 4, S. 38) beseitigen.

Somit ergeben sich folgende Maßnahmen:

1. Entfernung des brennbaren Stoffes.
2. Sauerstoffentzug.
3. Abkühlung unter die Entzündungstemperatur.

Brände werden dadurch bekämpft, daß der brennende Stoff unter seine Entzündungstemperatur abgekühlt und gleichzeitig Sauerstoff entzogen wird.

Auf einer solchen Wirkungsweise beruhen die nachstehend behandelten Feuerlöschmittel.

¹⁾ Früher als Natriumbikarbonat bezeichnet.

Wasser

Das Wasser ist das gebräuchlichste und billigste Feuerlöschmittel. In der Hauptsache beruht seine Wirkung auf der Fähigkeit, große Wärmemengen zu binden und damit den brennenden Körper abzukühlen. Auch die noch nicht brennenden Gegenstände der Umgebung des Brandes werden durch das Wasser abgekühlt und können sich dann in vielen Fällen nicht mehr entzünden.

Da der Wasserdampf bei 100 °C den 1700fachen Raum der verdampften Wassermenge einnimmt (1 l Wasser = 1700 l Dampf), entsteht beim Löschen mit Wasser eine beträchtliche Dampfmenge, durch die die Luft mit großer Heftigkeit aus der Umgebung der Flamme weggedrängt wird. Auch durch den damit verbundenen Sauerstoffentzug wird ein Nachlassen des Feuers bewirkt.

Für Stoffe, wie z. B. Kalium, Natrium und Magnesium, die das Wasser zersetzen, ist Wasser als Löschmittel nicht nur ungeeignet, sondern sogar gefährlich, da der bei der Zersetzung des Wassers freiwerdende Wasserstoff sich mit dem Sauerstoff der Luft zu hochexplosivem Knallgas vereinigt.

Brennende Flüssigkeiten, die leichter als Wasser sind, können ebenfalls nicht mit Wasser gelöscht werden, da sie brennend auf Wasser schwimmen.

Als Löschmittel von Karbiden, Fetten, Teeren, Lacken und zum Löschen an elektrischen Anlagen ist Wasser ebenfalls ungeeignet.

Salzlösungen

Löst man in Wasser Natriumhydrogenkarbonat (Natriumbikarbonat), Kochsalz, Natriumphosphat, Borsäure, Soda, Alaun, Salmiak, Glaubersalz, Bittersalz u. a., so wird die Löschwirkung des Wassers wesentlich erhöht.

Die erhöhte Wirkung beruht auf der hohen Verdampfungswärme dieser Zusatzstoffe, die eine zusätzliche Abkühlung des brennenden Gegenstandes bewirkt. Ferner bilden die genannten Salze, nachdem das Wasser verdunstet ist, auf der Oberfläche des brennenden Stoffes eine dünne Schutzschicht, die das Herandrängen des Luftsauerstoffs verhindert. Hydrogenkarbonate entwickeln Kohlendioxyd CO_2 (s. S. 46).

Salzlösungen werden auch in Handfeuerlöschern angewendet.

Versuch:

In einen Erlenmeyerkolben (Abb. 20), der mit einem doppelt durchbohrten Stopfen verschlossen und zu $\frac{2}{3}$ mit einer Lösung von Natriumhydrogenkarbonat gefüllt ist, lassen wir über einen durch den Stopfen geführten Trichter etwas Salzsäure tropfen. Das sich bildende Kohlendioxydgas drückt einen Flüssigkeitsstrahl aus dem Glasrohr, das durch die zweite Bohrung des Stopfens geführt ist.

Bei den Naßfeuerlöschern wirkt Säure auf Natriumhydrogenkarbonatlösung ein. Das dadurch erzeugte Kohlendioxyd (6 bis 8 atü) treibt die Löschflüssigkeit heraus (s. Abb. 21).

Die Wurfweite des Löschers beträgt je nach Bauart 8 bis 12 m, seine Spritzdauer $1\frac{1}{2}$ bis 3 Minuten.

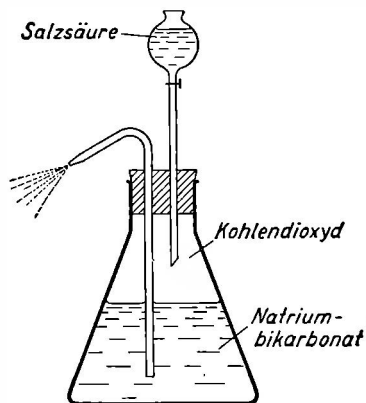


Abb. 20. Wirkungsweise eines Naßlöschers

Eine frostsichere Füllung wird erreicht durch Zusatz eines Frostschutzmittels (z. B. Glycerin), das den Gefrierpunkt des Wassers stark herabsetzt.

Wegen der kurzen Spritzdauer sind Handfeuerlöscher erst an der Brandstelle in Betrieb zu setzen.

Kohlensäureschnee

Läßt man flüssiges Kohlendioxyd aus einer Stahlflasche von etwa 60 atü über ein kegelförmiges Rohr ausfließen, so verdampft es bei der Entspannung. Bei diesem Vorgang wird so viel Wärme gebunden, daß etwa 25% des nachfließenden flüssigen Kohlendioxyds zu Schnee erstarren, der als Kohlensäureschnee oder auch als Trockeneis bezeichnet wird. Das weiter nachdringende Kohlendioxyd treibt den Schnee aus dem Rohr heraus.

Kohlensäureschnee ist als Löschmittel geeignet, weil er infolge seiner niedrigen Temperatur von -79°C stark abkühlend wirkt, und beim Verdampfen um den brennenden Körper einen Mantel von Kohlendioxyd legt, der den Zutritt von Luftsauerstoff zur Flamme unterbindet. Da Kohlensäureschnee auf jeder Flüssigkeit schwimmt, ist er auch zum Löschen von brennenden Flüssigkeiten und somit zur Bekämpfung von Bränden aller Art geeignet (s. Abb. 19). Kohlensäureschnee hinterläßt keine Rückstände und ruft keine schädlichen Veränderungen hervor. Sein Gebrauch ist auch in der Nähe von Elektromotoren, Schalttafeln und Leitungsnetzen ungefährlich, da Kohlensäureschnee den elektrischen Strom nicht leitet und somit keine Kurzschlüsse hervorruft.

Die Löschwirkung des Kohlensäureschnees beruht auf starker Abkühlung und Sauerstoffabschluß. Er schwimmt auf Flüssigkeiten.

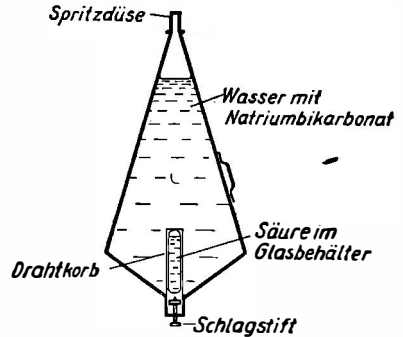
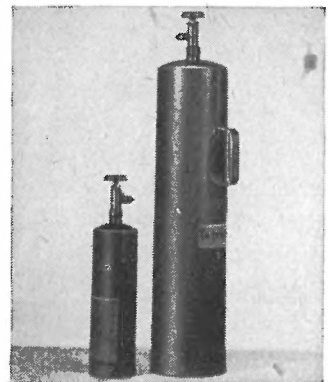


Abb. 21. Handfeuerlöscher Minimax



Abb. 22. Trockenfeuerlöscher

Abb. 23. Bei der Benutzung des Tetralöschers entwickeln sich flammenerstickende Dämpfe.



Flammenerstickende Gase

Kohlendioxyd und Stickstoff sind flammenerstickende Gase, die als Löschgase, z. B. für Umformeranlagen und Ölschalteranlagen, besonders geeignet sind, weil sie das Material solcher Anlagen in keiner Weise angreifen und auch im Gegensatz zu Wasser keinen Kurzschluß verursachen können. Die Anwendung von Kohlendioxyd oder Stickstoff als Löschgas hat nur in geschlossenen Räumen Erfolg. Schon wenn die Luft im Brandraum durch das Einströmen von Löschgas einen Prozentgehalt von 25% Kohlendioxyd erreicht hat, werden die Flammen erstickt.

Tetrachlorkohlenstoff (CCl₄)

Tetrachlorkohlenstoff, kurz „Tetra“ genannt, ist eine leichtflüchtige Flüssigkeit mit chloroformähnlichem Geruch.

Wenn der flüssige Tetrachlorkohlenstoff auf den brennenden Körper aufgespritzt wird, verdampft er. Da seine Dämpfe wesentlich schwerer sind als Luft, legen sie sich wie eine unsichtbare Decke über den brennenden Gegenstand, verdrängen den Sauerstoff, ersticken die Flamme und können auch nicht von den Feuergasen nach oben gerissen werden.

Die Löschwirkung des Tetrachlorkohlenstoffs beruht auf der Bildung von Dämpfen, die den brennenden Körper einhüllen und damit den Sauerstoff fernhalten.

Da Tetra ein Isolator ist, kann dieses Feuerlöschmittel in elektrischen Anlagen, selbst in Hochspannungsanlagen, keinerlei Schaden anrichten.

Bei der Benutzung des Tetralöschers wird der Tetrachlorkohlenstoff durch den Druck von Kohlendioxyd aus dem Apparat herausgespritzt. Das Kohlendioxyd wird hier ebenfalls aus Natriumhydrogenkarbonat und Säure erzeugt.

Druckluft-Tetralöschers (s. Abb. 23) sind nur zu $\frac{2}{3}$ mit Tetrachlorkohlenstoff gefüllt. In den darüber befindlichen Raum wird Luft gedrückt (6 bis 12 at), die die Löschflüssigkeit heraustreibt.

Beim Gebrauch von Tetralöschern in schlecht zu lüftenden Räumen ist Vorsicht geboten, da sich bei der Anwendung oft ein giftiges Gas (Phosgen) bildet.

Schaum

Schaum für Löschzwecke kann entweder auf chemischem oder physikalischem Wege erzeugt werden.

Auf chemischem Wege entsteht Schaum, wenn man eine Säure (H₂SO₄) auf Natriumhydrogenkarbonat bei Anwesenheit eines schaum erzeugenden Mittels (Saponin) einwirken läßt.

An Stelle von H₂SO₄ wird neuerdings oft eine feste Mischung von Oxalsäure und Aluminiumsulfat verwendet, der man Wasser zusetzt.

In beiden Fällen entsteht durch die Einwirkung der Säure auf Natriumhydrogenkarbonat Kohlendioxyd. Infolge der Anwesenheit von Saponin bzw. Aluminiumhydroxyd entwickelt sich ein steifer, zäher Schaum, dessen Bläschen mit Kohlendioxyd gefüllt sind.

Seit dem Jahre 1928 wird auch *Luftschaum* als Löschmittel verwendet, der auf physikalischem Wege erzeugt wird. Zur Erzeugung von Luftschaum werden in einer

Motorpumpe 9 Raumteile Wasser mit 1 Raumteil eines schaumbildenden Mittels vermischt. Diese Mischung wird durch die Pumpe in das Strahlrohr des Löschers getrieben und dort mit 90 Raumteilen Luft vermischt. Dabei entsteht ein Schaum, der ebenso wirksam ist, wie der auf chemischem Wege erzeugte Schaum.

Löschschaum hat ein geringes Gewicht, schwimmt auf Flüssigkeiten und haftet an schrägen und senkrechten Flächen.

Die löschende Wirkung des Schaumes beruht auf Sauerstoffentzug und auf Abkühlung. Eine Schaumschicht von 6 bis 8 cm Dicke verhindert eine Wiederentflammung. Bei Bränden an elektrischen Anlagen ist Schaum jedoch als Feuerlöschmittel ungeeignet, weil er Wasser enthält, das den elektrischen Strom leitet und somit Kurzschlüsse verursachen kann.

Auf dem Schaumlöschverfahren beruhen nicht nur viele Handfeuerlöscher, sondern auch Großlöschgeräte der Feuerwehr.

Trockenpulver

Trockenpulver besteht aus Talkum, Infusorienerde (Kieselgur), Natriumhydrogencarbonat und ähnlichen Stoffen. Dieses Pulver hätte, wenn es allein auf den Brandherd gestreut würde, nur geringe Löschwirkung. Wird das Trockenpulver jedoch mit einem Kohlendioxydstrahl auf die Brandoberfläche geschleudert, so wird durch die gemeinsame Wirkung von Kohlendioxyd und Trockenpulver ein sicherer Löscherfolg erzielt.

Gegenüber der Anwendung von Kohlsäureschnee hat dieses Verfahren den Vorzug, daß die aufgeschleuderte Trockenpulverschicht vermöge ihres größeren Gewichts nachhaltiger wirkt.

Der Trockenpulver-Handfeuerlöscher besteht aus einem Löschpulverbehälter und einer Stahlflasche, die mit flüssigem Kohlendioxyd gefüllt ist (Abb. 22).

Beim Öffnen der Flasche dringt das Kohlendioxyd in den Pulverbehälter, wirbelt das Trockenpulver auf und reißt es mit. Das austretende Gemisch von Kohlendioxyd und Trockenpulver bietet gleichzeitig einen wirksamen Schutz gegen Hitze und Qualm. Durch Schließen der Kohlendioxydflasche kann der Löscher zu jeder Zeit sofort abgestellt werden.

In jedem Betrieb müssen entsprechend seiner Arbeitsweise und den dort verwendeten Materialien geeignete Feuerlöschgeräte vorgesehen werden.

Aufgaben:

1. Nenne Maßnahmen, die die Schadenfeuer verhüten können!
2. Welche Alarmnummer hat die Betriebs- und Stadtfeuerwehr?
3. Bei welchen Bränden darf man grundsätzlich keine Naß- oder Schaumlöscher anwenden?
4. Was ist nach Gebrauch eines Handfeuerlöschers zu tun?
5. Welche Sofortmaßnahmen hat man beim Ausbruch eines Feuers zu treffen?
6. Nenne Feuerlöschmittel und beschreibe ihre Löschwirkung!

6. Kohlenstoff

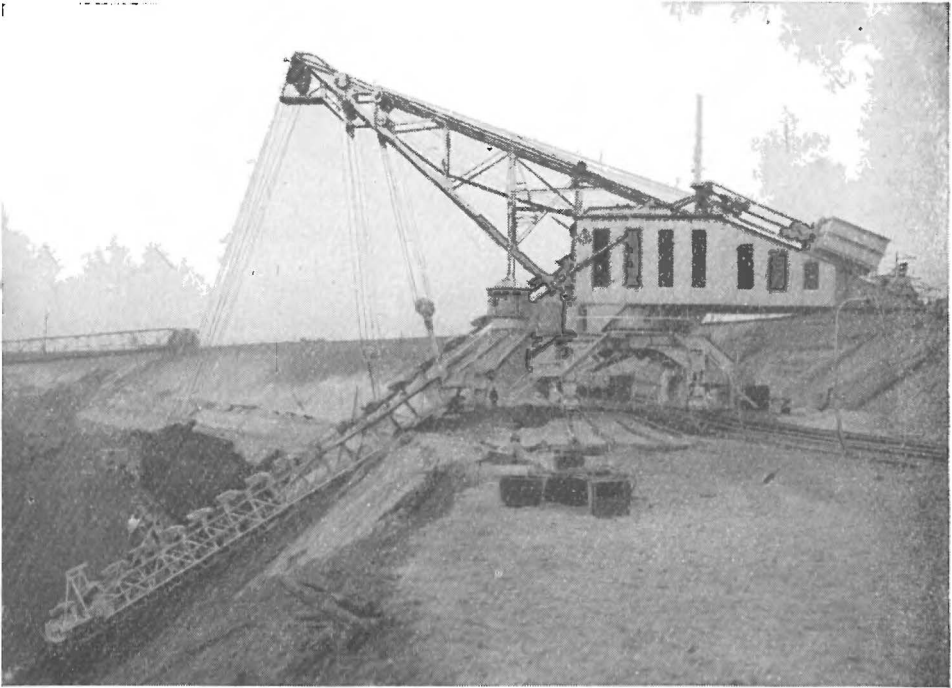


Abb. 24. Gewinnung von Braunkohle im Tagebau

Durch den gewaltigen Aufschwung unserer Friedenswirtschaft, besonders im Rahmen des Fünfjahrplanes, werden für die Industrie der Deutschen Demokratischen Republik große Mengen von Energie benötigt. Obwohl Wasserkraft und Windkraft in steigendem Maße ausgenutzt werden, muß der größte Teil der erforderlichen Energie aus *Brennstoffen* gewonnen werden. Die technisch wichtigsten festen Brennstoffe sind Braunkohle und Steinkohle. Der Heizwert der verschiedenen Kohlearten wird durch ihren *Kohlenstoffgehalt* bestimmt.

Kohlenstoff finden wir nicht nur in der Kohle, sondern er kommt in reinem Zustand in der Natur in unterschiedlichen Erscheinungsformen (Modifikationen) vor.

a) Modifikationen

Reagenzglas — Korken — Glasröhre — Bunsenbrenner — Holzstückchen

Im reinen Zustand tritt der Kohlenstoff in drei allotropen (verschiedenen, gegensätzlichen) Modifikationen auf:

1. Diamant, 2. Graphit, 3. Nichtkristallisierter Kohlenstoff¹⁾.

Diese drei Formarten des Kohlenstoffes zeigen sehr unterschiedliche Eigenschaften.

Diamanten

Diamanten sind kristallisierter Kohlenstoff. Man findet sie als mehr oder weniger große Kristallsplitter in Südafrika, Brasilien, an der Goldküste und im Ural. Diamanten sind meist farblos, es gibt aber auch Arten, die durch Spuren von Beimengungen mehr oder weniger gefärbt sind (braun bis schwarz).

Der Diamant hat unter den Naturkörpern die *größte Härte*. Aus diesem Grunde hat er für technische Zwecke besondere Bedeutung gewonnen. Man verwendet ihn zum Glasschneiden, zum Bohren und Schneiden von festen Gesteinen (Gesteinssägen und Schneidbohrer tragen an der Spitze ihrer Zähne Diamanten) und zum Schneiden und Gravieren von Metall.

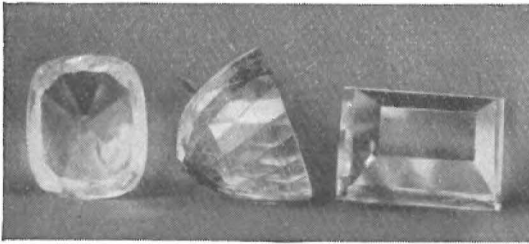


Abb. 25. Brillanten sind Diamanten von besonderem Schliff.

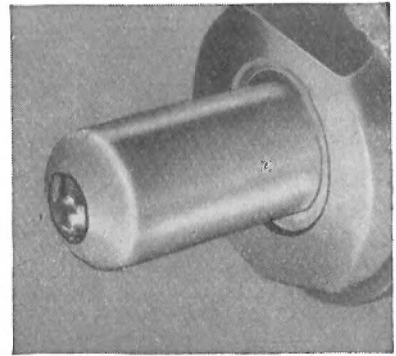


Abb. 26. Abrichtdiamant für Schleifscheiben

Ferner werden schwarze Industriediamanten zur Bearbeitung von Kupfer, Messing, Bronze, Leichtmetallen, Zinklegierungen und Kunststoffen verwendet. Sie dienen vor allen Dingen bei der Spanabnahme als Feinschlichtwerkzeuge (Standzeit mehrere hundert Betriebsstunden). Die in besonderen Haltern eingelöteten oder festgeklebten Diamanten sind spröde und daher stoßempfindlich. Schleifscheiben werden mit Diamanten abgerichtet. Die Verwendung von Diamanten für technische Zwecke hat sich erst aus der zunehmenden Entwicklung der Technik ergeben. Ursprünglich war der Diamant lediglich als Schmuckstein bekannt, da er geschliffen hohen Glanz und starkes Lichtbrechungsvermögen besitzt. Durch geeigneten Brillantschliff werden diese Eigenschaften zu besonderer Geltung gebracht. Der Wert dieser Schmuckdiamanten wird nach ihrer Größe bestimmt (1 Karat = 0,205 g). Erhitzt man Diamantsplitter im Knallgasgebläse und taucht sie in reinen Sauerstoff, so verbrennen sie ohne jeglichen Ascherückstand zu Kohlendioxyd. Damit ist erwiesen, daß Diamanten aus reinem Kohlenstoff bestehen.

¹⁾ Nach neueren Untersuchungen stimmt der sog. nichtkristallisierte (auch amorphe oder schwarze) Kohlenstoff im Feinbau mit dem Graphit überein, so daß man eigentlich nur von 2 Modifikationen sprechen kann.

Heute ist man imstande, künstliche Diamanten herzustellen, die aber so klein sind, daß sie technisch nicht verwendbar sind.

Diamanten bestehen aus reinem kristallisiertem Kohlenstoff und besitzen von allen Werkstoffen die größte Härte.

Graphit

Der Graphit ist ein graues, glänzendes, weiches Material, das ebenfalls aus kristallisiertem, reinem Kohlenstoff besteht. Die hauptsächlichsten Fundorte liegen auf Ceylon, Madagaskar, in den USA, in der Tschechoslowakei, der UdSSR (Sibirien) und in geringer Menge bei Passau in Bayern.

Infolge seiner *Leitfähigkeit* für elektrischen Strom dient Graphit zur Herstellung von Elektroden und findet Anwendung in der Galvanoplastik.

Wegen seiner *Widerstandsfähigkeit gegen hohe Temperaturen* und seiner guten Wärmeleitfähigkeit benutzt man Schmelztiigel aus Graphit zum Guß von Eisen, Stahl und Goldlegierungen (Passauer Schmelztiigel). Graphit dient ferner als *Schmiermittel* für Maschinenteile (kolloider Graphit) und zum Schwärzen von eisernen Öfen.

Bekanntlich ist Graphit auch der Hauptbestandteil unserer Bleistifte. In der Bleistiftfabrikation wird Graphitpulver von den verunreinigenden Bestandteilen befreit. Durch Beimengung von Ton in verschiedenen Mischungsverhältnissen werden die verschiedenen Härtegrade der Bleistifte erreicht.

Im Gußeisen ist der größte Teil des darin enthaltenen Kohlenstoffes in der Form von Graphit vorhanden. Daraus ergibt sich die graue Farbe der Bruchfläche von Gußeisen.

Graphit ist eine kristallisierte Modifikation des Kohlenstoffes und im Gegensatz zum Diamant ausgesprochen weich.

Nicht kristallisierter Kohlenstoff

Im Gegensatz zu den beiden kristallisierten Modifikationen des reinen Kohlenstoffes (Diamant, Graphit), kommt der Kohlenstoff auch in nichtkristallisierter Form vor.

Ruß ist z. B. unverbrannter, reiner nichtkristallisierter Kohlenstoff. Er wird als Farbstoff bei der Herstellung der Buchdruckerschwärze, der Schuhwiche und der schwarzen Tusche verwendet. Nichtkristallisierter Kohlenstoff entsteht ferner bei der Verkohlung organischer Stoffe, wie Holz, Zucker und Knochen.

Versuch 1:

Wir füllen ein schwer schmelzbares Reagenzglaschen zur Hälfte mit trockenen Holzstückchen, verschließen es nach Abb. 27 mit einem Korken, durch den eine spitz auslaufende Glasröhre gesteckt ist und erhitzen langsam. Die sich bildenden Gase können an der Mündung des Rohres entzündet werden. Im oberen Teile des Reagenzglases sammeln sich zwei Flüssigkeiten an, eine braune, ölige (Holzteer) und eine wäßrige (Holzessig).

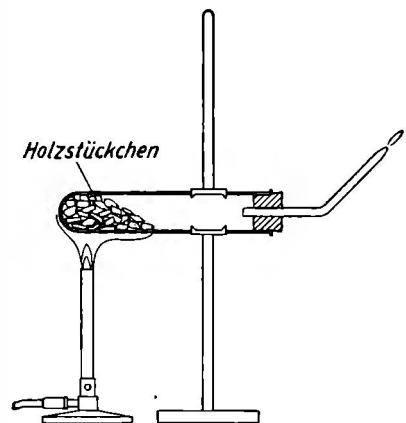


Abb. 27. Zersetzung des Holzes durch Erhitzen unter Luftabschluß.

Beim Erhitzen von Holz oder anderen festen Brennmaterialien unter Luftabschluß (trockene Destillation) findet keine Verbrennung, sondern nur eine Zersetzung statt. Die gasförmigen und flüssigen Bestandteile entweichen, und es bleibt als Rückstand eine sehr kohlenstoffreiche Substanz (Holzkohle, Koks).

An Stelle der früheren Gewinnung der Holzkohle in Kohlenmeilern wird Holz heute in eisernen Retorten oder Rohröfen unter Luftabschluß erhitzt. Dabei werden gleichzeitig Nebenprodukte wie Methanol, Essigsäure, Holzteer und brennbare Gase gewonnen.

Holzkohle kann nicht verwesen und verhindert das Eindringen von Fäulnisbakterien. Deshalb werden Holzpfähle, die in die Erde geschlagen werden sollen, oberflächlich angekohlt.

Eine weitere wichtige Eigenschaft der porösen Holzkohle ist ihre Fähigkeit, Gase, Farb- und Riechstoffe zu absorbieren (aufzusaugen). Auf Grund dieser Eigenschaft wird sie vielfach in der Technik, z. B. zur Benzolgewinnung aus Leuchtgas, zur Gasreinigung (Entfernung von Schwefelverbindungen), zu Gasmaskenfiltern, zu Medizinalkohlen, zur Trinkwasserreinigung usw. verwendet.

Bei Verwendung von Holzkohle als Füllmaterial für Hochöfen erhält man ein sehr reines Eisen. Holzkohleneisen wird aber heute nur noch in holzreichen Gebieten (Schweden) hergestellt.

Nichtkristallisierter Kohlenstoff entsteht beim Erhitzen fester Brennmaterialien unter Luftabschluß.

b) Feste Brennstoffe

Die uns bekannten Brennmaterialien wie Torf, Braunkohle und Steinkohle besitzen einen hohen Gehalt an Kohlenstoff. Ebenso wie Torf, der durch Vermoderung von Moor- und Sumpfpflanzen unter Wasser entsteht, ist die Mineralkohle in früheren Erdperioden durch allmähliche Zersetzung von Holz unter Luftabschluß (Inkohlung) entstanden. Hierbei nahm der Kohlenstoffgehalt der Restsubstanz zu.

Im Holz beträgt der Kohlenstoffgehalt etwa 45%, im Torf etwa 60%, in der Braunkohle 65%, in der Steinkohle 75 bis 85% und im Anthrazit 95%.

Torf

Zerpflücken wir Torf, so erkennen wir deutlich, daß er vorwiegend aus *Pflanzenresten* besteht. In wald- und kohlenarmen Gebieten verwendet man ihn am Gewinnungsort zu Heizzwecken, nachdem man ihn zuvor getrocknet hat (frischer Torf enthält 90% Wasser). Weitere Verwendung findet Torf als Verpackungsmaterial für Säurebehälter und als Wärmeisoliermittel (z. B. in den Doppelwänden von Holzbaracken).

Braunkohle

Braunkohle wird bis auf geringe Ausnahmen im Tagebau gewonnen. Zur Erschließung des Vorkommens wird die Deckschicht durch gewaltige *Abraumförderbrücken* beseitigt und somit die Kohle freigelegt. Die von riesigen Baggern (Abb. 24) losgerissene Kohle wird mit Loren vom Tagebau zu den Aufbereitungsanlagen befördert.

Nach Stückgröße sortierte Rohbraunkohle ist als billiger Heizstoff für Industriezwecke bekannt. *Braunkohlenbriketts* für Industrie und Hausbrand werden hergestellt, indem man Kohlengrus, der 50% Wasser enthält, trocknet und dann unter hohem Druck (1000 at) zusammenpreßt. Es erfolgt hierdurch eine Erwärmung, welche die in den Braunkohlen enthaltenen teerigen Bestandteile (Bitumen) flüssig macht, so daß die einzelnen Grusteilchen miteinander verkittet werden. Je älter ein Vorkommen ist, desto höher ist der Kohlenstoffgehalt und damit auch der Heizwert der Braunkohle. 72% der Braunkohlenförderung der Welt bestreitet Deutschland. Da in der Deutschen Demokratischen Republik Braunkohle in ausreichender Menge vorhanden ist, Steinkohle dagegen eingeführt werden muß, wurde es notwendig, Braunkohle mehr als bisher technisch auszuwerten. Die langjährigen Forschungsarbeiten von Professor Dr. Rammler und Dr. Bilkenroth ermöglichten es, in der Deutschen Demokratischen Republik erstmalig *Braunkohlen-Hochtemperaturkoks* herzustellen. Für diese große wissenschaftliche Tat, die für die Entwicklung der Schwerindustrie in der Deutschen Demokratischen Republik von entscheidender Bedeutung ist, wurde den beiden Wissenschaftlern der Nationalpreis zuerkannt. Auf Initiative der Sozialistischen Einheitspartei gewährte die Regierung der Deutschen Demokratischen Republik den beiden Wissenschaftlern alle Mittel, um die erforderlichen Forschungsarbeiten durchzuführen. In den Lauchhammer-Werken, die noch bedeutend erweitert werden, wird der Braunkohlen-Hartkoks bereits erzeugt. Auf Grund der Forschungsarbeiten der hüttentechnischen Intelligenz wurden in Zusammenarbeit mit den Arbeitern der volkseigenen Maxhütte neuartige Niederschachtöfen entwickelt, die in den Eisenwerken West bei Calbe (Saale) bereits zur Gewinnung von Roheisen aus einheimischen Erzen unter Einsatz von Lauchhammer Braunkohlen-Hartkoks verwendet werden.

Steinkohle

Die Steinkohle ist gegenüber der Braunkohle härter, kohlenstoffreicher und ärmer an Wasser und flüchtigen Bestandteilen. Da die Lager (Flöze) der Steinkohle tief in der Erde liegen (mitunter 1000 m und darunter), erfolgt die Gewinnung unter Tage.

Man unterscheidet:

1. Magerkohlen (reich an Kohlenstoff, hoher Heizwert, entwickeln beim Verkohlen 5 bis 18% Gas, Kohlenstoffgehalt: 86%).
2. Fettkohlen (liefern guten, stückigen Koks und mehr Gas als die Magerkohlen, 18 bis 45%, Kohlenstoffgehalt: 70 bis 77%).

Der *Anthraxit* ist eine sehr harte, glänzende Steinkohle, die von allen Brennstoffarten den größten Heizwert besitzt.

Der Besitz von Steinkohlenlagern ist für die industrielle Entwicklung eines Landes von großer Bedeutung. Deutschlands wichtigste Steinkohlengebiete sind: das Ruhrgebiet, das Aachener Becken und das Saargebiet. In der Deutschen Demokratischen Republik wird Steinkohle im Zwickau-Ölsnitzer Revier gefördert. Große Vorkommen befinden sich in Polen, in der Tschechoslowakei, in der UdSSR und den USA.

Da Steinkohle nicht nur einen hohen Heizwert hat, sondern zugleich ein wertvoller chemischer Rohstoff ist, bildet sie eine wesentliche Grundlage unserer Industrie.

Verbrennung von Kohlenstoff

Bei *Sauerstoffmangel* verläuft die *Verbrennung von Kohlenstoff unvollständig*. Der Kohlenstoff des Brennmaterials verbrennt dann nicht zu Kohlendioxyd (CO_2), sondern lediglich zu Kohlenmonoxyd (CO), und ein Teil der im Brennstoff enthaltenen Kohlenwasserstoffe zieht unverbrannt mit den Abgasen ins Freie. Gegebenenfalls verbrennt lediglich der Wasserstoff der Kohlenwasserstoffe, während der restliche Kohlenstoff in Form von Ruß abgeschieden wird. Eine solche unvollständige Verbrennung ist unwirtschaftlich und birgt Gefahren in sich, da das dabei entstehende geruchlose Kohlenmonoxyd (CO) stark giftig ist. Durch geeignete Maßnahmen muß beim Betrieb einer Feuerung oder eines Ofens eine unvollständige Verbrennung vermieden werden. Bei reichlicher Luft- und damit *Sauerstoffzufuhr* ist eine *vollständige Verbrennung* der verwendeten Brennstoffe gewährleistet. Dabei verbrennt sämtlicher Kohlenstoff zu Kohlendioxyd, der Wasserstoff zu Wasserdampf und der im Brennstoff enthaltene Schwefel zu Schwefeldioxyd.

Heizwert

Je kohlenstoffreicher eine Kohlenart ist, desto größer ist ihr Heizwert. Die bei der Verbrennung von 1 kg festem bzw. 1 Nm³*) gasförmigen Brennstoff entstandene Wärmemenge wird Heizwert genannt. Als Maßeinheit der Wärmemenge dient die Kilogrammkalorie (kcal).

Eine Kilogrammkalorie ist die Wärmemenge, die nötig ist, um 1 kg Wasser um 1° C zu erwärmen (von 14,5° auf 15,5°).

Der Heizwert von festen oder flüssigen Brennstoffen wird in kcal/kg (lies: Kilogrammkalorien je Kilogramm), der von gasförmigen Brennstoffen in kcal/Nm³*) angegeben.

Heizwert von Brennstoffen

Holz trocken	3000 bis 4000	kcal/kg
Torf	3000 bis 4000	kcal/kg
Braunkohle	2000 bis 4000	kcal/kg
Braunkohlenbrikett	3000 bis 4500	kcal/kg
Steinkohle	5000 bis 8000	kcal/kg
Koks	7000	kcal/kg
Anthrazit	8000	kcal/kg
Holzkohle	8000	kcal/kg
<hr/>		
Azetylen	13500	kcal/m ³
Methan	9000	kcal/m ³
Stadtgas	4200 bis 5000	kcal/m ³
Kohlenmonoxyd	3000	kcal/m ³
Wasserstoff	2600	kcal/m ³
Wassergas (CO, H_2)	2500	kcal/m ³
Mischgas ($\text{CO}, \text{N}_2, \text{CO}_2, \text{H}_2$)	1300	kcal/m ³
Generatorgas		
($\text{CO}, \text{N}_2, \text{CO}_2$)	800 bis 1200	kcal/m ³
Hochofen-Gichtgas	750	kcal/m ³

*) 1 Nm³ (Normkubikmeter) = 1 m³ bei 0° C u. 760 mm Hg

Entgasung der Kohle

Die Kohle dient heute nicht nur als Brennstoff, sondern sie ist zugleich ein wertvoller Rohstoff zur Gewinnung vieler chemischer Verbindungen.

Bei der Erhitzung von Steinkohle unter Luftabschluß in den *Kokereien* oder *Leuchtgasfabriken* erhält man verschiedene Produkte.

Aus 100 kg Steinkohle gewinnt man

73 kg Koks
16 kg (30 m ³) Leuchtgas
5 kg Teer
6 kg (7,8 m ³) Ammoniak
100 kg

Koks dient bei der Metallgewinnung aus Erz oder Röstgut als Heiz- und Reduktionsmittel.

Leuchtgas (Stadtgas) hat durchschnittlich folgende prozentuale Zusammensetzung:

50%	25%	14%	3%	5%	3%
Wasserstoff	Methan	CO	CO ₂	N	Kohlenwasserstoffe

Die *Destillate des Steinkohlenteers* sind Leichtöle (Benzol, Toluol und Xylol), Mittelöle, Schweröle und Anthrazenöl. Als Rückstand verbleibt Steinkohlenpech. Ferner ist der Teer ein wichtiger Rohstoff zur Herstellung von Farbstoffen, Kunstharzen und Arzneimitteln.

Aus *Ammoniak* werden wichtige Düngemittel (z. B. Ammoniumsulfat) gewonnen.

Durch trockene Destillation der Braunkohle bei niedriger Temperatur (*Verschwelung*) erhält man einen sehr wertvollen Teer, der zu Benzin, Dieselöl, Schmieröl, Paraffin- und Leuchtöl weiterverarbeitet wird.

Kohleverflüssigung (Hydrierung)

Kohle kann heute in verschiedenen Verfahren unmittelbar zu Benzin und anderen Treibstoffen verflüssigt werden. Dies geschieht durch Anlagerung von Wasserstoff an Kohlenstoff. Benzin ist ein Gemisch leicht siedender Kohlenwasserstoffverbindungen.

Die Anlagerung von Wasserstoff an Kohlenstoff oder auch an ungesättigte Kohlenstoffverbindungen (Verbindungen mit Doppelt- oder Dreifachbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen) wird Hydrierung genannt.

Beim *Hochdruckhydrierungsverfahren* wird die Wasserstoffanlagerung durch Druckeinwirkung bei mittlerer Temperatur erreicht. Trockene, feingemahlene Stein- oder Braunkohle wird mit Katalysatoren vermischt und mit Schweröl zu einem Kohlenbrei angerührt, der in große Druckzylinder (Kontaktöfen) gepreßt wird. Nach der Zuführung von Wasserstoff nimmt die Masse bei einer Temperatur von etwa 450° C und einem Druck von 300 bis 700 at den Wasserstoff auf und verflüssigt sich zu einem Gemisch von Kohlenwasserstoffen. Daraus werden durch *fraktionierte* (unterbrochene) *Destillation* Benzin, Dieselkraftstoffe, Leuchtöl, Heiz- und Schmieröl gewonnen. Aus 1 t Kohle gewinnt man etwa 600 kg Benzin. Neben dem Hochdruckhydrierungsverfahren gibt es noch andere technische Prozesse, die mit niedrigen Drucken arbeiten.

e) Kohlenstoffverbindungen

Erlenmeyer-Kolben — Tropftrichter — Glasrohr — Becherglas — Korken — Marmor — Kerze — Holzspan — Salzsäure

Organische Verbindungen

Sämtliche organischen Verbindungen enthalten als Bestandteil Kohlenstoff. Es gibt etwa 350000 Kohlenstoffverbindungen. Deshalb bezeichnet man auch die organische Chemie als „Chemie der Kohlenstoffverbindungen“. Außer Kohlenstoff sind in den organischen Verbindungen hauptsächlich noch die Elemente Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff enthalten.

Kohlenwasserstoffe

Kohlenwasserstoffe enthalten nur Kohlenstoff und Wasserstoff.

Die bekanntesten Kohlenwasserstoffe sind:

1. Methan CH_4 (Bestandteil des Leuchtgases, Sumpfgas, Grubengas).
2. Azetylen C_2H_2 (Verwendung als Brenngas beim autogenen Schweißen und Schneiden, als Beleuchtungsmittel und als Ausgangsmaterial für viele Synthesen).
3. Benzol C_6H_6 (Betriebsstoff für Motoren, Lösungsmittel).
4. Paraffin $\text{C}_{22}\text{H}_{46}$ bis $\text{C}_{82}\text{H}_{66}$ (Ausgangsstoff für die Herstellung künstlicher Fette und Seifen).

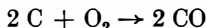
Sauerstoffverbindungen des Kohlenstoffes

Kohlenstoff und Sauerstoff bilden zwei Verbindungen:

1. Kohlenmonoxyd CO
2. Kohlendioxyd CO_2

Kohlenmonoxyd (Kohlenoxyd)

Besitzt ein Ofen nicht genügend Luftzug, so bilden sich über den glühenden Kohlen bläuliche Flämmchen eines Gases. Dieses brennende Gas ist Kohlenmonoxyd (CO), das bei einer unvollkommenen Verbrennung von Kohle oder Kohlenstoffverbindungen entsteht. Kohlenmonoxyd ist ein geruchloses und farbloses Gas.



Kohlenmonoxyd verbrennt mit blauer, heißer Flamme zu Kohlendioxyd. Die Wärmeentwicklung dieser Verbrennung wird ausgenutzt bei der Verwendung von Generatorgas, das aus CO , N_2 und CO_2 besteht. Kohlenmonoxyd wirkt in der oberen Hochofenzone als Reduktionsmittel und reduziert dort Metalloxyde zu Metallen.

Kohlenmonoxyd ist ein stark giftiges Gas, das wegen seiner Geruchlosigkeit oft nicht bemerkt wird und deshalb besonders gefährlich ist.

Kohlenoxydgase verbinden sich mit dem Hämoglobin der roten Blutkörperchen, so daß die zum Leben notwendige Sauerstoffaufnahme verhindert wird. Kopfschmerzen und Schwindelgefühl sind die ersten Anzeichen einer Kohlenoxydvergiftung. Bei Kohlenoxydvergiftungen ist schnellste Hilfe notwendig (frische Luft, Sauerstoffatmung, Wiederbelebungsversuche).

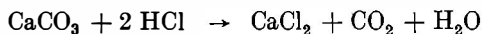
Die Giftigkeit des Leuchtgases ist durch den etwa 15% igen Gehalt an Kohlenmonoxyd bedingt.

Kohlendioxyd

Versuch 2:

Wir entwickeln nach der in der Abb. 28 gezeigten Versuchsanordnung Kohlendioxyd, füllen einen Gaszylinder mit dem Gas und halten einen brennenden Holzspan hinein. Die Flamme erlischt. Darauf stellen wir eine brennende Kerze in ein Becherglas und leiten CO_2 -Gas ein. Die Flamme erlischt.

Die Entwicklung von Kohlendioxyd (CO_2) im obigen Versuche erfolgt gemäß folgender Gleichung:

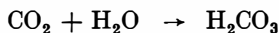


Kohlendioxyd brennt nicht und unterhält auch die Verbrennung nicht.

Kohlendioxyd bildet sich bei der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Brennstoffen bei Sauerstoffüberschuß (vollständige Verbrennung).

Kohlendioxyd ist schwerer als Luft. 1 l Kohlendioxyd wiegt 1,98 g, 1 l Luft hingegen nur 1,293 g. Die Lufthülle der Erde enthält rund 0,3% Kohlendioxyd. Insbesondere in vulkanischen Gegenden strömt es oft aus der Erde. Kohlendioxyd wirkt erstickend; deshalb wird in Brunnen, Schächten und Gärkellern eine Lichtprobe (s. Versuch 2) durchgeführt, um Unglücksfälle zu verhüten.

Kohlendioxyd findet Verwendung als Kühlmittel (Kohlensäureschnee: -79°C), Trockeneis in Bierdruckapparaten, als Feuerlöschmittel und zur Herstellung künstlichen Mineralwassers. Kohlendioxyd löst sich in Wasser (1 l CO_2 in 1 l H_2O) unter teilweiser Bildung von Kohlensäure und kann deshalb auch als Kohlensäureanhydrid bezeichnet werden.



In der Technik wird Kohlendioxyd oft fälschlich als Kohlensäure bezeichnet.

Kohlendioxyd wird unter Druck verflüssigt und in Stahlflaschen abgefüllt. Der Inhalt solcher Flaschen kann durch Wägung ermittelt werden.

Aufgaben:

1. Nenne Eigenschaften und Verwendung von Diamanten!
2. Wozu wird Graphit verwendet?
3. Gib den Kohlenstoffgehalt der festen Brennstoffe an!
4. Wozu dient das Hochdruckhydrierungsverfahren?
5. Was versteht man unter Heizwert eines Stoffes?
6. Wann entsteht Kohlenmonoxyd und welche Eigenschaften hat es?
7. Wie kann man Kohlendioxyd herstellen?
8. Welche Bedeutung hat der Kohlenstoff bei der Metallgewinnung?

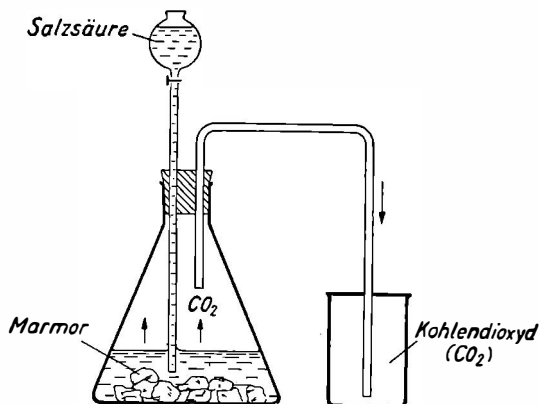


Abb. 28. Herstellung von Kohlendioxyd aus einem Karbonat (Marmor, Kalkstein, Soda usw.) und einer verdünnten Säure.

2. Ausbildungsabschnitt

4. bis 6. Monat · 12 Stunden

7. Lösungen

*Reagenzgläser — Becherglas — Dreifuß, — Asbestdrahtnetz — Brenner — Uhrgläser —
Standzylinder — Glasplatte — Thermometer — Wasserbad
Kochsalz — Natronsalpeter — Kalisalpeter — Ammoniumchlorid — Paraffin — Benzin —
Kupfersulfat — Mineralwasser*

a) Lösungen und Löslichkeit

Begriff der Lösung

Im Fahrzeug- und Gerätebau werden manche Eisen- und Stahlteile galvanisch vernickelt oder verchromt, um sie vor dem Rosten zu schützen. Man hängt die Gegenstände, die vernickelt werden sollen, in ein galvanisches Nickelbad. Durch Anlegen einer Gleichspannung wird unter bestimmten Bedingungen von Spannung und Stromstärke auf den Gegenständen metallisches Nickel niedergeschlagen. Ein Nickelbad stellt man her, indem man Nickelsalz nebst Zusätzen, die den Nickelüberzug verbessern, in Wasser auflöst (Abb. 29). Die Flüssigkeit des Nickelbades (Wasser und Nickelsalze) bezeichnet man als *Lösung*.

Weitere Beispiele für Lösungen: Kochsalzlösung, Sodalösung, Zuckerlösung, Seifenlösung.

Das Wasser ist ein *Lösungsmittel*; das Kochsalz, die Soda usw. sind die *gelösten Stoffe*.

Eine Lösung besteht aus dem Lösungsmittel und einem oder mehreren gelösten Stoffen. Unter einer echten Lösung versteht man die feinste (molekulare) Verteilung eines festen, flüssigen oder gasförmigen Körpers in einer Flüssigkeit.



Abb. 29. Nickelsulfat, Nickelchlorid und einige Zusätze werden in Wasser gelöst, um ein galvanisches Nickelbad anzusetzen.

Konzentration, Prozentgehalt

Um den *Gehalt* oder die *Konzentration* einer Lösung auszudrücken, sind in der Praxis vor allem zwei Angaben gebräuchlich:

- a) Zahl der Gramm des gelösten Stoffes in 100 g Lösungsmittel,
- b) Zahl der Gramm des gelösten Stoffes in 100 g Lösung (Gewichtsprozent).

Im chemischen Laboratorium verwendet man zu quantitativen Analysen (Titrationsen, s. S. 79) hauptsächlich sog. Normallösungen. Diese enthalten 1 Gramm-Äquivalent (d. i. das in Gramm ausgedrückte Verbindungsgewicht) in einem Liter gelöst. Mit Hilfe dieser Lösungen lassen sich Titrationsen besonders bequem berechnen.

Beispiel:

Man löst bei 60° C 100 g Kalisalpeter in 100 g ($\cong 100 \text{ cm}^3$) Wasser. 200 g dieser Lösung enthalten also 100 g Kalisalpeter. Die Konzentration der Lösung beträgt
 nach a: 100 g Kalisalpeter / 100 g Wasser,
 nach b: 50 g Kalisalpeter / 100 g Lösung, d. h. die Lösung ist 50%ig.

Man bestimmt die Konzentration bzw. den Prozentgehalt einer Lösung häufig, indem man mit dem Aräometer ihre Dichte mißt und die zu dem gefundenen Wert gehörende Konzentration in Tabellen nachschlägt.

Ungesättigte und gesättigte Lösungen

Versuch 1:

In ein Reagenzglas schütten wir je 10 g ($\cong 10 \text{ cm}^3$) Wasser auf 2 g Kochsalz bzw. 2 g Natronsalpeter. Die Salze lösen sich.

Wir setzen weiter je 3 g Salz zu und schütteln einige Zeit.

Beim Kochsalz bleibt jetzt ein ungelöster Rückstand (Bodenkörper). Der Natronsalpeter löst sich vollständig. Die Kochsalzlösung hebt man für Versuch 2 auf.

In gleichen Mengen Wasser lösen sich von verschiedenen Salzen verschiedene Mengen.

Die Kochsalzlösung, die sich über dem Bodenkörper befindet, nennt man *gesättigt*. Die Natronsalpeterlösung, in der sich kein ungelöster Rückstand befindet, heißt *ungesättigt*. Erst bei Zugabe von etwa dem Fünffachen der Anfangsmenge an Natronsalpeter wäre sie ebenfalls gesättigt.

Ungesättigte Lösungen können von dem gelösten Stoff noch weitere Mengen aufnehmen. Gesättigte Lösungen haben die Grenze ihrer Lösefähigkeit erreicht; bei Zugabe von weiterem Stoff bleibt ein Bodenkörper zurück.

Löslichkeit

Versuch 1 hat gezeigt, daß Kochsalz und Natronsalpeter verschiedene Löslichkeit haben. Man unterscheidet in Wasser nichtlösliche, schwerlösliche und leichtlösliche Stoffe.

- a) Nichtlöslich: z. B. Schwefel, Hammerschlag (Fe_3O_4), Schmirgel (Al_2O_3 , Abart des Korunds),
- b) schwerlöslich: z. B. Kreide (CaCO_3), Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$),
- c) leichtlöslich: z. B. Kochsalz (NaCl), Natronsalpeter (NaNO_3), Salmiak (NH_4Cl).

Die Löslichkeit eines Stoffes läßt sich zahlenmäßig durch die Konzentrationsangabe festlegen. In 100 g Wasser lösen sich bei 20° C höchstens 35,9 g Kochsalz oder 88,0 g Natronsalpeter (Konzentrationsangaben nach a).

Unter der Löslichkeit eines Stoffes versteht man die in Gramm gemessene Stoffmenge, die maximal in 100 g Wasser aufgelöst werden kann.

Entsprechend der Erklärung b der Konzentration wird die Löslichkeit auch durch die in Gramm gemessene wasserfreie Substanz angegeben, die sich in 100 g Lösung befindet.

Abhängigkeit der Löslichkeit von der Temperatur

Versuch 2:

Wir stellen im Reagenzglas eine Lösung von Kalisalpeter von der gleichen Konzentration wie die Kochsalzlösung aus Versuch 1 her (5 g Salz auf 10 g Wasser).

Sowohl die Kochsalzlösung als auch die Kalisalpeterlösung sind gesättigt. Beide Reagenzgläser stellt man in ein Becherglas mit Wasser und erwärmt auf etwa 40° C.

Während sich der Kalisalpeter vollständig löst, nimmt der Bodenkörper beim Kochsalz nicht merklich ab. Die Löslichkeit des Kalisalpeters wächst also bei Erhöhung der Temperatur stärker als die des Kochsalzes.

Bei Abkühlung der Kalisalpeterlösung scheidet sich wieder Salz aus.

Die Abhängigkeit der Löslichkeit verschiedener Salze von der Temperatur kann in einem *Diagramm* veranschaulicht werden (Abb. 30).

Die Löslichkeit fester Stoffe nimmt im allgemeinen mit der Erhöhung der Temperatur zu.

Anwendung. Bei der Herstellung einer Lösung kommt man in der Regel um so schneller zum Ziele, je feiner pulverisiert der zu lösende Stoff ist (Mörser!) und je höher die Temperatur ist. Man stellt eine gesättigte Lösung her, indem man eine größere Menge Substanz heiß löst, auf Zimmertemperatur abkühlt und dann die Flüssigkeit von dem Bodenkörper abfiltriert.

Lösungswärme

Versuch 3:

Wir lösen einige Löffel Salmiak (Ammoniumchlorid) im Reagenzglas in 10 cm³ Wasser und beobachten die Temperaturveränderung mit dem Thermometer!

Viele Stoffe verbrauchen beim Lösen Wärme, andere geben dabei Wärme

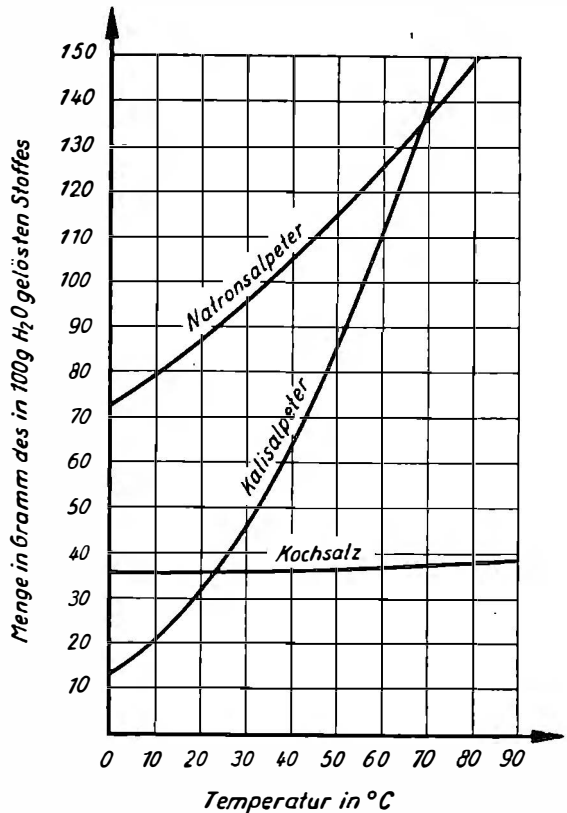


Abb. 30. Löslichkeit einiger Salze als Funktion (in Abhängigkeit von) der Temperatur

ab. Die beim Lösungsvorgang freiwerdende oder auch verbrauchte Wärme bezeichnet man als *Lösungswärme*.

Anwendung. In Ermangelung von Eis kann man zu Kühlzwecken gegebenenfalls eine konzentrierte Lösung von Ammoniumnitrat herstellen.

Lösungen von Flüssigkeiten und Gasen in Wasser

Außer festen Stoffen lösen sich auch viele Flüssigkeiten in Wasser, z. B. Brennspritus und Glycerin. In Wasser unlöslich sind z. B. Benzin, Petroleum, Schmieröle.

Läßt man Leitungswasser in einem Glas stehen, so beobachtet man nach einiger Zeit, daß sich an den Gefäßwänden Gasbläschen absetzen. Im Wasser ist Luft gelöst.

Erwärmt man Selterswasser, so entweicht das gelöste Kohlendioxyd. Auch andere Gase lösen sich in Wasser, z. B. Ammoniak und Chlor.

Die Löslichkeit der Gase nimmt mit der Erhöhung der Temperatur ab.

Echte Lösungen, Aufschlammungen, kolloide Lösungen

Lösungen von Kochsalz, Salpeter usw. sind vollkommen klar. Der gelöste Stoff hat sich in ihnen bis zu den Molekülen zerteilt. Solche Lösungen werden *echte Lösungen* genannt.

In echten Lösungen befindet sich der gelöste Stoff in molekularer Zerteilung.

Gegebenenfalls zerfallen die Moleküle dabei in Ionen (s. S. 67).

Im Gegensatz zu den echten Lösungen stehen u. a. die *Aufschlammungen* (Suspensionen). Man kann darin zum mindesten unter dem Mikroskop Teilchen erkennen, die im Verhältnis zur Größe der Moleküle als grob zu bezeichnen sind. Beispiele: Schlammkreide in Wasser, gelöschter Kalk (Kalkmilch), Tusche.

In Aufschlammungen befindet sich ein Stoff in grober Zerteilung.

Graphitschmiermittel sind im allgemeinen Suspensionen von Graphit in Wasser oder Öl.

Zwischen den echten Lösungen und den Aufschlammungen stehen klare Lösungen, in denen der gelöste Stoff nicht bis zu den Molekülen zerteilt ist. Sie heißen *kolloide Lösungen* (Kollo, griech., Leim). Die Größe der Teilchen liegt hier zwischen 10^{-5} cm = 0,00001 cm und 10^{-7} cm = 0,0000001 cm Durchmesser. Beispiele: Eiweißlösung, Gelatinelösung, Seifenlösung.

Die Teilchen einer kolloiden Lösung sind kleiner als die Teilchen einer Aufschlammung und größer als die Teilchen einer echten Lösung.

b) Technische Bedeutung der Lösungen

Härte des Wassers

Versuch 4:

Wir dampfen auf Uhrgläsern auf dem Wasserbad ein:

a) Leitungswasser, b) Brunnenwasser, c) Mineralwasser, d) Regenwasser, e) destilliertes Wasser.

In den ersten 3 Fällen scheiden sich Salze aus, in den letzten beiden Fällen erhalten wir keinen Rückstand.

Leitungswasser und Brunnenwasser enthalten gelöste Salze. *Natürliches Wasser ist eine stark verdünnte Lösung verschiedener Salze.*

Man bezeichnet Wasser als hart, wenn es Kalzium- und Magnesiumsalze gelöst enthält.

Unter Härte des Wassers versteht man seinen Gehalt an Kalzium- und Magnesiumsalzen.

Die Härte wird in *Härtegraden* angegeben. 1 (deutscher) Härtegrad entspricht einem Gehalt von 10 mg Kalziumoxyd in 1 l Wasser bzw. einem Gehalt von 1 g Kalziumoxyd in 100 l Wasser.

Wasser bis zu 8 Härtegraden gilt als weich, Wasser über 18 Härtegrade als hart. Die Härte des Brunnenwassers hängt von den Bodenverhältnissen ab.

Die in Wasser gelösten Salze scheiden sich beim Sieden des Wassers zum Teil aus und setzen sich als *Kesselstein* ab. Da Kesselstein ein schlechter Wärmeleiter ist, erhöht sich nicht nur der Brennstoffverbrauch bei Dampfkesseln in technischen Anlagen, sondern Kesselstein kann zu Wärmestauungen führen, die ein Aufreißen der Kesselwandungen und Kesselexplosionen verursachen können.

Setzt man hartem Wasser Seife zu, so wird zunächst das Kalzium als Kalkseife ausgeschieden. *Hartes Wasser verbraucht daher mehr Seife als weiches Wasser.*

Man bestimmt die Härte, indem man zu einer gemessenen Menge Wasser so lange Seifenlösung von bekannter Konzentration zusetzt, bis beim Schütteln eine Schaumschicht auf dem Wasser bleibt. Aus der verbrauchten Menge Seifenlösung ergibt sich die Härte.

Für viele industrielle Zwecke, beispielsweise zum Speisen von Dampfkesseln, für Wäschereien, Textilfabriken u. dgl. braucht man sehr weiches Wasser. Steht dieses nicht zur Verfügung, so muß das Wasser *enthärtet* werden.

Man enthärtet durch Zusatz von gelöschtem Kalk und Soda oder auch mit Ätznatron. Dabei werden die Kalzium- und Magnesiumsalze ausgefällt.

Neuerdings enthärtet man das Wasser dadurch, daß man es langsam durch Filter laufen läßt, die die Eigenschaft haben, die gelösten Kalzium- und Magnesiumsalze zum Teil oder vollständig zu entfernen. Diese Filter bestehen entweder aus natürlichen Mineralien (*Permutit*) oder aus Kunstharzen (*Wofatite*). Ihre Wirkung beruht auf der Eigenschaft, die gelösten Salze gegen Bestandteile des Harzes austauschen zu können. Die im Wasser gelösten Stoffe lassen sich ferner durch *Destillation* entfernen. Dabei entsteht *destilliertes Wasser* (s. S. 30).

Galvanische Elemente

Die Flüssigkeiten in den galvanischen Elementen sind Lösungen von *Elektrolyten*. Elektrolyte können sowohl Säuren wie auch Basen oder Salze sein.

Daniell-Element. Es enthält 5%ige Zinksulfatlösung und gesättigte Kupfersulfatlösung. Beide Lösungen sind durch eine poröse Tonzelle getrennt, die die Durchmischung verhindern soll.

Trockenelement (Taschenlampenbatterie). Die Elektrolytflüssigkeit ist gesättigte Salmiaklösung.

Bleiakkumulator. Die Akkumulatoren sind mit verdünnter Schwefelsäure (Dichte: $1,18 \text{ g/cm}^3$) gefüllt. Das ist eine Lösung von konzentrierter Schwefelsäure in destilliertem Wasser. Bei der Herstellung dieser Lösung tritt eine starke Erwärmung auf.

Beim Eingießen von Wasser in konzentrierte Schwefelsäure kann es zu so starker Erwärmung kommen, daß sich explosionsartig Wasserdampf bildet und dabei Schwefelsäure verspritzt. *Man gießt deshalb die konzentrierte Schwefelsäure langsam unter Umrühren in das Wasser (Schutzbrille!). — Niemals umgekehrt!*

Bei der ersten Ladung steigt die Dichte der Füllsäure auf $1,2 \text{ g/cm}^3$. Während der Entladung sinkt sie auf $1,18$ bis $1,15 \text{ g/cm}^3$. Aus der Dichte der Lösung kann man den Ladezustand des Akkus erkennen.

Im Laufe der Zeit verdunstet aus dem Akkumulatorenglas etwas Wasser, so daß die Lösung konzentrierter wird. Man füllt dann destilliertes Wasser nach.

Eisen-Nickel-Akkumulator. Der Elektrolyt ist eine 20% ige Kalilauge. Man stellt sie her, indem man 20 g Ätzkali in 80 g destilliertem Wasser löst. Dabei erwärmt sich die Lösung. Die Dichte der Kalilauge beträgt $1,2 \text{ g/cm}^3$.

Während sich viele Salze unter Verbrauch von Wärme lösen, wird beim Lösen von Ätzkali ebenso wie von Schwefelsäure Lösungswärme frei.

Lösungsmittel

Versuch 5:

Wir geben auf Paraffinspäne im Reagenzglas a) Wasser, b) Benzin und schütteln. Das Paraffin löst sich nicht in Wasser, wohl aber in Benzin.

Außer Wasser gibt es eine Reihe weiterer Lösungsmittel, die meist *organische Verbindungen* sind: Spiritus, Petroleum, Benzin, Benzol, Alkohol, Methanol (Methylalkohol), Äther, Schwefelkohlenstoff usw. Viele Stoffe, die in Wasser nicht löslich sind, z. B. Fette, Öle, Harze usw., lösen sich in einem der genannten oder in anderen Lösungsmitteln.

Die Lösungsmittel sind im allgemeinen *leicht flüchtig*. Die meisten sind brennbar, einige sogar äußerst feuergefährlich. Die Dämpfe dieser Lösungsmittel bilden mit Luft explosive Gemische. *Es ist daher größte Vorsicht beim Arbeiten mit Lösungsmitteln geboten!*

Tetra (Tetrachlorkohlenstoff) und *Tri* (Trichloräthylen) sind zwei Lösungsmittel für Fette, die nicht brennbar sind. In galvanischen Betrieben benutzt man *Tri*, um die metallischen Gegenstände zu entfetten, bevor man sie vernickelt, verchromt, vermessingt usw.

Anstrichmittel

Die *Anstrichmittel*, die dem Rostschutz dienen, sind Lösungen und zugleich Aufschlämmungen.

Sie setzen sich zusammen aus:

1. dem *Farbkörper* (Erdfarben, Mineralfarben, Farblacke),
2. dem *Bindemittel* (Leinölfirnis, Harz, Kunstharz, Nitrozellulose u. dgl.),
3. dem *Lösungs- oder Verdünnungsmittel* (Schwerbenzin, Terpentinöl, Benzol u. dgl.).

Das Bindemittel verbindet nach dem Trocknen der Farbe die einzelnen Teilchen des Farbkörpers untereinander und zugleich mit dem Untergrund. Bei der Herstellung des Anstrichmittels wird das Bindemittel im Lösungsmittel gelöst.

Als *Rostschutzanstrich* für Eisenkonstruktionen dient Bleimennige zur Grundierung. Dem Grundanstrich folgt der weiße oder bunte Deckanstrich.

Für den Anstrich von Metallen verwendet man besonders im Fahrzeugbau Anstrichstoffe auf der Grundlage von Kunstharzen, Nitrozellulose und Chlorkautschuk.

Metallbeizen

Zur Entfernung des Zunders — etwa nach der Warmbearbeitung — werden die Metalle *gebeizt*.

Für Eisen verwendet man 10 bis 15% ige Schwefelsäure.

Zum Beizen von Zink dient konzentrierte Salpetersäure mit 1 bis 2 g Glanzruß je Liter.

Als Glanzbrenne für Kupfer und Messing benutzt man eine Lösung von 75 Teilen 62% iger Salpetersäure, 100 Teilen konzentrierter Schwefelsäure, 1 Teil Kochsalz und 1 bis 2 Teilen Glanzruß.

Beim Beizen mit Salzsäure entstehen gesundheitsschädliche Säurenebel. Beim Beizen mit Lösungen, die Salpetersäure enthalten, insbesondere beim Gelbbrennen von Messing, bilden sich braune, giftige Gase. Die Beizbottiche müssen daher mit gut wirkenden Absaugvorrichtungen versehen sein.

e) Diffusion

Begriff der Diffusion.

Versuch 6:

Auf einen Kupfervitriolkristall (Kupfersulfat), der sich in einem Standzylinder befindet, gießen wir Wasser. Der Standzylinder wird mit einer Glasplatte bedeckt.

Man beobachtet bald, daß sich das Wasser blau färbt. Nach einigen Tagen hat sich der Kristall gelöst, und das Wasser im Standzylinder sieht im unteren Teil blau aus, während es oben noch farblos ist. Erst nach ein paar Wochen hat das Wasser eine gleichmäßige hellblaue Farbe angenommen.

Das Kupfersulfat hat sich vom Boden des Standzylinders aus im Wasser ausgebreitet. Beachte, daß diese Ausbreitung der Schwerkraft entgegen erfolgt! Man bezeichnet diese Ausbreitung des Kupfersulfates im Wasser als *Diffusion*.

Wesentlich schneller als ein fester, löslicher Stoff in einer Flüssigkeit breitet sich ein gasförmiger oder verdampfender Stoff in einem Gas aus. Stellt man eine Schale mit Äther auf den Experimentiertisch, so ist der Äthergeruch nach kurzer Zeit im ganzen Zimmer wahrnehmbar. Auch in einem festen Stoff kann sich ein anderer Stoff, wie wir noch sehen werden, unter gewissen Bedingungen ausbreiten.

Diffusion ist die Ausbreitung eines Stoffes in einem anderen.

Die Brownsche Bewegung

Wenn man einen Tropfen chinesische Tusche unter dem Mikroskop betrachtet, so sieht man eine wimmelnde Bewegung der kleinen Rußteilchen, die in der Tusche enthalten sind. Ein ins Auge gefaßtes Farbkörnchen bewegt sich um so lebhafter, je kleiner es ist. Diese Erscheinung wurde im Jahre 1827 von dem englischen Botaniker *Robert Brown* an lebenden Pflanzenzellen entdeckt. Die nach ihm benannte *Brownsche Bewegung* tritt bei mikroskopisch sichtbaren Teilchen von weniger als 10^{-4} cm = 0,0001 cm Durchmesser auf, die in einer Flüssigkeit aufgeschlemmt sind oder in einem Gase schweben. Man erkannte, daß die Ursache der Brownschen Bewegung in den Molekülen des umgebenden Mittels zu suchen ist. Diese Moleküle sind in ständiger Bewegung und üben auf die Fremdkörperchen Stöße aus.

Erklärung der Diffusion

Die Diffusion ist durch diese Bewegung der Moleküle zu erklären. Bei der Ausbreitung des Äthers in der Luft z. B. dringen die Äthermoleküle in die Zwischenräume zwischen den Luftmolekülen ein. Im Wasser geht die Ausbreitung eines Stoffes erheblich langsamer vor sich, weil die Zwischenräume zwischen den Wassermolekülen viel kleiner sind als in einem Gas und die Moleküle des gelösten Stoffes daher in ihrer Bewegung behindert werden. Bei Versuch 6 löst sich das Kupfersulfat auf, bis die an der Oberfläche des Kristalls unmittelbar angrenzende Schicht gesättigt ist. Infolge der Molekularbewegung wandern immer Moleküle aus der gesättigten Schicht in das Wasser bzw. die ungesättigte Lösung ab, so daß sich neues Salz in der Grenzschicht lösen kann. Wenn man die Flüssigkeit umrührt, so beschleunigt man die Verteilung der Moleküle des gelösten Stoffes und damit den Auflösungs Vorgang. Will man umgekehrt die Durchmischung zweier aneinandergrenzender Lösungen I und II vermeiden, so muß man verhindern, daß die Moleküle des gelösten Stoffes der Lösung I in die Lösung II diffundieren und umgekehrt. Man erreicht dies z. B. durch eine poröse Tonplatte, die zwar für die Wassermoleküle, nicht aber für die Moleküle des gelösten Stoffes durchlässig ist.

Technische Bedeutung der Diffusion

1. Eisenvitriol wird technisch durch Auflösen von Eisenabfällen in Schwefelsäure gewonnen. Die an das Eisen unmittelbar angrenzende Schicht reichert sich an Eisenvitriol an und verarmt gleichzeitig an Schwefelsäure. Durch Diffusion wird einerseits das Reaktionsprodukt Eisenvitriol aus dieser Schicht entfernt und andererseits frische Schwefelsäure an das Eisen herangeführt. Durch Rühren wird die Auflösungsgeschwindigkeit erhöht.
2. Fenster- und Türbeschläge, Schlüssel und kleine Maschinenteile werden häufig aus kohlenstoffreichem Eisen hergestellt und nachträglich durch Glühen in einem sauerstoffabgebenden Mittel in der Randzone oder durchweg entkohlt. Dieser Vorgang heißt *Tempern*. Zum Tempern packt man die Werkstücke im Tempertopf in Eisenoxyd (Roteisenerz und Hammerschlag im Gemisch) ein und erhitzt einige Tage lang auf etwa 1000° C. Dabei diffundiert der Sauerstoff in das Eisen und verbrennt den Kohlenstoff.

3. Beim „Einsetzen“ werden Werkstücke aus kohlenstoffarmem Stahl durch Aufkohlen der Randzone an der Oberfläche härtbar (Einsatzhärtung). Man packt die Werkstücke in Kästen oder Töpfe in Holzkohle, Koks oder andere Einsatzmittel ein und erhitzt auf etwa 850 bis 900° C. Der Kohlenstoff dringt dabei durch Diffusion in die Randschicht des Werkstückes ein.

Die Beispiele 2 und 3 zeigen, daß auch in Festkörpern bei höherer Temperatur Diffusion möglich ist.

d) Emulsionen

In den Aufschlämmungen (Suspensionen) schweben in einer Flüssigkeit kleine Teilchen eines festen Stoffes. Ähnlich können in einer Flüssigkeit auch feine Tröpfchen einer zweiten Flüssigkeit verteilt sein. Man spricht in diesem Falle von einer *Emulsion*.

Beispielsweise ist Milch eine Fettemulsion. In der Milchflüssigkeit schweben flüssige Fetttröpfchen von einigen Tausendstel Millimeter Durchmesser.

Unter einer Emulsion versteht man eine Flüssigkeit, in der eine zweite Flüssigkeit in Form feinsten Tröpfchen verteilt ist.

Technische Bedeutung der Emulsionen

Ölhaltige oder ölfreie Emulsionen werden als Bindemittel zu Anstrichstoffen verwendet.

Bei der Bearbeitung metallischer Werkstoffe dienen Emulsionen aus Wasser und wasserlöslichen Kühlmittelölen (Bohrölen) als Kühlmittel und Schmiermittel sowie als Rostschutz. Der Ölgehalt dieser *Bohrölemulsionen* beträgt beim Drehen und Bohren etwa 3 bis 10%, beim Fräsen liegt er höher. Zum Schleifen benutzt man Emulsionen von 1 bis 3% Bohröl. Der geringere Ölanteil vermeidet ein Verschmieren der Schleifscheiben; es kommt hier hauptsächlich auf die Kühlwirkung an.

Ölemulsionen setzt man mit weichem Wasser an. Wasser mit mehr als 10 bis 15 Härtegraden wird vorher mit Soda enthärtet. Das Öl gibt man unter ständigem Rühren zum Wasser. Eine Emulsion von 10 Raumteilen Kühlmittelöl und 90 Raumteilen Wasser darf nach 24stündigem Stehen bei Zimmertemperatur keine klare Ölschicht bilden.

Aufgaben:

1. Erkläre an Hand des Diagramms (Abb. 30), warum sich bei Versuch 2 (S. 60) die Kochsalzlösung anders verhält als die Kalisalpeterlösung!
2. Wie ist eine 5%ige Kochsalzlösung herzustellen?
3. Was ist eine gesättigte Lösung?
4. Wie kann man die Dichte einer Lösung bestimmen?
5. Nenne einige technisch wichtige Lösungsmittel!
6. Welche Bedeutung hat der Kalkgehalt des Wassers?
7. Wie enthärtet man Wasser?
8. Erkläre, warum man beim Öffnen des Gashahnes nach kurzer Zeit Gasgeruch wahrnimmt!
9. Was hat man sich unter einer kolloiden Lösung vorzustellen?
10. Wie unterscheiden sich Lösungen von Emulsionen?

8. Säuren, Basen, Salze

a) Säuren

Becherglas — Glasstab — Thermometer — Glasschale

Reine Salzsäure — techn. Salzsäure — konz. Schwefelsäure — Salpetersäure — Selterswasser

Essigsäure — Zinkpulver — Kupferspäne — Zucker — Kalkwasser — Lackmuspapier — Holzspan

Begriff

Säuren sind chemische *Verbindungen*, deren wäßrige Lösungen positiv elektrisch geladene Wasserstoffatome (Wasserstoffionen) enthalten. Säuren zeichnen sich durch sauren Geschmack aus und wirken (zumindest im konzentrierten Zustand) ätzend. Man unterscheidet anorganische (mineralische) und organische (in Pflanzen- und Tierkörpern vorkommende) Säuren. Die anorganischen Säuren, die Sauerstoff enthalten, z. B.

Schwefelsäure (H_2SO_4) oder Salpetersäure (HNO_3), kann man allgemein durch Einwirkung von Wasser auf ein Nichtmetalloxyd darstellen. Die sauerstofffreien anorganischen Säuren, z. B. Salzsäure (HCl) oder Bromwasserstoff-Säure (HBr) können durch direkte Anlagerung von Wasserstoff an ein Nichtmetall entstehen. Kennzeichnend für die organischen Säuren, z. B. Essigsäure (CH_3COOH) oder Benzoesäure ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$) ist die COOH -Gruppe. Die Darstellung dieser Säuren ist sehr unterschiedlich.

Einige organische Farbstoffe werden durch Säuren charakteristisch verfärbt. Man nennt sie *Indikatoren*¹⁾. Der wichtigste ist Lackmus.

Säuren werden durch Rotfärbung von Lackmus nachgewiesen.

Durch einige Tropfen Säure wird Wasser elektrisch leitend gemacht. Das beruht darauf, daß Säuremoleküle in Wasser in positiv geladene Wasserstoffteilchen und negativ geladene Säurerestteilchen zerfallen (s. S.180). Diese elektrisch geladenen Teilchen werden Ionen genannt.

Die wäßrigen Lösungen von Säuren enthalten Wasserstoffionen (H^+) und Säurerestionen.

Die Säuren sind meist flüssig, einige aber auch fest, wie z. B. Zitronen- und Weinsäure. Im Gegensatz zu den *konzentrierten Säuren*, die wasserarm sind, werden Lösungen mit geringerem Säuregehalt als *verdünnte Säuren* bezeichnet.

¹⁾ indicare (lat.) anzeigen.



Abb. 31. Aus Zink und roher Salzsäure wird Lötwater hergestellt.

Die allgemeine Regel, daß Chemikalienflaschen nie offen stengelassen werden dürfen, gilt besonders für Säuren, da viele von ihnen ätzende, andere Stoffe angreifende Dämpfe entwickeln.

Säureflaschen nie offen stehenlassen!

Salzsäure (HCl)

Salzsäure ist eine wäßrige Lösung des farblosen, starkriechenden *Chlorwasserstoffgases*, das ihr einen stechenden Geruch gibt. *Konzentrierte Salzsäure* enthält etwa 38% dieses Gases und *raucht an der Luft*, weil der entweichende Chlorwasserstoff die Luftfeuchtigkeit anzieht und somit Nebel von winzigen Salzsäuretröpfchen entstehen.

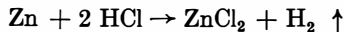
Die meistverwendete verdünnte Salzsäure ist etwa 12 bis 20%ig. Chemisch rein ist sie farblos, die *technische (rohe) Salzsäure* sieht gelblich aus, weil sie durch eine geringe Menge von Eisenchlorid (FeCl₃) gelb gefärbt ist. Meist enthält rohe Salzsäure auch giftige Arsenverbindungen.

Viele Metalle werden durch Salzsäure aufgelöst. Darauf beruht die Herstellung von Lötwasser (Abb. 31). Dieses erhält beim Weichlöten die zu verbindenden Metallteile sauber.

Beim Einwirken von Salzsäure auf Zink wird Wasserstoff frei, gleichzeitig bildet sich Zinkchlorid.

Versuch 1:

Wir übergießen Zinkpulver im Reagenzglas mit verdünnter Salzsäure. Unter heftigem Aufbrausen entweicht ein Gas, das wir durch seine Brennbarkeit als Wasserstoff nachweisen können. Dabei findet folgender Vorgang statt:



(s. auch S. 25). Dieser Vorgang ist als allgemein gültig zu bezeichnen:

Beim Einwirken von Säure auf unedle Metalle wird Wasserstoff frei.

Salzsäure wird in der Technik vielseitig verwandt und dient u. a. als Lösungsmittel und zum Reinigen der Oberfläche von Metallen. Stahl erhält beim Beizen mit Salzsäure eine von Rost und Zunderfreie Oberfläche.

Schwefelsäure (H₂SO₄)

Reine Schwefelsäure ist farb- und geruchlos. Im *konzentrierten* Zustand (Dichte: 1,84 g/cm³) ist sie ölig und so *stark hygroskopisch* (wasseranziehend), daß sie sich bei nicht sorgfältig verschlossener Flasche durch die angezogene Luftfeuchtigkeit verdünnt. Sie erwärmt sich stark beim Verdünnen. Deshalb darf immer nur konzentrierte Säure in Wasser gegossen werden (Abb. 32) und nicht umgekehrt, da anderenfalls explosionsartig Wasserdampf entsteht, der ätzende Säure verspritzt.

Merke: Beim Verdünnen von Schwefelsäure:

Erst das Wasser, dann die Säure, sonst geschieht das Ungeheure!
(Verspritzungs- und Explosionsgefahr!).

Versuch 2:

Wir gießen konzentrierte Schwefelsäure unter Umrühren in ein Becherglas mit Wasser und beobachten mit einem Thermometer den Temperaturanstieg. Vorsicht!

Konzentrierte Schwefelsäure kann anderen Stoffen auch chemisch gebundenes Wasser entziehen. Aus diesem Grunde werden z. B. organische Stoffe wie Holz, Zucker, Kleiderstoffe und Fleisch durch konzentrierte Schwefelsäure zerstört und verkohlt.

Die dunkle Farbe der technischen Schwefelsäure rührt von Kohlenstoff her, der aus organischen Verunreinigungen stammt.

Versuch 3:

Wir übergießen in der Glasschale Zucker oder Holz mit etwas konzentrierter Schwefelsäure. Nach kurzer Zeit können wir Schwarzfärbung der Substanzen feststellen.

Rauchende Schwefelsäure enthält überschüssiges (festes) *Schwefeltrioxyd* (SO_3) und ist darum besonders gefährlich.

Schwefeltrioxyd ist dasjenige Oxyd des Schwefels, das im Wasser gelöst werden muß, wenn man Schwefelsäure erhalten will. Es wird als Schwefelsäureanhydrid bezeichnet und katalytisch aus dem Verbrennungsprodukt des Schwefels, dem Schwefeldioxyd (SO_2), in der Technik hergestellt (Kontaktverfahren zur Gewinnung von Schwefelsäure).

Schwefelsäure dient zum Beizen von Stahl, Kupfer, Messing und anderen Metallen.

Bleiakkumulatoren werden mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt. In der chemischen Technik ist die Schwefelsäure ein Rohstoff von grundlegender Bedeutung. Sie dient u. a. zur Herstellung von Düngemitteln (Superphosphat, Ammoniumsulfat), Farbstoffen, Explosivstoffen, zur Mineralölreinigung usw.

Die Schwefelsäure darf nicht mit der schwefligen Säure verwechselt werden, die beim Einleiten von Schwefeldioxyd in Wasser entsteht und völlig andere Eigenschaften als die Schwefelsäure zeigt.

Vergleichen wir die Formel von schwefliger Säure (H_2SO_3) mit der Formel für Schwefelsäure (H_2SO_4), so erkennen wir, daß sich beide Formeln ähneln. Beide Stoffe bestehen aus den gleichen Grundstoffen: Wasserstoff, Schwefel und Sauerstoff. Das Molekül der Schwefelsäure enthält gegenüber dem Molekül der schwefligen Säure zusätzlich lediglich ein einziges Sauerstoffatom. Dieser geringe Unterschied in der mengenmäßigen Zusammensetzung beider Stoffe verursacht einen grundlegenden Unterschied der Eigenschaften der beiden Stoffe. *Wir erkennen also an diesem Beispiel, daß eine bestimmte rein mengenmäßige (quantitative) Änderung im Aufbau eines Moleküls einen Umschlag der Eigenschaften (Qualität) des betreffenden Stoffes ergibt.*

Schwefelsäure wurde bisher nach verschiedenen Verfahren aus sulfidischem Erz (Pyrit, FeS_2) hergestellt, das uns in der Deutschen Demokratischen Republik nicht zur Verfügung steht und früher aus dem Ausland eingeführt werden mußte. Bei diesen Verfahren wird der Pyrit geröstet (unter Luftzutritt erhitzt). Dabei verbrennt der Schwefel zu Schwefeldioxyd (SO_2), das dann zu SO_3 oxydiert und schließlich in Schwefelsäure (H_2SO_4) überführt wird.

Im Zuge des Fünfjahrplanes wollen wir Schwefelsäure aus eigenen Bodenschätzen gewinnen. Hierfür stehen uns Magnesiumsulfat (Kieserit, $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) und Kalzium-

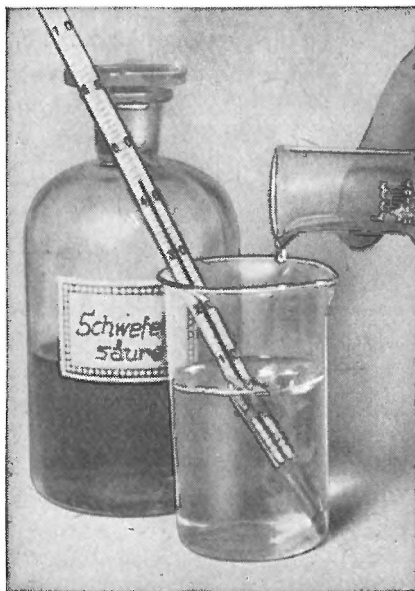
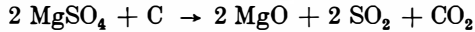


Abb. 32. Verdünnen von konzentrierter Schwefelsäure

sulfat (Anhydrit, CaSO_4) in reicher Menge zur Verfügung. Diese Stoffe werden in feinermahlenem Zustand in Etagenöfen gemeinsam mit Koks erhitzt. Durch den glühenden Koks wird das Sulfat (MgSO_4) zum Sulfit (MgSO_3) reduziert, das unter Abspaltung von SO_2 weiter zerfällt:



Das entstandene Schwefeldioxyd wird entweder nach dem Kontaktverfahren (mit Hilfe von festen Katalysatoren, wie z. B. Eisenoxyd, Vanadiumpentoxyd) oder nach dem Bleikammerverfahren mit Hilfe von Stickstoffdioxyd in Schwefelsäure übergeführt.

An der technischen Durchentwicklung des neuen Produktionsverfahrens haben die Forschungsstelle Rüdersdorf und das Chemiewerk Oranienburg den entscheidenden Anteil. In enger Zusammenarbeit von Wissenschaftlern und Praktikern wurde damit der im Jahr 1951 von der Staatlichen Plankommission der Deutschen Demokratischen Republik gestellte Auftrag erfüllt. Durch das enge Bündnis der Werktätigen mit der Intelligenz werden friedliche Werte geschaffen, die zu gesteigertem Wohlstand des gesamten Volkes führen.

Im „Gesetz über den Fünfjahrplan zur Entwicklung der Volkswirtschaft der Deutschen Demokratischen Republik (1951-1955)“ ist den volkseigenen chemischen Werken der Auftrag gestellt, in 5 Jahren die Versorgung mit Schwefelsäure aus eigenen Rohstoffen sicherzustellen. Gleichzeitig ist gegenüber 1950 die Produktion an Schwefelsäure um 193% auf 450 000 t im Jahre 1955 zu erhöhen.

Schwefelsäure ist eine der stärksten Säuren, die viele organische Stoffe durch ihre wasserentziehende Wirkung zerstört. Dabei bleibt Kohlenstoff zurück. Im Verlauf des Fünfjahresplanes wird die Produktion von Schwefelsäure aus einheimischen Rohstoffen sichergestellt.

Salpetersäure (HNO_3)

Reine Salpetersäure ist farblos und riecht stechend nach *nitrosen Gasen*, die bei konzentrierter Säure oft in *rotbraunen, giftigen Schwaden* (Stickstoffdioxyd) entweichen. Die Bildung von nitrosen Gasen, durch die die Salpetersäure gelb bis rot gefärbt werden kann, wird schon durch Licht ausgelöst. Um dies zu verhindern, wird konzentrierte Salpetersäure in braunen Flaschen aufbewahrt. Die durch Stickstoffdioxyd gefärbte und rotbraune Gase abgebende Salpetersäure wird „rote, rauchende Salpetersäure“ genannt.

Bei der Einwirkung von Salpetersäure auf manche Metalle, wie z. B. Kupfer, entsteht ebenfalls das rotbraune, giftige, gasförmige *Stickstoffdioxyd* (s. S. 183).

Versuch 4:

Wir übergießen in einem Reagenzglas etwas Kupfer mit Salpetersäure. Es entsteht rotbraunes Stickstoffdioxyd. Vorsicht! (Abzug!)

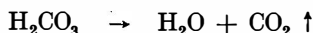
Nitrose Gase entstehen in der Metallbeize bei Verwendung von Salpetersäure und sind äußerst giftig.

Salpetersäure wird zum Ätzen und Beizen von Kupfer und anderen Metallen verwendet. Ferner dient sie als „Scheidewasser“ für Gold und Silber (da sie nur Silber auflöst, Gold aber nicht angreift), als Nitriersäure (z. B. beim Nitrieren von Glycerin) und zur Herstellung von Düngemitteln.

Salpetersäure ist ein starkes *Oxydationsmittel*. Brennbare Stoffe werden durch rote, rauchende Salpetersäure in Brand gesetzt. Haut und Gewebe werden durch Salpetersäure gelb gefärbt und zerstört.

Kohlensäure (H₂CO₃)

Beim Einpressen von Kohlendioxyd (CO₂) in Wasser entsteht Selterswasser, das etwas Kohlensäure enthält und somit verdünnte Kohlensäure darstellt. Kohlensäure *zerfällt sehr leicht* in Wasser und Kohlendioxyd:

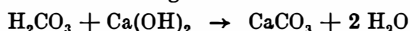


Konzentrierte Kohlensäure gibt es nicht. Im Gegensatz zu Salzsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure ist Kohlensäure eine *schwache Säure*, die keine technische Anwendung findet. Fälschlicherweise wird das Kohlendioxyd oft als Kohlensäure bezeichnet (s. Kap. 6, S. 57).

Versuch 5:

Wir tauchen einen Streifen blaues Lackmuspapier in Selterswasser. Die Rotfärbung beweist uns, daß im Selterswasser eine Säure enthalten ist.

Um nachzuweisen, daß es sich um Kohlensäure handelt, setzen wir dem Selterswasser einige cm³ Kalkwasser zu. Dieses wird durch Bildung von Kalziumkarbonat getrübt:



Versuch 6:

Im Becherglas, das zu etwa $\frac{1}{3}$ Höhe mit Selterswasser gefüllt wurde, erlischt ein brennender Span, weil Kohlendioxyd aus dem Wasser entweicht.

Essigsäure (CH₃COOH)

Von den vielen, *meist festen, weiß aussehenden organischen Säuren* sei hier nur die bekannte und wichtigste, die *Essigsäure* erwähnt.

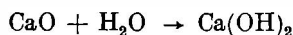
Alle organischen Säuren enthalten die einwertige Gruppe COOH (*Karboxylgruppe*). Essigsäure, der Hauptbestandteil unseres Speiseessigs, *riecht* vor allem, wenn sie konzentriert ist, stark stechend (Vorsicht!) und ist dann *giftig*. Sie ist wasserhell und farblos. Im *Speiseessig* beträgt der Gehalt an Essigsäure 5%. *Essigessenz* enthält etwa 80% Essigsäure, Eisessig ist fast chemisch reine Essigsäure, die bei 16,6° C zu einer eisartigen Masse erstarrt.

b) Basen und Laugen

Bechergläser — Ätzkali — Ätznatron — Kalilauge — Natronlauge — Lackmuspapier — Phenolphthaleinpapier — Akkumulatorenbatterie

Begriff

Basen sind wasserlösliche Verbindungen von Metallen mit der *Hydroxylgruppe* (OH). Man kann sich eine Base entstanden denken durch Einwirkung von Wasser auf ein *Metalloxyd*, z. B.:



Man bezeichnet die Basen chemisch als *Metallhydroxyde*.

Die wichtigsten Basen sind: *Kaliumhydroxyd* (KOH), *Natriumhydroxyd* (NaOH) und *Kalziumhydroxyd* [Ca(OH)₂]. Auch das *Ammoniumhydroxyd* (NH₄OH), das an Stelle eines Metalles die Atomgruppe NH₄ enthält, gehört zu den Basen.

Die wäßrigen oder alkoholischen Lösungen der Basen werden als *Laugen* bezeichnet.

Laugen färben rotes Lackmuspapier blau.

Die Basenlösungen der Alkalimetalle Kalium und Natrium werden auch *Kalilauge* bzw. *Natronlauge* genannt. Wenn eine Flüssigkeit rotes Lackmuspapier blau färbt, so spricht man von *alkalischer Wirkung* bzw. *alkalischer Reaktion*¹⁾. Diese kann nicht nur mit Lackmuspapier, sondern auch mit weißem Phenolphthaleinpapier bzw. mit einer wasserklaren Phenolphthaleinlösung nachgewiesen werden.

Phenolphthalein wird durch Basen rot gefärbt.

Versuch 7:

- a) Phenolphthaleinpapier wird beim Eintauchen in Kalilauge, Natronlauge, Kalkwasser und Ammoniumlösung rot gefärbt.
- b) Wir versetzen verdünnte Kalilauge in einem Becherglas mit einigen Tropfen alkoholischer Phenolphthaleinlösung. Der Inhalt des Becherglases verfärbt sich intensiv rot.

Phenolphthalein, daß aus Phthalsäure und Phenol gewonnen wird, ist ein weißes Pulver, dessen alkoholische Lösung wasserklar aussieht und als Indikator verwendet wird.

Versuch 8:

Wir halten die beiden elektrischen Pole einer Stromquelle auf angefeuchtetes Polreagenzpapier, es entsteht durch elektrische Stromwirkung am negativen Pol (Kathode) eine Spur von Natronlauge, die das Phenolphthalein rot färbt. — Polreagenzpapier ist Filtrierpapier, das mit einer Lösung von Salpeter (NaNO_3 oder KNO_3) und Phenolphthalein getränkt wurde.

Kalilauge (KOH), Natronlauge (NaOH)

Die wasserfreien Basen *Kaliumhydroxyd (KOH)* und *Natriumhydroxyd (NaOH)* sind feste weiße Stoffe, die stark wasseranziehend sind und ätzend wirken. Deshalb werden diese Basen auch als *Ätzkali* und *Ätznatron* bezeichnet. Sie werden in Stangen- oder Plätzchenform geliefert. Beim Auflösen von Ätzkali bzw. Ätznatron in Wasser entsteht *Kalilauge* bzw. *Natronlauge*.

Kalilauge und Natronlauge sind die stärksten Laugen und in ihren Eigenschaften sehr ähnlich, so daß es in chemischer Hinsicht meist gleich ist, welche von beiden man verwendet. Konzentrierte Kali- und Natronlaugen zersetzen tierische Stoffe wie Wolle, Seide und Haut. In der Hitze werden von den konzentrierten Laugen auch mineralische Stoffe wie Glas und Porzellan angegriffen.

Der Nickel-Eisen-Akkumulator, der für Überlastungen unempfindlicher ist als der Bleiakкумуляtor, wird mit Kalilauge gefüllt (Abb. 33).



Abb. 33. Der Nickel-Eisen-Akkumulator wird mit Kalilauge gefüllt.

¹⁾arabisch: al kali = das Ausgelaupte.

Bei der Einwirkung von Kalilauge auf Fette und Öle entsteht Schmierseife. Aus Natronlauge und Fett wird Kernseife hergestellt. Beim Waschen mit Seife wird in geringen Mengen Natron- bzw. Kalilauge frei. Diese löst das Fett und ermöglicht auch ein Fortspülen des Schmutzes.

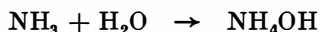
Ätznatron ist für viele Zweige der chemischen Industrie ein wichtiger Rohstoff. Der Fünfjahrplan sieht eine Steigerung der Ätznatronproduktion gegenüber 1950 um 100% vor.

Kalkwasser $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$

Gelöschter Kalk ist *Kalziumhydroxyd* $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, das sich nur schwer in Wasser löst. Aus diesem Grunde entsteht bei der Auflösung dieser Base in Wasser nur eine mittelstarke Lauge. Es entsteht zunächst eine Suspension, die *Kalkmilch*, die beim Filtrieren klares *Kalkwasser* ergibt. Kalkwasser ist die billigste Lauge der chemischen Industrie. Kalkmilch wird u. a. auch als weiße Anstrichfarbe, z. B. für Zimmerdecken verwendet.

Ammoniumhydroxyd (NH_4OH)

Ammoniaklösung, die auch als *Salmiakgeist* bezeichnet wird, ist eine klare, farblose, stark stechend riechende (Vorsicht!) Flüssigkeit. Sie enthält Ammoniumhydroxyd, das sich beim Auflösen des Gases Ammoniak in Wasser bildet.



Ihr stechender Geruch wird also durch Ammoniak verursacht, das zum großen Teil nur physikalisch gelöst ist und dabei leicht wieder aus dem Wasser entweicht.

In Kältemaschinen wird durch Druck verflüssigtes Ammoniak verwendet, weil es eine sehr große Verdampfungswärme besitzt (ca. 300 kcal/kg).

Frische Säureflecken in Stoffen werden durch Auftupfen von Ammoniumhydroxyd unschädlich gemacht (s. S. 79).

Im Ammoniumhydroxyd ersetzt die *Ammoniumgruppe* NH_4 das bei den anderen Laugen vorhandene Metall. Infolge der *Flüchtigkeit* von NH_3 kann Salmiakgeist schon durch einen feuchten, roten Lackmuspapierstreifen nachgewiesen werden, der sich bereits in der Nähe der Flüssigkeit blau verfärbt.

In gewöhnlichem Salmiakgeist sind 10% NH_3 aufgelöst. Im Handel ist auch *3faches Ammoniakwasser* mit 25% NH_3 zu haben (besondere Vorsicht beim Riechen!).

c) Salze

Salzsäure — Essigsäure — Salmiakstein — Marmor — Dolomit — Soda — Natriumhydrogenkarbonat — Spateisenstein — Kalkwasser — Lötkolben — Holzspan — Kupferblech — Glasstab

Begriff

Wenn wir im täglichen Leben das Wort „Salz“ hören, so denken wir unwillkürlich an das Kochsalz, das in der Chemie Natriumchlorid genannt wird. In Wirklichkeit gibt es aber außer dem Kochsalz noch viele Tausende anderer Salze. Allen ist gemeinsam, daß sie sich aus einem Metall und einem nichtmetallischen Säurerest zusammensetzen. So ist z. B. auch der Kalkstein (Abb. 34) ein Salz.

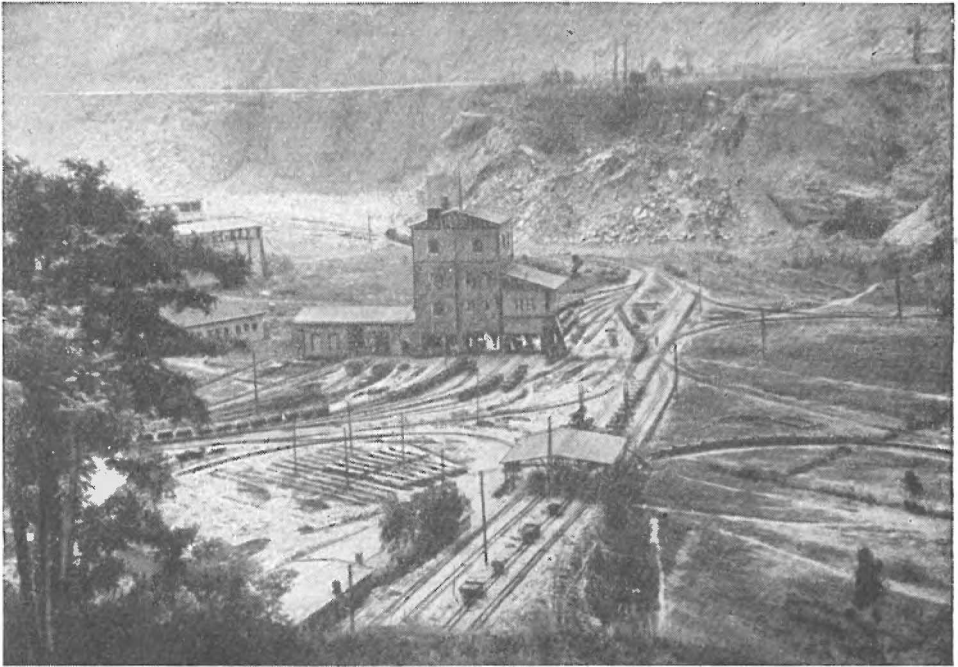


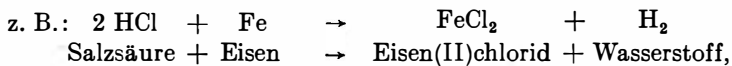
Abb. 34. Kalksteinbruch. Beim Verhütten der Eisenerze wird im Hochofen meist Kalkstein als Zuschlag hinzugefügt.

Bildung

Salze entstehen, wenn der Wasserstoff einer Säure durch Metall ersetzt wird.

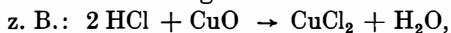
Dies kann unter anderem geschehen

1. durch Einwirken von Säure auf Metall

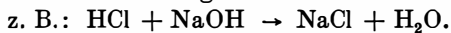


(Die Ziffer „II“ bringt zum Ausdruck, daß das Eisen in dieser Verbindung zweiwertig ist. Es gibt auch dreiwertige Eisenverbindungen.)

2. durch Einwirkung von Säure auf Metalloxyd



3. durch Einwirkung einer Säure auf eine Base



Bezeichnung:

Säure

HCl

H₂SO₄

HNO₃

H₂CO₃

Salze

NaCl, NH₄Cl

CaSO₄, CuSO₄, Na₂SO₄

KNO₃, Ca(NO₃)₂

CaCO₃, Na₂CO₃

Aus den Formeln der angegebenen Salze ist ersichtlich, daß in jedem Salz das Metallatom (bzw. NH_4) mit demjenigen Teil des Säuremoleküls verbunden ist, der übrigbleibt, wenn der Wasserstoff entfernt wird. Dieser Rest des Säuremoleküls wird als *Säurerest* bezeichnet.

Name der Säure	Formel	Säurerest	Wertigkeit des Säurerestes	Name der Salze
Salzsäure	HCl	Cl	1	Chloride
Schwefelsäure	H_2SO_4	SO_4	2	Sulfate
Salpetersäure	HNO_3	NO_3	1	Nitrate
Kohlensäure	H_2CO_3	CO_3	2	Karbonate
Phosphorsäure	H_3PO_4	PO_4	3	Phosphate
Kieselsäure	H_2SiO_3	SiO_3	2	Silikate
Essigsäure	CH_3COOH	CH_3COO	1	Azetate

Die Wertigkeit des Säurerestes entspricht der Zahl der abgetrennten H-Ionen. Bei der Bezeichnung eines bestimmten Salzes wird der Name des im Salz enthaltenen Metalles mit genannt. Das Natriumsalz der Salzsäure wird z. B. als *Natriumchlorid* (Kochsalz) bezeichnet.

Ein Salz ist die Verbindung eines Metalles mit einem Säurerest.

Natriumchlorid kann auch (veraltet) als *salzsaures* Natrium bezeichnet werden. Entsprechend wird z. B. das Kaliumpermanganat (KMnO_4) oft *übermangansaures* Kali genannt.

Einteilung

Man kann die Salze entweder nach den Metallen gruppieren (Eisensalze, Kupfersalze, Bleisalze, Natriumsalze usw.) oder nach den Säureresten ordnen (Chloride, Sulfate, Nitrate usw.). Nachstehend werden im wesentlichen nur Salze genannt, die in den Metallberufen und in der Technik eine besondere Rolle spielen.

Chloride

Das bekannteste Chlorid und zugleich der bekannteste Vertreter aller Salze ist das *Kochsalz* (NaCl). Von den vielen anderen Chloriden ist für die Metallpraxis besonders wichtig das *Zinkchlorid* (ZnCl_2), das im *Lötwasser* vorkommt (s. S. 68). Zinkchlorid sieht weiß aus, ist hygroskopisch und wirkt ätzend. Durch Tränken in Zinkchloridlösung werden Eisenbahnschwellen imprägniert.

Ammoniumchlorid (NH_4Cl) ist ein weißes, leicht lösliches Salz, das meist als *Salmiak* bezeichnet wird. Eine wäßrige Salmiaklösung dient als Füllflüssigkeit für Taschenlampenbatterien, Anodenbatterien und Klingelbatterien.

Gepreßter Salmiak wird als *Lötstein* verwendet (s. S. 162). Wird der heiße LötKolben auf dem Lötstein gerieben, so zersetzt sich das Ammoniumchlorid in Ammoniak und Salzsäuregas. Durch die entstehende Salzsäure werden die Oxydschichten auf dem LötKolben und den zu lötenden Stellen zersetzt, und der LötKolben und die Lötstellen werden somit blank.

Versuch 10:

Wir erhitzen einen kupfernen LötKolben in der Bunsenflamme und reiben ihn auf Lötstein. Die Schneide wird blank.

Sulfate

Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) ist kristallwasserhaltiges Kalziumsulfat.

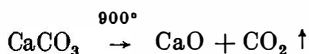
Zum Verkupfern in galvanischen Bädern wird *Kupfersulfat* ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) verwendet, das auch als *Kupfervitriol* bezeichnet wird. Kupfersulfat ist ein blauaussehendes, gut kristallisierendes, in Wasser leicht lösliches Salz, das — wie alle Kupferverbindungen — giftig ist. Zum Verchromen, Vernickeln usw. werden Sulfate von Chrom, Nickel usw. verwendet.

Nitrate

Wichtige Nitrate sind das *Kaliumnitrat* (*Kalialpeter*, KNO_3) und das *Natriumnitrat* (*Natronalpeter*, NaNO_3), die als Düngemittel und zum Pökeln verwendet werden.

Karbonate

Kalkstein, Marmor und Kreide, die in der Natur weit verbreitet sind, bestehen aus *Kalziumkarbonat* (CaCO_3). Durch Erhitzen (Brennen) des Kalksteins bei 900°C erhält man *gebrannten Kalk* CaO (*Branntkalk*, *Ätzkalk*, *Kalziumoxyd*):



Durch Wasserzugabe zu Branntkalk entsteht *gelöschter Kalk* (Kalziumhydroxyd, $\text{Ca}(\text{OH})_2$), der ein Hauptbestandteil des *Luftmörtels* ist:



Viel schneller als durch Brennen kann man im Labor das Kohlendioxyd aus dem Kalkstein durch Aufgießen von Salzsäure freimachen:



Das Kohlendioxyd entweicht dabei unter Aufbrausen.

Karbonate werden durch das Aufbrausen beim Zugießen von Säure nachgewiesen.

Versuch 11:

In einem Reagenzglas zersetzen wir etwas Marmor (kristallisiertes Kalziumkarbonat) mit Salzsäure. Unter starkem Aufbrausen entweicht ein Gas, das wir leicht mit Hilfe eines brennenden Spanes als Kohlendioxyd nachweisen können.

Da ein brennender Span auch von Stickstoff ausgelöscht würde, müssen wir zum Nachweis des Kohlendioxydes noch die Kalkwasserprobe anschließen (s. S. 71).

Versuch 12:

Wir halten in das Reagenzglas vom vorigen Versuch statt des brennenden Spanes einen Glasstab, an dem ein Tropfen klares Kalkwasser hängt. Durch die Trübung des Tropfens wird das Vorhandensein von Kohlendioxyd nachgewiesen (s. auch Versuch 5).

Der graue Kalk der Dolomiten (Teil der Alpen) ist kein reines CaCO_3 , sondern das *Doppelsatz* $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. Nach seinem Hauptvorkommen wird er *Dolomit* genannt. Im Thomasprozeß (siehe S. 112) wird Dolomit als *Futter der Thomasbirne* gebraucht.

Natriumkarbonat (Na_2CO_3) wird meist als *Soda* bezeichnet und als Reinigungs- und Fettlösungsmittel verwendet. Sodakristalle ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) verwittern leicht durch

Wasserabgabe. Dabei entsteht die entwässerte oder *kalzinierte Soda*. Soda ist leicht in Wasser löslich. Konzentrierte Lösungen ätzen stark infolge Laugenbildung (siehe S. 72).

Der Fünfjahrplan fordert, daß im Vergleich zu 1950 die Sodaproduktion auf 646% gesteigert wird.

Natriumhydrogenkarbonat (fälschlich oft noch Natron genannt: NaHCO_3) enthält als Säurerest die Gruppe HCO_3 . Im Molekül der Kohlensäure wurde also nur *ein* H-Ion durch Metall ersetzt. Das weiße, in Wasser lösliche Salz spielt in der Feuerlöschtechnik eine große Rolle, da es besonders leicht CO_2 abgibt (s. S. 45).

Eisenkarbonat (FeCO_3) kommt in der Natur als Spateisenstein vor, der ein wichtiges Eisenerz ist (s. S. 98).

Versuch 13:

Wir führen den Karbonatnachweis mit Dolomit, Soda, Natron und Spateisenstein durch.

Silikate

Silikate sind die Salze verschiedener Kieselsäuren (H_2SiO_3 , H_4SiO_4 u. a.). Fast alle Gesteine und ihre Verwitterungsprodukte bestehen aus Silikaten. Wichtige Werkstoffe wie Glas, Porzellan und Steingut enthalten als überwiegenden Bestandteil Silikate.

Wasserglas, das in wäßriger Lösung als Feuerschutzanstrich und als Klebemittel verwendet wird, besteht aus verschiedenen Natrium- und Kaliumsilikaten. An der Luft erstarrt die farblose wäßrige Lösung zu einer glasigen, nicht mehr löslichen Masse.

Phosphate

Die *Thomasschlacke*, die beim Windfrischen (s. S. 113) zur Gewinnung von *Thomasstahl* anfällt, besteht in der Hauptsache aus Mischkristallen von Kalziumphosphat [$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$] und Kalziumsilikat (Ca_2SiO_4). Die gemahlene Thomasschlacke ist ein graues, schweres, stark stäubendes Pulver, das als *Thomasmehl* bezeichnet und als langsam wirkendes Düngemittel verwendet wird.

Beim Parkerisieren (s. S. 197) wird mit Hilfe von Natriumphosphat Eisenphosphat hergestellt. Trinatriumphosphat wird zum Entfetten von Metallen verwendet.

Azetate

Kupferazetat oder Grünspan (basisches Kupferazetat) bildet sich an kupfernen Gegenständen bei Anwesenheit von Essigdämpfen und ist giftig. Die genaue formelmäßige Zusammensetzung des Grünspans steht nicht fest.

Versuch 14:

Wir befeuchten ein Stück Kupferblech wiederholt mit Essigsäure. Nach einigen Tagen ist Grünspanbildung zu beobachten.

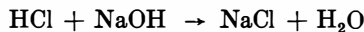
Azetate finden Verwendung in der Medizin beispielsweise als essigsäure Tonerde, Aluminiumazetat. Bleiazetat bildet die Grundlage für die Gewinnung von Bleiweiß. Eisen(II)azetat, essigsäures Eisen wird in der Färberei als Beizmittel benutzt. Für die Herstellung von Azetat-kunstseide ist Natriumazetat von Bedeutung.

d) Neutralisation

Bürette mit Stativ — Porzellanschale — Natronlauge — Salzsäure — Phenolphthaleinlösung

Begriff

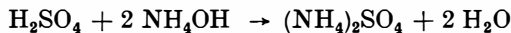
Eine Neutralisation findet statt, wenn eine Säure und eine Lauge wechselseitig aufeinander einwirken. Bei äquivalenten (gleichwertigen) Mengen werden sowohl die typischen Säurewirkungen als auch die typischen Laugenwirkungen aufgehoben. Wenn z. B. Salzsäure und Natronlauge zusammengegossen werden, so verstärken sich nicht etwa die ätzenden Wirkungen von Säure und Lauge, sondern sie heben sich bei äquivalenten Mengen vollkommen auf, weil sich folgender chemischer Vorgang abspielt:



Es entsteht also Kochsalz und Wasser, Kochsalzlösung. Diese Salzlösung reagiert weder sauer noch basisch, sondern „neutral“.

Säure und Lauge neutralisieren einander unter Bildung von Salz und Wasser.

Bei der Neutralisation von Schwefelsäure und Salmiakgeist findet folgender Vorgang statt:



Es entsteht Ammoniumsulfat und Wasser.

Wenn sich Säure und Lauge voll zu Salz und Wasser umgesetzt haben, ist der *Neutralisationspunkt* erreicht. Er kann durch *Lackmuspapier*, *Lackmuslösung* oder andere *Indikatoren* wie z. B. *Phenolphthaleinlösung* angezeigt werden.

Bei Lackmuslösung muß sich der violette Farbton der neutralen Lackmuslösung einstellen (Farbumschlag). Rote Phenolphthaleinlösung in einer Base wird bei tropfenweisem Zusatz von Säure entfärbt, sobald der Neutralisationspunkt erreicht ist.

Versuch 15:

In einem Becherglas neutralisieren wir unter Verwendung von Phenolphthalein als Indikator Salzsäure mit Natronlauge, indem wir die Lauge unter ständigem Rühren tropfenweise zu der Säure fließen lassen. Sobald die Lösung eine ganz schwache Rötung zeigt, hören wir mit dem Zutropfen auf.

Versuch 16:

Das neutralisierte Gemisch wird in einer Porzellanschale eingedampft oder an einen warmen Ort gestellt, wo das Wasser allmählich verdunstet. Kochsalz (unser Neutralisationsprodukt) kristallisiert dann in schönen kleinen Würfeln aus.

Anwendungen

Auf der Neutralisation beruht die *Reinigung von säurehaltigen Schmiermitteln durch Zusatz von Lauge* (Abb. 35). Auch sonst wird in der Praxis überschüssige Säure meist durch Zugabe von Lauge entfernt. So muß man z. B. beim Löten dem *Lötwasser Salmiakgeist zusetzen*, um restliche Salzsäure, die die Metalle angreifen würde, zu beseitigen.

Besonders wichtig ist die Neutralisation auch als *erste Hilfe* bei Verätzungen durch eine Säure oder Lauge. In vielen Fällen reicht ein Abspülen mit Wasser nicht aus. *Säureschäden* sind durch schwache Laugen (Kalkwasser, Salmiakgeist, Seifen- oder Sodalösung), *Laugeschäden* (z. B. Kalkverätzung) durch schwache Säuren (Essigsäure — Essig — Zitronensäure) auszugleichen. Die Gegenmittel dürfen nicht in starker Konzentration gegeben werden, da sie sich sonst ebenfalls schädlich auswirken. Durch Zugabe von größeren Mengen an schwacher Lauge bzw. Säure können auch starke Laugen und Säuren neutralisiert werden. Körperliche Schäden durch Einatmen von Gasen, die aus Säuren und Laugen stammen, werden in entsprechender Weise bekämpft. *Ammoniakschäden* (z. B. durch zu starkes Riechen an Flaschen mit Salmiakgeist) können durch vorsichtiges Einatmen von Essigdämpfen oder Salzsäuregas (verdünnt!) gemildert werden und umgekehrt.

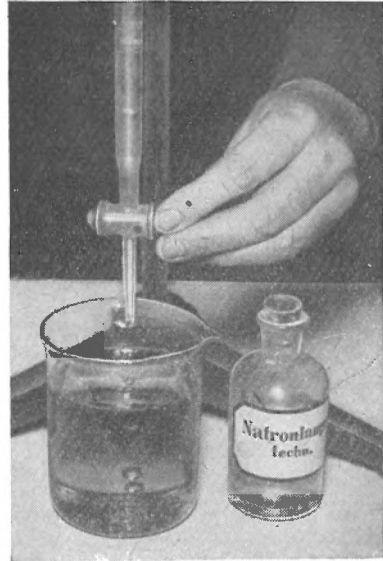


Abb. 35. Schmieröle enthalten bisweilen noch Reste von Säuren, die mit einer Lauge neutralisiert werden müssen, damit die geschmierten Metallteile nicht durch Säure angegriffen werden.

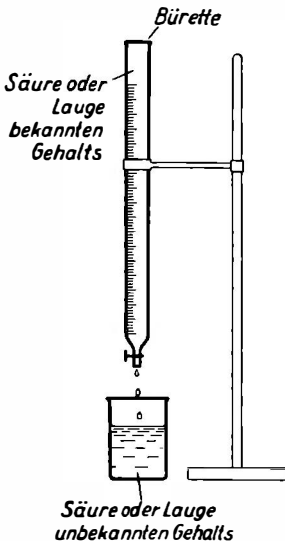


Abb. 36. Durch Titration kann der Gehalt einer Lauge oder Säure ermittelt werden.

Verätzungen durch Säuren werden aber auch durch Aufstreuen von Kreide oder Soda behandelt, da durch die Zersetzung dieser Karbonate (s. S. 76) die Säure ebenfalls verbraucht wird.

Eine wichtige Anwendung der Neutralisation ist die *Bestimmung des Gehaltes einer Säure oder Lauge*. Beispielsweise kann man den Gehalt einer Lauge ermitteln, indem man in eine bestimmte Menge dieser Lauge, die mit Phenolphthalein rot gefärbt wurde, aus einer Bürette (Abb. 36) solange Säure von bekanntem Gehalt, am besten eine normale oder 0,1 normale Lösung (s. Kap. 7, S. 59), eintropfen läßt, bis die Neutralisation an der Entfärbung der Lauge erkannt wird. Aus dem bekannten Gehalt der zugegebenen Säure und deren Menge, die am Maßstab der Bürette abgelesen wird, kann der Gehalt der Lauge errechnet werden. Dieses Verfahren wird als Titration (von „Titer“, Gehalt) bezeichnet; es ermöglicht dem Chemiker die Durchführung von *Maßanalysen*.

Auf diese Weise wird z. B. — wie bereits erwähnt — der *Säuregehalt* von *Schmiermitteln* genau bestimmt. Auch

Kesselspeisewasser wird so untersucht. Durch Tabellen ist die Titration so vereinfacht worden, daß sie jeder ohne besondere chemische Kenntnisse ausführen kann.

e) Hydrolyse

Reagenzgläser — Lackmuspapier — Aluminiumsulfat — Natriumkarbonat — Ammoniumkarbonat — Kochsalz

Die Gegenreaktion des Neutralisationsvorganges, also die Zerlegung eines Salzes durch Wasser unter Rückbildung der Ausgangssäure und Base, wird Hydrolyse genannt. Sie tritt immer dann ein, wenn ein Salz aus dem Säurerest einer starken Säure und dem Metall einer schwachen Base aufgebaut ist (diese Salze reagieren sauer, färben also Lackmuspapier rot), oder wenn ein Salz aus dem Säurerest einer schwachen Säure und dem Metall einer starken Base aufgebaut ist (diese Salze reagieren basisch, färben also Lackmus blau). Salze von schwachen Säuren und schwachen Laugen sind besonders stark hydrolysisierbar, während Salze starker Säuren und starker Laugen überhaupt nicht der Hydrolyse unterliegen.

Versuch 17 :

Wir tauchen Lackmuspapier in die Lösung von Aluminiumsulfat, Natriumkarbonat, Ammoniumkarbonat und Kochsalz. Aluminiumsulfatlösung färbt Lackmuspapier rot, da Aluminium das Metall der sehr schwachen Base Aluminiumhydroxyd ist. Die beiden nächsten Salzlösungen färben Lackmuspapier blau, da in beiden Fällen Säurereste schwacher Säuren vorliegen. Im Ammoniumkarbonat ist zwar auch die zugrunde liegende Lauge schwach, übertrifft aber doch noch die Säure an Stärke. Kochsalz verändert Lackmuspapier nicht.

f) Beiz-, Löt- und Flußmittel

Kobaltoxyd — Braunstein — Chromoxyd — Glasstab — Asbestdrahtnetz — Magnesiastäbchen — Ammoniumhydroxyd — Salzsäure — Salmiak — Borax — Zinkspäne — Wasserstoffentwickler

Säuren, Laugen und Salze spielen auch beim *Beizen von Metallen*, beim *Löten* und als *Flußmittel* eine wichtige Rolle.

Beizmittel

Unter dem *Beizen* eines Metalles versteht man das Entfernen der Anlaufschichten. Eine solche Behandlung ist notwendig vor dem Löten, Galvanisieren, Färben usw. Dabei soll das Metall möglichst nicht angegriffen werden.

Wir wollen hier nur diejenigen Beizmittel nennen, die Säuren, Laugen oder Salze sind. Weitere Einzelheiten, insbesondere über die chemischen Vorgänge beim Beizen, sind auf S. 177 angegeben.

Zum *Entfetten* der Metalle sind außer Benzin, Äther, Trichloräthylen (kurz „Tri“ genannt) und Benzol geeignet: Laugen, Sodalösung mit Wasserglaszusatz und Trinatriumphosphatlösung. Diese Lösungen werden z. B. bei Eisen, Stahl, Nickel, Silber, Blei und Zink angewendet. Für Zinn wird 3%ige Sodalösung, für Aluminium 5 bis 15%ige Sodalösung mit etwa 1% Wasserglas oder auch 5%ige Trinatriumphosphatlösung mit Wasserglaszusatz benutzt.

Das *Beizen von Eisen und Stahl* erfolgt mit 10%iger Schwefel- oder Salzsäure. Auch Phosphorsäure entrostet. Zum *Weißbrennen* verwendet man konzentrierte Salpetersäure mit Glanzruß oder 1 bis 5%ige Schwefel- oder Salzsäure.

Aluminium erfordert 10 bis 20%ige Natronlauge von 50—80° C. Zink wird mit einem Gemisch von Schwefel- und Salpetersäure *blankgebeizt*.

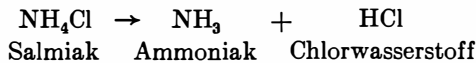
Zum *Gelbbrennen von Kupfer und Kupferlegierungen* ist mit 10% iger Schwefelsäure *vorzubeizen* und mit Salpetersäure, Glanzruß und Kochsalz *vorzubrennen*. *Glanzbrennen* erreicht man dann mit einem Gemisch von Salpetersäure und Schwefelsäure, dem etwas Kochsalz zugesetzt wird. *Mattbrennen* ist das Ergebnis bei einem Gemisch von Salpetersäure und Schwefelsäure, dem etwas Zinksulfatlösung und Kochsalz zugesetzt ist.

Einige Säuren, Basen und Salze sind wichtige Beizmittel zur Reinigung der Oberfläche von Metallen.

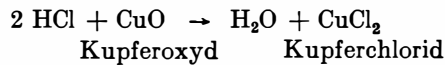
Lötmittel

Mit den Lötmitteln *Salmiak*, *Borax* und *Zinkchlorid* werden, wie beim Beizen, die störenden Metalloxyde auf den zu verlötenden Metallstücken und die Anlaufschichten des LötKolbens beseitigt. Diese Oxyde sind in Wasser unlöslich und lassen sich daher nur durch chemische Eingriffe mit den Lötmitteln beseitigen.

Salmiak (*Ammoniumchlorid*, NH_4Cl) zersetzt sich in der Hitze nach folgender Gleichung:



Der dabei entstehende weiße Rauch erklärt sich daraus, daß Salmiak auch *sublimiert*, also aus dem festen Zustande sofort Dampf bildet. Dieser verwandelt sich in der kühleren Luft alsbald wieder in winzige feste Salmiakteilchen, die in der Luft schweben. Der entstehende Chlorwasserstoff (HCl) greift — ebenso wie die Salzsäure — die Oxyde an:



Kupferchlorid ist in Wasser löslich und flüchtig und läßt sich somit leicht beseitigen.

Salmiak dient als Lötstein und beim Verzinnen und Verzinken zum Beseitigen von Oxydschichten auf dem Metall.

Salmiak kann, mit Stearinsäure vermenget, für Lötzwecke auch in Form einer *Lötpaste* verwendet werden (s. S. 164).

Versuch 18:

Wir erhitzen Salmiak in einem Reagenzglas. Zunächst sublimiert das Salz. Beim stärkeren Erhitzen zerfällt der Dampf: HCl und NH_3 .

Versuch 19:

Die Umkehrung dieses Vorganges, die Vereinigung von HCl und NH_3 zu NH_4Cl , zeigen wir durch Nebeneinanderstellen zweier nicht verschlossener Flaschen mit Salmiakgeist und Salzsäure. Wir können zu diesem Zweck auch einen mit Salzsäure angefeuchteten Glasstab über die offene Ammoniumhydroxyflasche halten.

Borax, ein weißes Salz der Tetraborsäure ($\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$), bildet unter Wasseraufnahme farblose Kristalle, die an der Luft leicht zerfallen und in Wasser löslich sind. Beim Erhitzen blähen sie sich unter Wasserdampfabgabe zuerst stark auf und schmelzen dann zu einer farblosen durchsichtigen Perle, der *Boraxperle*, zusammen. Geschmolzener Borax löst viele Metalloxyde auf.

Versuch 20:

Wir erhitzen Boraxkristalle auf einem Asbestdrahtnetz.

Versuch 21:

Wir tauchen ein erhitztes Magnesiastäbchen in gepulverten Borax und erhitzen dann weiter, bis sich eine farblose Boraxperle gebildet hat. Diese ist dann mit Spuren von Schwermetalloxyden zusammenzubringen und wieder zu erhitzen. Kobaltoxyd z. B. färbt sie tiefblau, Mangandioxyd violettbraun und Chromoxyd grün.

Beim Hartlöten werden die störenden Oxydschichten durch geschmolzenen Borax beseitigt.

Zinkchlorid (ZnCl_2) ist in *Lötwasser* enthalten, das aus Zink und roher Salzsäure hergestellt wird (s. Abb. auf S. 68).

Wenn *offene Flammen* in der Nähe sind, kann der dabei freiwerdende Wasserstoff, nachdem er sich mit Luft zu Knallgas vermischt hat, explodieren. Deshalb: Vorsicht! Zink muß bei der Bereitung von Lötwasser im Überschuß vorhanden sein, damit alle Salzsäure umgesetzt wird, die bei der Verwendung des Lötwassers schaden könnte. Für alle Fälle kann etwas Salmiakgeist als Neutralisationsmittel zugesetzt werden. Man nennt das Lötwasser dann auch *Lötöl*. Die reinigende Wirkung des Lötwassers ist recht gut.

Versuch 22:

Wir wiederholen die Herstellung von Wasserstoff aus Zink und Salzsäure im Wasserstoffentwickler. Wasserstoffnachweis (s. Kap. 2, S. 25).

Zinkchlorid löst die Oxydschichten der zu verlötenden Metalle.

Flußmittel

Die Lötmittel werden auch als *Flußmittel* bezeichnet, weil nach der Anwendung eines Lötmittels das Lötmetall infolge der Beseitigung der Anlaufschichten besser fließt. Im engeren Sinn dieses Wortes versteht man jedoch unter einem Flußmittel einen Stoff, der einen anderen Stoff schon unterhalb der normalen Schmelztemperatur zum Schmelzen bzw. zum Fließen bringt. Das beruht darauf, daß ein *Gemisch* bzw. eine Legierung einen *Schmelzpunkt* haben kann, *der tiefer liegt als der niedrigste Schmelzpunkt der Bestandteile*. So kann z. B. Lötzinn, das aus Blei und Zinn besteht, bei 180° schmelzen, obwohl der Schmelzpunkt von Blei bei 327° C und der Schmelzpunkt von Zinn bei 232° C liegt (s. S. 163).

Durch Zusatz von Kohlenstoff kann der Schmelzpunkt des Eisens von 1528° C bis auf 1100° C herabgesetzt werden. Um bei der *Gewinnung des Roheisens* aus Eisenerzen das beigemengte Gestein leicht abscheiden zu können, muß es in eine leichtflüssige, bei 1000° C schmelzende Schlacke überführt werden. Das erreicht man z. B. bei kiesel-säure- und tonreichen Erzen durch *Zusatz* von *Kalk* (CaCO_3) als Flußmittel.

Bei der elektrolytischen *Gewinnung des Aluminiums* aus dem festen, weißen, unlöslichen Aluminiumoxyd (Tonerde, Al_2O_3) muß der Schmelzpunkt des Al_2O_3 von rund 2000° C auf 900° C herabgesetzt werden. Als Flußmittel wird das weiße Salz Kryolith (Na_3AlF_6 ; F = Fluor, ein chlorähnliches Gas) verwendet, dem im geschmolzenen Zustande dann Al_2O_3 zugesetzt wird.

Kryolith ist in fast sämtlichen Flußmitteln für die Aluminiumschweißung enthalten.

Aufgaben:

1. Warum besteht beim falschen Verdünnen von Schwefelsäure Verspritzungsgefahr?
2. Worin besteht die „Erste Hilfe“, wenn Schwefelsäure infolge unvorsichtigen Arbeitens ins Auge spritzt?
3. Warum genügt zum Nachweis von Salmiakgeist feuchtes rotes Lackmuspapier, das man nur an die geöffnete Flasche zu halten braucht?
4. Wie heißen die Salze der Phosphorsäure?
5. Nenne die Umsetzungsgleichung von Soda und Salzsäure!
6. Wie lautet die Formel von Silbernitrat (Silber einwertig)?
7. Was geht chemisch beim Zusammentreffen von Ammoniak und Salzsäuregas vor sich? Gleichung?
8. Wie erklärt sich die Behandlung von Kalkverätzungen $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ mit Essig?
9. Wie lautet die Neutralisationsgleichung von Salpetersäure und Kalilauge?
10. Aus welchem Grunde wird dem Lötwasser Salmiakgeist zugesetzt? Gleichung?

9. Korrosion und Korrosionsschutz

a) Allgemeine Zusammenhänge

Al-Blech — Kupferblech — Glaswanne — Quecksilber — Tuchlappen — Becherglas — Bunsenbrenner

An Metallen sind oft Veränderungen der Oberfläche zu beobachten. Eisen rostet; andere Metalle „laufen an“, d. h. ihre Oberfläche wird verfärbt. All diese Vorgänge, bei denen mindestens die Oberfläche der Werkstoffe zerstört wird, werden als *Korrosion* bezeichnet (lat. *corredere*, zernagen).

Unter Korrosion versteht man eine von der Oberfläche ausgehende Zerstörung eines metallischen Werkstoffes (Abb. 37).

Korrosionsursachen

Der *Sauerstoff* der Luft greift alle unedlen Metalle mehr oder weniger an. Infolgedessen entstehen an der Oberfläche der Metalle Schichten, die anderes Aussehen und andere Eigenschaften haben als die Metalle selbst. Diese Schichten bestehen meist aus Oxyden, z. B. bei Aluminium aus dem weißen Aluminiumoxyd Al_2O_3 , bei Kupfer aus dem schwarzen Kupferoxyd CuO .

Die Schichten sind häufig so dicht, daß sie als Schutzschicht gegen weitere Oxydation wirken. Dabei sind sie oft so dünn, daß das Metall durchleuchtet. Die derart geschützten Metalle ähneln in

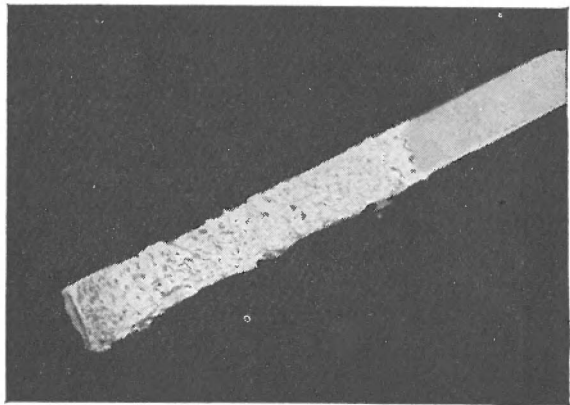


Abb. 37. Durch Korrosion stark angegriffener Zinkstab

ihrem Verhalten einem Edelmetall insofern, als keine weitere Zerstörung der inneren Schichten des Metallstückes stattfindet.

Beim Aluminium kann man dies leicht nachweisen, indem man auf der Oberfläche eines Aluminiumbleches Quecksilber verreibt.

Versuch 1:

Wir verreiben in einer Glaswanne unter Benutzung eines Tuchlappens etwas Quecksilber auf einem Aluminiumblech. Nach kurzer Zeit zeigen sich grasähnliche Auswüchse von Aluminiumhydroxyd, die über 1 cm hoch werden.

Durch das Verreiben von Quecksilber entsteht auf der Oberfläche des Aluminiumbleches eine Schicht von Aluminiumamalgam (Legierung von Aluminium und Quecksilber), welche die Bildung einer schützenden Oxydhaut verhindert. Die Feuchtigkeit kann durch die poröse Amalgamschicht hindurch tiefer in das Aluminium einwirken, so daß Büschel von Aluminiumhydroxyd $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ entstehen.

Versuch 2:

Wir tauchen das amalgamierte Aluminiumblech in Wasser und beobachten die sofort einsetzende Entwicklung von Wasserstoff.

Der Versuch zeigt, daß das von einer Oxydschicht befreite Aluminium ein so unedles Metall ist, daß es sich sogar mit dem Sauerstoff des Wassers verbindet.

In feuchter Luft bilden sich auf der Oberfläche von eisernen Gegenständen *Rostschichten*, die — im Gegensatz zu der Aluminiumoxydschicht — porös sind. Infolgedessen dringt der Luftsauerstoff tiefer und tiefer in das Eisen ein, so daß das Eisen völlig durchrosten kann und sich in eine braunrote, brüchige Masse verwandelt.

Wie fast jeder chemische Vorgang wird auch die *Korrosion durch Wärme beschleunigt*.

Versuch 3:

Wir erhizen ein Stück Kupferblech mit dem Bunsenbrenner. Sofort entsteht auf dem Blech eine Schicht von Kupferoxyd.

In feuchter Luft bewirkt das *Kohlendioxyd der Luft* durch Bildung von Karbonatschichten verstärkte Korrosionserscheinungen. Auch Säuren, Laugen und *Salzlösungen* wirken korrodierend (s. S. 91). Unedle Metalle werden durch *kohlendioxydhaltiges und heißes Wasser* angegriffen. Auch durch mechanische Einflüsse, z. B. durch *Spannungen* an den Werkstücken, wird die Korrosion begünstigt.

Wissenschaftliche Untersuchungen haben ergeben, daß die Korrosion in vielen Fällen auf *elektrochemischen Vorgängen* beruht. Sobald z. B. zwei verschiedene Metalle in Wasser oder in feuchter Luft zusammentreffen, bilden sich sog. *Lokalelemente*. Diese erzeugen elektrische Ströme, die vermöge ihrer chemischen Wirkung das Metall rasch zerstören (s. S. 95).

Entsprechend ihren Ursachen unterscheidet man folgende Arten von Korrosion:

1. Chemische Korrosion,
2. Spannungskorrosion (gleichmäßige mechanische Beanspruchung bei gleichzeitigem chemischen Angriff),

3. Elektrische oder elektrolytische Korrosion:
- a) Kontaktkorrosion bei zwei verschiedenen Metallen,
 - b) interkristalline Korrosion (zwischen Kristallen, s. S. 96).

Hinsichtlich der Auswirkung der Korrosion unterscheidet man:

1. Gleichmäßige Korrosion (ausgedehnte Schichtbildung),
2. Lokale Korrosion (an einzelnen Stellen, z. B. Lochfraß),
3. Spaltkorrosion (in Spalten oder Fugen an den Berührungsstellen von Metallen; kerbartige Vertiefungen z. B. bei Nieten und Laschen).

Korrosionskennzeichen

Bei gleichmäßiger Korrosion werden die dabei entstehenden Oxyd-, Hydroxyd- oder Karbonatschichten allmählich immer dicker und fangen schließlich an abzublättern. Wenn Rohre oder Behälter plötzlich undicht werden, so ist dies meist durch lokale Korrosion verursacht.

Das Lockerwerden von Nieten beruht in den meisten Fällen auf Spaltkorrosion.

Korrosionsschutz

Die Verluste, die der Volkswirtschaft durch Korrosion von Metallen entstehen, sind beträchtlich. Um solche Verluste zu verringern bzw. zu vermeiden, müssen unedle Metalle gegen Korrosion geschützt werden.

Die einfachsten Schutzmaßnahmen gegen Korrosion beruhen darauf, daß man möglichst alle Bedingungen ausschaltet, die die Korrosion begünstigen.

Beispielsweise ist elektrolytische Korrosion an einem Werkstück nicht möglich, wenn Feuchtigkeit ferngehalten werden kann. Deshalb müssen Feuchtigkeitsbildung und Wasserspritzer auf metallischen Werkzeugen und Werkstücken stets sofort entfernt werden. Auch Staub, Schlammkrusten und andere Verunreinigungen sind sofort zu beseitigen.

Kontaktkorrosion wird vermieden, wenn man das Aufeinandertreffen von zwei verschiedenen Metallen vermeidet oder aber die beiden Metalle voneinander isoliert. Besonders ist darauf zu achten, daß keine Fugen oder Spalten entstehen, in denen sich Wasser ansammeln kann.

Die Schmelze der Metalle soll möglichst keine Verunreinigungen enthalten. Bei der Weiterverarbeitung muß die Oberfläche frei von fremden Bestandteilen bleiben. Spannungen, die durch die Verarbeitung entstehen können, sind durch Ausglühen zu beseitigen. Unerwünschte Spannungen irgendwelcher Art, z. B. bei Bauteilen, dürfen nicht entstehen.

Dem Wasser wird ein wesentlicher Teil seiner korrodierenden Wirkung genommen, wenn man dem Wasser das darin gelöste Kohlendioxyd und den gelösten Sauerstoff durch Abkochen entzieht.

Eine weitere Möglichkeit des Korrosionsschutzes besteht darin, daß man die Metalle veredelt.

Es gibt in dieser Hinsicht viele Verfahren, die man in drei Gruppen gliedern kann:

1. Veredelung durch Herstellung besonders korrosionsfester Legierungen,
2. Künstliche Verstärkung der natürlichen Schutzschichten,
3. Überziehen mit besonderen metallischen und nichtmetallischen Schutzschichten.

Auf dem Gebiet des Korrosionsschutzes wurden bereits große Erfolge erzielt. Wissenschaft und Technik bemühen sich laufend um die Verbesserung der heutigen Arbeitsmethoden dieses Gebietes und um die Entwicklung neuer Verfahren. Jede neue Verbesserung trägt zur Erfüllung des Fünfjahresplanes bei. Wenn beispielsweise die Haltbarkeit von Werkstücken durch Ausschalten der Korrosion gesteigert werden kann, so sind weniger Ersatzteile notwendig. Das dadurch eingesparte Material und die dadurch freiwerdenden Arbeitskräfte können zu anderen Aufgaben verwendet bzw. herangezogen werden.

Durch planvollen Korrosionsschutz kann Metall eingespart werden.

In Anbetracht der umfangreichen Verwendung von Eisen und Stahl in der gesamten Wirtschaft ist der Rostschutz eine besonders wichtige Maßnahme (s. S. 89).

Aber auch Nichteisenmetalle, die uns z. T. nur durch Import zur Verfügung stehen, müssen gegen Korrosion geschützt werden.

b) Verhalten von reinem Eisen und legierten Stählen in feuchter Luft, in sauren und alkalischen Flüssigkeiten

Reagenzgläser — Eisenfeilspäne — Stahlnägel und Stahlstücke — Salzsäure — Sodaauflösung — 40% ige Natronlauge

Veränderungen in feuchter Luft

Enthält das Eisen keine oder nur ganz geringe Spuren anderer Beimengungen, so ist es ziemlich korrosionsbeständig.

Die in der Technik verwendeten Sorten von Gußeisen und Stahl enthalten jedoch meist größere Mengen von Kohlenstoff, Schwefel, Phosphor und anderen Elementen. Diese Beimengungen wirken teils korrosionsfördernd, teils aber auch korrosionshemmend.

Stahl ist der Korrosion um so stärker ausgesetzt, je höher sein Kohlenstoffgehalt ist.

In gleicher Weise wirkt sich der Schwefelgehalt aus. Auch durch Phosphor wird die Korrosion beschleunigt, allerdings in geringerem Umfang als durch Kohlenstoff und Schwefel.

Im Freien ist das Eisen im allgemeinen einer stärkeren Korrosion ausgesetzt als in geschlossenen Räumen, weil sich im Freien auf dem Eisen häufig Wassertröpfchen niederschlagen, die an der Korrosion wesentlich beteiligt sind. Das Eisen wird unter dem gemeinsamen Einfluß von Wasser und Luftsauerstoff zunächst an der Oberfläche in Rost (wasserhaltiges Eisenoxyd) umgewandelt (s. S. 88).

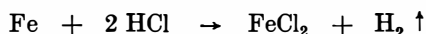
Durch in der Luft oder im Wasser enthaltene Gase, wie *Schwefelwasserstoff* (H_2S), *Schwefeldioxyd* (SO_2) oder *Kohlendioxyd* (CO_2), wird die Korrosion wesentlich verstärkt.

Auch *Staub* und *Ruß* wirken korrosionsfördernd. Diese in der Luft schwebenden Teilchen lagern sich auf der Oberfläche des Eisens ab und ziehen dann sowohl Feuchtigkeit als auch korrosionsfördernde Gase an, so daß unter den *Schmutzablagerungen* eine besonders starke Korrosion einsetzt und an diesen Stellen oft *Rostzentren* entstehen.

Die Korrosion des Eisens kann durch Zusätze von Mangan, Kupfer, Chrom, Nickel, Aluminium und Silizium verzögert oder völlig verhindert werden. Deshalb wird Stahl nach Möglichkeit mit diesen Stoffen gemischt (s. S. 120). Die dadurch gewonnenen legierten Stähle widerstehen dem Einfluß der atmosphärischen Luft sehr lange Zeit.

Chemische Umsetzungen in sauren Flüssigkeiten

Reines Eisen wird von den meisten Säuren angegriffen. Dabei tritt das Eisen an die Stelle des Wasserstoffs in den Säuren und verbindet sich mit dem Säurerest, während der Wasserstoff entweicht. Salzsäure z. B. reagiert auf Eisen nach folgender Gleichung:



Stark verdünnte Säuren wirken auf Eisen nur noch wie Wasser, d. h. es entstehen dann nicht die den betr. Säuren entsprechenden Eisensalze (in unserem Versuch Eisenchlorid), sondern das Eisen rostet lediglich in den stark verdünnten Säuren.

Versuch 4:

In 3 Reagenzgläser, die Salzsäure verschiedener Verdünnung enthalten, werden Eisenfeilspäne geschüttet. — Wir beobachten, daß die Auflösung des Eisens unter Wasserstoffentwicklung um so rascher erfolgt, je weniger verdünnt die Säure ist.

Durch die dem Eisen beigemengten Elemente wird der Einfluß von Säuren teils beschleunigt, teils gehemmt.

Versuch 5:

Wir stellen Stahlstückchen mit verschiedenem Kohlenstoffgehalt in Salzsäure. Die Heftigkeit der Wasserstoffentwicklung ist zu beurteilen. Wir stellen fest, daß bei kohlenstoffreichem Stahl die Wasserstoffentwicklung heftiger ist als bei kohlenstoffarmem Stahl.

Eisen wird von Säuren um so stärker angegriffen, je größer der Kohlenstoffgehalt ist.

Bei dem obigen Versuch stellt man oft einen auffallenden Geruch fest. Er rührt von Verbindungen her, die die im Stahl enthaltenen Elemente Schwefel und Phosphor bei dem Versuch mit dem freier werdenden Wasserstoff eingehen.

Beimengen von Mangan und Schwefel im Stahl wirken wie Kohlenstoff. Durch einen niedrigen Phosphorgehalt wird die Korrosion gehemmt.

Zusätze von Silizium (Si) machen den Stahl gegen Säure korrosionsbeständig. Im Hinblick auf den Korrosionsschutz wäre somit ein Gehalt von wenig Kohlenstoff und viel Silizium am günstigsten. Da aber durch geringen Kohlenstoff-

gehalt die Festigkeit des Stahls herabgesetzt wird, muß soviel Kohlenstoff zugesetzt werden, daß der Werkstoff den jeweils gestellten Anforderungen entspricht.

Chromsäure und ihre Salze verhindern die Zerstörung des Eisens. Schon geringe Zusätze von Chromsalzen genügen, um das Rosten im Wasser lange aufzuhalten.

Konzentrierte Säuren, die oxydierend wirken, wie H_2SO_4 und HNO_3 , greifen das Eisen nicht an, da sich bei der Einwirkung dieser Säuren auf dem Eisen eine dünne Schutzschicht von Eisen(II, III)oxyd bildet, die weitere Umsetzungen verhindert.

Eisen und Stahl in alkalischen Flüssigkeiten

Versuch 6:

In 40%ige Natronlauge werden einige Stahlnägel gelegt. Wir können keine Veränderung beobachten.

Versuch 7:

Wir legen einige Stahlnägel in stark verdünnte Sodalösung. Die Stahlnägel rosten.

Bei der Einwirkung einer starken Lauge (Versuch 6) bildet sich auf dem Eisen eine Schutzschicht, die eine weitere Korrosion verhindert. Durch eine schwache Sodalösung (Versuch 7) hingegen, die alkalisch reagiert, wird die Korrosion gefördert.

Die Wirkung der Basen und der basisch reagierenden Salze auf Eisen und Stahl ist von der Konzentration der Basen abhängig.

Die Einwirkung von Basen kann durch geeignete Legierungszusätze weitgehend unterbunden werden. So ist z. B. *Nickelstahl* sehr laugenbeständig.

Verhalten unter Luftabschluß

Reines oder legiertes Eisen wird von sauren und alkalischen Flüssigkeiten auch unter Luftabschluß angegriffen. Es unterliegt dabei denselben chemischen Veränderungen, denen es auch bei normalen Bedingungen, also beim Zutritt von Luft, unterworfen ist.

Das Rosten jedoch kann bei völligem Luftabschluß nicht eintreten, da zumindest der Sauerstoff fehlt, der zur Bildung von $\text{Fe}(\text{OH})_3$ notwendig ist. Diesen Umstand benutzt man bei verschiedenen Rostschutzverfahren, indem man die Werkstückoberfläche mit dünnen Fett-, Farb- oder Metallschichten überzieht, um die Zerstörung des Eisens zu verhindern (vgl. S. 89). Das Eintauchen in Wasser dagegen stellt keinen Luftabschluß dar, da, wie bereits oben erwähnt, Luft und somit auch Sauerstoff in geringen Mengen im Wasser gelöst ist.

e) Der Vorgang des Rostens

Proben von Werkstücken, die vom Rost angegriffen sind.

Bedingungen und chemische Veränderungen beim Rosten

Eisen rostet in feuchter Luft. Dabei wird das Eisen in wasserhaltiges Eisenoxyd umgewandelt. Dieser chemische Vorgang beruht auf der Einwirkung von Sauerstoff, Wasser und Kohlendioxyd.

Teile, die vollständig im Wasser stehen, wie z. B. stählerne Brückenpfeiler, rosten ebenfalls, da das fließende und stehende Wasser in geringen Mengen *gelöstes Kohlendioxyd* und gelösten Sauerstoff enthält. — Der Rost bildet auf dem Eisen keine fest anhaftende und zusammenhängende Schicht, die das noch unveränderte Metall schützen würde, sondern die verrostete Oberfläche ist porös und blättert ab. Vor dem Anstreichen eines eisernen Werkstückes muß darauf geachtet werden, daß es vollständig rostfrei ist. Selbst unter einer solchen Schutzschicht kann sich Rost bilden, da dieser von einer ungeschützten Stelle ausgeht und sich als sog. *Kriechrost* unter dem Farbanstrich weiterentwickelt. Dabei wird der Farbanstrich abgehoben.

Das Rosten wird durch eine raue Oberfläche des Eisens und durch Beimengungen von Kohlenstoff, Schwefel und Phosphor begünstigt. Grauguß ist gegen Korrosion weniger empfindlich, da die Bildung von Rost durch die im Grauguß vorhandenen Graphitteilchen gehemmt wird.

Volkswirtschaftlicher Schaden durch Rosten

Da viele Teile aus Stahl und Eisen wegen Rostschäden vorzeitig erneuert werden müssen, verschlingt die Korrosion einen beachtlichen Teil des Volksvermögens. Durch Korrosion können einzelne Teile von Stahlkonstruktionen soweit zerstört werden, daß sie der vorgesehenen Belastung nicht mehr gewachsen sind und somit Unglücksfälle verursacht werden können.

Nach vorsichtigen Schätzungen werden in einem Jahre allein in Europa Stahlmengen in Höhe von 1 Million t durch Rost zerstört.

Aus den genannten Gründen ist Rostschutz eine notwendige Maßnahme.

d) Rostschutzmaßnahmen

Proben von Stahlteilen, die vor Rost geschützt sind, wie Weißblech, gestrichenes Blech, Emailletopf usw.

Das Rosten kann ganz oder teilweise durch verschiedene Verfahren verhindert werden. Wir unterscheiden:

1. Oberflächenrostschutz,
2. durchgehenden Rostschutz.

Oberflächenrostschutz

Ein einfacher Oberflächenrostschutz wird erreicht, indem man dünne Schichten von *Öl* oder *Fett* auf das Eisen aufträgt. Eine solche Schicht verhindert den Zutritt von Luft und Wasser.

Den gleichen Zweck erfüllt das Anstreichen des Eisens mit *Nitrozellulose-* und *Öllacken*, mit *Ölfarben* und *Teer*. Ein solcher Schutz unterliegt der Abnutzung und ist deshalb nur von begrenzter Dauer, besonders wenn die durch Anstrich geschützten Teile mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind.

Metallüberzüge sind widerstandsfähiger und gewährleisten einen wesentlich besseren und dauerhafteren Schutz als Anstriche. Metallische Überzüge werden nach verschiedenen Verfahren aufgelegt:

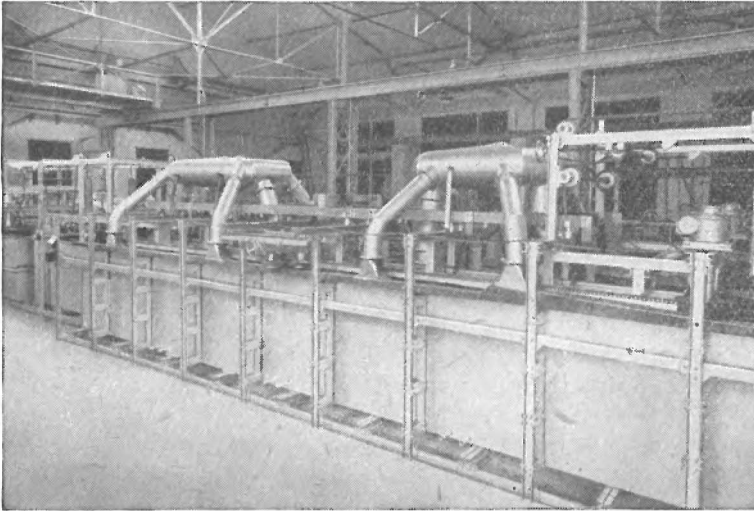


Abb. 38.
Verchromungs-
automat der VEB
Galvanotechnik,
Leipzig

- a) durch Tauchen des Eisens,
- b) durch Galvanisieren,
- c) durch Aufspritzen anderer Metalle,
- d) durch Plattieren und Umgießen des Eisens.

Bei dem ersten Verfahren wird das Werkstück in flüssiges Überzugsmetall *getaucht*, das einen möglichst niedrigen Schmelzpunkt haben soll, wie z. B. Zinn, Zink und Blei. Das Eisen ist dann *feuerverzinkt*, *feuerverzinkt* oder *feuerverbleit*.

Beim *Sherardisieren* werden Eisenteile mit Zinkstaub in luftdicht verschlossene Behälter *gepackt* und auf 150 bis 350° C erhitzt. Die Eisenoberfläche legiert sich dabei mit Zink.

Beim *Galvanisieren* werden die Eisenteile meistens in Lösungen von Chromsalzen und Nickelsalzen *gehängt* und mit dem Minuspol einer Gleichstromquelle verbunden. Als Pluspol dient eine Chrom- bzw. Nickelplatte. Der Pluspol besteht stets aus dem gleichen Metall, das im Salz des Bades enthalten ist, und das den Überzug bilden soll. Beim Stromdurchgang werden Metallteilchen des gelösten Salzes auf der Eisenoberfläche niedergeschlagen. Vom Pluspol gehen neue Metallteilchen in das Bad über. Das Galvanisieren kann also nur solange fortgesetzt werden, bis der Pluspol verbraucht ist.

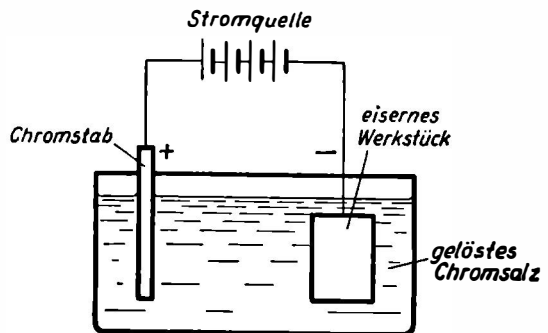


Abb. 39. Prinzipskizze der Verchromung eines eisernen Werkstückes durch Galvanisieren

Die Dicke galvanischer Überzüge hängt von der Stromstärke und von der Dauer des Stromdurchganges ab und kann z. B. einige $\frac{1}{100}$ mm oder auch einige mm betragen. Das *Aufspritzen* von Metallen wird nach dem *Schoop-Verfahren* durchgeführt. Dabei wird das Überzugsmetall in einer Wasserstoff-Sauerstoff- oder Azetylen-Sauerstoffflamme geschmolzen. Durch den Druck der verbrennenden Gase wird das flüssige Metall versprüht und auf die vorher angeraute Eisenfläche gespritzt.

In warmem Zustand können dünn ausgezogene Metalle, wie Nickel, auf Stahlbleche *aufgewalzt* werden. Die beiden Metalle werden dabei an der Berührungsstelle sehr haltbar verknetet. Diesen Vorgang nennt man *Plattieren*.

Andere Eisenteile werden mit Schutzmetall *umgossen*.

Beim *Brünieren* werden die Eisenteile mit Antimonchlorid bestrichen und in der Wärme getrocknet. Es bildet sich ein brauner Überzug.

Wenn man fertige Werkstücke aus Eisen bei 800° bis 900° C glüht und dann an der Luft abkühlt, so oxydiert das Eisen oberflächlich zu einer Schicht von Eisen(II, III)-oxyd, die das Rosten verhindert. Dieser Vorgang wird als *Inoxydieren* bezeichnet. Zum *Emaillieren*, das vor allem für Haushaltgeräte Verwendung findet, bestreicht man die fertigen Eisenteile mit einer breiigen Masse aus Feldspat, Quarz, Zinndioxyd und Bleioxyd, die alsdann in Emaillieröfen *eingebraunt* wird. Dabei entsteht ein trübes *Bleiglas*. Durch Beimengung verschiedener Metalloxyde können unterschiedliche Färbungen der Emailleschicht erzielt werden. Der Emailleüberzug ist spröde und deshalb gegen Stoß und Schlag sehr empfindlich.

Durchgehender Rostschutz

Besonders widerstandsfähig gegen Rost sind Legierungen des Eisens mit Chrom und Nickel. Durch Beimengungen von 13 bis 20 % Chrom und 5 bis 10 % Nickel wird das Eisen völlig rostfrei. Da diese Zusatzmetalle zum größten Teil aus dem Ausland bezogen werden müssen, legiert man häufig auch mit anderen Elementen, wie Kupfer, Aluminium und Silizium.

e) Einfluß von Säuren, Laugen und Salzen auf Nichteisenmetalle

Reagenzgläser — Bechergläser — Stricknadel

Salzsäure — Schwefelsäure — konz. Salpetersäure — Natronlauge — Sodalösung — Aluminiumblech — Kupferblech — Magnesiumspäne — Elektronspäne — Duralblech — Bleiazetallösung — Kupfersulfatlösung — Paraffin — Nägel

Abgesehen von den Edelmetallen, werden auch alle Nichteisenmetalle von Säuren, Laugen und Salzen mehr oder weniger stark chemisch angegriffen.

Leichtmetallelegierungen

Aluminiumlegierungen. Reines Aluminium wird von allen anorganischen Säuren (außer Salpetersäure), von starker Essigsäure und von Laugen einschließlich Sodalösung und Seifenlauge leicht angegriffen. Auch neutrale Salzlösungen wie Kaliumchlorid und Kaliumfluoridlösung wirken zerstörend.

Versuch 8:

In 3 Reagenzgläser mit Salzsäure, Natronlauge und Sodalösung wird je 1 Streifen Aluminiumblech (nicht eloxiert) etwa zur Hälfte eingetaucht. Einige Zeit stehen lassen! Wir beobachten Korrosionserscheinungen.

Bei der Einwirkung von Salzsäure findet folgender chemischer Vorgang statt:
 $2 \text{ Al} + 6 \text{ HCl} \rightarrow 2 \text{ AlCl}_3 + 3 \text{ H}_2 \uparrow$.

Natronlauge und Soda greifen Aluminium unter Bildung von $\text{Al}(\text{OH})_3$ an.

Durch *Korrosionsbeständigkeit* zeichnen sich die *Aluminium-Magnesium-Legierungen* und die *Aluminium-Silizium-Legierungen* (Silumin) aus. Da diese Legierungen zugleich eine besondere Festigkeit besitzen, finden sie in der Elektrotechnik im Motorenbau, in der Fahrzeugindustrie usw. vielseitige Verwendung.

Magnesiumlegierungen. Das reine Magnesium ist zwar gegenüber Laugen recht beständig, wird aber schon von schwachen Säuren angegriffen.

Versuch 9:

Wir geben einige Magnesiumstücke und Elektronspäne in je ein Reagenzglas mit Schwefelsäure. Wir beobachten Wasserstoffentwicklung.

Schwefelsäure wirkt auf Magnesium wie folgt: $\text{Mg} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MgSO}_4 + \text{H}_2 \uparrow$

Viele Magnesiumlegierungen bedürfen eines besonderen Oberflächenschutzes (siehe S. 149). Dies gilt insbesondere für *Elektron* (90% Mg, 10% Al, Mn und Zn).

Magnesium-Mangan-Legierungen zeigen die beste Korrosionsbeständigkeit, weil sich auf ihnen eine wirksame Schutzschicht bildet.

Schwermetalle

Kupfer wird in feuchter Luft von Kohlensäure angegriffen, die sich aus dem Kohlendioxyd der Luft und der Feuchtigkeit bildet. Dabei entsteht auf dem Kupfer ein leuchtendgrüner Überzug, der als *Patina* oder *Edelrost* bezeichnet wird und aus basischem Kupferkarbonat $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$ besteht.

Von anderen verdünnten anorganischen Säuren wird Kupfer nicht angegriffen. Bei der Einwirkung von konzentrierter Salpetersäure auf Kupfer entsteht Kupfernitrat $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ unter Stickoxydentwicklung (S. 70). Diesen chemischen Vorgang nutzt man beim Ätzen der Kupferplatten des *Kupfertiefdrucks* aus.



Abb. 40. Nachbearbeitung eines Kupfertiefdruckzylinders. Der Kupferzylinder wird z. B. mit Eisenchlorid oder Salpeter geätzt.

Versuch 10:

Wir überziehen Kupferblech mit einer Schicht Paraffin. Dann ritzen wir die Schicht mit einer Stricknadel und übergießen sie mit konz. Salpetersäure. Nach einiger Zeit ($\frac{1}{4}$ Stunde) nimmt man die Kupferplatte heraus und entfernt das Paraffin. Dort, wo die Paraffinschicht geritzt wurde, ist das Kupfer von der Säure angeätzt. Vorsicht! Die entstehenden Gase nicht einatmen!

Von konzentrierter Schwefelsäure wird Kupfer ebenfalls angegriffen, wobei Kupfersulfat (CuSO_4) und Schwefeldioxyd (SO_2) entstehen. Essigsäure bildet mit Kupfer den giftigen Grünspan (basisches Kupferazetat). Grünspan entsteht auch auf Messing, das etwa 60% Kupfer enthält.

Saure Speisen dürfen nicht in ungeschützten kupfernen Gefäßen gekocht werden, weil sich dabei ebenfalls der hochgiftige Grünspan bildet. Aus dem gleichen Grund darf man Speisereste, die stets geringe Mengen von organischen Säuren enthalten, nicht in Kupfer- oder Messinggefäßen stehen lassen (S. 186).

Auch Laugen wirken auf Kupfer ein. Natronlauge greift Kupfer unter Bildung von Kupferoxyd an. Hiervon wird bei *Prüfung von Legierungen auf Kupfergehalt* Gebrauch gemacht.

Versuch 11:

Wir betupfen ein Stück Dural- oder Spritzgußblech (entfettet und blank) mit einer Lösung von 20 T. Ätznatron und 80 T. Wasser und lassen sie 10 Min. lang einwirken. Es bildet sich eine schwärzliche Schicht von Kupferoxyd (CuO).

Auch von Eisenchlorid (FeCl_3) wird Kupfer angegriffen. Diese Reaktion wird beim Kupfertiefdruck ebenfalls ausgenutzt.

Zinn. In verdünnten Säuren löst sich Zinn nur äußerst langsam auf, bei starker Salz- und Salpetersäure tritt eine stärkere Zersetzung ein. Heiße Laugen greifen Zinn an. Zinn ist daher zur Herstellung von Waschgefäßen nicht geeignet.

Zink. Gegenüber Säuren ist Zink nicht beständig. Bereits durch säurehaltige Rauchgase wird Zink stark korrodiert (S. 33). Da Zink durch Kohlensäure angegriffen wird, bildet sich auf der Oberfläche von Zinkgefäßen unter Einwirkung von feuchter Luft eine Schicht von Zinkkarbonat (ZnCO_3). Schwache Laugen beeinflussen Zink nicht, durch starke Laugen kann es jedoch zerstört werden.

Blei. Obwohl Blei und seine Verbindungen giftig sind, kann es für Wasserleitungsröhren verwendet werden, weil sich bei Anwesenheit von luft- und CO_2 -haltigem Wasser (Kohlensäure!) eine schwerlösliche Schutzschicht von basischem Bleikarbonat bildet.

Versuch 12:

Versetzen wir eine Lösung von Bleiazetat mit etwas Sodalösung, so fällt weißes Bleikarbonat aus. Nach dem Abfiltrieren können wir feststellen, daß Bleikarbonat selbst in heißem Wasser praktisch unlöslich ist.

Auch bei der Einwirkung von Schwefelsäure auf Blei bildet sich eine Schutzschicht von schwerlöslichem Bleisulfat (PbSO_4), die ein weiteres Eindringen der Schwefelsäure verhindert. Infolgedessen können beim *Bleikammerverfahren* und für *Akkumulatoren* Bleiplatten verwendet werden.

Durch Salpetersäure und organische Säuren (z. B. Essigsäure) kann Blei stark zerstört werden, da bei der Einwirkung dieser Säuren keine Schicht entsteht, die eine weitere Zerstörung unterbindet.

Korrosionsbeständigkeit einiger Nichteisenmetalle

Metalle	HCl	H ₂ SO ₄	HNO ₃	NaOH (stark)	Feuchte Luft	Korrosionsfestigkeit
Al	5	5	3	5	2	2: gut
Mg	5	5	5	2	3	3: genügend
Cu	5	4	5	2	3	4: mangelhaft
Zn	5	5	5	5	3	5: nicht ausreichend
Sn	3	3	3	5	2	
Pb	4	2	5	4	2	

f) Elektrolytische Korrosion

Voltaelement — Strommesser — Becherglas — Kupfersulfatlösung — eiserne Nägel

In den vorangehenden Abschnitten b) und e) wurde der rein chemische Einfluß von Säuren, Basen und Salzen auf Metalle behandelt. Die Wirkung dieser Flüssigkeiten auf Metall wird um ein Vielfaches stärker, wenn infolge gegebener Umstände durch Flüssigkeit und Metall ein elektrischer Strom fließt, der eine *elektrochemische* Zerstörung des Metalls bewirkt. Diese Art der Korrosion durch Säuren, Laugen und Salze wird als *elektrolytische Korrosion* bezeichnet.

Wir können diese Erscheinung nur verstehen, wenn wir uns die physikalischen Grundlagen dieses Prozesses vergegenwärtigen:

1. die Wirkungsweise der *elektrischen (galvanischen) Elemente* und
2. die Bedeutung der *Spannungsreihe*.

Versuch 13:

Verbinden wir die beiden Pole (Kupfer, Zink) eines Voltaelementes (Flüssigkeit: Schwefelsäure) mit einem Spannungsmesser, so zeigt das Meßinstrument eine Spannung von rund 1 Volt an.

1. Wirkungsweise der elektrischen (galvanischen) Elemente

Werden zwei verschiedene Metalle in eine Säure, Lauge oder Salzlösung getaucht, so entsteht zwischen den beiden Metallen eine elektrische Spannung. Eine solche Anordnung wird als *galvanisches Element* (z. B. Voltaelement, Abb. 41) bezeichnet. Das eine der beiden Metalle kann durch Kohle ersetzt werden.

Werden die beiden Pole des Elementes leitend miteinander verbunden, so fließt sowohl durch diese Leitung als auch durch die Flüssigkeit ein elektrischer Strom. Infolge der elektrochemischen Wirkung dieses Stroms wird die Flüssigkeit zersetzt und eines der beiden Metalle aufgezehrt (im Voltaelement das Zink, s. Lehrbücher der Physik).

2. Spannungsreihe der Metalle

In der Spannungsreihe sind die Metalle, sowie Wasserstoff und Kohle, derart aneinandergereiht, daß beim Eintauchen zweier Stoffe dieser Reihe in

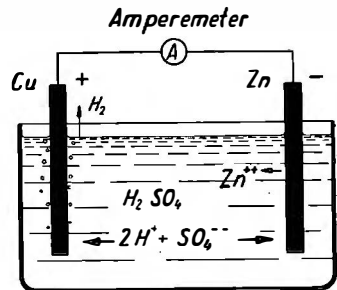


Abb. 41. Beim Voltaelement tauchen Kupfer und Zink in verdünnte Schwefelsäure. Kupfer wirkt hier als Pluspol, Zink als Minuspol.

eine Säure, Lauge oder Salzlösung der in der Reihe links stehende Stoff zum Minuspol, der in der Reihe rechts stehende Stoff zum Pluspol des galvanischen Elementes wird. Die auftretende Spannung ist um so größer, je weiter die benutzten Stoffe in der Spannungsreihe auseinanderstehen. Die Spannungsreihe zeigt folgende Anordnung:

— Mg, Al, Zn, Cr, Fe, Ni, Sn, Pb, H, Cu, Hg, Ag, Au, Pt, Kohle +

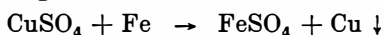
Tauchen z. B. Zink und Kupfer in Schwefelsäure, so wird das Zink negativ, das Kupfer positiv aufgeladen.

Legen wir ein Metall in eine Salzlösung, so wird es aufgelöst, wenn es in der Spannungsreihe weiter links steht als das Metall des gelösten Salzes. Gleichzeitig wird das Metall des Salzes ausgeschieden.

Versuch 14:

In eine Kupfersulfatlösung legen wir einige Nägel und Schrauben. Nach kurzer Zeit ist das Material verkupfert.

Bringt man z. B. in eine Kupfersulfatlösung ein Stück Eisen oder Stahl, so geht Eisen in Lösung, und auf dem eingetauchten Eisen scheidet sich Kupfer ab:



In der Praxis entsteht auch oft ungewollt ein galvanisches Element, wenn zwei verschiedene Metalle in eine Säure, Lauge oder Salzlösung tauchen. Als eine solche leitende Flüssigkeit wirkt bereits Wasser oder ein Feuchtigkeitsbeschlag, da das Wasser in den meisten Fällen Spuren von Salz enthält.

Wenn in einem Werkstück, z. B. an einem eisernen Kessel, sich Eisenteile und Kupferteile berühren und gleichzeitig ein Feuchtigkeitsbeschlag zwischen diesen Teilen liegt, so wirkt diese Anordnung wie ein kurz geschlossenes Element, in dem ein kräftiger elektrischer Strom fließt. In solchen *Lokalelementen* wird das eine Metall — entsprechend seiner Stellung in der Spannungsreihe — aufgelöst. Infolgedessen ist an dieser Stelle des Werkstückes eine erhebliche Korrosion festzustellen. Auch bei verkupfertem oder verzinktem Eisenblech ist die Gefahr einer elektrolytischen Korrosion außerordentlich groß.

Stoßen in einem Werkstück z. B. Kupfer und Eisen aneinander, so ist dies solange unbedenklich, als beispielsweise durch einen Schutzanstrich der Zutritt von Feuchtigkeit unterbunden ist. Sobald jedoch die Schutzschicht durch Korrosion porig geworden ist und infolgedessen Feuchtigkeit eindringt, setzt die elektrolytische Korrosion ein. Im genannten Fall geht Eisen in Lösung, während sich am Kupfer Wasserstoff abscheidet (Abb. 42).

Am Werkstück entstehen somit kraterförmige Vertiefungen.

Bei der elektrolytischen Korrosion von verzinktem Eisenblech (Abb. 43) geht Zink in Lösung, während

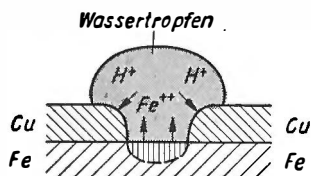


Abb. 42. Elektrolytische Auflösung von Eisen, das mit Kupfer in Berührung steht.



Abb. 43. Elektrolytische Korrosion von verzinktem Eisenblech. Die Zinkschicht wird aufgelöst.

sich der Wasserstoff am Eisen abscheidet (Zink steht in der Spannungsreihe links, Eisen rechts!).

An jeder Lötstelle ist die Möglichkeit zu elektrolytischer Korrosion ohne weiteres gegeben.

Lokalströme können aber auch an Werkstücken auftreten, die nur *ein Metall* enthalten. In diesem Fall können durch Verunreinigungen (wie z. B. winzige Graphitteilchen) sowie durch Gefügeänderungen kleinste Lokalelemente entstehen. Man spricht dann von *interkristalliner Korrosion*.

Aufgaben:

1. Warum ist Aluminium korrosionsbeständig?
2. Wann wirkt Aluminium auf Wasser ähnlich wie Natrium?
3. Nenne Arten von Korrosion!
4. Welche Maßnahmen sind als Korrosionsschutz geeignet?
5. Wie entsteht Kriechrost?
6. Durch welche Verfahren kann Oberflächenrostschutz erreicht werden?
7. Welche Beimengungen im Stahl begünstigen das Rosten und welche sind geeignet, Korrosionserscheinungen auszuschalten?
8. Nenne die Metalle, die sich für das Tauchverfahren eignen!
9. Erkläre das Schoop-Verfahren!
10. Stelle die Gleichung für die Zersetzung von Magnesium durch Salpetersäure auf!
11. Erkläre den Begriff „elektrolytische Korrosion“!
12. Legt man Zink in eine Lösung von Bleiazetat, so scheidet sich Blei aus. Erklärung?
13. An einer Lötstelle berühren sich Aluminium und Zinn. Welches Metall wird durch Lokalströme aufgelöst?

10. Roheisengewinnung

Die Bedeutung des Eisens

Das Eisen ist für die Entwicklung der Kulturvölker von entscheidender Bedeutung gewesen. Die Höhe der Eisenerzeugung für friedliche Zwecke war und ist ein maßgeblicher Faktor für den Wohlstand eines Volkes.

Das Eisen ist neben der Kohle die wichtigste Grundlage der Technik und damit auch der Wirtschaft eines Landes. Aus diesem Grunde ist der Aufbau unserer Eisenerzeugung, vor allem des Eisenhüttenkombinats Ost, eine der wichtigsten Aufgaben des Fünfjahrplans (Abb. 44 und 45).

a) Eisenerze und ihre Aufbereitung

Proben von Magnet-, Rot-, Braun-, Rasen- und Spateisenstein sowie von Minette und Eisenkies, Magnet

Arten und Vorkommen des Eisens

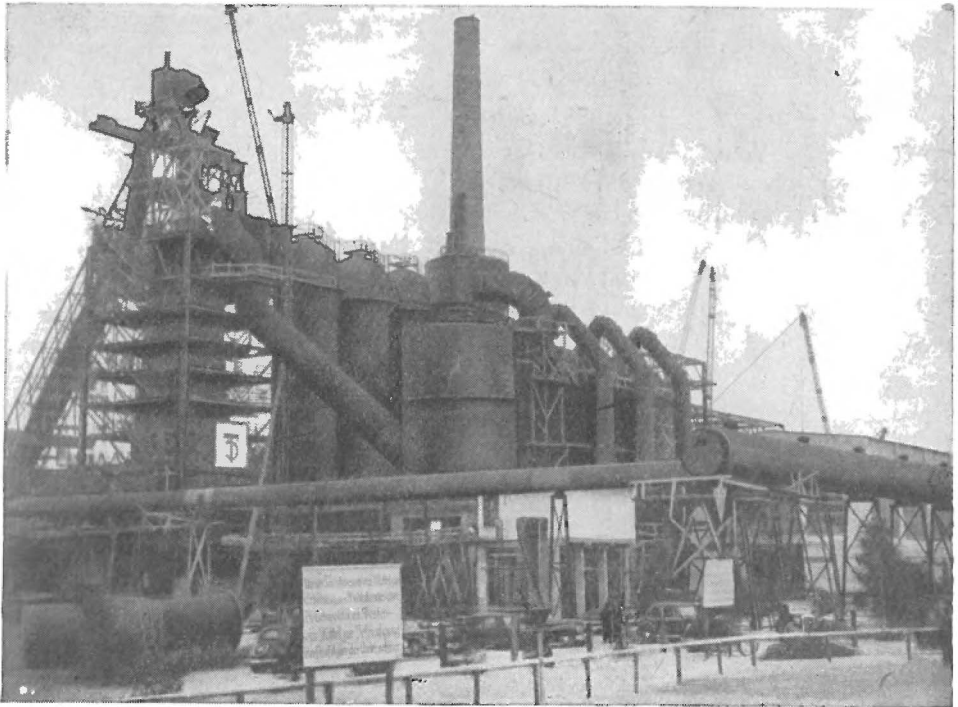
Gediegenes Eisen findet man auf der Erde in der Natur nur in unbedeutenden Mengen in Form der Meteoriten. Das sind abgesprengte Teile anderer Himmelskörper, die in den Anziehungsbereich der Erde gelangten und zur Erde niederfielen. Meteoriteneisen besitzt infolge seines geringen Vorkommens keine technische Bedeutung.

Außer dem Meteoriteneisen wird Eisen nur in Verbindung mit anderen Elementen gefunden. Unter den in der Natur vorkommenden Eisenverbindungen überwiegen die Eisenoxyde, da zwischen Eisen und Sauerstoff eine große Affinität (Verbindungs-

Abb. 44. In der Nähe von Fürstenberg/Oder wird der erste Axthieb zum Aufbau des Eisenhüttenkombinats Ost getan.



Abb. 45. Teilansicht der neuen Hochofenanlage des Eisenhüttenkombinats Ost



bestreben) besteht. Allen Eisenverbindungen in der Natur sind Gesteine und erdige Bestandteile, die sog. Gangarten, beigelegt.

Ein Eisenerz ist ein Gemisch von Eisenverbindungen und Gangarten, das mindestens 20% Eisen enthält.

Man unterscheidet folgende wichtige Eisenerze: Magneteisenstein, Roteisenstein, Brauneisenstein, Spateisenstein und Eisenkies.

Magneteisenstein ist magnetisch und hat einen hohen Eisengehalt von 60 bis 68%. Fundstätten: Magnitogorsk (Südrussland), Ungarn, Norwegen, Schweden, USA. Die deutschen Vorkommen sind sehr gering und liegen im Thüringer Wald, im Harz und am Vogelsberg.

Roteisenstein oder *Hämatit* erhielt seinen Namen nach seinem oft blutroten Aussehen (Hämatin, roter Blutfarbstoff). Der Prozentsatz an Eisen schwankt zwischen 40 und 60%.

Fundstätten: Kriwoj-Rog (SU), USA, England, Spanien, Nordafrika. In Deutschland findet man Roteisenstein an den Flüssen Lahn, Sieg und Dill, im Sauerland, Thüringer Wald und Harz.

Brauneisenstein kommt von allen Eisenerzen am häufigsten vor. Der Brauneisenstein enthält nur 28 bis 35% Eisen.

Fundstätten: Ungarn, Polen, Holland, Luxemburg, Frankreich, USA. In Deutschland wird Brauneisenstein an Sieg und Lahn und auch im Harz abgebaut.

Der Brauneisenstein besitzt 2 Abarten:

1. *Das Raseneisenerz*, 2. *die Minette*.

Raseneisenerz tritt häufig in dünnen Schichten unter der Rasenoberfläche von Wiesen und Mooren auf. Nur in der Gegend von Hannover und in Holland sind die Schichten so mächtig (dick, stark), daß der Abbau wirtschaftlich lohnend ist.

Früher konnte man die Minette wegen ihres hohen Phosphorgehaltes nicht verhütten. Aus diesem Grunde erhielt dieses Erz den Namen Minette (kleines, unbedeutendes Erz). Erst durch moderne Hüttenverfahren gewannen die Minette-Lagerstätten in Luxemburg und Lothringen eine große Bedeutung.

Spateisenstein. Unter Spat versteht der Bergmann ein Mineral, das in Richtung seiner Kristallachsen gut spaltet. Sehr viele Spate sind kohlensaure Salze (Eisenspat, Kalkspat usw.). Spateisenstein (Eisenspat) enthält 30 bis 39% Eisen.

Fundstätten: Ungarn, Sowjetunion, Nordspanien, Norwegen, England, Österreich. Deutsche Fundorte liegen im Siegerland und im Harz.

Eisenkies oder *Pyrit*. Mineralien, die in chemischer Hinsicht Verbindungen eines Metalles mit Schwefel darstellen, werden zum Teil als „Kiese“ bezeichnet. Eisenkies ist eine Verbindung von Schwefel mit Eisen. Der Schwefel des Pyrits wird durch Rösten (s. S. 100) ausgetrieben und zu Schwefelsäure verarbeitet. Die dabei anfallenden oft hochprozentig eisenhaltigen Rückstände werden verhüttet.

Fundstätten: Sowjetunion, Spanien, Portugal, Norwegen, Japan. Das einzige deutsche Vorkommen liegt bei Meggen in Westfalen.

Die Eisenerzförderung im Fünfjahrplan

Um einen möglichst großen Teil unseres Eisenerz-Bedarfs aus eigenen Vorkommen zu decken, sind dem Bergbau im Fünfjahrplan große Aufgaben gestellt. Die Förderung an Eisenerz aus Bodenschätzen der Deutschen Demokratischen Republik wird entsprechend dem Gesetz über den Fünfjahrplan im Jahre 1955 um 910% höher liegen als im Jahre 1950.

Die dann noch fehlenden Eisenerzmengen werden auf Grund der deutsch-sowjetischen Handelsabkommen aus der UdSSR eingeführt.

Zusammensetzung der Eisenerze

Die Eisenerze kann man entsprechend ihrer Zusammensetzung nach folgenden Gruppen unterscheiden:

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1. <i>Eisen-Sauerstoff-Verbindungen</i> | 2. <i>Eisenkarbonate</i> |
| Roteisenstein (Fe_2O_3) | Spateisenstein (FeCO_3) |
| Magneteisenstein (Fe_3O_4) | 3. <i>Eisen-Schwefel-Verbindungen</i> |
| Brauneisenstein ($2 \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$) | Eisenkies (FeS_2) |

Aufbereitung

Im Eisenerz sind, wie schon erwähnt, außer den Eisenverbindungen auch Gestein und Erde enthalten. Diese Beimengungen verlangsamen den Schmelzprozeß im Hochofen. Andere ebenfalls im Erz enthaltene Stoffe können die Güte des zu gewinnenden Roheisens beeinträchtigen. Durch beigemengten Schwefel z. B. wird Roheisen rotbrüchig, so daß es im rotwarmen Zustand bereits bei geringer Beanspruchung bricht. Zur Beseitigung von schädlichen Beimengungen müssen die Eisenerze vor der weiteren Verarbeitung *aufbereitet* werden.

Unter der Aufbereitung von Eisenerzen versteht man das Entfernen ungeeigneter Bestandteile, die das Ausschmelzen der Erze im Hochofen erschweren oder die Güte des Roheisens beeinträchtigen würden.

Bei der Aufbereitung werden die Erze zerkleinert, sortiert, geröstet und brikettiert. Große Erzstücke werden in Brechern maschinell zerkleinert. Durch diese Maßnahme wird nicht nur das Sortieren ermöglicht, sondern auch ein schneller Schmelzprozeß gewährleistet.

Sortieren. Durch das Zerkleinern werden viele *taube Gesteinsstücke* sichtbar, die keine Eisenverbindungen enthalten. Diese tauben Gesteinsstücke liest man von Hand oder maschinell aus. Beim maschinellen Sortieren benutzt man einen *Magnetscheider* (Abb. 46).

Die zerkleinerten Stücke werden auf die sich drehende Trommel geschüttet. Durch die Drehbewegung entsteht eine Zentrifugalkraft, die das taube Gestein wegschleudert. Die eisenhaltigen Stücke aber werden von dem feststehenden Elektromagneten (schräffiert) angezogen und auf der Trommel festgehalten. Die Trommel nimmt nun die Stücke so lange mit, bis der Magnetbogen zu Ende ist. Somit wird das wertvolle Erz von dem tauben Gestein getrennt.

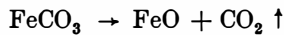
Mit dem Magnetscheider können nur Eisenerze sortiert werden, die von einem Magneten angezogen werden.

Versuch 1:

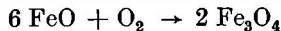
Wir prüfen mit einem Magnet, welche Eisenerze magnetisch angezogen werden: Wir stellen fest, daß nur Magneteisenerz (Fe_3O_4) angezogen wird.

Somit ist Magneteisenstein zur Sortierung durch Magnetscheider geeignet. Spateisenstein muß einem besonderen Prozeß unterworfen werden, ehe er maschinell sortiert werden kann. Das entsprechende Verfahren wird als Rösten bezeichnet.

Rösten. In der Metallurgie versteht man unter dem Rösten das Erhitzen eines Erzes unter Luftzutritt. Beim Rösten von Spateisenstein wird das zerkleinerte Erz unter Luftzutritt bis zum Glühen — jedoch nicht bis zum Schmelzen — erhitzt. Bei dieser Temperatur zerfällt das Eisenkarbonat in Eisenoxyd und Kohlendioxyd.



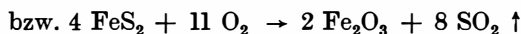
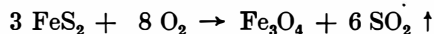
Das Eisenoxyd nimmt aus der Luft weiteren Sauerstoff auf, mit dem es sich verbindet.



Durch das Rösten von Spateisenstein ist also ein Stoff entstanden, der die gleiche chemische Zusammensetzung wie Magneteisenstein hat und in gleicher Weise wie Magneteisenstein vom Magneten angezogen wird. Deshalb kann man Spateisenstein nach dem Rösten ebenfalls mit dem Magnetscheider sortieren.

Auch andere Eisenerze werden geröstet. Beim Rösten wird dem Erz der Schwefel und die Feuchtigkeit entzogen. Während das Wasser verdampft, wird der Schwefel durch den Sauerstoff der Luft oxydiert.

Das dabei entstehende Schwefeldioxyd wird auf Schwefelsäure verarbeitet. Für Eisenkies lautet die Röstgleichung:



Beim Rösten werden die Erze unter Luftzutritt bis zum Glühen, jedoch nicht bis zum Schmelzen, erhitzt.

Brikettieren und Agglomerieren. Vor dem Einbringen in den Hochofen muß feiner Erzstaub zu größeren Klumpen zusammengeballt werden, da sonst der Hochofen versacken würde.

Man preßt das feine Erz *unter hohem Druck* zu kleineren Stücken zusammen und bezeichnet diesen Arbeitsgang als Brikettieren. Beim Agglomerieren hingegen arbeitet man ohne Druck und verwendet eine heiße Stichflamme, in der das Erz — ohne zu schmelzen — zusammenbäckt.

Nach der Aufbereitung werden die Eisenerze verhüttet, d. h. auf Eisen verarbeitet.

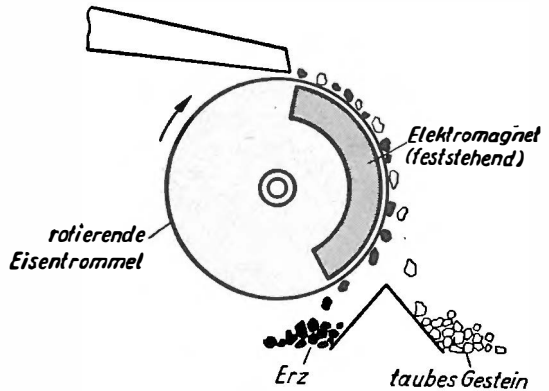


Abb. 46. Der Magnetscheider trennt Eisenerz vom tauben Gestein.

3. Ausbildungsabschnitt

7. bis 9. Monat · 13 Stunden

b) Hochofenprozeß

*Modell eines Hochofens im Schnitt —
Proben der Erzeugnisse des Hochofens*

Aufbau des Hochofens

Zur Verhüttung der Eisenerze, d. h. zur Erschmelzung des Roheisens dient der Hochofen; das ist ein *Schachtofen*, der wesentlich höher als breit ist. Er besteht aus starkem Schamotttemauerwerk, das durch stählerne Bleche und Bandagen zusammengehalten wird (s. Abb. 47 und 48).

Der obere Teil des Hochofens wird als Schacht, der untere als Rast bezeichnet. Der Übergang zwischen Schacht und Rast ist der Kohlensack, der erweitert gebaut sein muß, da sich die Eisenerze beim Erhitzen ausdehnen. Unter der Rast liegt der Raum, in dessen oberen Teil sich der eigentliche Schmelzvorgang vollzieht, das *Gestell*.

Den oberen Abschluß des Hochofens bildet die *Gichtbühne* mit den beiden *Gichtglocken*, durch welche die Füllung oder *Beschickung* des Hochofens erfolgt. Eine *Gichtgasleitung* führt die beim Betrieb des Hochofens entstehenden Gase ab. Um die Rast ist eine *Heißwindleitung* ge-

Abb. 47. Aufbau und Zoneneinteilung des Hochofens

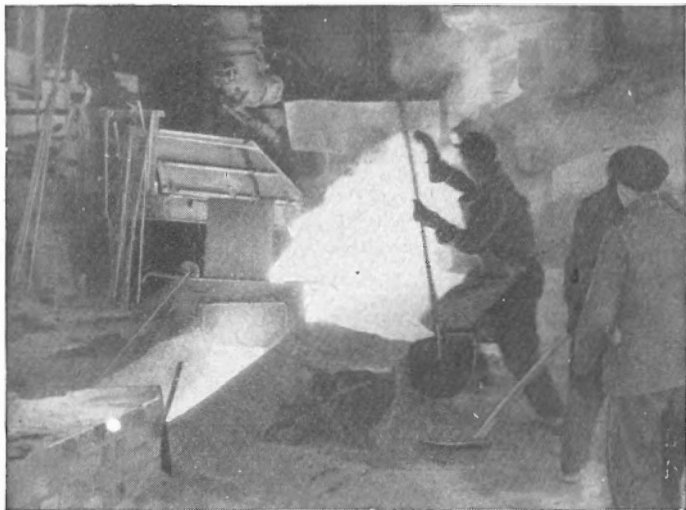
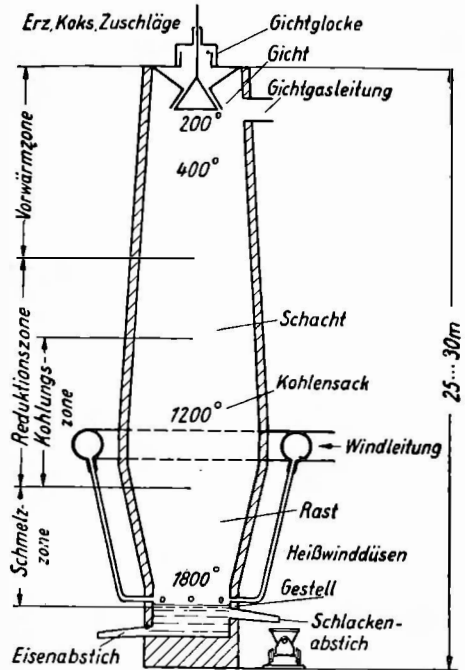


Abb. 48. Abstich des Roheisens am Hochofen II des Eisenhüttenkombinats Ost.

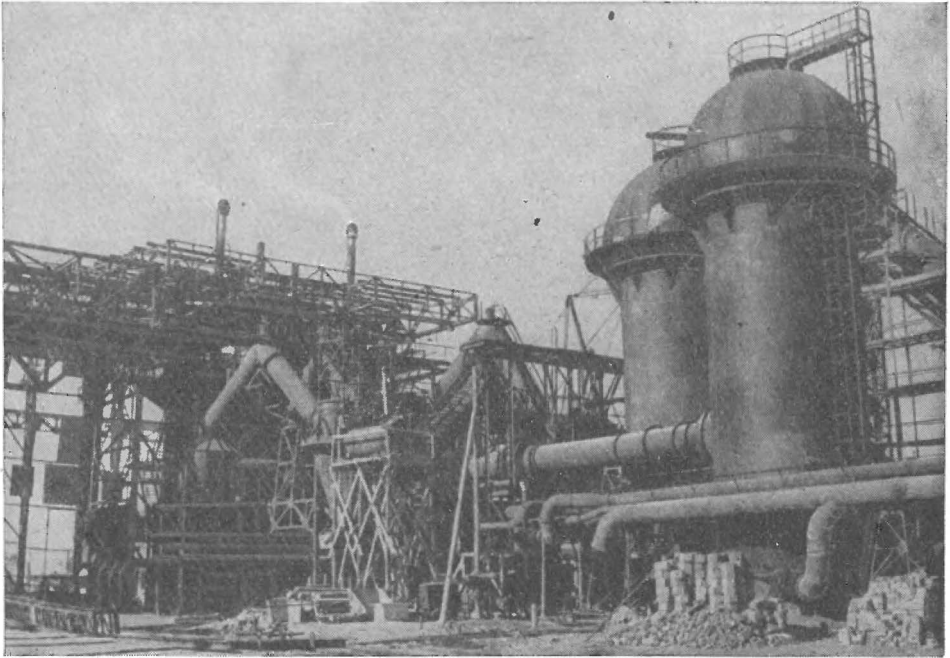


Abb. 49. Niederschachtofen des Eisenhüttenkombinats West (links) mit Winderhitzern (rechts)

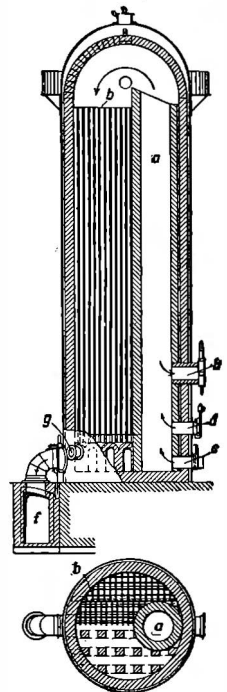
legt, die durch 6 bis 12 Düsen dem Hochofen heiße Luft zuführt. Diese Heißluft unterstützt die Verbrennung des Heizmaterials und trägt dazu bei, daß die erforderliche Schmelztemperatur erreicht wird. Das beim Schmelzprozeß sich abscheidende Roheisen wird ebenso wie die Schlacke durch je eine gesonderte Abstichöffnung, die vom Gestell abgeht, entfernt. Da Roheisen spezifisch schwerer ist als Schlacke, fließt es aus dem unteren Stichloch ab.

Der Winderhitzer

Beim Hochofenbetrieb verbraucht man große Mengen von heißem Wind, der — wie schon oben erwähnt — die Verbrennung des Heizmaterials im Ofeninneren unterstützt.

Diese Heißluft wird vom Winderhitzer geliefert. Nach seinem Erfinder, dem Engländer Cowper, nennt man ihn auch Cowper-Apparat. Seine

Abb. 50. Vereinfachter Schnitt durch einen Winderhitzer. Die Abgase des Hochofens (Gichtgase) treten bei *c* in den Brennschacht *a* ein und vermischen sich mit der bei *d* eintretenden Luft. Das brennende Gas strömt durch das Gitterwerk *b* aus feuerfesten Steinen, erhitzt diese und zieht durch den Rauchkanal *f* in die Esse ab. Ist das Steinwerk genügend heiß, so schließt man Gas- und Luftkanal und läßt die zu erhaltende Gebläseluft bei *g* eintreten. Sie erwärmt sich dann im Gitterwerk und wird durch *h* in die Heißwindleitung des Hochofens gepreßt. (Abb. 45 zeigt rechts von dem Hochofen drei Winderhitzer.)



Höhe beträgt etwa 30 m bei einem Durchmesser von 6 m. Der Winderhitzer (Abb. 50) hat einen Stahlblechmantel und enthält in seinem Innern den Brennschacht *a* und ein gitterartiges Mauerwerk *b* aus feuerfesten Steinen. Der Winderhitzer wird mit den heißen Abgasen des Hochofens, die infolge unvollständiger Verbrennung noch große Mengen brennbarer Gase enthalten, angewärmt. Da gleichzeitig mit diesen Gasen Luft in den Brennschacht gesaugt wird, verbrennen diese Gase im Brennschacht des Winderhitzers vollständig und geben die dabei entstehende Wärme an das Mauerwerk *b* ab.

Nach etwa 2 Stunden ist der Cowper-Apparat genügend erhitzt (900° C) und wird auf Wind umgeschaltet. Dieser wird dann durch die Heißwindleitung in den Hochofen gedrückt. Innerhalb einer Stunde ist die Temperatur im Winderhitzer durch den dauernden Wärmeentzug auf 600° C gesunken, so daß wieder Hochofenabgas angesaugt werden muß. Der Cowper-Apparat geht also abwechselnd auf Gas und auf Wind. Zur ununterbrochenen Versorgung des Hochofens mit Heißwind braucht man deshalb mindestens 3 Winderhitzer, von denen einer auf Wind geht, während die beiden anderen aufgeheizt werden.

Ausgangsstoffe für den Hochofenprozeß

In den Hochofen werden schichtweise *Eisenerz* (mit Zuschlägen) und *Koks* geschüttet. Das Gemenge von Eisenerz und Zuschlägen nennt man *Möller*.

Da man aus den Eisenoxyden der Erze Eisen gewinnen will, muß im Hochofenprozeß den Eisenverbindungen der Sauerstoff entzogen werden. Man erreicht das durch den im Koks enthaltenen Kohlenstoff, der eine größere Affinität zu Sauerstoff besitzt als das Eisen. Reduzierend auf die Eisenoxyde wirkt vor allem das aus dem Koks und Sauerstoff entstehende Kohlenmonoxyd (CO).

Technisch verwendbar ist nur *kohlenstoffhaltiges Eisen*, da erst der Kohlenstoff das Eisen hart macht. Diesen Kohlenstoff liefert ebenfalls der Koks.

Der Koks erzeugt weiterhin die Wärme, die man zum Ausschmelzen des Eisens aus den Gangarten braucht.

Der Koks hat also folgende Aufgaben: Reduktion der Eisenerze, Kohlung des Eisens und Ausschmelzen des Eisens.

Beim Hochofenprozeß bleiben nach dem Schmelzen der Erze große Mengen von taubem Gestein und Koksasche zurück, die sehr schwer schmelzen und infolgedessen den Ofen versacken und unbrauchbar machen würden. Mit den Zuschlägen jedoch, die man dem Erz bei der Beschickung des

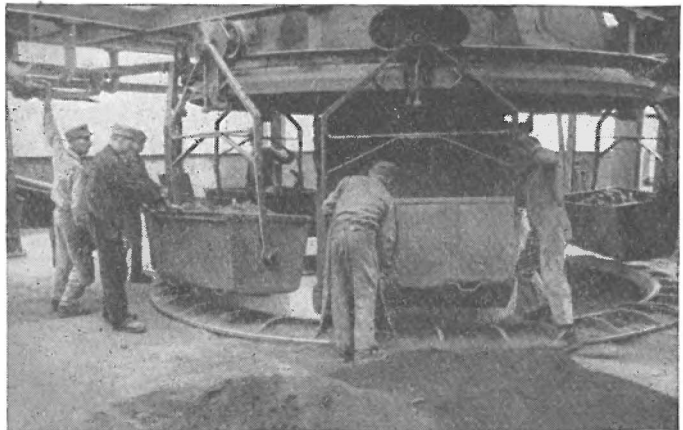


Abb. 51. Gichtbühne eines Hochofens im Hüttenwerk Unterwellenborn

Hochofens zusetzt, bilden diese Rückstände eine leicht schmelzende Schlacke, die ohne weiteres aus dem Ofen abfließt. Als Zuschlag wird meist *Kalkstein* verwendet. Teilweise versucht man auch durch Mischen verschiedener Eisenerze deren Gangarten so zu ergänzen, daß diese sich von selbst ohne andere Stoffe verflüssigen. Dieses Verfahren bezeichnet man als *Selbstmöllerung*.

Beschickung des Hochofens

Durch die Gichtglocken (s. Abb. 52) gelangt die Füllung in das Ofeninnere. Der Doppelverschluß der beiden Glocken verhindert beim Beschicken das Ausströmen der im Hochofen entstehenden Gase und der Wärme. Sobald sich nämlich die Glocke I hebt, dichtet Glocke II den Ofen ab. Diese öffnet sich wiederum erst, nachdem Glocke I sich gesenkt hat.

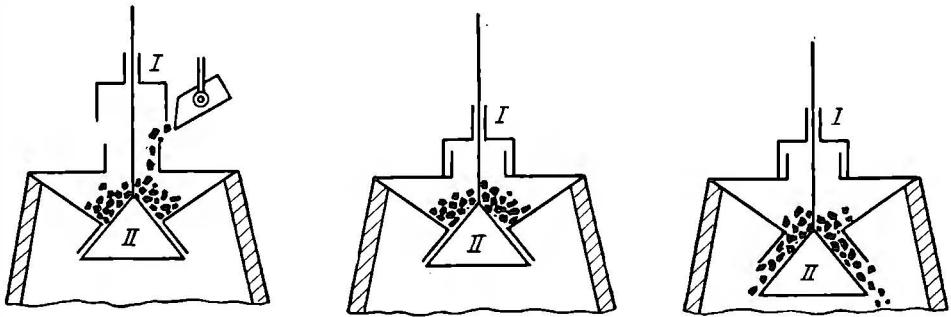


Abb. 52. Beschicken des Hochofens durch die Gichtglocken. Der Ofen ist immer durch eine der beiden Glocken geschlossen.

Zonen des Hochofens

Wir haben bereits erwähnt, daß der Koks im Hochofen verschiedene Aufgaben zu erfüllen hat. Durch den glühenden Koks wird das Eisenerz reduziert, das Eisen gekohlt und ausgeschmolzen. Diese Vorgänge finden in verschiedenen Teilen des Hochofens statt, die als *Zonen* bezeichnet werden.

Im Hochofen unterscheiden wir 4 Zonen: Vorwärmzone, Reduktionszone, Kohlungszone und Schmelzzone.

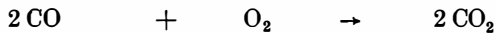
Vorgänge in der Vorwärmzone

Durch die Gichtglocken fällt die Füllung (Eisenerz mit Zuschlägen und Koks) in das Innere des Ofens. Im obersten Teil des Schachtes, der als Gicht oder Vorwärmzone bezeichnet wird, herrscht durch die von unten aufsteigenden Verbrennungsgase bereits eine Temperatur bis zu 400°C . Das im Eisenerz, vor allem im Brauneisenstein, noch vorhandene Wasser verdampft in der Vorwärmzone. Der entstehende Wasserdampf wird ebenfalls durch die Gichtgasleitung abgeführt.

Da im untersten Teil des Ofens durch das dauernde Schmelzen der Erze Hohlräume in der Füllung entstehen, rutschen die oberen Schichten der Füllung immer weiter nach unten.

Vorgänge in der Reduktionszone

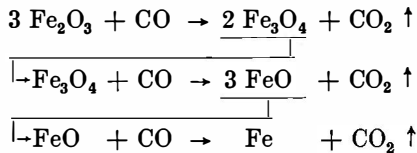
An die Vorwärmzone schließt sich die *Reduktionszone* an, die den unteren Teil des Schachtes und den Kohlensack umfaßt. Hier beginnt bei etwa 400° C die sog. indirekte Reduktion. Dabei wird den Eisenoxiden der Erze Sauerstoff entzogen. Man bezeichnet diese Reduktion, die bei etwa 800° C beendet ist, als indirekt, weil diese Reduktion nicht unmittelbar (direkt) durch den Kohlenstoff, sondern nur durch eine seiner Verbindungen, durch das Kohlenmonoxyd (CO), erfolgt. Das Kohlenmonoxyd entsteht bei der unvollständigen Verbrennung des Kokes in der Schmelzzone des Hochofens. Kohlenmonoxyd hat das Bestreben, sich durch Aufnahme von weiterem Sauerstoff in die gesättigte Kohlenstoff-Sauerstoff-Verbindung, in das *Kohlendioxyd* (CO₂), umzuwandeln (s. S. 56).



Da die Eisenerze den zu diesem Vorgang nötigen Sauerstoff enthalten, entreißt das Kohlenmonoxyd den Eisenerzen den Sauerstoff und verwandelt sich dabei in Kohlendioxyd, während die Oxyde des Eisens (Fe₂O₃ und Fe₃O₄) zu reinem Eisen reduziert werden.

Der Reduktionsvorgang kann nur vonstatten gehen, wenn Kohlenmonoxyd in großem Überschuß vorhanden ist. Da dabei nicht das gesamte im Ofen vorhandene Kohlenmonoxyd in Kohlendioxyd umgewandelt wird, enthalten die durch die Gichtgasleitung abgesaugten Ofengase, die sog. *Gichtgase*, viel Kohlenmonoxyd.

Bei der Reduktion durchlaufen die Eisenerze folgende Reduktionsstufen:

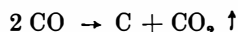


Das reduzierte Eisen ist noch im Gestein eingeschlossen.

Eine gewisse Grenze ist der indirekten Reduktion durch das entstehende Kohlendioxyd gesetzt. Ist nämlich reichlich Kohlendioxyd vorhanden, so wird das soeben reduzierte Eisen sofort wieder durch Sauerstoffabgabe des Kohlendioxyds oxydiert. Die Vorgänge sind also umkehrbar. Aus diesem Grunde verbleibt bei der indirekten Reduktion stets ein Rest an Eisenoxyd. Diesem restlichen Eisenoxyd kann der Sauerstoff erst durch direkte Reduktion entzogen werden, die weiter unten beschrieben ist.

Vorgänge in der Kohlunzone

Die Oberfläche der Erzstücke wird durch das Entziehen des Sauerstoffes *porös* und sieht infolgedessen schwammartig aus. In der 800 bis 1200° C heißen Kohlunzone (unterer Teil des Schachtes, Kohlensack und oberster Teil des Rast) wird ein Teil des Kohlenmonoxyds wieder zu Kohlenstoff reduziert, während der dabei freiwerdende Sauerstoff von weiterem Kohlenmonoxyd aufgenommen wird:



Man hat festgestellt, daß dieser Vorgang durch die schwammige Oberfläche der Erzstücke wesentlich beschleunigt wird. Obwohl die Eisenerze diesen Vorgang infolge ihrer porösen Beschaffenheit beschleunigen, verändern sie sich dabei nicht. Das Erz wirkt also hier als *Katalysator*, d. h. es beschleunigt einen chemischen Vorgang, ohne sich selbst dabei zu verändern. Der bei diesem Prozeß freiwerdende Kohlenstoff dringt in die Poren des Erzes ein und *legiert* (mischt) sich mit dem darin enthaltenen Eisen. Dieser Vorgang wirkt sich auf das anschließende Ausschmelzen günstig aus, denn die Eisen-Kohlenstoff-Legierung hat einen niedrigeren Schmelzpunkt als reines Eisen.

Vorgänge in der Schmelzzone

Bei ihrem Absacken nach unten gelangt die Füllung schließlich in die Schmelzzone, die den unteren Teil der Rast und den oberen Teil des Gestelles umfaßt. Hier verbrennt der Koks unter der Einwirkung der durch die Heißwindleitung eingeblasenen Luft. Durch die Verbrennung steigt die Temperatur bis 1700° C. Bei dieser Temperatur wird das Eisen aus dem Gestein ausgeschmolzen. Gleichzeitig wird jene geringe Menge von Eisenoxyd, die in der Reduktionszone noch nicht reduziert wurde, *direkt reduziert*. Der Entzug des Sauerstoffs geschieht hier also nicht durch das Kohlenmonoxyd, sondern unmittelbar durch den Kohlenstoff des glühenden Kokes.

Das flüssige *Roheisen sammelt sich unten im Gestell und wird dort etwa alle 3 Stunden abgestochen*. Es wird teilweise in Sandformen zu *Masseln* gegossen. Das sind lange Roheisenstücke. Andererseits kann das flüssige Roheisen auch in einem großen Gefäß, dem *Roheisenmischer*, gesammelt werden. Im Roheisenmischer wird die schwankende Zusammensetzung der einzelnen Abstiche des Hochofens ausgeglichen.

Das beim Ausschmelzen des Eisens verbleibende Gestein wird unter der Einwirkung der beigemengten Zuschläge verflüssigt und ergibt die Schlacke. Sie schwimmt auf dem Roheisen und wird durch den Schlackenabstich entfernt.

Roheisen

Das Hauptprodukt des Hochofenprozesses ist das Roheisen. Es besteht nicht nur aus Eisen und dem in der Kohlzone aufgenommenen Kohlenstoff (bis 5%), sondern enthält auch einen geringen Prozentsatz von anderen Grundstoffen, wie *Schwefel, Phosphor, Mangan und Silizium*. Die im Eisenerz enthaltenen Sauerstoffverbindungen dieser Elemente wurden ebenfalls beim Hochofenprozeß reduziert. Ein Teil des im Roheisen enthaltenen Schwefels rührt vom Koks her.

Roheisen enthält neben Eisen und Kohlenstoff auch Schwefel, Phosphor, Mangan sowie Silizium.

Phosphor und Schwefel beeinflussen die Eigenschaften des Roheisens erheblich. Schon ein geringer Phosphorgehalt von weniger als 0,5% macht das Eisen *dünnflüssig*, so daß es sich gut gießen läßt. Durch einen höheren Gehalt an Phosphor aber wird das Eisen *kaltbrüchig*. Es zerspringt dann in kaltem Zustand bereits bei jeder geringen Beanspruchung.

Der Schwefelgehalt im Eisen ist in jedem Falle unerwünscht, da das Eisen dadurch *rot- oder warmbrüchig* wird. Deshalb versucht man, den Schwefel beim Hochofen-

prozeß durch kalkreiche Zuschläge möglichst zu binden.

Der Gehalt an *Mangan* und *Silizium* ist von entscheidender Bedeutung für die Beschaffenheit des Roheisens. Wenn das Roheisen wenig Silizium enthält, so kann sich der Kohlenstoff mit dem Eisen zu Eisenkarbid (Fe_3C) verbinden. Roheisen, dessen Kohlenstoff sich mit dem Eisen zu Eisenkarbid verbunden hat, wird *weißes Roheisen* (Abb. 53) genannt, weil im Bruchgefüge dieser Roheisensorte kein Kohlenstoff zu sehen ist. Voraussetzung für die Bildung von weißem Roheisen ist eine Hochofentemperatur von 1600°C (sog. *kalter Ofengang*). Die Bildung von Eisenkarbid wird durch Mangan begünstigt.

Enthält das Eisen wenig Mangan und verhältnismäßig viel Silizium, so wird der Kohlenstoff als Graphit aus dem Eisen ausgeschieden. Dieser ist im Bruch gut zu erkennen. Man bezeichnet deshalb dieses Produkt als *graues Roheisen* (Abb. 54). Graues Roheisen wird im *heißen Ofengang* von 1700°C hergestellt, da bei dieser Temperatur durch Reduktion von beigemengten Siliziumoxyden die erforderliche Menge von Silizium entsteht.

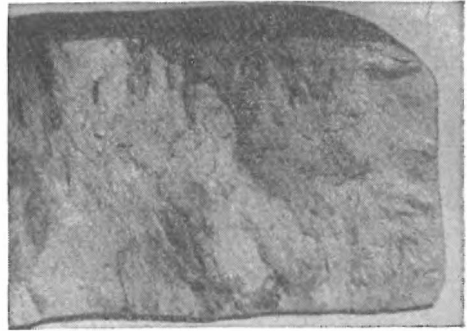


Abb. 53. Weißes Roheisen. Die Bruchfläche sieht weiß aus und zeigt eine strahlenartige Struktur.



Abb. 54. Graues Roheisen zeigt einen dunklen groben Bruch.

Die Steigerung der Roheisenerzeugung im Fünfjahrplan

Durch die von den Imperialisten herbeigeführte Spaltung Deutschlands wurde die Deutsche Demokratische Republik von den Hüttenzentren im Westen Deutschlands abgeschnitten. Im Jahre 1949 waren in unserer Deutschen Demokratischen Republik nur drei Hochöfen in Betrieb, deren Erzeugung unseren Bedarf nicht decken konnte. Da der Neuaufbau unserer Heimat aufs engste mit der Roheisenerzeugung verbunden ist, wurden von unserer Regierung große Summen zum Ausbau und zum Neubau von Hüttenanlagen bereitgestellt. An der Oder entsteht das neuzeitliche *Hüttenkombinat Ost*, das bereits sowjetische Erze verarbeitet. Im *Hüttenkombinat West* wird unter Benutzung der bahnbrechenden Erfindung der Nationalpreisträger Prof. Rammler und Dr. Bilkenroth (s. S. 53) Roheisen aus einheimischen eisenarmen Erzen in Niederschachtöfen erschmolzen. Dadurch wird es möglich sein, die Roheisenerzeugung des Jahres 1950 (etwa 360000 t) bis 1955 um 594% zu steigern und diese Aufgabe des Fünfjahrplans zu erfüllen.

Die Eigenschaften von reinem Eisen, von grauem und weißem Roheisen

Chemisch *reines Eisen* besitzt die Dichte $7,8 \text{ g/cm}^3$ (Wichte: $7,8 \text{ p/cm}^3$) und schmilzt bei 1530°C . Seine Farbe ist silberweiß. Technisch ist es nicht verwendbar, da es zu weich ist. Erst durch die Beimengung von Kohlenstoff wird das Eisen hart, so daß es den Anforderungen der Praxis genügt.

Graues und weißes Roheisen enthalten den gleichen Prozentsatz an Kohlenstoff. Sie sind daher härter als reines Eisen.

Vergleicht man aber die Härte von grauem und weißem Roheisen miteinander, so stellt man fest, daß graues Roheisen bei weitem weicher als das weiße ist.

Dies ist darin begründet, daß — wie schon oben erwähnt — im grauen Roheisen der Kohlenstoff als Graphit ausgeschieden und nicht chemisch mit dem Eisen verbunden ist. Aus diesem Grunde ist die Härte von grauem Roheisen wesentlich geringer als die von weißem Roheisen. Die große Sprödigkeit des grauen Roheisens ist ebenfalls eine Folge des verhältnismäßig hohen Kohlenstoffgehaltes. *Graues Roheisen* besitzt einen Schmelzpunkt von 1100 bis 1200°C und wird zu *Guß Eisen* weiterverarbeitet.

Im *weißen Roheisen* dagegen ist der Kohlenstoff mit dem Eisen zu Eisenkarbid verbunden. Aus diesem Grunde ist weißes Roheisen sehr hart und durch den hohen Anteil an Kohlenstoff auch spröde. Der Schmelzpunkt liegt — ebenso wie beim grauen Roheisen — zwischen 1100 und 1200°C . Aus weißem Roheisen wird durch weitere Verarbeitung Stahl gewonnen.

Verwertung der Nebenprodukte des Hochofenprozesses

Als Nebenprodukte bei der Gewinnung des Roheisens erhält man Schlacke (Abb. 55) und Gichtgase.

Einen Teil der *Schlacke* läßt man erkalten, zerkleinert ihn in Brechern und verwendet die Bruchstücke als *Schotter* und *Packlagen* für Straßen. In Formen gegossene Schlacke kommt in der Form von *Pflastersteinen* in den Handel. Flüssige Schlacke kann durch einen Druckluft- oder Wasserstrahl in kleine, körnige Stücke zerteilt werden.

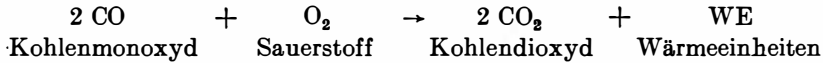


Abb. 55. Hochofenschlacke. Sie fällt als Nebenprodukt bei der Roheisengewinnung an.

Dieser *Schlackensand* dient als Betonzuschlag und zur Herstellung von Zement. Schlackenwolle, die als Isoliermittel zur Abdichtung von Wärme und Schall Verwendung findet, wird hergestellt, indem man einen starken Dampfstrahl auf flüssige Schlacke richtet. Diese wird dadurch aufgelockert und erstarrt in wolleartigen Gebilden.

Das *Gichtgas* besteht aus Kohlenmonoxyd, Kohlendioxyd, Stickstoff, Methan (eine Verbindung von Kohlenstoff mit Wasserstoff, CH_4), Wasserdampf und Staubteilchen. Im Gichtgasreiniger

werden die Staubteilchen entfernt, damit sie nicht die Rohrleitungen verstopfen. Gichtgas kann als Heizgas verwendet werden, da das darin enthaltene Kohlenmonoxyd sich bei Zugabe von Luft mit Sauerstoff unter Wärmeentwicklung zu Kohlendioxyd verbindet.



Gichtgas dient zum Heizen von Winderhitzern und *Kesselanlagen* sowie zum Antreiben von *Gasgeneratoren*.

Aufgaben:

1. Weshalb müssen Eisenerze sortiert werden ?
2. Begründe das Rösten des Spateisensteins und erläutere die chemischen Umwandlungsprozesse und Nebenerscheinungen!
3. Nenne den Unterschied zwischen Brikettieren und Agglomerieren der Eisenerze!
4. Nenne die Ausgangsstoffe für die Roheisenerzeugung!
5. Warum enthalten die Gichtgase noch große Mengen von Kohlenmonoxyd ?
6. Unter welchen Bedingungen bildet sich im Hochofen weißes bzw. graues Roheisen ?
7. Begründe, warum weißes Roheisen härter als graues Roheisen ist!

11. Stahlgewinnung

Wie bereits im 10. Kapitel ausgeführt wurde, ist das im Hochofen gewonnene Roheisen noch nicht zur praktischen Verwendung geeignet. Für Maschinen und sonstige Erzeugnisse, die starken Einwirkungen durch Druck, Reibung oder Stoß ausgesetzt sind (s. Abb. 56), muß das Roheisen zu Stahl verarbeitet werden. Stahl ist nach DIN 17006 jede Eisenlegierung, die sich ohne weitere Vorbehandlung schmieden läßt; d. h. Stahl kann gestanzt, gehämmert, gepreßt und gezogen werden. Zur Stahlherstellung wird weißes Roheisen (s. S. 107) verwendet.

a) Windfrischen

Modell eines Konverters im Schnitt

Zweck und Vorgang des Windfrischens

Um die obengenannten Eigenschaften des Stahles zu erzielen, muß der durch den Hochofenprozeß gebundene Kohlenstoff teilweise aus dem Roheisen wieder entfernt werden, denn ein hoher Kohlenstoffgehalt bewirkt übergroße Härte und Sprödigkeit. Das sind Eigenschaften, die das Schmieden des Eisens unmöglich machen. Die Erniedrigung des Kohlenstoffgehaltes wird durch einen *Oxydationsprozeß*, durch das sog. *Windfrischen* erreicht. Dabei wird kalte Luft unter Druck durch das flüssige Roheisen geblasen. Durch dieses Verfahren wird nicht nur eine Oxydation von Kohlenstoff, sondern auch von anderen im Stahl unerwünschten Beimengungen, vor allem von Schwefel und Phosphor, herbeigeführt.



Abb. 56. Stahlbrücke bei Riesa

Das Windfrischen wird in birnenförmigen Gefäßen durchgeführt, die um ihre waagerechte Achse drehbar gelagert sind und als *Konverter* (lat. *convertere*, drehen, wenden) bezeichnet werden (Abb. 57).

Das Windfrischen kommt in zwei verschiedenen Verfahren in Anwendung, die nach zwei englischen Hütteningenieuren benannt worden sind. Wir unterscheiden:

1. den *Bessemer-Prozeß*, 2. den *Thomas-Prozeß*.

Der Bessemer-Prozeß

Der *Bessemer-Konverter* — auch Bessemer-Birne genannt — besteht aus einem Stahlblechmantel und einer feuerfesten Auskleidung aus *Quarzgestein*, die den Stahlmantel vor den Auswirkungen der beim Windfrischen entstehenden hohen Temperaturen (bis über 1400°C) schützt. Quarz besteht aus Siliziumdioxid (SiO_2) und ist außerordentlich feuerbeständig. Quarz ist das Anhydrid der Kieselsäure, deshalb bezeichnet der Stahlwerker diese Auskleidung als *saures Futter*. Ein Konverter faßt etwa 30 bis 60 t Roheisen.

Wie schon gesagt, ist jeder Konverter und damit auch die Bessemer-Birne drehbar um die waagerechte Achse gelagert (s. Abb. 58). Durch den Zapfen *I*, der hohl

ist, kann der kalte Wind (Luft) in die Rohrleitung *a* und zum Windkessel gedrückt werden. Vom Windkessel ausgehend strömt die Druckluft durch zahlreiche Düsen in den Birnenraum. Auf den Zapfen *II* ist ein Zahnrad aufgekeilt. Wenn die durch einen Wasserdrukzylinder bewegte Zahnstange *b* auf dieses Zahnrad wirkt, wird die Birne um ihre horizontale Achse gedreht. Nachdem der Konverter mit flüssigem Roheisen beschickt ist, wird er aufgerichtet (Abb. 59, I und II). Gleichzeitig wird der Windstrom in gleichmäßigem Strom in den Birnenraum geblasen und somit das Windfrischen eingeleitet. Der in der eingeblasenen Luft enthaltene Sauerstoff oxydiert die Beimengungen des Roheisens (Kohlenstoff, Schwefel, Phosphor, Mangan und Silizium). Dabei entstehen folgende Oxyde:

Kohlenmonoxyd	CO
Manganoxyd	• MnO
Schwefeldioxyd	SO ₂
Siliziumdioxyd	SiO ₂
Phosphorpenoxyd	P ₂ O ₅

Die durch die Oxydation des Kohlenstoffs und der übrigen Beimengungen entstehende Wärme ist so groß, daß sie nicht nur ausreicht, um das Eisen flüssig zu erhalten, sondern seine Temperatur sogar noch erhöht. Aus diesem Grunde wird beim Windfrischen keine zusätzliche Wärmequelle gebraucht, obwohl kalte Luft durch das Roheisen geblasen wird. Der Frischvorgang dauert bis zu 20 Minuten. Er ist beendet, wenn alle schädlichen Beimengungen des Roheisens verbrannt sind (Abb. 59, III).

Die beim Windfrischen entstehenden Gase (Kohlenmonoxyd, Schwefeldioxyd)

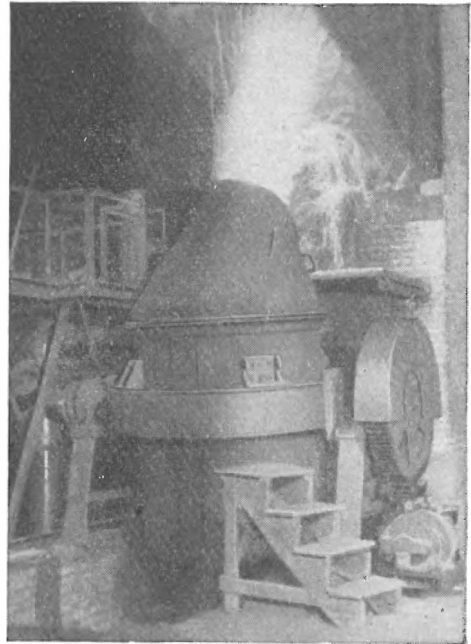


Abb. 57. Die aufgerichtete Konverterbirne in Tätigkeit.

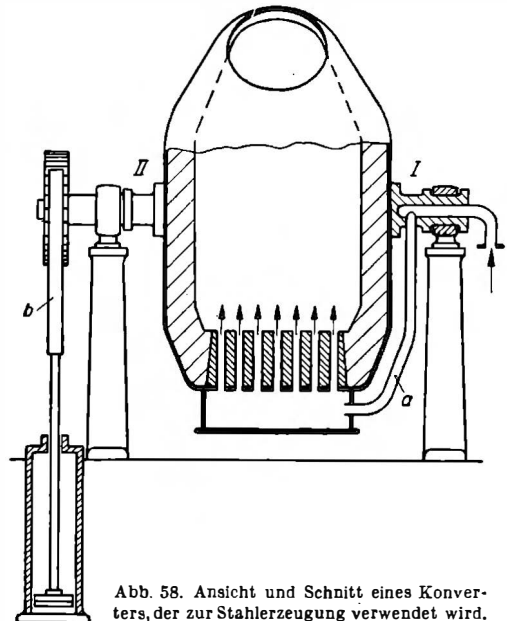


Abb. 58. Ansicht und Schnitt eines Konverters, der zur Stahlerzeugung verwendet wird.

entweichen durch die obere Birnenöffnung. Siliziumdioxid und Manganoxid gehen in die Schlacke über. Das Phosphorpentoxid verbleibt im Eisen und wird durch das saure Quarzfutter der Birne wieder in Phosphor und Sauerstoff aufgespalten. Durch Phosphorgehalt wird Stahl kaltbrüchig.

Da der im Roheisen enthaltene Phosphor beim Bessemer-Prozeß im Stahl verbleibt, kann dieses Verfahren nur dann angewendet werden, wenn aus phosphorarmen Erzen erschmolzenes Roheisen zur Verfügung steht. Für die Verarbeitung phosphorhaltigen Roheisens muß man ein anderes Verfahren, den Thomas-Prozeß anwenden.

Thomas-Prozeß

Wie bereits bemerkt, ist der Bessemer-Konverter mit „saurem Futter“ ausgekleidet. Für die Verarbeitung von phosphorreicherem Roheisen wird im Thomas-Verfahren ein *basisches Futter* und ein *basischer Zuschlag* verwendet. Der basische Zuschlag bindet das entstehende Phosphorpentoxid sofort chemisch und bewahrt es somit vor der Wiederaufspaltung. Die Thomas-Birne unterscheidet sich von der Bessemer-Birne lediglich durch eine andere Auskleidung des Konverters.

Die Thomas-Birne, die in gleicher Weise wie die Bessemer-Birne gebaut ist, besitzt ein Futter aus Dolomitsteinen, die sich aus Kalzium- und Magnesiumkarbonat zusammensetzen. Da Kalzium und Magnesium basenbildende Metalle sind, heißt diese Auskleidung „basisches Futter“.

Bei dem Frischvorgang im Thomas-Konverter wird dem flüssigen Roheisen ein Zuschlag von *gebranntem Kalk* beigelegt. Der Frischvorgang selbst verläuft wie beim Bessemer-Prozeß. Nach dem Kohlenstoff verbrennt als letzte Beimengung der Phos-

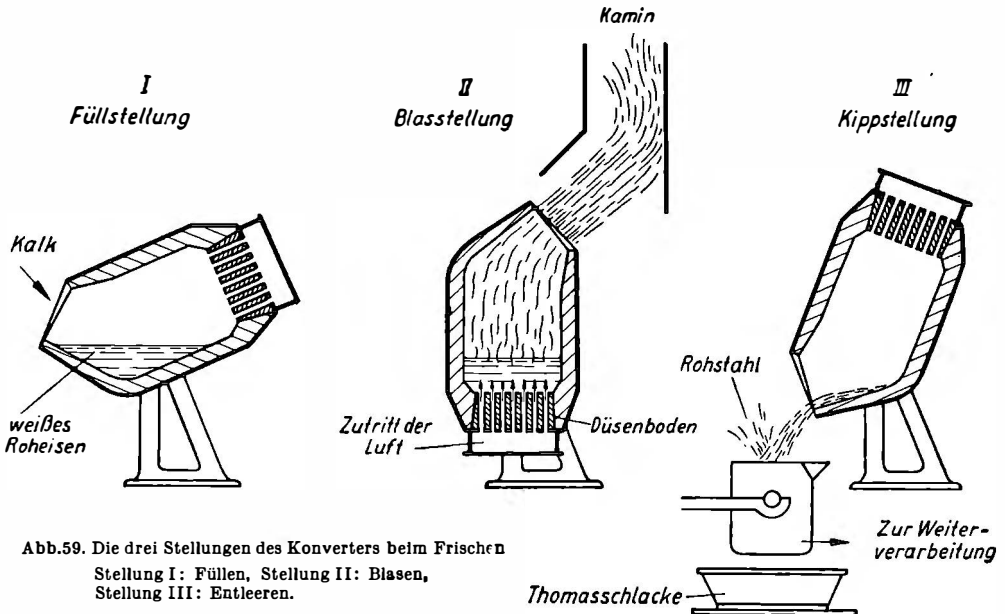
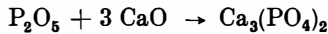


Abb.59. Die drei Stellungen des Konverters beim Frischen
Stellung I: Füllen, Stellung II: Blasen,
Stellung III: Entleeren.

phor. Das entstandene Phosphorpentoxyd verbindet sich sofort mit dem zugesetzten gebrannten Kalk und dem basischen Futter.



Das dabei entstehende *Kalziumphosphat* geht in die Schlacke über. Die Schlacke wird gemahlen und kommt unter der Bezeichnung Thomasmehl als wertvolles Düngemittel in den Handel.

Da in Deutschland vorwiegend phosphorreiche Erze gefördert werden, wird vor allem das Thomas-Verfahren bei der Stahlerzeugung angewendet.

Veränderung des Kohlenstoffgehalts beim Thomas- und Bessemer-Verfahren

Sowohl beim Bessemer- als auch beim Thomas-Verfahren wird der Kohlenstoffgehalt im Eisen stark herabgesetzt, bzw. beim Thomas-Verfahren vollständig beseitigt, da der Phosphor erst nach dem Kohlenstoff verbrennt. Das hierbei gewonnene Eisen ist technisch noch nicht verwendbar, da ein bestimmter Kohlenstoffgehalt unbedingt notwendig ist, um dem Stahl die notwendige Härte zu geben. Außerdem muß das beim Windfrischen zum Teil wieder entstandene Eisenoxyd beseitigt werden. Zwei Maßnahmen sind also notwendig, um die für Stahl erforderlichen Eigenschaften zu erzielen:

1. Erneute Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes (*Rückkohlung*)
2. Entfernung des entstandenen Eisenoxydes (*Desoxydation*)

Bei der Rückkohlung wird der zu stark herabgesetzte Kohlenstoffgehalt wieder auf die notwendige Höhe gebracht.

Bei der Desoxydation wird das durch das Durchblasen der Luft wiederum entstandene Eisenoxyd ($2 \text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{FeO}$) entfernt. Die Desoxydation ist notwendig, weil ein Eisenoxydgehalt den Stahl rotbrüchig macht.

Rückkohlung und Desoxydation erreicht man durch einen Zusatz von *Ferromangan*, einer Legierung aus 30 bis 85% Mangan, 5 bis 7,5% Kohlenstoff und Eisen. Das Ferromangan gibt Kohlenstoff an den Konverterinhalt ab; das Mangan aber verbindet sich mit dem Sauerstoff des Eisenoxyds. Das hierbei entstehende Manganoxyd (MnO) geht in die Schlacke über.

Nunmehr entspricht der Stahl den technischen Anforderungen. Der Konverter wird gekippt, und der abfließende Stahl wird in länglichen Behältern mit verschiedenen Querschnitten, den *Kokillen*, zu Blöcken gegossen. Der Stahl, der beim Bessemer-Verfahren gewonnen wird, heißt Bessemer- oder Flußstahl (wird im flüssigen Zustand gewonnen). Der im Thomas-Verfahren gewonnene Stahl wird als Thomas- oder Flußstahl bezeichnet. Er ist geschmeidig und gut schweißbar.

Flammofenfrischen

Erst in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde das Windfrischen im Konverter durch Henry Bessemer entwickelt. Zuvor stellte man Stahl im *Puddelofen* her (Abb. 60). Bei diesem als Flammofenfrischen bezeichneten Prozeß wird festes weißes Roheisen auf einem offenen Herd durch die heißen Abgase verbrennender Steinkohle geschmolzen. Dabei streichen Verbrennungsgase und Luft über das Schmelzbad und oxydieren oberflächlich die Beimengungen des Roheisens. Durch dauerndes Rühren oder Puddeln (engl. to puddle, umrühren) erreicht man, daß die schädlichen Bestandteile auch in den tieferen Schichten entfernt werden. Da bei diesem Verfahren ein Teil des im Eisen

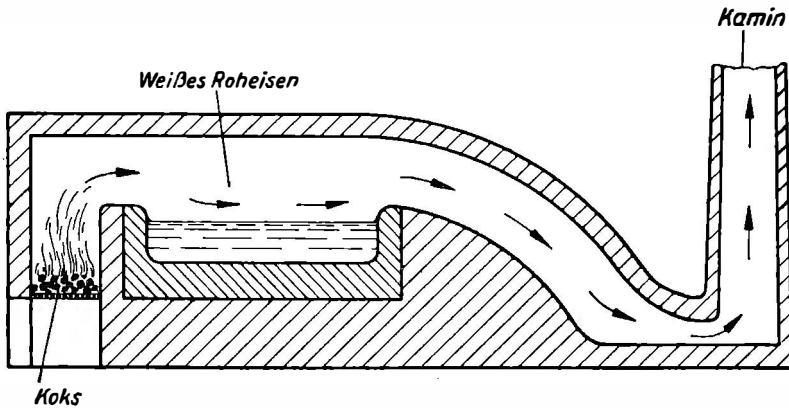


Abb. 60. Puddelofen in schematischer Darstellung.

Im Puddelverfahren wurde früher sämtlicher Stahl erzeugt.

enthaltenen Kohlenstoffs verbrennt, steigt der Schmelzpunkt des sich bildenden Stahles an. Infolgedessen reicht die Temperatur im Ofen im weiteren Verlauf des Prozesses nicht mehr aus, um den Stahl flüssig zu erhalten. Er ballt sich vielmehr zu teigigen Klumpen, den sog. Luppen, zusammen. Diese wendet man mehrmals um, damit sie möglichst gleichmäßig entkohlen. Danach werden sie unter dem Luppenhammer zu länglichen Paketen zusammengeschweißt. Deshalb wird der Puddelstahl auch *Paketstahl* genannt. Er ist sehr gut schweißbar.

Da das Puddeln ein langwieriger, mühsamer Arbeitsprozeß ist, wird das Flammofenfrischen heute nur noch in geringem Umfang für Sonderzwecke angewendet.

b) Stahlgewinnung im Siemens-Martin-Ofen

Modell oder Darstellung eines Siemens-Martin-Ofens

Verwertung von Alteisen

Der Weg vom Erz zum Stahl erfordert viele Arbeitsvorgänge. Da in allen Zweigen der Industrie laufend größere Mengen Alteisen oder *Schrott* anfallen, die der Wirtschaft unbedingt wieder zugeführt werden müssen, versuchte man bereits in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts, Schrott in möglichst wenig Arbeitsgängen zu Stahl umzuschmelzen. In Anbetracht dessen, daß zur Verflüssigung von Alteisen eine Temperatur von mindestens 1700°C erforderlich ist, mußte zunächst ein entsprechender Ofen entwickelt werden. Dieses Problem wurde von Friedrich Siemens gelöst, indem er einen Flammofen konstruierte, der mit vorgewärmtem Gas beheizt wird. Die beiden Franzosen Emile und Pierre Martin erschmolzen zum ersten Male in diesem Ofen Stahl. Das nach diesen drei Männern benannte Siemens-Martin-Verfahren deckt etwa 50% des deutschen Stahlbedarfs.

Der Siemens-Martin-Ofen

Das Wesentliche am Siemens-Martin-Ofen (Abb. 62) ist ein besonderes Feuerungsverfahren, das als *Regenerativfeuerung* (lat. *regenerare*, zurückgewinnen) bezeichnet wird. Dieser Name rührt daher, daß die heißen Abgase des Ofens wieder verwendet

werden. Bei dieser Art der Feuerung werden besonders hohe Temperaturen erzielt. Der Ofen hat vier *Vorwärmkammern (I—IV)*, die innen mit gitterartigem Mauerwerk versehen sind und zur Erwärmung der Heizgase und der zu ihrer Verbrennung notwendigen Luft dienen. Das Mauerwerk der Vorwärmkammern wird durch die heißen Abgase des Ofens angewärmt.

Im einzelnen werden die Vorwärmkammern folgendermaßen verwendet: Zuerst werden die Kammern *I* und *II* durch Abgase auf 1200°C erwärmt. Durch Kammer *I* leitet man dann Heizgas und durch Kammer *II* Luft. Heizgas und Luft werden dadurch auf 1200°C erwärmt, gehen in Leitungsschächte und treffen sich im Herdraum. Im Herdraum *B* nimmt die Herdplatte *A*, die aus Gußeisen oder Stahl und feuerfester Ausmauerung besteht, das Schmelzgut auf. Bei der nun im Herdraum einsetzenden Verbrennung entstehen Temperaturen von 1800 bis 2000°C , wodurch das Schmelzgut verflüssigt wird. Die im Herdraum bei der Verbrennung entstehenden Abgase werden in die Kammern *III* und *IV*

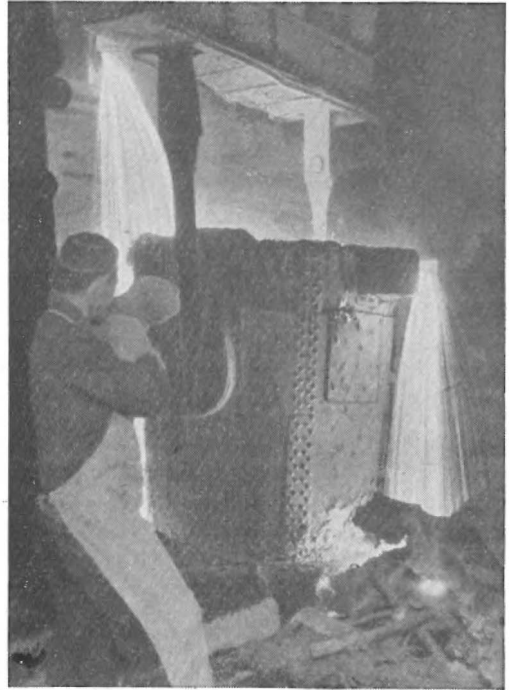
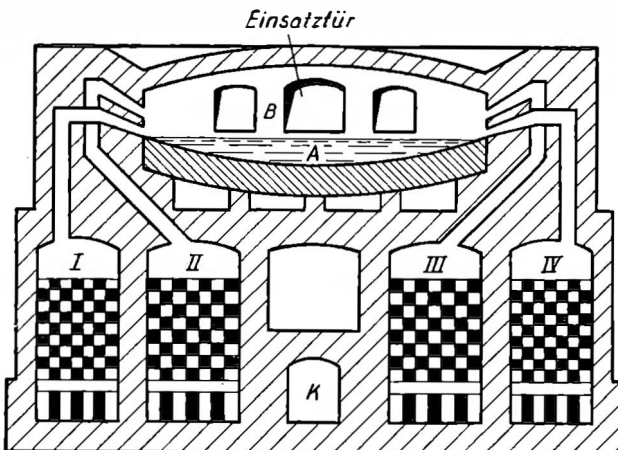


Abb. 61. Die letzte Phase des Abstichs am Siemens-Martin-Ofen im Stahlwerk Hennigsdorf.



weitergeleitet, die dadurch auf 1200°C vorgewärmt werden. Die unverbrennbaren Abgase leitet man dann durch einen Kamin *K* zum Schornstein. Nach etwa 30 Minuten wird das System umgeschaltet. Kammer *III* und *IV* sind nun heiß und dienen zum Vorwärmen von Luft und Heizgas. Kam-

Abb. 62. Siemens-Martin-Ofen in Schnittdarstellung.

Im Siemens-Martin-Ofen wird aus Schrott Stahl gewonnen.

mer *I* und *II* hingegen müssen jetzt durch Abgase wieder erwärmt werden, da ihre Temperatur gesunken ist.

Das Siemens-Martin-Verfahren (Schrottverfahren)

Der Siemens-Martin-Ofen wird mit ungefähr 25% Roheisen, 75% Schrott und einem Zuschlag von Kalk beschickt. Der Ofen faßt bis zu 100 t Einsatzmaterial. Der Kalk fördert die Schlackenbildung. Als Feuerungsmaterial wird Generatorgas und Kokereigas, gegebenenfalls unter Zugabe von Gichtgas verwendet. Bei dem Schmelzprozeß verbrennen die Beimengungen des Roheisens, also Kohlenstoff, Schwefel, Phosphor, Mangan und Silizium.

Der zur Oxydation der schädlichen Roheisenbestandteile benötigte Sauerstoff wird einerseits der heißen Luft, andererseits dem Rost des Schrottes entnommen.

Wie beim Bessemer- und Thomas-Verfahren sinkt auch beim Siemens-Martin-Verfahren der Kohlenstoffgehalt der Schmelze. Da auch hier durch die Einwirkung der heißen Luft etwas Eisenoxyd entsteht, muß durch einen Zusatz von Ferromangan für die Rückkohlung und für die Desoxydation des Eisens gesorgt werden. Ist dieser Vorgang beendet, so wird der flüssige Stahl an der tiefsten Stelle des Herdes abgestochen und in Kokillen gegossen (s. Abb. 61). Das gewonnene Produkt heißt SM-(Siemens-Martin-) oder Flußstahl.

Ein Ofengang dauert etwa 4 bis 6 Stunden. Durch die Dauer des Prozesses ist der Stahl besser gereinigt als beim Bessemer- oder Thomas-Verfahren.

In Gebieten, wo wenig Schrott und viel Roheisen zur Verfügung steht, kann man auch ein Gemisch von sauerstoffhaltigem Eisenerz, Roheisen und Schrott im Siemens-Martin-Ofen frischen. Diesen Prozeß nennt man im Gegensatz zum Schrottverfahren das *Roheisenerzverfahren*. Das Erzeugnis dieses Verfahrens trägt ebenfalls die Bezeichnung SM-Stahl.

Die Weiterverarbeitung des Stahles

Nachdem der gewonnene Stahl in Blöcke gegossen worden ist, werden die Blöcke noch einmal bis zur Hellrotglut erwärmt. Dann werden sie gewalzt und nach dem Walzen zum Teil gezogen.

So erhält man Profilstähle, wie Rund-, Vierkant-, Quadrat-, Flach-, Winkel-, U- und T-Stahl, ferner Schienen, Träger, Bleche, Rohre und Drähte. Alle diese Erzeugnisse verarbeitet dann der Metallarbeiter in den Werkstätten zu Stahlbaukonstruktionen, Maschinen, Kesselanlagen usw.

Die Stahlproduktion im Fünfjahrplan

Der Aufbau unserer Deutschen Demokratischen Republik erfordert große Mengen von Stahl. Aus diesem Grunde wird auch die Zahl der Siemens-Martin-Öfen in der volkseigenen Industrie stetig durch Neubauten erhöht. Durch eine enge Zusammenarbeit von Thomas- und Siemens-Martin-Stahlwerkern soll die Blockstahlproduktion bis 1955 auf mehr als das 3fache des Jahres 1950 gesteigert werden.

Auch das kleinste Stück Abfallstahl muß gesammelt werden, damit es im Siemens-Martin-Ofen eingeschmolzen und als neuer SM-Stahl der Wirtschaft wieder zugeführt werden kann.

e) Herstellung von Edelstählen

Modelle oder Anschauungstafeln des Tiegel- und Elektroofens

Zweck der Stahlveredelung

Trotz der verschiedenen Arbeitsgänge bei der Stahlgewinnung enthält der fertige Stahl immer noch unerwünschte Beimengungen, vor allem geringe Mengen von Schwefel und Phosphor sowie eingeschlossene *Gas-* und *Schlackenteilchen*. Im allgemeinen sind solche Beimengungen für viele Verwertungszwecke nicht störend, jedoch werden in der Praxis oft auch Stahlsorten von besonderer Reinheit gebraucht. In diesem Falle muß der Stahl durch *Umschmelzen* weiter verbessert werden. Dabei darf die Schmelze nicht durch die Brennstoffe verunreinigt werden. Die Stahlveredelung wird im *Tiegelofen* und im *Elektroofen* durchgeführt.

Neben den Umschmelzverfahren, die zur Veredelung des Stahles dienen, kann der Stahl auch noch durch besondere Legierungszusätze veredelt werden.

Stahlveredelung im Tiegelofen

Der Tiegelofen (s. Abb. 63) ähnelt im Aufbau dem Siemens-Martin-Ofen und wird — wie dieser — durch Regenerativ-Feuerung mit Gas beheizt. Auf der ebenen Herdplatte stehen 30 bis 100 Tiegel aus feuerfestem Ton mit Koks- oder *Graphitzusatz*. Graphit ist reiner Kohlenstoff (s. S. 51). Die Tiegel werden mit Deckeln verschlossen. Beim Tiegelverfahren werden die Tiegel mit festem oder flüssigem Siemens-Martin-Stahl oder Bessemer-Stahl gefüllt. Bei einer Temperatur von über 1600°C schmilzt der Inhalt, bzw. bleibt er flüssig. Die eingeschlossene Luft im Tiegel oxydiert einen Teil des im Stahl enthaltenen Kohlenstoffs. Dieser unerwünschte Kohlenstoffverlust wird jedoch durch erneute Kohlenstoffaufnahme aus der Tiegelwandung ausgeglichen. Eingeschlossene Schlacken- und Gasteilchen werden aus der Schmelze ausgetrieben und bilden auf ihr eine dünne Schlackendecke. Nach 4 bis 6 Stunden ist das Umschmelzen beendet, und der Inhalt der Tiegel wird gegossen.

Tiegelstahl ist rein und besitzt eine größere Festigkeit als nicht veredelter Stahl. — Bei dem Tiegelverfahren werden Schwefel und Phosphor jedoch nicht entfernt, da zur Oxydation dieser Stoffe die Temperatur nicht

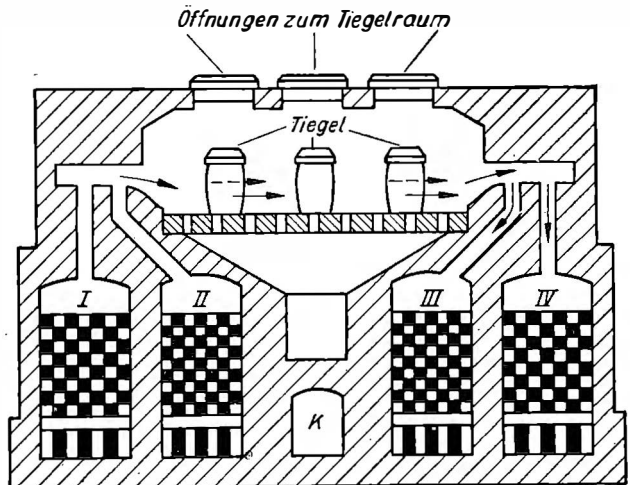


Abb. 63. Tiegelofen in Schnittdarstellung. Der Tiegelofen ist ein älterer Ofentyp zur Herstellung von Edelstahl.

ausreicht. Das Ausgangsmaterial muß daher schon fast frei von Schwefel und Phosphor sein.

Thomas-Stahl z. B. kann wegen seines höheren Phosphorgehaltes im Tiegelverfahren nicht verwendet werden. — Früher bezeichnete man den Tiegelstahl als *Gußstahl*.

Stahlveredelung im Elektro-Ofen

Im Gegensatz zum Tiegelverfahren wird beim Elektroverfahren der noch vorhandene Phosphor- und Schwefelgehalt weiter gesenkt. Deshalb kann beim Elektroofen (s. Abb. 64) auch Thomas-Stahl als Einsatzmaterial verwendet werden.

Zwischen den Elektroden (Stromzuführungen) und dem zu schmelzenden Stahl entsteht beim Einschalten des elektrischen Stromes ein *Lichtbogen* mit einer Temperatur von rund 3000°C (s. Abb. 65). Durch

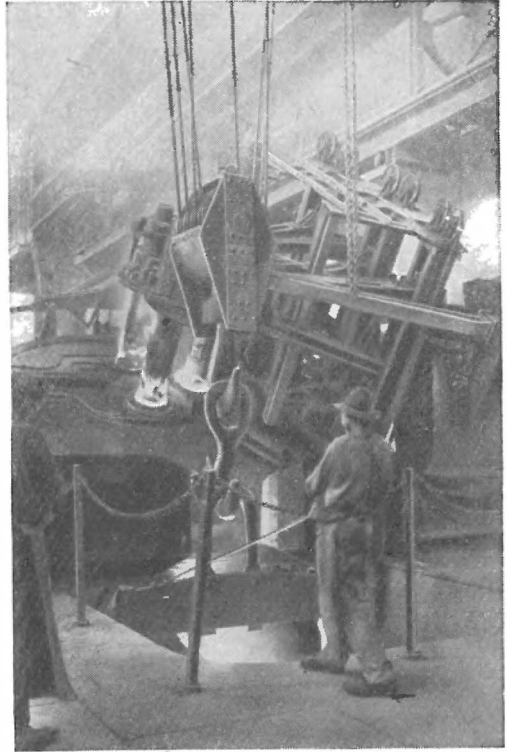


Abb. 64. Elektroofen in Tätigkeit. Die drei glühenden Elektroden sind gut erkennbar.

Kohleelektroden

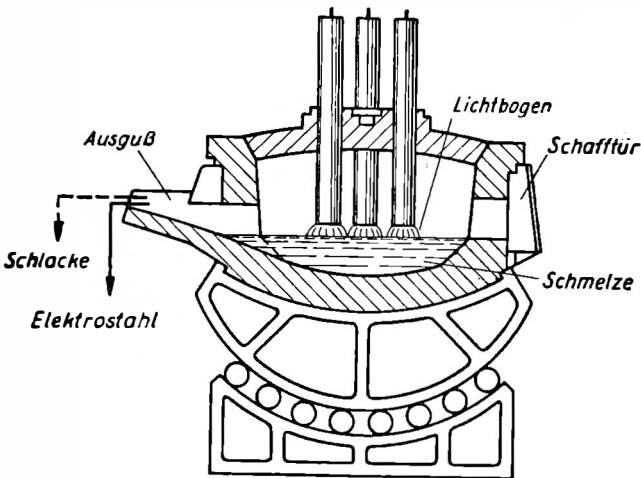


Abb. 65. Elektroofen in Schnittdarstellung. Im Elektroofen gewinnt man hochleistungsfähigen Edelstahl.

die starke Entwicklung von Elektrowärme wird der Stahl flüssig. Zu dem Schmelzbad aus Windfrisch- bzw. Siemens-Martin-Stahl gibt man sauerstoffhaltiges Eisenerz und Kalk hinzu. Das Erz soll durch seinen Sauerstoffgehalt den Phosphor oxydieren; der Kalk soll das sich bildende Phosphor-pentoxyd in der entstehenden Schlacke binden. Durch diesen Oxydationsvorgang wird auch der Schwefelgehalt des Stahles herabgesetzt.

Nachdem die Schlacke durch Kippen des Ofens abgossen

ist, wird der Elektro-
stahl mit Ferroman-
gan rückgekohlt und
desoxydiert, da auch
bei diesem Verfahren
der Gehalt an Koh-
lenstoff gesunken und
etwas Eisenoxyd
(FeO) entstanden ist.
Dann erfolgt je nach
Bedarf noch die Zu-
gabe anderer Metalle,
die die Eigenschaften
des Stahles weiter
verbessern. Der im
Elektroofen veredelte
Stahl wird *Elektro-
stahl* oder *Elektroedel-
stahl* genannt.

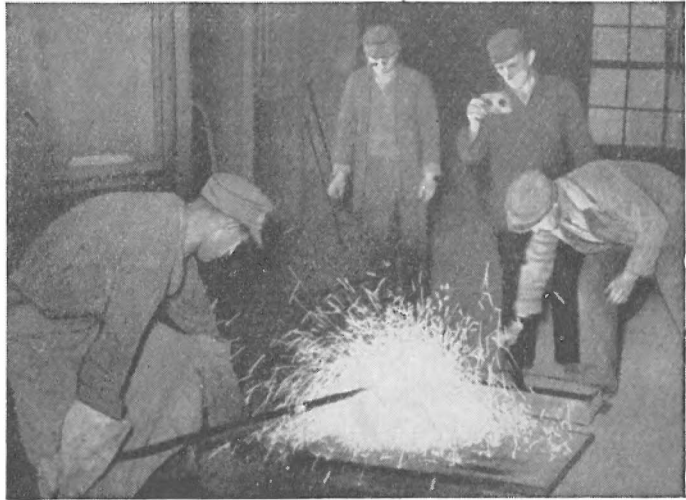


Abb. 66. Prüfung einer Gießprobe im Edelstahlwerk Döhlen.

Da Elektro Stahl noch weniger Schwefel und Phosphor als Tiegelstahl enthält, ist er qualitativ — besonders was die Festigkeit anbetrifft — dem Tiegelstahl überlegen.

Die Edeltahlerzeugung in der Deutschen Demokratischen Republik

Die von den Imperialisten herbeigeführte Spaltung Deutschlands und die damit verbundenen wirtschaftlichen Austauschschwierigkeiten machten sich in unserer Deutschen Demokratischen Republik durch einen empfindlichen Mangel an Edeltählen bemerkbar. Sämtliche großen Stahl-Veredlungs-Werke lagen ursprünglich im Westen Deutschlands. Das neuerbaute leistungsfähige *Edelstahlwerk Döhlen* (Abb. 66) stellt nunmehr die von uns benötigten Mengen von hochwertigem Elektroedelstahl her.

d) Einfluß der Legierungsbestandteile auf die Eigenschaften des Stahles

Proben der Legierungsbeimengungen

Gründe für das Legieren von Stahl

Verschiedene Industriezweige benötigen verschleißfeste Stähle von großer Härte und Zähigkeit, die widerstandsfähig gegen physikalische und chemische Einflüsse sind, große Hitze vertragen und eine geringe Dehnbarkeit aufweisen. Diesen Anforderungen ist der Kohlenstoffstahl nicht gewachsen. Infolgedessen muß er mit Metallen legiert werden, die die Eigenschaften des Stahles so verbessern, daß er den höchsten Ansprüchen genügt.

Je nach den gestellten Anforderungen werden ein oder mehrere Metalle im flüssigen Zustand dem flüssigen Stahl beigemischt. Die erkaltete Mischung heißt Legierung.

Die hauptsächlichsten Legierungsmetalle und ihre Einwirkung auf die Eigenschaften des Stahles

Silizium in Mengen bis etwa 2,5% steigert die Elastizität des Stahles derart, daß er zur Herstellung von Federstahl (Zug- und Druckfedern) geeignet ist. Stahl mit 14 bis 18% Silizium ist ausgesprochen säurefest.

Durch *Manganzusatz* bis zu 14% wird der Stahl in hohem Maße verschleißfest. Eisenbahnschienen, Dorne und Stahlflaschen enthalten deshalb Manganzusatz.

Gekupferte Stähle mit 0,2 bis 0,3% Kupferzusatz sind annähernd witterungsbeständig. Sie rosten bedeutend schwerer als Kohlenstoffstahl.

Nickel erhöht die Zähigkeit und steigert die Zug- und Druckfestigkeit. Nickelstahl ist laugen- und rostbeständig. Invarstahl enthält 36% Nickel, er dehnt sich bei Erwärmung fast nicht aus.

Stahl für Bohrer, Sägeblätter, Kugellager und Dauermagnete enthält *Chrom*, das die Härte des Stahles erhöht. Steigt der Chromgehalt über 13%, so ist der Stahl rostfrei, sehr hart und verschleißfest.

Zusätze von *Molybdän* verbessern die Schneidhaltigkeit des Stahles. Schneidwerkzeuge aus dieser Legierung werden nicht so leicht stumpf.

Schon geringe Zusätze von *Wolfram* steigern die Härte und Wärmebeständigkeit des Stahles in besonderem Maße. Deshalb werden Wolframstähle als Schneidwerkzeuge verwendet.

Durch Legieren mit *Kobalt* wird der Stahl fester und auch schneidhaltiger.

Setzt man dem Stahl *Vanadium* zu, so hält er großen Druck auch bei hoher Temperatur aus.

Verbesserungen der Eigenschaften des Stahles durch Legierungszusätze

Zusatzstoff	Welche Eigenschaften werden verbessert?				
	Festigkeit	Härte	Zähigkeit	Elastizität	Schneidhaltigkeit
Kohlenstoff	ja	ja	nein	ja	ja
Silizium	ja	ja	nein	ja	nein
Mangan	ja	ja	ja	ja	nein
Nickel	ja	ja	ja	nein	nein
Chrom	ja	ja	ja	ja	ja
Wolfram	ja	ja	ja	nein	ja
Vanadium	ja	ja	ja	ja	ja
Molybdän	ja	ja	ja	ja	ja
Kobalt	ja	nein	nein	nein	ja

Zur Beachtung: Diese Tabelle ist nur gültig, wenn der Stahl mit einem Zusatzmaterial legiert wird. Werden jedoch mehrere Stoffe beigelegt, so gelten die Tabellenangaben nur bedingt, da die Legierungszusätze sich auch untereinander beeinflussen.

Legierungsmetalle sind Sparmetalle!

Fast alle Legierungsmetalle für Stahl werden in den Bodenschätzen der Deutschen Demokratischen Republik nur in geringen Vorkommen und zum Teil auch gar nicht

gefunden. Deshalb muß der größte Teil der Stahlzusätze aus dem Ausland eingeführt werden. Um diesen Engpaß zu überwinden, wurde wieder mit dem Abbau von Fundstätten begonnen, die in den Jahren vor 1945 stillgelegt wurden, weil sie vom kapitalistischen Standpunkt gesehen nicht den erwarteten Profit abwarfen. Obgleich die Förderung an diesen Fundstätten wieder aufgenommen wurde, können auch diese Vorkommen den großen Bedarf unserer Industrie nicht decken. Da die Einfuhr von Stahlsätzen möglichst eingeschränkt werden muß, sollen legierte Stähle nur dort verwendet werden, wo die Verwendung anderer Stoffe ausgeschlossen ist.

e) Zusammensetzung und Eigenschaften der wichtigsten Bau- und Werkzeugstähle

Begriffsklärung und Unterteilung des Stahles

Die Erzeugnisse der vorgenannten Verfahren (Bessemer-, Thomas-, Puddel-, Siemens-Martin-, Tiegel- und Elektroverfahren) werden als Stahl bezeichnet.

Stahl ist alles ohne Nachbehandlung schmiedbare Eisen. Er enthält weniger als 1,7% Kohlenstoff.

Stahl kann man schmieden, walzen, pressen, ziehen, biegen und schweißen. Enthält der Stahl außer dem Kohlenstoff keine wesentlichen Mengen anderer Beimengungen, so wird er *Kohlenstoffstahl* genannt. Sein Schmelzpunkt liegt je nach dem Kohlenstoffgehalt zwischen 1400 und 1500° C. Mit steigendem Gehalt an Kohlenstoff erhöht sich sowohl die Zugfestigkeit als auch die Härte und die Sprödigkeit des Stahles, während die Dehnbarkeit sinkt. Die Wichte des Stahles beträgt 7,85 p/cm³.

Während man früher einen Unterschied machte zwischen *Schmiedeeisen* (bis 0,5% C) und *Stahl* (0,6 bis 1,6% C), wird heute alles schmiedbare Eisen als Stahl bezeichnet. Man unterteilt lediglich in *nicht härtbaren Stahl* und *härtbaren Stahl*.

Nicht härtbarer Stahl

Der nicht härtbare Stahl, auch Baustahl genannt, enthält 0,03 bis 0,5% Kohlenstoff. Sowohl zäh als auch dehnbar, wird er als Werkstoff im Maschinen- und Konstruktionsbau benutzt. Baustahl ist nicht härtbar infolge seines niedrigen Kohlenstoffgehaltes. Man unterteilt den Baustahl in mehrere Sorten, von denen die folgenden in der Werkstatt sehr häufig verwendet werden:

St 34 mit einem Kohlenstoffgehalt von ungefähr 0,12% besitzt eine Mindestzugfestigkeit von 34 kp/mm². Er kann *im Feuer geschweißt* werden und ist leicht zu bearbeiten. Da im *St 37* mehr Kohlenstoff (0,15%) enthalten ist, ist seine Zugfestigkeit mit mehr als 37 kp/mm² größer als die von *St 34*. Er besitzt aber eine geringere Dehnbarkeit als *St 34*. Der normale Thomas- oder Siemens-Martin-Stahl entspricht dem *St 37*. Bis über 0,35% steigt der Kohlenstoffanteil im *St 50*. Während dabei die Dehnungsfähigkeit weiter abnimmt, steigt die garantierte Zugfestigkeit auf über 50 kp/mm². Dieser Stahl ist schwer feuerschweißbar und findet für Maschinenteile mit höherer Beanspruchung Verwendung.

Unterliegt der Baustahl besonderen Beanspruchungen, so wird er mit *Zusätzen von Chrom, Nickel und Molybdän* legiert.

Chrom-Nickel-Stahl wird oft angewendet. Seine hohe Zähigkeit und Festigkeit ermöglichen große Belastungen und machen ihn zum geeigneten Baustoff für stark beanspruchte Konstruktionsteile.

VCN 15 z. B. ist ein Vergütungs-Chrom-Nickel-Stahl, der neben 0,3% Kohlenstoff 1,5% Nickel, 0,5% Chrom und etwas Mangan und Silizium enthält. Er wird für Werkstücke mit hohen mechanischen Belastungen verwendet.

Härtbarer Stahl

Der härtbare Stahl heißt auch *Werkzeugstahl*. Sein Kohlenstoffgehalt beträgt 0,6 bis 1,6%. Daher ist Werkzeugstahl weit weniger dehnbar als Baustahl. Wie schon der Name sagt, dient der Werkzeugstahl hauptsächlich zur Anfertigung von Werkzeugen, die meist aus Stahl mit 0,9% Kohlenstoff hergestellt werden.

Für grobe Werkzeuge findet *St 70* Verwendung. Er enthält 0,6% Kohlenstoff und ist naturhart. Man stellt Walzen, Dorne und Gesenke aus diesem Stahl her.

Dreh- und Hobelstähle, Bohrer, Fräser und andere Schneidwerkzeuge werden aus *Schnellschnittstahl (SS-Stahl)* angefertigt. Er enthält neben dem Kohlenstoff auch Chrom, Wolfram, Molybdän, Vanadium, Mangan und Silizium. Schnellschnittstahl ist sehr schneidhaltig und verliert diese Eigenschaft erst bei einer Erwärmung auf 700° C. Da er außerdem noch sehr verschleißfest ist, übertrifft er die Leistungsfähigkeit des gehärteten Kohlenstoff-Stahles um das 10- bis 15fache.

Im *Kobaltstahl* sind ungefähr die gleichen Arten und Mengen an Legierungsbestandteilen beigemischt wie beim Schnellschnittstahl. Durch eine weitere Zugabe von annähernd 3% Kobalt wird eine Leistungsfähigkeit erreicht, die größer ist als die des SS-Stahles.

Aufgaben:

1. Begründe, weshalb beim Windfrischen der entstehende Stahl flüssig bleibt, obgleich man kalte Luft durchbläst!
2. Erläutere den Unterschied zwischen der Bessemer- und Thomas-Birne!
3. Erkläre, wieso es möglich ist, in der Thomas-Birne Phosphor aus Roheisen zu entfernen!
4. Was versteht man unter der Regenerativfeuerung im Siemens-Martin-Ofen?
5. Nenne die Stoffe, die den zur Oxydation der Beimengungen des Roheisens notwendigen Sauerstoff beim Siemens-Martin-Prozeß liefern!
6. Warum kann phosphorhaltiges Eisen nicht im Tiegel-Verfahren verarbeitet werden?
7. Durch welche Stoffe wird beim Elektroverfahren der Phosphor aus dem Stahl entfernt?
8. Begründe, weshalb das Elektro-Verfahren dem Tiegel-Verfahren vorgezogen wird!
9. Warum wird Stahl mit anderen Metallen legiert?
10. Nenne einige Legierungsmetalle und ihren Einfluß auf die Eigenschaften des Stahles!
11. Warum soll man Zusatzmetalle nur sparsam verwenden?
12. Welche Eisensorten werden als Stahl bezeichnet?
13. Welchen Kohlenstoffgehalt (in Prozenten) hat härtbarer Stahl?
14. Erläutere den Einfluß des Kohlenstoffs auf Zugfestigkeit, Härte, Sprödigkeit und Dehnbarkeit des Stahles!

12. Gußeisen

Unter Gußeisen versteht man Eisensorten, deren Formgebung im wesentlichen durch den Gießereiprozeß erfolgt. Gußeisen läßt sich nicht schmieden, wohl aber durch spanabhebende Verformung bearbeiten. Für Gußeisen wird das im Hochofen gewonnene graue Roheisen verwendet. Man unterscheidet verschiedene Gußeisensorten, die nach verschiedenen Herstellungsverfahren gewonnen werden.

a) Grauguß und Hartguß

Modell oder Anschauungstafel eines Kupolofens

Zweck des Gießens

Räder, Gehäuse, Bohrmaschinen-gestelle, Drehbankbetten und andere kompliziert geformte Maschinenteile können nicht im kalten Zustand aus dem vollen Material herausgearbeitet werden (s. Abb. 67).

Sie werden gegossen. Dazu verwendet man Gußformen, deren Hohlraum den anzufertigenden Teilen entspricht. Je nach Bedarf werden die Gußstücke noch bearbeitet.

Kupolofen-Grauguß

Der Ofen zur Erzeugung des Gießmaterials heißt *Gießereischacht-, Kupol- oder Kuppelofen*.

Dieser Name stammt von den ersten Öfen, die zur Gewinnung des Gußeisens verwendet wurden und mit einem kuppelförmigen Rauchfang zur Ableitung der Verbrennungsgase versehen waren.

Der Gießereischachtofen (Abb. 68) wird mit Roheisen und Gußbruch beschickt. Beim Umschmelzen soll zugleich der im grauen Roheisen vorhandene Gehalt an Kohlenstoff, Silizium, Mangan und Schwefel vermindert werden. Zur Erzeugung der notwendigen Wärme wird Koks verwendet, der im Gegensatz zum Hochofenprozeß beim Umschmelzen nur die hierfür erforderlichen Temperaturen liefern soll.

Das graue Roheisen (in Form von zerkleinerten Masseln) und Gußbruch wird mit einem Zuschlag von Kalk und gleichzeitig mit Koks durch die Tür *A* in den Ofenraum *B* gefüllt (s. Abb. 68). Durch die Ringwindleitung *C* wird Luft in die Düsen *D* gedrückt, die die Verbrennung des Kokses unterstützt. Das Umschmelzen beginnt. Sand und andere Beimengungen, die dem Roh- und Alteisen anhaften oder darin enthalten sind, und auch die Asche des Kokses werden wie beim Hochofenprozeß



Abb. 67. Unsere Maschinen bestehen zum großen Teil aus Grau- und Stahlguß.

durch den Kalk in eine dünnflüssige Schlacke verwandelt. Der flüssige Grauguß verläßt den Kupolofen durch die Öffnung *F* und sammelt sich im Vorherd *G*. Dort wird das Gußeisen entschwefelt (s. nächster Absatz) und schließlich bei *H* abgestochen (s. Abb. 69). Die Schlacke wird durch den Abstich *E* entfernt.

Der flüssige Grauguß wird in vorbereitete Sandformen gegossen.

Chemische Vorgänge im Kupolofen

Ein Teil des Mangans, des Siliziums und auch ein Teil des Eisens werden beim Schmelzen durch die eingeblasene Luft oxydiert. Das entstehende Eisenoxyd (FeO) muß, wie bei der Stahlgewinnung, durch eine Ferrolegierung (z. B. Ferromangan) entfernt werden (s. S. 113).

Der Schwefelgehalt des Eisens kann im Kupolofen selbst nicht gesenkt werden; der Schwefelgehalt wird im Gegenteil durch weitere Schwefelaufnahme aus dem Koks noch erhöht.

Man versucht deshalb, den größten Teil dieser schädlichen Beimengung im Vorherd *G* durch *Entschweflungsmittel* zu binden.

Als *Entschweflungsmittel* dient *Soda* (Natriumkarbonat, Na_2CO_3).

Abb. 68. Aufbau des Kupolofens. Im Kupolofen wird Gußeisen erzeugt.

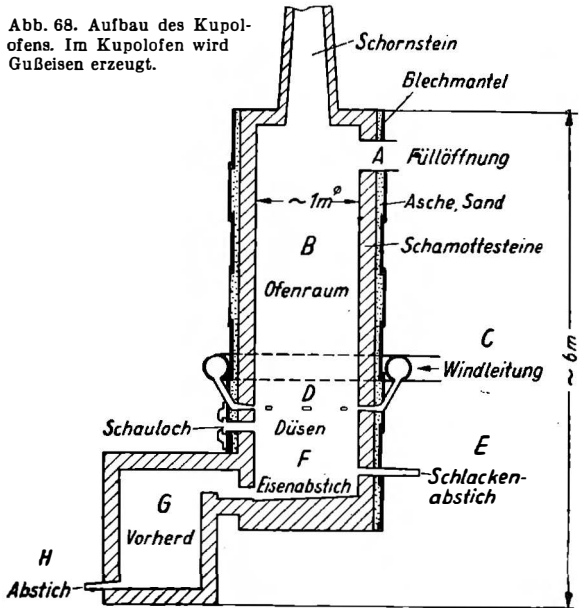


Abb. 69. Der Brigadeleiter und Aktivist der Gießerei der Halle-Saale-Werke, Hermann Stern, beim Aufstich des Schlackenabflusses aus einem Kupolofen seiner Abteilung. Kollege Stern lieferte einen persönlichen Beitrag zur Übererfüllung des Fünfjahrplanes und damit zur Förderung des Aufbaus des Sozialismus, indem er das Futter der Ofen seiner Abteilung verbesserte und damit deren Leistung steigerte.

Ein gewisser Gehalt an Phosphor ist teilweise erwünscht, da phosphorhaltiges Roheisen einen dünnflüssigen Grauguß ergibt, der zum Gießen dünnwandiger Werkstücke besonders geeignet ist. Wenn erforderlich, wird der Phosphorgehalt des Eisens durch Zugabe von *Ferrophosphor* sogar noch erhöht. Phosphorhaltiger Grauguß hält jedoch größere Belastungen nicht aus. Soll das zukünftige Gußeisenwerkstück hohen Beanspruchungen unterworfen werden, muß phosphorarmes Roheisen als Ausgangsmaterial verwendet werden.

Beim Umschmelzen ist der Kohlenstoff vollständig im Eisen gelöst.

Bei langsamer Abkühlung scheidet sich der gelöste Kohlenstoff bis zu 90% als Graphit aus. Dieser Vorgang wird durch Silizium begünstigt.

Infolge der Ausscheidung von Graphit verbleibt im Eisen nur wenig Eisenkarbid. Dadurch wird sowohl die Härte als auch die Festigkeit des Gusses herabgesetzt und das Gefüge des Eisens gelockert.

Grauguß wird für Maschinen und Teile verwendet, die verhältnismäßig geringerer Beanspruchung ausgesetzt sind, wie z. B. *landwirtschaftliche Maschinen, Radnaben, Schaken, Maschinengehäuse*.

Hartguß

Da sich der Kohlenstoff bei langsamer Abkühlung als Graphit ausscheidet, wird der Guß weich (wie schon oben erwähnt). Soll jedoch Gußeisen eine größere Härte besitzen, muß ein höherer Eisenkarbidanteil als bei Grauguß erzielt werden. Eisenkarbid macht das Eisen hart (vgl. S. 107).

Durch schnelles Abkühlen wird die Graphitausscheidung verringert und somit der Gehalt an Eisenkarbid erhöht.

Auch durch Zugabe von Mangan wird die Bildung von Eisenkarbid gefördert. Vor allem aber ist eine schnelle Abkühlung notwendig. Diese erreicht man in der Gießerei durch folgende Maßnahmen:

1. Aufdecken der Gießformen nach Durchführung des Gusses,
2. Herstellung von Gießformen, die ganz oder teilweise aus Metall bestehen.

Mit Hilfe dieser Maßnahmen wird Hartguß erzielt. Die äußeren Schichten des Hartgusses, in denen infolge der schnellen Ableitung von Wärme viel Eisenkarbid enthalten ist, sehen im Bruch weiß aus. Der übrige Teil des Gußstücks und vor allem der Kern des Werkstücks jedoch entsprechen in ihrer Zusammensetzung dem Grauguß, da sich in diesen Teilen viel Graphit abscheiden kann.

Aus Hartguß bestehen höher beanspruchte Maschinenteile, wie z. B. Pumpenkolben, Kranlaufräder, Eisenbahnräder u. a.

b) Stahlguß

Ein durch Gießen gewonnenes Material, das fast die gleichen hochwertigen Eigenschaften wie Stahl besitzt, wird Stahlguß genannt. Stahlguß wird nach folgenden beiden Verfahren gewonnen:

1. Bei der Stahlherstellung wird das aus dem Hochofen gewonnene weiße Roheisen im Konverter gefrischt (s. S. 110). Zur Gewinnung von Stahlguß gießt man den gewonnenen Stahl nicht in Kokillen, sondern in Formen.
Dieses Verfahren wendet man in Gießereien an, die unmittelbar einem Stahlwerk angeschlossen sind. Auch SM- und Elektro-Stahl kann direkt in Formen vergossen werden.
2. Etwas umständlicher ist folgendes Verfahren:
Der Gießereischachtofen wird mit weißen Roheisenmasseln beschickt. Nach dem Schmelzprozeß wird das flüssige Produkt gefrischt. Das Frischen des geschmolzenen Eisens geschieht in Öfen und Birnen, die zwar etwas kleiner, aber im übrigen genau so gebaut sind, wie die bei der Stahlgewinnung hierfür verwendeten Einrichtungen.

Bei diesen Verfahren zur Herstellung von Stahlguß kann z. B. eine *Klein-Bessemer-Birne* verwendet werden.

Stahlguß hat fast die gleichen Eigenschaften wie gewalzter Stahl.

Aus Stahlguß werden hoch beanspruchte Teile hergestellt, wie z. B. Kolben, Zahnräder, Ketten, Anker.

c) Temperverfahren

Außer Grau- und Stahlguß gibt es noch ein weiteres Verfahren der Gußeisenherstellung. Dieses Verfahren wird als *Temperverfahren* bezeichnet. Die Erzeugnisse des Temperverfahrens werden *Temperguß* genannt.

Das im Gießereischachtofen ohne weitere Maßnahmen umgeschmolzene und in Formen gegossene weiße Roheisen ist hart und spröde, weil der darin enthaltene Kohlenstoff als Eisenkarbid gebunden ist. Solche Gußstücke sind größeren Belastungen durch Druck und Stoß nicht gewachsen. Um die Widerstandsfähigkeit der Gußstücke zu erhöhen, muß der Gehalt an Eisenkarbid herabgesetzt werden. Dies kann entweder geschehen durch teilweise Oxydation des Kohlenstoffes oder durch Ausscheidung von Kohlenstoff. Dieser Arbeitsvorgang wird als *Tempern* bezeichnet und im *Temperofen* durchgeführt.

Das Tempern erfolgt durch Glühen der fertigen Gußstücke mit sauerstoffabgebenden Mitteln (z. B. Roteisenstein) oder Sand.

Während aus Stahlguß beliebig große Werkstücke angefertigt werden können, ist der Temperguß nur für kleine Werkstücke mit geringer Wandstärke geeignet.

Weißer Temperguß

Gußstücke aus weißem Roheisen werden mit Roteisenstein (Fe_2O_3) umgeben und in *Tempertöpfe* eingepackt. Die Tempertöpfe werden durch Deckel verschlossen und in den Temperofen gestellt. Vom Rost steigen Feuerungsgase auf, die die Tempertöpfe und deren Inhalt auf 900°C erwärmen. Die Gußteile werden dadurch bis zum Glühen erhitzt. Die Glühdauer beträgt 3 bis 5 Tage. Beim Glühen der Gußstücke verbindet

sich der Sauerstoff des Roteisensteins mit einem Teil des in den Gußstücken in der Form von Eisenkarbid enthaltenen Kohlenstoffes zu Kohlenmonoxyd (CO).

Die Wandstärke der Gußstücke darf nicht mehr als 25 mm betragen, da sich der Kohlenstoff in tieferen Schichten nicht mit Sauerstoff umsetzt und infolgedessen dort nicht entfernt werden kann.

Nach dem Abkühlen der Tempertöpfe werden die Gußstücke ausgepackt. Die Bruchfläche dieser getemperten Gußstücke sieht weiß aus. Aus diesem Grunde heißt das derart getemperte Material *weißer Temperguß*.

Das genannte Temperverfahren ist vor allem in Deutschland gebräuchlich und wird deshalb auch *deutsches Verfahren* genannt.

Schwarzer Temperguß

Im Gegensatz zum deutschen Verfahren steht das sog. *amerikanische Verfahren*, mit dem *schwarzer Temperguß* hergestellt wird. Dabei werden die Gußstücke aus weißem Roheisen lediglich in Sand geglüht, also nicht mit sauerstoffabgebenden Mitteln (Roteisenstein) umgeben. Der Kohlenstoff wird somit nicht durch Oxydation gebunden, sondern er scheidet sich als *Temperkohle* aus. Temperkohle entsteht bei lange andauernder Erwärmung durch den Zerfall des Eisenkarbids und bildet im Eisen schwarze Knötchen. Die Bruchfläche der Werkstücke sieht daher schwarz aus.

Vorteile des Tempergusses

Werkstücke aus Temperguß haben fast stahlähnliche Eigenschaften und ermöglichen hohe Belastungen. Die Herstellung von Werkstücken aus Temperguß ist einfacher und billiger als die Herstellung aus Stahl.

Im Gegensatz zu Grauguß, der spröde ist und bei stoßartigen Belastungen bricht, kann Temperguß bei durchgehender guter Entkohlung sogar geschmiedet werden.

d) Kohlenstoffgehalt und Eigenschaften der Gußeisensorten

Proben der Gußeisensorten

Grauguß

Grauguß enthält rund 2,5 bis 3,8% Kohlenstoff. Durch langsame Abkühlung ist der Kohlenstoff im Grauguß zum größten Teil als Graphit ausgeschieden. Daher ist Grauguß weich. Als Folge des hohen Anteils an Kohlenstoff liegt der Schmelzpunkt bei 1100° C. Grauguß ist gut gießbar. Beim Abkühlen schwindet die Masse um etwa 1%. Im Bruch erkennt man ein grobes Gefüge, das grauschwarz und glanzlos aussieht. Infolge seines groben, mit Graphit durchsetzten Gefüges ist Grauguß spröde und hat nur geringe Festigkeit. Bei einer Mindestzugfestigkeit bis zu 26 kp/mm² ist der normale Grauguß wenig elastisch, nicht dehnbar und empfindlich gegen Schlag und Stoß.

Grauguß kann nicht geschmiedet, gebogen, gewalzt, gepreßt oder gezogen werden. Er ist nicht gut schweißbar, jedoch durch spanabhebende Verformung leicht zu bear-

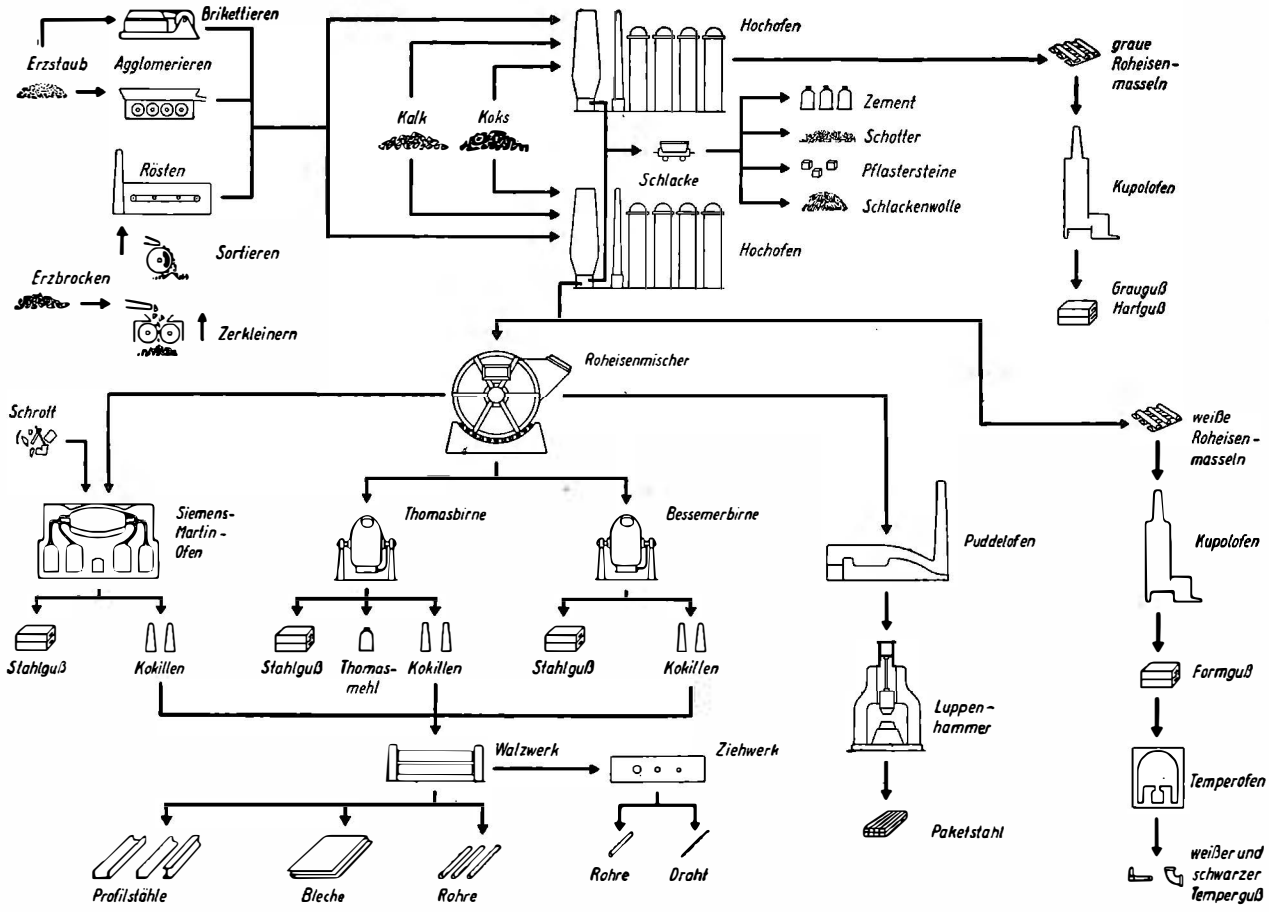


Abb. 70. Diese Tafel gibt einen Überblick über die gesamte Eisen- und Stahlgewinnung.

beiten. Wird Grauguß erwärmt, so geht er ohne vorherige Erweichung plötzlich von dem festen in den flüssigen Aggregatzustand über. Auf Grund des Graphitgehaltes ist Grauguß rostbeständiger als Stahl. Seine Wichte beträgt $7,25 \text{ p/cm}^3$.

Hartguß

Infolge der schnellen Abkühlung ist in der äußeren Schicht des Hartgusses viel Eisenkarbid enthalten. Aus diesem Grunde sind die äußeren „abgeschreckten“ Schichten glashart, während die tieferen Schichten und der Kern, die nur langsam erstarren können, weich bleiben. Der Kohlenstoffgehalt des Hartgusses ist genauso groß wie der des Graugusses.

Stahlguß

Da Stahlguß weit weniger Kohlenstoff als Grauguß enthält, liegt sein Schmelzpunkt (1300 bis 1450° C) höher als der Schmelzpunkt von Grauguß (1100° C). Das Längenschwindmaß von Stahlguß beträgt 2% und ist damit doppelt so groß wie das des Graugusses. Deshalb wird Stahlguß sofort nach dem Erstarren aus den Gießformen entfernt. Auftretende Materialspannungen beseitigt man durch Glühen.

Stahlguß hat die gleichen Eigenschaften wie Stahl. Stahlguß ist schmied- und schweißbar. Die Mindestzugfestigkeit beträgt bis zu 60 kp/mm².

Temperguß

Temperguß ist schmiedbar und gegen Rost widerstandsfähig. Weißer Temperguß enthält 0,3 bis 1% Kohlenstoff. Temperguß ist zäh, weich, biegsam und verdrehbar. Hochwertiger weißer Temperguß kann garantiert bis zu 40 kp/mm² auf Zug belastet werden.

Im schwarzen Temperguß sind 2,2 bis 2,9% Kohlenstoff enthalten. Er ist weniger hart als weißer Temperguß.

Aufgaben:

1. Welche Maßnahme ist notwendig, um bei der Herstellung von Grauguß den im Roheisen enthaltenen Schwefel zu beseitigen?
2. Wodurch kann man die Ausscheidung von Graphit bei Gußeisen teilweise verhindern?
3. Erläutere die Vorgänge beim Tempern und begründe die Anwendung dieses Verfahrens!
4. Warum ist Grauguß nicht schmiedbar?
5. Welche Maßnahme ist notwendig, um Spannungsvorgänge beim Stahlguß zu vermeiden?
6. Wieviel % Kohlenstoff enthält weißer Temperguß?

4. Ausbildungsabschnitt

10. bis 12. Monat · 6 Stunden

13. Chemische Vorgänge bei der Warmbehandlung der Stähle

Die Eigenschaften der Stähle können durch Warmbehandlung (Glühen, Härten, Anlassen) wesentlich verändert werden (Abb. 71). Der Facharbeiter, der mit diesen Arbeitsgängen einwandfreie Ergebnisse erzielen und zur Verbesserung unserer Arbeitsmethoden beitragen will, muß diese Vorgänge auch theoretisch beherrschen.

a) Kristallform und Gitteraufbau des Eisens

Kristalline Struktur

Bei der Abkühlung unter den Schmelzpunkt geht das Eisen vom flüssigen in den festen Aggregatzustand über. Bei dieser Zustandsveränderung bilden sich kleinste *Kristalle*. Den Vorgang der Erstarrung unter Kristallbildung bezeichnet man deshalb als *Kristallisation*. Sie ist das Kennzeichen für den Aufbaufastallerfesten Körper (Ausnahmen: Glas, Kunstharz). Ein Kristall besteht aus

kleinsten, unteilbaren Bausteinen, die geometrisch regelmäßig in ein *Raumgitter* eingeordnet sind. Die Raumgitter verschiedener Stoffe unterscheiden sich voneinander, so ist z. B. das des Schwefels anders als das von Kochsalz. Sogar ein und derselbe Stoff, wie z. B. Eisen, kann in verschiedenen Arten von Raumgittern kristallisieren. Bei ungestört gewachsenen Kristallen ist die geometrisch regelmäßige Anordnung an den ebenen Begrenzungsflächen und ihren Schnittwinkeln zu erkennen.

In einer erstarrenden Schmelze wird jedoch die regelmäßige Kristallisation dadurch gestört, daß die Kristalle von unzählig vielen Ausgangspunkten oder *Kristallisationskeimen* ausgehend wachsen. Die Kristalle wachsen allseitig nur so lange weiter, bis sie auf benachbarte Kristalle stoßen, die das weitere Wachstum behindern. Somit entstehen in der Schmelze unzählig viele winzige Kristalle, die regellos neben- und übereinander liegen. Die erstarrte Schmelze zeigt dann eine *kristalline Struktur*. Ein solches Gefüge liegt auch in einer erstarrten Eisenschmelze vor.

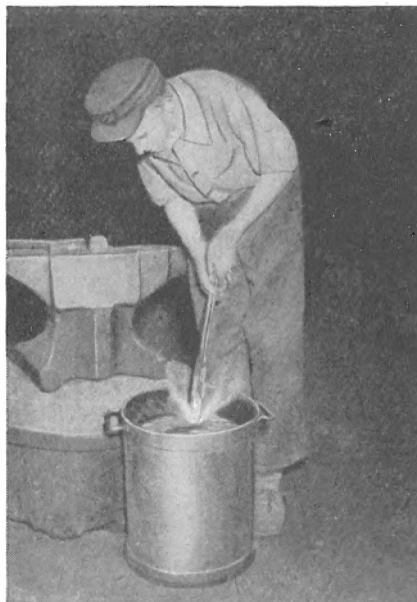


Abb. 71. Der Schmied härtet einen Meißel durch Eintauchen des glühenden Stahles in kaltes Wasser.

Da sich die Kristallisationskeime verschieden weit voneinander bilden und die einzelnen Kristalle mit verschiedener Geschwindigkeit wachsen, sind auch Größe und Form der einzelnen Kristalle sehr unterschiedlich. Die Größe eines Kristallkornes in der erstarrten Eisenschmelze ist unter anderem vom Druck, von der Temperatur und der Wachstumsdauer abhängig.

Kubisches Raumgitter

Wie bereits erwähnt, ist ein Kristall gekennzeichnet durch die geometrisch regelmäßige Anordnung der Atome bzw. Ionen. Beispielsweise können diese derart angeordnet sein, daß 8 von ihnen die Ecken eines Würfels bilden, der als *Gitterelement* oder *Elementarzelle* bezeichnet wird (Abb. 72).

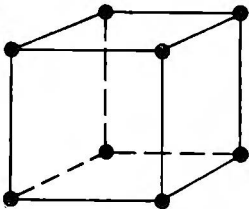


Abb. 72. Schematische Darstellung eines Gitterelementes, dessen 8 Ecken durch je ein Atom besetzt sind.

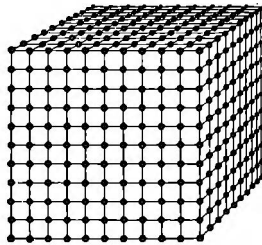


Abb. 73. Kubisches Raumgitter. Die Atome sind in den Ecken von Würfeln angeordnet. Aus Gründen einer besseren Übersicht wurden die Atome im Inneren des durchsichtigen Maschenwerkes nicht eingezeichnet.

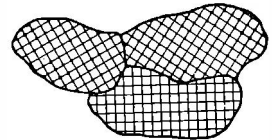


Abb. 74. Lage der Raumgitter in einzelnen Kristallen eines kristallinen Gefüges.

Durch Zusammenschluß vieler solcher würfelförmiger Gitterelemente entsteht ein *kubisches Raumgitter* (Abb. 73).

Bei kristalliner Struktur haben zwar alle Kristallkörner das gleiche (z. B. kubische) Raumgitter, jedoch liegen — entsprechend der regellosen Lage der einzelnen Kriställchen — die Kanten der Gitterelemente in dem einen Kristall anders als in dem benachbarten Kristall (Abb. 74).

Raumgitter des Eisens

Im Eisen sind bei Raumtemperatur die Atome in einem kubischen Raumgitter derart angeordnet, daß sich in jeder Ecke des würfelförmigen Gitterelementes und weiterhin noch im Zentrum des Würfels (d. h. im Schnittpunkt der 3 Raumdiagonalen des Würfels) je 1 Eisenatom befindet (Abb. 75). Ein solches Gitter wird als „*raumzentriertes kubisches Gitter*“ bezeichnet.

Die Darstellung des Gitterelementes gemäß Abb. 75 ist zwar anschaulich, berücksichtigt jedoch nicht das wirkliche Größenverhältnis von Würfelkante zu Atomdurchmesser. Eine maßstabgerechte Darstellung zeigt Abb. 76.

Eisen, dessen Atome in einem raumzentrierten kubischen Gitter angeordnet sind, heißt α -Eisen.

α -Eisen kristallisiert kubisch raumzentriert.

Ein einzelnes Gitterelement enthält 9 Eisenatome, von denen jedoch jedes der in den Würfel-ecken befindlichen nur zu einem Achtel gerechnet werden kann, so daß der tatsächliche Anteil 2 Eisenatome beträgt. Wird reines α -Eisen erwärmt, so tritt bei 906°C eine sprunghafte Änderung des Raumgitters auf. Das raumzentrierte Gitter wird derart umgebaut, daß nunmehr ein *flächenzentriertes kubisches Gitter* entsteht (Abb. 77, 78). Gleichzeitig wächst die Würfelkante um etwa 23%. Das einzelne Gitterelement dieses Gitters enthält 14 Eisenatome, von denen sich 8 in den Ecken des Würfels, 6 im Schnittpunkt der Diagonalen jeder Würfelfläche befinden. Der tatsächliche Anteil beträgt 8 achtel und 6 halbe Eisenatome, d. s. insgesamt 4 Eisenatome je Gitterelement.

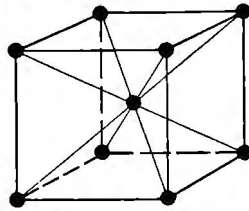


Abb. 75. Schematische Darstellung des Gitterelementes von α -Eisen (raumzentriertes Gitter)

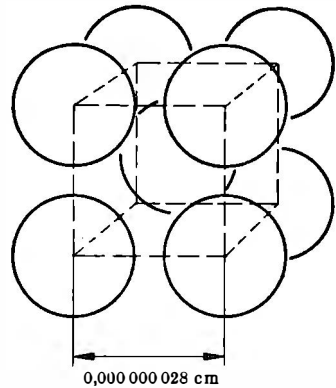


Abb. 76. Gitterelement von α -Eisen (raumzentriertes kubisches Gitter, maßstabgerecht)

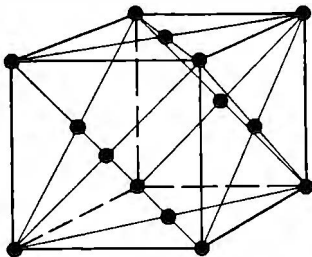


Abb. 77. Schematische Darstellung des Gitterelementes von γ -Eisen (flächenzentriertes Gitter)

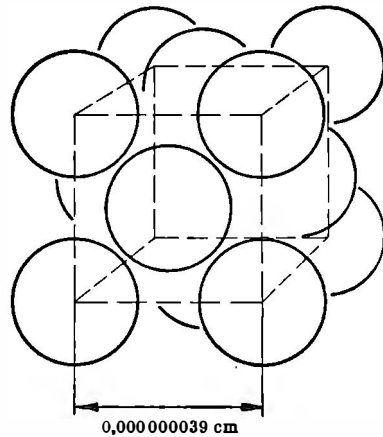


Abb. 78. Gitterelement von γ -Eisen (flächenzentriertes kubisches Gitter; maßstabgerecht)

Eisen, dessen Atome in einem flächenzentrierten kubischen Gitter angeordnet sind, wird γ -Eisen genannt.

γ -Eisen bildet sich aus reinem α -Eisen durch Erhitzung auf 906°C und kristallisiert kubisch flächenzentriert.

Bei Abkühlung verwandelt sich γ -Eisen wieder in α -Eisen.

Die Eigenschaften von α -Eisen und γ -Eisen sind wesentlich verschieden. α -Eisen ist spezifisch leichter als γ -Eisen. α -Eisen ist magnetisch, γ -Eisen je-

doch nicht. Im Gegensatz zum α -Eisen, das bei Raumtemperatur nur 0,006% Kohlenstoff zu lösen vermag, kann γ -Eisen erhebliche Mengen von Kohlenstoff lösen.

Der Qualitätsunterschied von reinem α -Eisen gegenüber γ -Eisen ist durch die Verschiedenheit des Raumgitters bedingt. Sprunghaft ändert sich die Qualität des Eisens, wenn das raumzentrierte Gitter in das flächenzentrierte Gitter „umklappt“. Ursache für den Qualitätsumschlag sind zahlenmäßige Veränderungen im Gitterelement (die Besetzungszahl des Gitterelementes stieg von 2 auf 4). Beim Studium von Naturerscheinungen kann immer wieder festgestellt werden, daß quantitative (mengenmäßige) Veränderungen die Ursache für eine sprunghafte Änderung der Qualität sind.

Das Raumgitter von Eisen und vielen anderen Werkstoffen wurde durch Untersuchung mit Röntgenstrahlen erforscht. Obwohl die Atome so winzig klein sind, daß sie selbst mit den leistungsfähigsten Mikroskopen nicht sichtbar zu machen sind, wurde durch Röntgenuntersuchungen die Existenz der Atomgitter nachgewiesen, und es konnten alle Einzelheiten dieser Atomgitter ergründet werden. Die Natur ist in allen ihren Einzelheiten erkennbar. In fortschreitendem Ausmaß schafft sich der Mensch die hierzu notwendigen Arbeitsmethoden, Geräte und Apparaturen.

b) Gefügebau des Stahles

Angeätzte Stahlschliffe — Mikroskop

Stahl enthält nicht nur reines Eisen, sondern vor allem noch Kohlenstoff und andere Beimengungen, die wesentlichen Einfluß auf die Eigenschaften des Stahles haben. Der im Stahl enthaltene Kohlenstoff ist meist als Eisenkarbid (Fe_3C) gebunden. Der Gehalt an Kohlenstoff ist ein ausschlaggebender Faktor für den Gefügebau des Stahls.

Stahl mit 0,9% Kohlenstoff

Zur Untersuchung des Gefügebbaus von Stahl wird eine Stahlfläche geschliffen und poliert und dann mit Säure angeätzt. Durch diese Vorbereitung kann der Gefügebau sichtbar gemacht werden. Betrachtet man die angeätzte Fläche unter dem Mikroskop (s. Abb. 79), so unterscheidet man deutlich helle und dunkle Stellen. Die hellen Stellen bestehen aus reinem α -Eisen oder *Ferrit*, die dunklen aus *Eisenkarbid* (Fe_3C) oder *Zementit*.

Wenn der Stahl 0,9% Kohlenstoff enthält, so erscheinen Ferrit und Zementit im mikroskopischen Bild in etwa gleicher Menge; das tatsächliche Volumverhältnis ist jedoch etwa 85 : 15. Man sieht dann auf einem weißen Untergrund von Ferrit dunkle Streifen von Zementit (Abb. 79). Eine solche Zusammensetzung bezeichnet man wegen ihres perlmuttartigen Glanzes und ihres schichtenförmigen Aufbaus als streifigen *Perlit*. Man spricht hier von dem Eutektoid Eisen-Kohlenstoff oder eutektoidem Stahl.

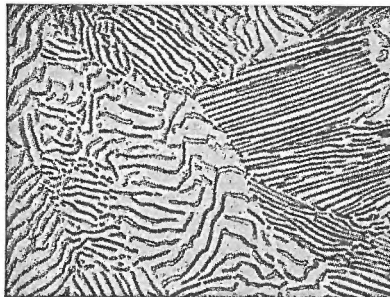


Abb. 79. Perlitgefüge eines Stahles. Weiße Ferritstreifen wechseln mit dunklen Zementitstreifen ab.

Stahl mit 0,9% Kohlenstoff besteht aus Perlit; das ist Ferrit und Zementit in gleichmäßiger Verteilung und festliegendem gegenseitigen Mengenverhältnis.

Stahl mit einem Kohlenstoffgehalt unter 0,9 %

Enthält der Stahl weniger als 0,9% Kohlenstoff, so kann er nicht durchgehend aus Perlit bestehen. Da weniger Kohlenstoff vorhanden ist, bildet sich auch weniger Eisenkarbid (Zementit). Infolgedessen ist reines Eisen (Ferrit) im Überschuß vorhanden. Je mehr der Kohlenstoffgehalt sinkt, desto größer wird der Anteil an Ferrit.

Betrachtet man den angeätzten Schliff eines solchen Stahles, so erkennt man große helle Flecken aus Ferrit neben dunkler gefärbten Perlitstellen (s. Abb. 80). Unlegierter Stahl mit weniger als 0,9% Kohlenstoff heißt untereutektoider Stahl.

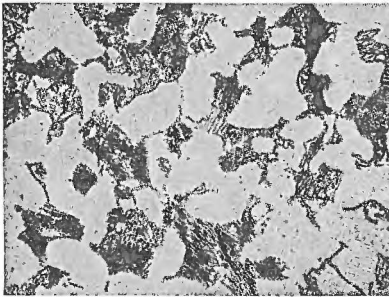


Abb. 80. Stahl mit weniger als 0,9% Kohlenstoff. Im weißen Ferrit dunkler gefärbter Perlit.

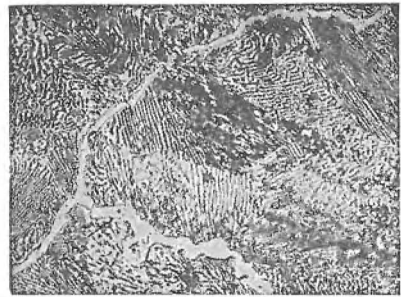


Abb. 81. Dieser Stahl enthält mehr als 0,9% Kohlenstoff. Den dunklen Perlit durchziehen breite weiße Zementitbänder.

Stahl mit mehr als 0,9 % Kohlenstoff

Steigt der Kohlenstoffgehalt des Stahls über 0,9%, so kann sich mehr Eisenkarbid bilden, da eine größere Menge Kohlenstoff zur Verfügung steht. Infolgedessen ist bei höherem Kohlenstoffgehalt der Anteil an Zementit größer. Man spricht von übereutektoidem Stahl.

Im angeätzten Schliff erscheinen bei fehlerhaft warm verarbeitetem Stahl mitunter weiße Zementitbänder auf dunklem Perlituntergrund (s. Abb. 81).

Zum Ätzen der Metalle benutzt man u. a. die verschiedensten Säuren, die z. T. mit anderen Zusätzen, z. B. Alkohol, gemischt sind. Dadurch kann man in gewissen Grenzen die Färbung des Gefügebildes beeinflussen. Dieses ist weiterhin auch von der Stärke der Vergrößerung, mit der die geätzte Fläche betrachtet wird, und von der Kristallgröße abhängig. Aus den angeführten Gründen kann derselbe Bestandteil im Schliff einmal hell und das andere Mal dunkel erscheinen (vgl. Zementit in Abb. 79 u. Abb. 81).

c) Gefügeänderungen im Stahl beim Erwärmen

Allgemeine Umwandlung

Beim Erhitzen von Stahl verändert sich sein Gefüge, weil durch das Erhitzen folgende Umsetzungen ausgelöst werden:

1. α -Eisen geht in γ -Eisen über, 2. Kohlenstoff geht in dem γ -Eisen in Lösung.

Infolgedessen ist im hochoverhitzten Stahl nur γ -Eisen und Kohlenstoff enthalten. Oben wurde bereits erwähnt, daß γ -Eisen die Fähigkeit besitzt, Kohlenstoff zu lösen. In dem heißen, aber noch festen Stahl nimmt das γ -Eisen den Kohlenstoff in Form einer festen Lösung in sich auf.

Die feste Lösung von Kohlenstoff in γ -Eisen heißt Austenit.

Umwandlung des Perlits

Am leichtesten setzt sich bei Erwärmung der Perlit um, der sich bei etwa 720°C in Austenit umwandelt. Ein Stahl mit 0,9% Kohlenstoff, der nur aus Perlit besteht, geht bei dieser Temperatur also in den Zustand der festen Lösung, d. h. in Austenit über.

Sind im Stahl neben Perlit noch weitere Mengen von Ferrit oder Zementit enthalten, so wandeln sich auch diese in Austenit um, wenn die Temperatur entsprechend gesteigert wird.

Je mehr Ferrit oder Zementit im Stahl enthalten ist, desto höher muß die Temperatur sein, um eine vollständige Umwandlung in Austenit herbeizuführen.

Umwandlung von Perlit + Ferrit

Stahl mit weniger als 0,9% Kohlenstoff (untereutektoider Stahl) besteht aus Perlit und Ferrit. Bei etwa 720°C wandelt sich nur der Perlit um, der Ferrit aber erst bei höherer Temperatur. In der Abb. 82 ist die Perlitumwandlung durch die Linie *PS* gekennzeichnet. Der überschüssige Ferrit geht jedoch noch nicht in Austenit über, er tritt neben dem Austenit auch über 720° in dem Dreieck *PSG* auf. Erst wenn man die Temperatur auf der Linie *GS* überschreitet, besteht der Stahl vollständig aus Austenit. Je niedriger der Kohlenstoffgehalt liegt, desto höhere Temperaturen sind zur vollständigen Umwandlung erforderlich.

Umwandlung von Perlit + Zementit

Stahl mit mehr als 0,9% C (übereutektoider Stahl) ist aus Perlit und Zementit zusammengesetzt. Bei rund 720°C erfolgt wieder die Umwandlung des Perlits (s. Abb. 83, Linie *SK*), während der übereutektoiden Zementit noch unverändert bleibt. Erst wenn die Temperatur die Linie *SE* (Abb. 83) überschreitet, ist auch der Zementit vollständig in Lösung gegangen.

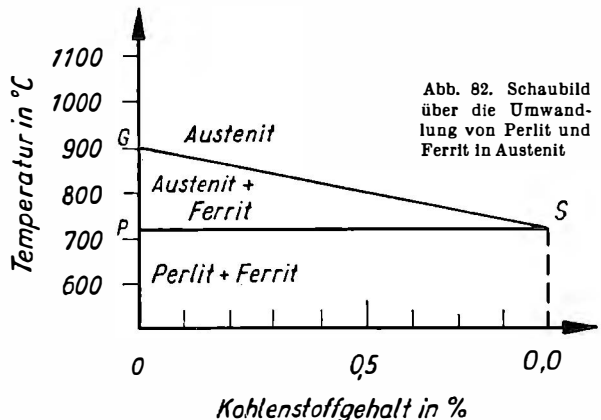


Abb. 82. Schaubild über die Umwandlung von Perlit und Ferrit in Austenit

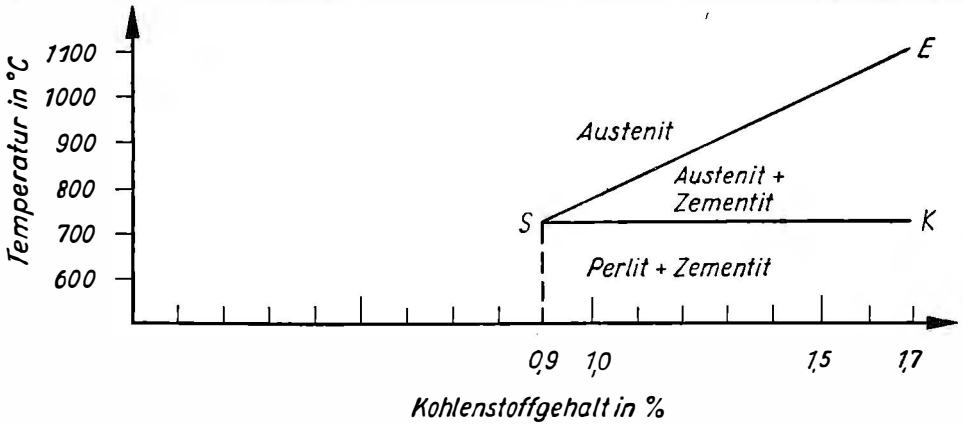


Abb. 83. Schaubild über die Umwandlung eines Perlit-Zementit-Gemenges in Austenit

Je größer der Kohlenstoffgehalt ist, um so höher muß die Temperatur gesteigert werden, um eine vollständige Umwandlung in Austenit zu erreichen.

Das Zustandsschaubild Eisen-Kohlenstoff

Setzt man die Abb. 82 und die Abb. 84 derart aneinander, daß der Kohlenstoffgehalt von links nach rechts ansteigt, so erhält man ein vollständiges Schaubild über die Umwandlung sämtlicher Kohlenstoffstähle, dassog. Zustandsschaubild *Eisen-Kohlenstoff* (Abb. 84).

Die Linie *PSK* in der Abb. 84 kennzeichnet die Umwandlung des Perlits in Austenit und heißt *untere Umwandlungslinie*. Die Umwandlung von Ferrit in Austenit wird durch die Linie *GS* angegeben. Die Umwandlung von Zementit in Austenit wird durch die Linie *SE* gekennzeichnet. *GSE* ist die *obere Umwandlungslinie*. Liegen die Temperaturen darüber, so besteht der Stahl nur noch aus Austenit. Aus diesem

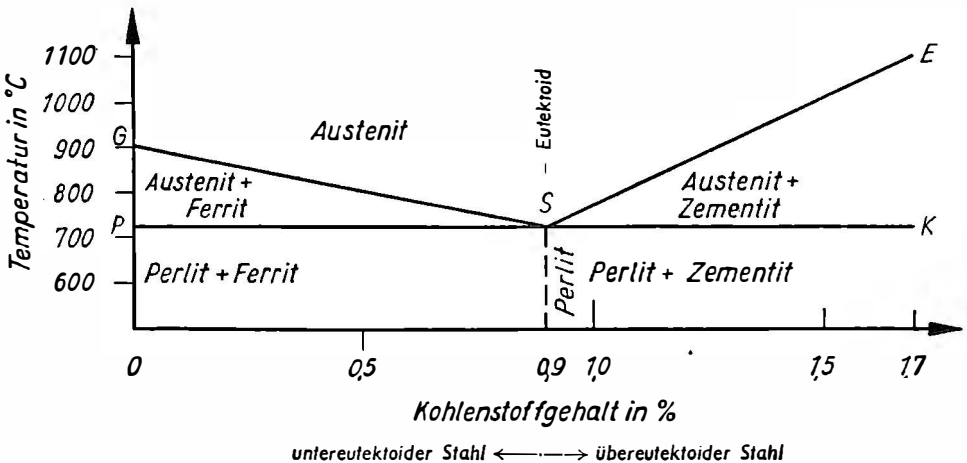


Abb. 84. Zustandsschaubild Eisen-Kohlenstoff

Schaubild ist ersichtlich, bei welchen Temperaturen ein Stahl mit bestimmtem C-Gehalt jeweils umgewandelt wird.

Beispiel:

Mit Hilfe des Zustandsschaubildes Eisen–Kohlenstoff (Abb. 84) soll festgestellt werden, bei welcher Temperatur (Umwandlungstemperatur) ein Stahl mit 0,5% C rein austenitisch wird.

Durchführung:

1. Auf der waagerechten Achse den Punkt 0,5% suchen.
2. In diesem Punkt auf der waagerechten Achse die Senkrechte errichten bis zum Schnittpunkt mit der oberen Umwandlungslinie *GSE*.
3. Durch den gefundenen Punkt zur waagerechten Achse eine Parallele ziehen, die die senkrechte Achse des Schaubildes (Temperaturachse) schneidet. Der Schnittpunkt kennzeichnet die gesuchte Temperatur: rund 820° C.

Ergebnis: Stahl mit 0,5% C ist bei etwa 820° C rein austenitisch.

d) Gefügeänderungen des Stahles beim langsamen und schnellen Abkühlen

Umwandlung bei langsamer Abkühlung

Wird ein Stahl aus dem Zustand der festen Lösung (Austenit) langsam abgekühlt, so scheidet sich zunächst, je nach dem Kohlenstoffgehalt des Stahles, entweder Ferrit oder übereutektoider Zementit aus, wodurch sich der Kohlenstoffgehalt des verbleibenden Austenits dem Eutektoid von 0,9% immer mehr angleicht, bis sich der Austenit schließlich bei einer Temperatur unter 700° C gänzlich in Perlit umwandelt. Hier tritt das „Umklappen“ des γ -Eisen-Raumgitters in das Raumgitter des α -Eisens erst ein, nachdem der gesamte, nicht lösbare Kohlenstoff in Form von Fe_3C ausgeschieden wurde.

Stahl, der weniger als 0,9% Kohlenstoff enthält und nach entsprechender Erwärmung nur aus Austenit besteht, geht beim langsamen Abkühlen also zunächst wieder in ein Gemisch von Austenit und Ferrit und schließlich in ein Gemisch von Perlit und Ferrit über (s. Abb. 84). Der Austenit eines Stahles mit 0,9% C wandelt sich beim langsamen Abkühlen unmittelbar wieder zu Perlit um (s. Abb. 84). Höherprozentige Kohlenstoffstähle durchlaufen beim langsamen Abkühlen die Stufen: Austenit, Austenit und Zementit, Perlit und Zementit (s. Abb. 84).

Je nach der Abkühlgeschwindigkeit und dem Kohlenstoffgehalt des Stahles entsteht dabei eine bestimmte Art des Feingefüges. Bei eutektoidem Stahl (mit 0,9% C) entsteht z. B.:

1. bei langsamster Abkühlung kugeliger Zementit, auch körniger Perlit genannt,
2. bei rascherer Abkühlung der in Abb. 79 dargestellte lamellare Perlit,
3. bei noch rascherer Abkühlung der bereits nahezu strukturlose Sorbit, und schließlich
4. der Troostit.

Daneben entstehen sinngemäß auch verschiedene Mischgefüge wie Perlit mit Sorbit, Sorbit mit Troostit.

Der kugelige Zementit ist die weichste, der Troostit die härteste der „perlitischen“ Gefügearten.

Diese Erkenntnisse macht man sich bei den „Glühbehandlungen“ der Stähle zunutze, die später noch erläutert werden sollen.

Veränderungen beim schnellen Abkühlen

Wird ein Stahl schnell abgekühlt (*abgeschreckt*), so kann sich keine der „perlitischen“ Gefügearten bilden. Es kommt zwar zu einem „Umklappen“ des γ -Eisen-Raumgitters in das des α -Eisens, dies tritt jedoch plötzlich und erst bei einer viel tieferen Temperatur ein. Dem Kohlenstoff steht für eine Platzänderung (Diffusion) nicht die nötige Zeit zur Verfügung; er verbleibt daher erzwungen in fester Lösung, wodurch es zu einer Verzerrung des Raumgitters, verbunden mit einer Volumenvergrößerung kommt. Gleichzeitig treten sehr große Spannungen auf, die als Ursache der Härtesteigerung des „gehärteten“ Stahls angesehen werden. Das beim Härten entstehende Feingefüge ist der „Martensit“ (Abb. 85).

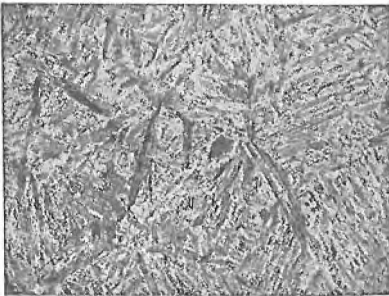


Abb. 85. Martensit. Er bildet sich beim Abschrecken aus Austenit.

Da Martensit sich nur aus Austenit bilden kann, so muß man beim Härten den Stahl zunächst mindestens auf *die* Temperatur bringen, die durch die Umwandlungslinie *GSK* des Zustandsschaubildes Eisen-Kohlenstoff (Abb. 84) gegeben ist. Dann muß man den Stahl abschrecken, d. h. in einem entsprechend energisch wirkenden Mittel, z. B. in Wasser, abkühlen.

Beim Härten soll man den Stahl nur *so hoch* erwärmen, daß sich aller Ferrit und Perlit in Austenit umwandelt. Der übereutektoide Zementit braucht nicht in Austenit überführt

zu werden, da Zementit (Eisenkarbid) schon sehr hart ist.

Wird der Stahl jedoch höher erhitzt, so wächst das Austenitkorn, und es entsteht beim Abschrecken ein grober Martensit, der nur eine geringe Zähigkeit hat. Diese Gefahr besteht insbesondere beim Überhitzen von Stählen mit hohem Kohlenstoffgehalt.

Deshalb wird Stahl mit mehr als 0,9% C zum Härten nur wenig über 760° erhitzt. Der entstehende Martensit ist dann so fein, daß man sein Gefüge erst bei entsprechender Vergrößerung erkennen kann.

Beim Abschrecken des erhitzten Stahls muß die Temperatur in wenigen Sekunden bis auf 200° C sinken, damit im Kohlenstoffstahl statt Perlit Martensit entsteht. Ist die Abkühlungsgeschwindigkeit geringer, so erhält man nicht Martensit, sondern sog. *Troostit*. Er ist weniger hart als Martensit und besteht aus einem überaus feinen Gemisch von Ferrit und Eisenkarbid. Bei noch langsamerer Abkühlung des Austenits entsteht *Sorbit*. Er ist weicher als

Troostit. Im angeätzten Schliff sieht man ein feines Gemenge von Ferrit und Zementit. Die Härte fällt vom Martensit über Troostit und Sorbit bis zum Perlit.

e) Gefügeänderung des Stahles beim Anlassen

Martensitisches Gefüge als Zwangszustand

Ein Stahl mit martensitischem Gefüge hat eine hohe Härte, jedoch nur eine geringe Zähigkeit. Im nur gehärteten Zustand ist der Stahl daher für viele Verwendungszwecke ungeeignet. Ein nur gehärteter, also glasharter Meißel z. B. würde bei Verwendung sofort abbrechen oder absplittern, bzw. die Schneide würde durch Ausbröckeln schartig werden. Um diesem Übelstand abzuweichen, wird der Stahl nach dem Härten wieder erwärmt, wodurch er zwar, je nach dem Grad der Erwärmung, mehr oder weniger an Härte einbüßt, jedoch an Zähigkeit gewinnt. Diese Warmbehandlung wird als „Anlassen“ des Stahles bezeichnet.

Der martensitische Zustand ist ein Zwangszustand, der nur bei Raumtemperatur relativ beständig ist.

Durch Erwärmung kann der Martensit zu Zerfall gebracht und schließlich in die perlitischen Gefügearten umgewandelt werden.

Zerfall des Martensits durch Erwärmung

Bereits bei 100° C setzt der Martensitzerfall ein, der bei 300° C so stark wird, daß die Härte des Stahls rasch sinkt. Mit fallender Härte steigt die Dehnbarkeit, die bei glashartem Werkzeugstahl nicht vorhanden ist.

Durch die Wärmezufuhr beim Anlassen des Stahls wird Martensit (α -Eisen mit erzwungen in Lösung gehaltenem Kohlenstoff) zerstört. Dabei verbindet sich der wieder frei werdende Kohlenstoff des Martensits mit Eisen zu Eisenkarbid. Es entsteht ein Gemenge von Ferrit und Zementit, das mit steigender Anlaßtemperatur als Anlaß-Troostit bzw. Anlaß-Sorbit in Erscheinung tritt.

Wird ein Stahl gehärtet und hierauf so hoch angelassen (über 400° C), daß bei einem starken Härteabfall ein besonders großer Anstieg der Zähigkeit erzielt wird, so spricht man von einem „Vergüten“ des Stahles.

f) Feingefüge nach Glühbehandlungen

Es sind grundsätzlich folgende Glühbehandlungen des Stahles zu unterscheiden:

- a) das Normalglühen,
- b) das Weichglühen,
- c) das Spannungsfreiglühen.

Normalglühen

Das Normalglühen wird angewendet, um Schäden zu beseitigen, die im Stahl nach der Warmverarbeitung durch Schmieden oder Walzen verblieben sind. Ein Stahl mit

einem Zementit-Netzwerk, wie ihn Abb. 81 zeigt, wäre für viele Zwecke unverwendbar. Es wird daher, um den in Form eines Netzwerkes ausgeschiedenen übereutektoiden Zementit zunächst völlig zur Lösung zu bringen, auf eine entsprechend hoch über der GSE-Linie (Abb. 84) liegende Temperatur erwärmt und hierauf an der Luft abgekühlt. Das nun entstehende Feingefüge ist lamellarer (streifiger) Perlit, wie ihn Abb. 79 zeigt, oder ein Mischgefüge aus Perlit mit Sorbit. Man spricht hier vom „Naturzustand“ des Stahles.

Weichglühen

Im Naturzustand hat der Stahl noch große Spannungen und ist außerdem schwer zerspanbar. Diese Mängel werden durch das „Weichglühen“ beseitigt. Dazu wird der Stahl in der Regel auf eine Temperatur unterhalb der PSK-Linie (Abb. 84) erwärmt, auf dieser Temperatur mehrere Stunden lang gehalten und hierauf möglichst langsam, also im Ofen, bis auf eine Temperatur unter 600°C abgekühlt. Anschließend kann eine raschere Abkühlung erfolgen.

Beim Weichglühen ballen sich die plattenförmig mit Ferrit abwechselnden Eisenkarbide zu feinen, kugelförmigen Karbiden zusammen. Das entstehende Feingefüge ist der kugelige Zementit oder körnige Perlit, das ideale Gefüge für Zerspannung und für das Härten des Stahles.

Spannungsfreiglühen

Auch im weichgeglühten Stahl bleiben trotz langsamer Abkühlung noch Restspannungen, die bei der Zerspannung ausgelöst werden und beim nachträglichen Härten in Form von störenden Maßänderungen zur Auswirkung kommen können. Daher wird häufig ein Spannungsfreiglühen eingeschaltet, wobei der Stahl nur so hoch erwärmt werden darf, daß dabei keine Gefügeänderung mehr eintritt, keinesfalls daher über 650°C . Wesentlich zur Vermeidung erneut entstehender (Ausdehnungs- bzw. Schrumpf-) Spannungen ist das möglichst langsame Erkalten des Stahles bis auf Raumtemperatur.

g) Oberflächenschäden nach Glühbehandlungen

Wird der Stahl auf Glühtemperatur (über etwa 650°C) erwärmt, so verbindet sich das Eisen mit dem Sauerstoff der Ofenatmosphäre zu Fe_2O_3 bzw. FeO . Man spricht hier vom „Zundern“. Außerdem wird der durch die Erwärmung „aufgelockerte“ Kohlenstoff der Oberfläche entzogen. Die Oberfläche wird dadurch mehr oder weniger tief entkohlt. Man spricht hier von der Entstehung einer *Weichhaut* oder *Eisenhaut*. Die Entkohlung hat zur Folge, daß der perlitische Anteil in der Randzone herabgesetzt und in gleichem Maße die Härbarkeit des Stahles vermindert wird.

Beide Erscheinungen, das Zundern und die Entkohlung, treten um so stärker auf, je höher der Stahl erwärmt und je länger er auf hoher Temperatur gehalten wird.

Aus diesem Grund wird die Erwärmungstemperatur und die Erwärmungsdauer bei jeder Wärmebehandlung des Stahles auf das Nötigste beschränkt.

Aufgaben:

1. Was versteht man unter einem Gitterelement ?
2. Erkläre den Ausdruck „kubisches Raumgitter des Eisens“!
3. Wieviel Atome enthält ein Gitterelement des α -Eisens ?
4. Beschreibe das Raumgitter von γ -Eisen!
5. Warum ist α -Eisen spezifisch leichter als γ -Eisen ?
6. Gib an, welche Stahlsorte im Feingefüge keinen überschüssigen Ferrit und keinen überschüssigen Zementit enthält!
7. Nenne bei einem Stahl von unter 0,9% Kohlenstoff den überwiegenden Bestandteil!
8. Wie erklärt sich der Überschuß an Zementit bei Stahl mit mehr als 0,9% Kohlenstoffgehalt ?
9. Erläutere den Begriff „Austenit“!
10. Welche Temperatur ist notwendig, um Perlit in Austenit umzuwandeln ?
11. Bestimme unter Benutzung des Zustandsschaubildes Eisen–Kohlenstoff die Temperatur, bei der ein Stahl mit 1,5% Kohlenstoff vollständig in Austenit übergeht!
12. Welches Feingefüge bildet sich beim Härten eines Stahles ? Beschreibe die Vorgänge bei der Gefügeumwandlung!
13. Warum kann ein Stahl, der bis 650° erwärmt wurde, nicht gehärtet werden ?
14. Erkläre, warum bei Erwärmung ein Zerfall des Martensits eintritt!
15. Erkläre den Ausdruck „körniger Perlit“!
16. Begründe, warum beim Spannungsfreiglühen eine Temperatur von 650° C nicht überschritten werden darf!
17. Welche Faktoren beeinflussen bei der Warmbehandlung von Stahl die Kristallkorngröße ?

5. Ausbildungsabschnitt

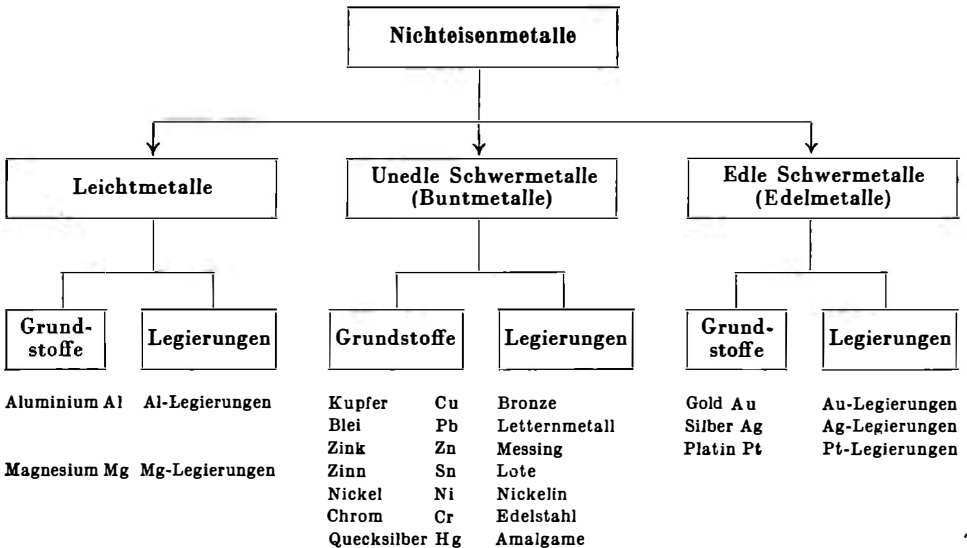
13. bis 15. Monat · 13 Stunden

14. Nichteisenmetalle

Neben Eisen sind noch verschiedene andere Metalle für den Aufbau unserer Friedenswirtschaft von großer Bedeutung.

Im vorliegenden Buchabschnitt sollen die Eigenschaften und die Verwendbarkeit der Nichteisenmetalle — besonders auch im Hinblick auf den Fünfjahrplan — erläutert werden.

Die Nichteisenmetalle werden wie folgt unterteilt:



a) Leichtmetalle

Leichtmetalle sind diejenigen Metalle, deren Dichte kleiner ist als 5 g/cm^3 (bzw. deren Wichte kleiner als 5 p/cm^3 ist).

In den letzten Jahrzehnten wurden Leichtmetalle in hohem Maße als vollwertiger Austauschstoff für unedle Schwermetalle herangezogen (Abb. 86). Von den Leichtmetallen haben *Aluminium* und *Magnesium* besondere wirtschaftliche Bedeutung.

Abb. 86. Viele Teile der neuen Doppelstockwagen der Deutschen Reichsbahn sind aus Leichtmetall hergestellt. Leichtmetalle zeichnen sich – wie ihr Name sagt – durch besondere Leichtigkeit aus und sind in entsprechenden Legierungen widerstandsfähig gegen Druck, Stoß und chemische Einflüsse. Die Verwendbarkeit der Leichtmetalle wurde bereits im Flugzeug- und Kraftwagenbau erprobt. Die dabei gewonnenen Erfahrungen werden nunmehr beim Bau von Eisenbahnwagen verwertet.



1. Aluminium (Al)

Blasröhre (Glasrohr) — Sandkasten — Bunsenbrenner — Al-Pulver — Thermit und Zündkirsche

Physikalische Eigenschaften

Aluminium hat ein silberweißes Aussehen. Seine Dichte beträgt $2,7 \text{ g/cm}^3$ (Wichte: $2,7 \text{ p/cm}^3$), das ist etwa ein Drittel der Dichte des Eisens. Aluminium ist in reinem Zustand weich, dehnbar und von geringer Festigkeit. Diese geringe Festigkeit läßt sich durch Legierungszusätze derart verändern, daß Aluminium annähernd die Festigkeit von Stahl erreicht. Infolge seiner Weichheit und Dehnbarkeit eignet sich Aluminium sowohl für die *spanabhebende Bearbeitung*, die leicht und schnell mit großen Schnittgeschwindigkeiten möglich ist, als auch für die *spanlose Verformung*. Aluminium läßt sich ziehen, stanzen, pressen und auswalzen. Beim Auswalzen können sehr feine Folien (Blattaluminium, „Silberpapier“) hergestellt werden.

Schweißen und *Hartlöten* ist bei Aluminium ebenfalls möglich, wenn durch ein geeignetes Flußmittel (z. B. Autogal) die auf der Oberfläche des Aluminiums liegende Oxydschicht entfernt wird. Die Aluminiumlote sind allerdings noch nicht voll befriedigend (S. 165).

Aluminium wird bei 530°C spröde (Grießbildung) und pulverisierbar. Das derart gewonnene Aluminiumpulver wird mit Öl vermischt als *Silberfarbe* verwendet. Der Schmelzpunkt des Aluminiums liegt bei 657°C ; die Wärmeleitfähigkeit ist dreimal so groß wie die von Eisen.

Die spezifische elektrische Leitfähigkeit von Aluminium ist zwar nur etwa halb so groß wie die von Kupfer, jedoch leitet ein Aluminiumdraht, der nur 1,7mal so stark wie ein Kupferdraht ist, den Strom ebenso gut wie ein gleichlanger Kupferdraht. Dabei wiegt das Aluminium nur halb so viel wie der entsprechende Kupferdraht. Aus

diesem Grunde ist Aluminiumdraht als annähernd vollwertiger Austauschstoff für Kupferdraht verwendbar. Kleine mechanische Nachteile (geringere Biegsamkeit als Kupferdraht) müssen in Kauf genommen werden. Trotz der geringeren Biegsamkeit können *Wicklungen von Elektromotoren und Generatoren* aus Aluminiumdraht hergestellt werden. Aluminium, das als elektrisches Leitungsmaterial verwendet werden soll, muß einen Reinheitsgrad von mindestens 99,5% haben, da das Gefüge des Aluminiums durch Verunreinigungen derart verändert wird, daß eine ausreichende Leitfähigkeit nicht mehr gegeben ist.

Chemische Eigenschaften

Obleich Aluminium wie alle unedlen Metalle keine große Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse besitzt, ist es witterungsbeständig, d. h. Aluminium wird durch die Einwirkungen der atmosphärischen Luft nicht zerstört. Diese Tatsache ist dadurch zu erklären, daß sich auf der Oberfläche von Aluminium an der Luft eine dünne, glasklare, aber *dichte Schutzschicht aus Aluminiumoxyd* bildet (s. S. 84), die ihm das allgemein bekannte matte, bläulich-weiße Aussehen verleiht.

Versuch 1:

Aus einem Blasrohr blasen wir eine Messerspitze Aluminiumpulver in die Bunsenbrennerflamme. Es flammt grell auf und verbrennt.

Bei diesem Versuch verbindet sich das Aluminium unter grellweißer Lichterscheinung mit dem Sauerstoff der Luft. Wir erkennen daraus die große Affinität des Aluminiums zu Sauerstoff (Affinität: Bestreben eines chemischen Elementes, sich mit einem anderen Element zu verbinden).

Versuch 2:

Thermit (160 Gewichtsteile Fe_2O_3 + 54 Gewichtsteile Al-Grieß) wird mit einer Zündkirsche (6 Gewichtsteile BaO_2 + 1 Gewichtsteil Mg in Kollodiumlösung) im Sandkasten (Abb. 87) entzündet (Raum verdunkeln). Nach dem Entzünden brennt das Gemisch mit blauem Licht. In der Sandrinne rinnt flüssiges Eisen nach unten.

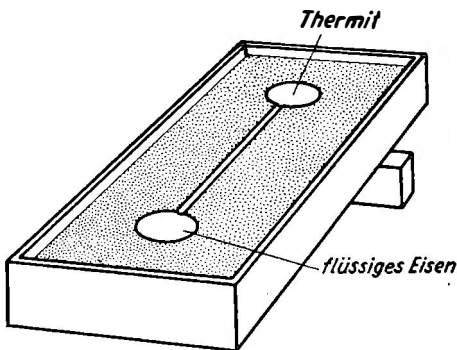
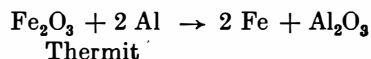


Abb. 87. Im schräggestellten Sandkasten ist eine Sandrinne geformt, in deren oberen Teil das Thermit entzündet wird.

Der Versuch 2 beweist, daß die Affinität des Aluminiums zum Sauerstoff so groß ist, daß das Aluminium sogar chemisch gebundenen Sauerstoff an sich reißt, wenn der Vorgang durch eine *Zündkirsche* ausgelöst wird.

Bei der Verbrennung von Thermit treten Temperaturen von etwa 3000°C auf. Deshalb können brennende Thermitmassen nicht gelöscht, sondern lediglich durch Sand am weiteren Ausbreiten gehindert werden. Der chemische Vorgang wird durch folgende Formel dargestellt:



Die hohen Temperaturen der Thermitverbrennung werden im *Thermit-Schweißverfahren* ausgenutzt. Die Thermitschweißung kann ohne größere Apparate durchgeführt werden. Die Thermitmasse wird an die Schweißstelle (z. B. zweier Straßenbahnschienen) gebracht und mit einer Zündkirsche entzündet. Während des Schweißvorganges schwimmt das entstehende Aluminiumoxyd als flüssige Schlacke obenauf und kann nach dem Erhärten von dem geschweißten Stück abgebrochen werden.

Da die Thermitschweißung verhältnismäßig teuer ist, wird sie nur dann angewendet, wenn kein anderes Verfahren möglich ist. Zur Gewinnung von Werkzeugstählen und zur Reinerstellung von Metallen aus Metalloxyden, z. B. von Chrom und Mangan aus Chromoxyd (Cr_2O_3) und Mangandioxyd (MnO_2), ist das Thermitverfahren ebenfalls geeignet (Goldschmidtsches Verfahren — Aluminothermie).

Aluminium wird von Säuren, Laugen und teilweise auch von Salzen stark angegriffen (s. Kap. 9, S. 91).

Vorkommen und Gewinnung

Aluminium ist das auf der Erde verbreitetste Metall und ist ein Hauptbestandteil vieler Gesteine. Es ist zu 7,5% in der Erdkruste vorhanden (Eisen nur zu 5%). Infolge der starken Affinität des Aluminiums zum Sauerstoff sind die meisten Aluminiumerze Aluminiumoxyde, aus denen das Aluminium durch entsprechende Verfahren ausgeschieden wird. Das bekannteste Mineral zur Aluminiumgewinnung ist Bauxit¹⁾, das nach dem Fundort Les Baux in Südfrankreich benannt ist. Bauxit findet man in Frankreich, Ungarn, in den USA, in Niederländisch- und Britisch-Guayana, Italien, in der Sowjet-Union und in Griechenland. In Deutschland gibt es nur unbedeutende Bauxitvorkommen, jedoch erweisen sich die Gewinnungsmöglichkeiten aus Ton, der auch in der Deutschen Demokratischen Republik reichlich vorhanden ist, in zunehmendem Maße als wirtschaftlich.

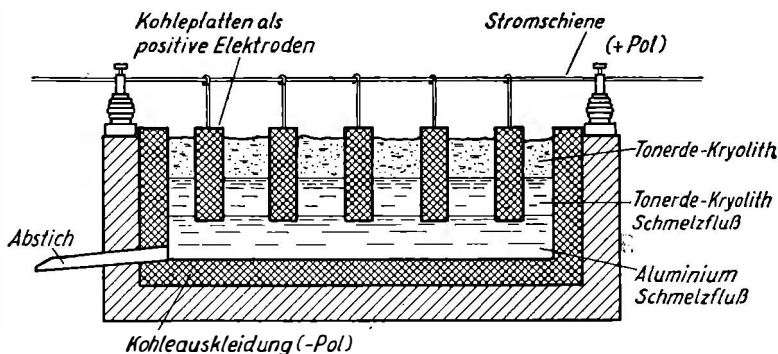
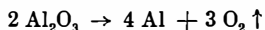


Abb. 88. Schema der Schmelzelektrolyse zur Gewinnung von Aluminium

Bei der Gewinnung von Aluminium aus Bauxit werden durch umständliche Reinigungsverfahren Eisenoxyd und Kieselsäure als Rotschlamm abgeschieden. Dann wird in großen Drehrohröfen zunächst wasserfreie reine Tonerde (Al_2O_3) gewonnen. Diese wird der *Schmelzfluß-Elektrolyse* unterworfen:



Da Aluminiumoxyd einen sehr hohen Schmelzpunkt (2080°C) hat, muß ein Flußmittel (Kryolith, Na_3AlF_6) zugesetzt werden. Nach dem Schmelzen des Tonerde-Kryolith-Gemenges und dem Einschalten des Stromes beginnt die Zersetzung der Tonerde. Das Aluminium sammelt sich am Boden und wird alle 2 bis 3 Tage abgestochen (Abb. 88).

¹⁾ Mit Eisenoxyd und Kieselsäure verunreinigtes, wasserhaltiges Aluminiumoxyd.

Aluminium-Legierungen

Reines Aluminium ist weich und dehnbar und hat eine nur geringe Korrosionsfestigkeit. Durch Legierungszusätze, die nur in kleinen Mengen notwendig sind, werden Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit des Aluminiums erhöht.

Als *Legierungszusätze* werden u. a. *Kupfer, Mangan, Nickel, Magnesium* und *Silizium* verwendet. Nach DIN 1725 werden von Aluminium Knetlegierungen (Blatt 1) und Gußlegierungen (Blatt 2) hergestellt.

Knetlegierungen sind verformbar, sie können gewalzt, gezogen, gepreßt, geschmiedet und gehämmert werden. Aus Knetlegierungen werden Werkstücke und Geräte angefertigt, deren Formgebung durch mechanische Bearbeitung erfolgen muß, z. B. Fahrzeugteile, Armaturen, Apparate u. a. m.

Zu den Knetlegierungen gehören folgende:

Duraluminium	(Al mit 2,5 bis 5,5 % Cu, 0,2 bis 1 % Si, 0,2 bis 2 % Mg, bis 1,2 % Mn)
Aldrey	(Al mit Mg u. Si)
Hydronalium	(Al mit 5 bis 9 % Mg und 0,2 bis 0,8 % Mn)
Lautal	(Al mit 5 % Cu und 0,4 % Si).

Aus *Gußlegierungen* werden Werkstücke gegossen. Aluminiumgußlegierungen können geschweißt werden, wenn sie kein Kupfer enthalten. Sie sind härtbar. Von den Gußlegierungen sind Silumin (Al mit 10 bis 13 % Si) und Spritzguß (Al mit 6 % Cu und 2 % Si) die wichtigsten.

Aluminium-Kupfer-Magnesium-Legierungen können gehärtet werden. Bei der Härtung wird das zunächst noch grobe kristalline Gefüge durch Pressen und Walzen verfeinert. Dann wird die Legierung auf 515° C erhitzt (geglüht) und anschließend in kaltem Wasser abgeschreckt. Derart gehärtete Aluminiumlegierungen können die Festigkeit von Baustählen erreichen.

Werkstücke aus gehärteten Aluminiumlegierungen dürfen nicht geschweißt werden, weil bereits bei 540° C die Aluminium-Kupfer-Mischkristalle zersetzt werden und damit die durch das Härten erreichte Festigkeit verloren geht. Werkstücke aus gehärteten Aluminiumlegierungen werden deshalb nur genietet oder verschraubt.

Ein wichtiger Vorgang, bei dem Aluminiumlegierungen eine Brinellhärte von 150 kp pro mm² erreichen können, ist das *Altern*. Wir unterscheiden das *künstliche* und das *natürliche* Altern. Beim künstlichen Altern werden die Werkstücke bei 100 bis 200° C im Ölbad oder elektrischen Ofen mit Luftumwälzung gehärtet (1/2 Stunde bis 24 Stunden). Beim natürlichen Altern müssen die Werkstücke mehrere Tage bei Zimmertemperatur lagern („reifen“).

Von allen Leichtmetallen erreicht das Aluminium durch Legierungszusätze und durch Härtung die größte Festigkeit.

Aus diesem Grunde ist Aluminium zu einem der wichtigsten metallischen Werkstoffe geworden, der in vielen Fällen geeignet ist, Eisen und Buntmetalle zu ersetzen.

Aluminium dient als Austauschstoff für

- Eisen im Schiffs-, Bahn- und Automobilbau, ferner beim Bau von Maschinen, Motoren, Armaturen, Leichtmetallagern, Apparaten und Gebrauchsgegenständen des täglichen Bedarfs;
 Nickel beim Bau von Fahrzeugteilen und Gegenständen des täglichen Bedarfs;
 Kupfer an Hochspannungsleitungen, Kabeln, Stromschienen, Schaltanlagen, in der Radiotechnik an Apparaten, Behältern und Lagerschalen;
 Zinn bei der Herstellung von Folien, Tuben, Stanniolkapseln, Behältern, die bisher aus Weißblech hergestellt wurden, Haushaltgeräten und Bronzeuß;
 Zink bei Installationsartikeln, Messingbeschlägen und Gegenständen des täglichen Bedarfs;
 Blei bei der Herstellung von Kabelmänteln.

Überzüge von Aluminiumspritzguß bieten einen Oberflächenschutz für Maschinenteile aus Gußeisen (s. S. 91).

Bei der Verwendung von Aluminiumgeräten für technische Zwecke muß jedoch berücksichtigt werden, daß diese Geräte im allgemeinen Temperaturen über 120° C nicht ausgesetzt werden dürfen, da bereits bei 175 bis 200° C Verwerfungen eintreten. Bei Erhitzung über 560° C ist ein Umschmelzen der Stücke notwendig.

2. Magnesium (Mg)

Becherglas — Bunsenbrenner — Stricknadel — Messer — Reagenzgläser — feuerfeste Unterlage — Mg-Pulver — Mg-Band — Elektronspäne — Kalisalpete — Lackmuspapier

Eigenschaften des Magnesiums

Das silberglänzende Magnesium (Mg) ist mit einer Dichte von 1,74 g/cm³ (Wichte 1,74 p/cm³) das leichteste Gebrauchsmetall. Magnesium ist ziemlich hart, es läßt sich gut feilen, hämmern und zu dünnen Blättchen ausziehen. Magnesium hält sich gut in trockener Luft, da sich — ähnlich wie bei Aluminium — auf der Oberfläche des Magnesiums eine dichte Oxydschicht bildet, die als Schutzhaut gegen weitere Oxydation wirkt. Magnesium schmilzt bei 650° C.

Versuch 3:

Wir bringen Magnesiumband oder Magnesiumpulver in ein Becherglas mit kaltem Wasser. Halten wir nach einiger Zeit rotes Lackmuspapier in das Wasser, so stellen wir keine Verfärbung des Papiers fest. Dann wird das Becherglas erhitzt. Jetzt wird rotes Lackmuspapier beim Eintauchen blau gefärbt.

Der Versuch beweist, daß im kalten Wasser keine chemische Reaktion zwischen Magnesium und Wasser stattfindet. Durch die in der heißen Flüssigkeit festgestellte Blaufärbung von Lackmuspapier ist eine Lauge nachgewiesen. Heißes Wasser wird von Magnesium — ähnlich wie von Kalium oder Natrium — unter Wasserstoffentwicklung zersetzt. Dabei entsteht Magnesiumhydroxyd, das in Wasser spurenweise löslich ist.

Versuch 4:

Wir entzünden ein Stück Magnesiumband oder etwas Magnesiumpulver (auf einer Messerspitze) in der Bunsenflamme. Das Magnesium verbrennt unter grellweißer Lichterscheinung zu einem weißen Pulver: Magnesiumoxyd.

Der Versuch 4 beweist die große Affinität des Magnesiums zum Sauerstoff. Magnesium wird von Säuren angegriffen, weniger von Basen und Salzlösungen.

Vorkommen und Gewinnung

Magnesium ist ein Metall, das zu etwa 2,5% in der obersten Erdrinde enthalten ist. Da Magnesium ein fast ständiger Begleiter des Kaliums ist, findet man es in den Kalilagerstätten. Ferner wird Magnesium häufig in Verbindung mit Kalzium gefunden, z. B. als Dolomit $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$.

Wichtige Magnesiumminerale sind neben Dolomit: Magnesit, Magnesiumsilikate, Bischofit, Karnallit, Kieserit und Kainit. Für die Gewinnung des Magnesiums werden die in deutschen Vorkommen reichlich vorhandenen Minerale Bischofit ($\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$), Magnesit (MgCO_3) und Karnallit ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) verwendet. Magnesium wird durch Elektrolyse im Schmelzfluß ähnlich wie das Aluminium gewonnen.

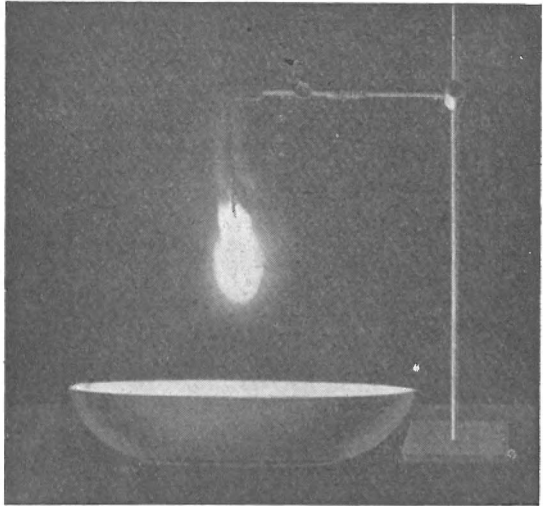


Abb. 89. Magnesium verbrennt mit blendend weißem Licht und wird deshalb zur Herstellung von Blitzlicht, Leuchtkegeln und Magnesiumfackeln verwendet.

Verwendung des Magnesiums

Da Magnesium unter starken Lichterscheinungen und bei hohen Temperaturen verbrennt (Versuch 4), benutzt man Magnesium in der Feuerwerkerei (Pyrotechnik) für die Herstellung von Fackeln (s. Abb. 89) und als Blitzlicht in der Fotografie.

Versuch 5:

Wir entzünden zuerst ein Häufchen von reinem Magnesiumpulver und dann ein Gemisch von Magnesiumpulver und Kalisalpeter mit einem langen Fidibus unter dem Abzug.

Das Gemisch verbrennt blitzartig und hell leuchtend. (Vorsicht! Augenschutz! Ultraviolette Strahlen!)

Die plötzliche heftige Verbrennung von Magnesium wird im Blitzlicht ausgenutzt. Blitzlichtpulver ist eine Mischung von Magnesiumpulver mit einem leicht sauerstoffabgebenden Stoff. Hierzu sind Kalisalpeter (KNO_3), Kaliumchlorat (KClO_3) und Bariumperoxyd (BaO_2) geeignet.

Magnesium ist in vielen technisch wichtigen Verbindungen und Stoffen enthalten. Aus gebrannter Magnesia (Magnesiumoxyd, MgO) werden feuerfeste Steine, Tiegel und Glühstifte geformt. Ausgehend von gebrannter Magnesia werden Magnesiaement, Mühlsteine und Schleifsteine hergestellt. Thomasbirnen sind mit einem basischen Futter aus gebranntem Dolomit ($\text{CaO} + \text{MgO}$) ausgekleidet.

Magnesiumsulfat (Bittersalz) dient in der Medizin als Abführmittel und wird in der Textilindustrie zur Zurichtung von Baumwollgeweben verwendet.

Da Magnesium im Chlorophyll (dem grünen Farbstoff der Pflanze) enthalten ist, sind Magnesiumverbindungen für den Aufbau der grünen Pflanzen notwendig. Dies muß bei der Wahl von Düngemitteln berücksichtigt werden.

Magnesium-Legierungen

Als technische Werkstoffe finden Magnesiumlegierungen vielseitige Verwendung. So werden z. B. Kraftfahrzeug- und Flugzeugteile, Maschinenteile im Leichtbau und zahlreiche Massengebrauchsartikel wie Armaturen, Ölpumpengehäuse, Gehäuse für Elektromotoren, Handbohrmaschinen u. a. aus Magnesiumlegierungen angefertigt.

Im vorangehenden Abschnitt hatten wir bereits erwähnt, daß Magnesium ein Bestandteil vieler Aluminiumlegierungen ist. Die beiden wichtigsten Magnesiumlegierungen sind *Elektron* und *Magnewin*. Sie enthalten beide etwa 90% Magnesium, ferner Aluminium, Zink und Mangan und haben eine Zugfestigkeit bis zu 49 kp/mm². Nach DIN 1729 unterscheidet man insgesamt 3 *Knet- und 9 Gußlegierungen*. Magnesiumlegierungen lassen sich ebenso wie Aluminiumlegierungen gießen, walzen, pressen, kneten und in beschränktem Umfang auch schweißen.

Besondere *Vorteile der Magnesiumlegierungen* sind:

1. Geringe Dichte von 1,8 g/cm³ (Wichte: 1,8 p/cm³),
2. gute Festigkeitseigenschaften,
3. leicht zerspanbar.

Ein Nachteil der Magnesiumlegierungen ist ihre *geringe Korrosionsfestigkeit*. Werkstücke aus Magnesiumlegierung müssen durch eine *Lackschicht* gegen Korrosion geschützt werden. Beim Zusammenfügen mit anderen Metallteilen sind isolierende Zwischenschichten nötig, um Bildung von Lokalelementen zu vermeiden. Dennoch können in vielen Fällen die Magnesiumlegierungen an Stelle des vorläufig noch knappen Aluminiums verwendet werden, da Magnesium als Inlandsmetall in ausreichenden Mengen vorhanden ist.

Versuch 6:

Wir entzünden trockene und nasse Elektronspäne nacheinander mit einer glühenden Stricknadel. Die nassen Späne verbrennen explosionsartig.

Elektronspäne neigen um so mehr zur *Selbstentzündung*, je kleiner sie sind. In Anbetracht dieser Selbstentzündlichkeit und der Feuergefährlichkeit von Magnesiumspänen gelten für Betriebe, die Magnesiumlegierungen verarbeiten, besondere Feuerenschutzbestimmungen und besondere Bestimmungen für das Löschen derartiger Brände (s. S. 39).

Größere Werkstücke aus Magnesiumlegierungen sind der Feuersgefahr weniger ausgesetzt, da Magnesium eine gute Wärmeleitfähigkeit besitzt.

Zusammenfassend sei gesagt, daß Magnesium und Aluminium und deren Legierungen in den meisten Fällen geeignet sind, Buntmetalle (Kupfer, Zink, Zinn, Blei) zu ersetzen. Diese Erkenntnis wird mithelfen, der Verknappung der Buntmetalle entgegenzuwirken, und enthält die Verpflichtung, alle Kräfte für die Entwicklung noch besserer Leichtmetalllegierungen einzusetzen.

b) Uedle Schwermetalle (Buntmetalle)

1. Wirtschaftliche Bedeutung der Buntmetalle

Jedem ist bekannt, daß *Buntmetalle* für den weiteren Aufbau der Friedenswirtschaft in unserer Deutschen Demokratischen Republik von größter Bedeutung sind. Buntmetalle sind knapp, weil uns keine ausreichenden Vorkommen zur Verfügung stehen. Aus diesem Grunde werden laufend Aktionen für das Sammeln von Buntmetallschrott durchgeführt.

„*Buntmetall*“ ist die Sammelbezeichnung für alle unedlen Schwermetalle außer Eisen. Der Name „*Buntmetall*“ wurde gewählt, weil diese Metalle und ihre Legierungen sich in ihrem Aussehen wesentlich vom Eisen unterscheiden und zum Teil farbig aussehen. *Buntmetalle* sind Kupfer, Blei, Zink, Zinn, Nickel, Chrom und Quecksilber. *Buntmetalle* sind verhältnismäßig korrosionsfest und gut polierbar, haben teilweise niedrige Schmelzpunkte, zeigen leichte Zerspanbarkeit und gute Dehnbarkeit. Kupfer besitzt eine besonders hohe Leitfähigkeit für elektrischen Strom.

Im Gesetz über den Fünfjahrplan zur Entwicklung der Volkswirtschaft der Deutschen Demokratischen Republik (1951 bis 1955) sind hinsichtlich der *Buntmetalle* folgende wichtige Bestimmungen enthalten:

Unter § 2, Abs. 1b, wird gefordert:

„Ausbau und Neubau der leistungsfähigen Schachtanlagen im Erzbergbau, insbesondere für Eisenerze, *Kupfererz* und Schwefelkies . . .“

Im § 2, Abs. 6b, heißt es:

„. . . Die Gewinnung von Eisenerz, *Kupfererz*, Schwefelkies und Kalisalzen muß unter Ausnutzung aller technischen Möglichkeiten gewaltig gesteigert werden, damit unsere neue Hüttenindustrie und die chemische Industrie mit Grundstoffen versorgt werden können.“

Gegenüber dem Jahre 1950 wird die *Kupfererz*förderung bis 1955 auf 330% ansteigen.

Im § 2, Abs. 6c, wird angeordnet:

„Um die Abhängigkeit der Volkswirtschaft der Republik vom Import in Schwarz- und *Buntmetallen* auf ein Minimum zu beschränken, ist die Produktion der metallurgischen Industrie während des Jahrfünfts auf 253% zu steigern, . . .“

§ 10 Abs. 1, fordert:

„Während des Jahrfünfts sind umfangreiche geologische Arbeiten zur Erkundung der Bodenschätze in der Deutschen Demokratischen Republik durchzuführen. Sie sind besonders auf die Erschließung und industrielle Auswertung der Vorkommen von *Kupfererz*, Eisenerz, *Buntmetallen*, Erdöl, Steinkohle, Braunkohle und Rohstoffen für die chemische Industrie zu konzentrieren.“



Abb. 90. Junge Pioniere und FDJler haben die Notwendigkeit des verstärkten Sammelns von *Buntmetall* erkannt.

Diese Anordnungen im Gesetz über den Fünfjahrplan verdeutlichen, wie dringend die Buntmetalle für die Wirtschaft der Deutschen Demokratischen Republik gebraucht werden.

Wie bereits gesagt (s. S. 147), werden Buntmetalle weitgehend durch Aluminium- und Magnesiumlegierungen und andere technische Werkstoffe ersetzt, jedoch konnten bei der Entwicklung der bisher vorliegenden Austauschstoffe noch nicht alle Eigenschaften der Buntmetalle erreicht werden. Beispielsweise kann Nickel für die Herstellung von hochwertigem Stahl, Elektronenröhren und elektrischen Heizöfen für Temperaturen über 1000° C nicht entbehrt werden. Viele Meßgeräte, Manometerrohre und elektrische Widerstände können ohne Verwendung von Kupferlegierungen nicht in erwünschter Qualität hergestellt werden. Blei- und Zinnlegierungen werden für die Herstellung wichtiger Spezialgeräte dringend gebraucht. Im Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik sind die Vorkommen an Buntmetallen nicht hinreichend groß und ergiebig. Bei Kupfer, Blei und Zink liegen die Verhältnisse relativ noch am günstigsten.

Kennzeichnend für die politische Weltlage ist es, daß Buntmetalle nicht nur bei uns, sondern auch in den meisten anderen Ländern knapp sind. Die kapitalistischen Staaten lehnen die Ausfuhr von Buntmetallen in alle diejenigen Länder ab, die dem Rat für gegenseitige Wirtschaftshilfe angehören. Hierzu gehört auch die Deutsche Demokratische Republik. Mit dieser Maßnahme wollen die kapitalistischen Staaten den Aufbau der Länder des Weltfriedenslagers hemmen, denn sie fürchten den Eindruck, den der wachsende Aufbau dieser Länder auf die Arbeiterklasse der ganzen Welt macht. Ferner horten die führenden imperialistischen Staaten das ihnen zur Verfügung stehende Buntmetall für Kriegsvorbereitungen.

Nur die Sowjetunion und die Volksdemokratien liefern Buntmetalle an die Deutsche Demokratische Republik, obwohl sie selbst große Mengen für ihren Aufbau benötigen. Auch die im Fünfjahrplan vorgesehene *Steigerung der Kupferschiefererzeugung auf das Doppelte*, die *Erhöhung der Erzeugung von Bleikonzentraten* und die *verstärkte Förderung von Zink-, Nickel- und Zinnerzen* werden den infolge unseres Aufbaues wachsenden Bedarf zunächst noch nicht decken. Deshalb müssen weitere Einsparungen und Austauschmöglichkeiten erörtert werden. Jeder Verbesserungsvorschlag in dieser Richtung hilft mit an unserem Aufbau.

Das Gesetz über den Fünfjahrplan sagt zu diesem Problem unter § 3, Abs. 3, folgendes:

„. . . Allen Aufgaben, die der Sicherung der Rohstoffbasis sowie der zweckmäßigsten Ausnutzung der Rohstoffe dienen, wie die Anwendung von Material sparenden Bauweisen oder der Austausch von hochwertigen Werkstoffen, kommt eine besondere Bedeutung zu.“

Trotz der Dringlichkeit des Buntmetallproblems muß unbedingt beachtet werden, daß der Austausch von Buntmetallen durch andere technische Werkstoffe derart erfolgt, daß er sowohl technisch als auch wirtschaftlich als gerechtfertigt angesehen werden kann. Fehlkonstruktionen müssen aus Gründen der Arbeitsproduktivität vermieden werden. Die Beratungsstelle der Kammer der Technik und die Technische Hochschule Dresden haben es übernommen, bei der Lösung derartiger Aufgaben

Hilfe zu leisten. *Eine verstärkte Sammlung und Wiederverwendung von Buntmetallschrott ist geboten* (Abb. 90). Durch *erhöhte Wachsamkeit* muß dafür gesorgt werden, daß kein Buntmetall vergeudet oder gestohlen werden kann. Jeder Buntmetalldieb sabotiert unseren Aufbau.

2. Kupfer (Cu)

Filme: Gewinnung von Kupfererzen am Balkaschsee (F 454), Kupferstich (F 435)
Bunsenbrenner — Kupferblech — Kupferdraht — Salzsäure

Kupfer ist das wichtigste Buntmetall und das älteste Gebrauchsmetall.

Geschichtliches

Kupfer ist bereits in vorgeschichtlicher Zeit zur Herstellung von Waffen und Geräten verwendet worden (Kupferzeit).

Dieser Abschnitt der Menschheitsentwicklung wurde durch die Bronzezeit abgelöst, in der man Bronze (Legierung von Kupfer und Zinn) verwendete, die härter als Kupfer ist. Auf die Bronzezeit folgte die Eisenzeit.

Jeder dieser großen Zeitabschnitte ist kennzeichnend für den Fortschritt, den der Mensch in der Erforschung und Beherrschung der Natur machte.

Es ist erwiesen, daß die alten Ägypter bereits 5000 Jahre vor unserer Zeitrechnung Kupferbergbau betrieben. In Deutschland wurde mit Kupferbergbau erst nach 950 in der Goslarer Gegend und um 1200 im Mansfelder Bezirk begonnen.

Eigenschaften des Kupfers

Das unedle Schwermetall Kupfer ist neben dem Edelmetall Gold das einzige Metall, das nicht das silbergraue Aussehen der anderen Metalle zeigt. Die Farbe des reinen Kupfers ist hellrot.

Versuch 7:

Wir erhitzen ein Stück blankes Kupferblech in der Bunsenflamme. Die Flamme leuchtet für kurze Zeit grün auf. Die Oberfläche des Kupfers ist nach dem Versuch gedunkelt.

Beim Erhitzen von blankem Kupfer entsteht auf der Oberfläche des Kupfers rasch eine dünne *schwarze Schicht*, die im wesentlichen aus *Kupferoxyd* (CuO) besteht und gelegentlich auch Schwefel enthält. Außerdem treten buntschillernde Verfärbungen auf, die durch Interferenzerscheinungen¹⁾ des Lichtes in dünnen Schichten zu erklären und auch auf erhitztem Eisen zu beobachten sind.

¹⁾ Auslöschung einzelner Farbenanteile des Tageslichts durch Übereinanderlegen von Lichtwellen.— Weißes Licht kann in einen Fächer verschiedener Farben zerlegt werden.



Abb. 91. Kumpel aus dem Mansfelder Kupferbergbau brechen Kupferschiefer mit dem Preßlufthammer. In der Deutschen Demokratischen Republik wird Kupfer aus Mansfelder Kupferschiefer gewonnen.

Auch beim Lagern an der Luft entsteht auf Kupfer eine Oxydschicht. Oberhalb von 1000° C zersetzt sich die Oxydschicht wieder. Der Schmelzpunkt des Kupfers liegt bei 1080° C.

An feuchter Luft entsteht auf Kupfer eine grüne Schicht von basischem Kupferkarbonat, die als *Patina* bezeichnet wird.

Versuch 8:

Wir halten Kupferdraht nach dem Eintauchen in Salzsäure in die Flamme des Bunsenbrenners. Man beobachtet eine anhaltende Grünfärbung der Flamme.

Durch die Salzsäure wurde in der Flammenhitze das Kupfer in eine leichtflüchtige Verbindung, Kupferchlorid, verwandelt, das die Flamme anhaltend grün färbt. Kupfer wird stark von *Salpetersäure angegriffen*. Hiervon wird im Kupfertiefdruck Gebrauch gemacht (s. Abb. 40).

Kupfer ist *weich* und *außerordentlich zähe*, daher leicht schmied- und walzbar. Wegen seiner großen Dehnbarkeit läßt es sich gut zu Drähten ausziehen. Es läßt sich gut löten und bei heller Rotglut schweißen. Bei Verformung in kaltem Zustande kann sich Sprödigkeit einstellen. Durch Erhitzen auf Rotglut und Abschrecken im Wasser wird es wieder weich und dehnbar.

Da geschmolzenes Kupfer dickflüssig ist, kann Kupfer *nicht gegossen* werden. Im geschmolzenen Zustand nimmt Kupfer Luftsauerstoff auf, der beim Erkalten unter Blasenbildung wieder abgegeben wird.

Nach Silber ist *Kupfer der beste Wärme- und Elektrizitätsleiter*. Darauf beruht seine ausschließliche Verwendung für Drähte und andere Teile in der Elektrotechnik. Für Kessel, Rohrleitungen, Feuerbüchsen, LötKolben und Badeöfen wurde bisher Reinkupfer bevorzugt verwendet.

Vorkommen und Gewinnung des Kupfers

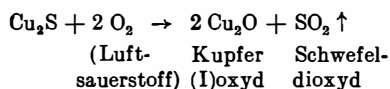
Kupfer kommt in der Natur in zahlreichen Verbindungen vor. Kupfersalze sind die Ausgangsstoffe für viele Medikamente und Schädlingsbekämpfungsmittel, für Malerfarben und Porzellanfarben. Lösungen von Kupfersalzen werden bei der galvanischen Verkupferung benutzt.

Große Kupfererzlagertstätten befinden sich in der Sowjet-Union, in den USA, in Chile, Kanada, in Afrika und Südspanien. Das einzige nennenswerte Kupfererzvorkommen in Gesamtdeutschland ist das *Mansfelder Kupferschiefergebiet* (s. Abb. 91).

Mansfelder Kupferschiefer enthält schwarzen Tonschiefer mit Kupferglanz (Cu_2S). Der Kupfergehalt des Mansfelder Kupferschiefers beträgt zwar nur 2 bis 4%, die Kupfergewinnung lohnt sich trotzdem, weil noch Silber (0,02%), Molybdän und andere wertvolle Elemente darin enthalten sind.

Im Rahmen des Fünfjahrplanes ist im volkseigenen Kupferschieferbergbau, im *Kombinat „Wilhelm Pieck“*, (durch Steigerung der Arbeitsproduktivität und Erschließung neuer Schächte bei Sangerhausen) eine Steigerung des Schieferabbaus auf 1500000 t vorgesehen.

Die einzelnen Vorgänge bei der Gewinnung des Kupfers aus Kupferschiefer sind ziemlich kompliziert, da viele Verunreinigungen den Prozeß sehr erschweren. Wenn das Cu_2S genügend angereichert, d. h. der Kupfergehalt der Erzmasse gesteigert worden ist, wird ihm der Schwefel durch *Rösten* (Erhitzen unter Luftzutritt) entzogen:



Das dabei entstehende Kupfer(I)oxyd wird mit Kohle reduziert:



Kohlenmonoxyd (S 56.)

Wie beim Eisen können dabei *Konverter* mit basischem Futter aus Magnesiasteinen verwendet werden. Man erhält zunächst Konvert-, Roh- oder Schwarzkupfer von 94 bis 97% Reinheitsgrad. Für elektrotechnische Zwecke hat noch eine elektrolytische Reinigung zu erfolgen. Elektrolytkupfer besteht zu 99,9% aus reinem Kupfer.

Kupfer-Legierungen

Es gibt zahlreiche Kupferlegierungen, die ebenso wie die Legierungen des Aluminiums und Magnesiums als Knet- und Gußlegierungen hergestellt werden.

Die Kupferlegierungen sind bei Zugabe geeigneter Zusätze gut gießbar und liefern somit beim Guß dichte Gußstücke. Sie sind widerstandsfähig sowohl gegen atmosphärische Einflüsse als auch gegen Laugen und Säuren. Sie haben die erwünschte Härte und Festigkeit und nutzen sich infolgedessen nur wenig ab.

Die Festigkeit kann bei Zusatz von Nickel oder Phosphor bis zu der des Stahles ansteigen.

Die Wärmeleitfähigkeit und die elektrische Leitfähigkeit bestimmter Kupferlegierungen ist im Gegensatz zum reinen Kupfer gering.

Die wichtigsten Kupferlegierungen sind: Bronze, Tombak, Messing und Neusilber.

Bronzen haben einen Kupfergehalt von mindestens 75%, der Restbestandteil ist vor allem *Zinn*. Weiches Kupfer und weiches Zinn ergeben zusammen eigenartigerweise eine harte und feste Bronze. Aus Bronze werden u. a. hergestellt: Siebbleche für chemische Betriebe, zerschleißfeste Teile für Meß- und Regelgeräte, Lagerschalen, Schneckenräder, Armaturen.

Nach der Art der Verarbeitung unterscheidet man *Walzbronzen* und *Gußbronzen*.

Walzbronzen: Zu den Walzbronzen gehört die Zinnbronze, die bis zu 10% Zinn enthält. Die Sonderbronzen sind zinnfrei und enthalten Zusätze von Al, Si, Mg, Cd, Mn, Ni und Pb. Aluminiumbronze z. B. enthält 5 bis 10% Aluminium, sieht goldgelb aus, hat eine große Härte und Festigkeit, zeigt Glanz, ist leicht bearbeitbar und gibt beim Anschlag einen schönen Klang.

Gußbronzen: Phosphorbronzen enthalten bis zu 30% Zinn. Durch den Phosphor wird die Elastizitätsgrenze der Legierung erweitert und die Festigkeit und Dehnbarkeit gesteigert (im Eisen hat Phosphor die gegenteilige Wirkung).

Diese Bronzen sind für Getriebe, Zapfenlager und hydraulische Pressen geeignet.

Rotguß ist eine Legierung aus 82 bis 93% Cu, 2 bis 7% Zn und 4 bis 10% Sn oder Zn und 1 bis 3% Pb. Außerdem werden besondere Bronzen für Glockenguß und zur Herstellung von Kunstgegenständen legiert.

Tombak ist eine Legierung aus 68 bis 90% Kupfer, Zink und etwas Zinn. Diese Legierung ist hart und schwer verformbar.

Messing enthält bis zu 68% Cu, der Restbestandteil ist vorwiegend *Zink*. Messing ist weicher und weniger fest als Bronze. Aus diesem Grunde eignet sich Messing besonders zur Herstellung von feinmechanischen Geräten. Wir unterscheiden:

Walzmessing, Gußmessing und Lötmessing.

Walzmessing besteht zu 56 bis 67% aus Kupfer und enthält Zusätze von Blei, Eisen, Mangan, Aluminium, Zinn und Nickel.

Gußmessing setzt sich aus 60 bis 68% Kupfer und Zusätzen von Blei, Zink und Mangan zusammen. *Lötmessing* wird zum Hartlöten verwendet. (Näheres s. S. 164.)

Neusilber (Argentan) besteht aus 40 bis 60% Kupfer, 19 bis 44% Zink und 6 bis 22% Nickel. Neusilber wird in der Feinmechanik für die Herstellung optischer und ärztlicher Instrumente sowie für die Anfertigung kunstgewerblicher Gegenstände verwendet. Versilbertes Neusilber wird *Alpaka* genannt.

Nickelin und *Konstantan* sind Kupfer-Nickel-Legierungen, die wegen ihrer geringen elektrischen Leitfähigkeit besonders für die Herstellung von elektrischen Widerständen geeignet sind.

3. Zink (Zn)

Bunsenbrenner — Zinkstäbe — Zinkblech — Bimetallstreifen

Eigenschaften

Eine auffallende Eigenschaft des Zinks ist die Bildung deutlich sichtbarer Kristalle, die vielfach an der Oberfläche von Geräten aus Zink oder mit Zinküberzug zu erkennen sind. Beispielsweise ist ein solches Kristallmuster auf verzinkten Eimern gut zu sehen (s. Abb. 92).

Versuch 9:

Wir biegen Zinkstäbe oder Zinkblechstreifen. Dabei brechen sie.

Im Versuch 9 wird die *Sprödigkeit* des Zinks gezeigt. Infolge seiner Sprödigkeit kann Zink erst bei Temperaturen zwischen 140° und 170° C verformt werden. Zink hat eine geringe Härte, eine geringe Zugfestigkeit (300kp/cm²) und ist bei normaler Temperatur nur wenig dehnbar. Bei Erwärmung hingegen dehnt sich Zink von allen Metallen am stärksten aus (2¹/₂ mal so viel wie Eisen). Diese Tatsache muß bei allen Arbeitsverfahren mit Zinkgeräten berücksichtigt werden.

Zwischen 140° und 170° C läßt sich Zink gut walzen, pressen, löten und schweißen. Bei Temperaturen über 200° C wird Zink wieder spröde, und zwar so stark, daß es pulverisiert werden kann. Der Schmelzpunkt liegt bei 419° C. Der Siedepunkt liegt bei 907° C. Zink verdampft bei einer Temperatur von über 500° C bereits aus dem flüssigen Zustand. Zink ist verhältnismäßig witterungsbeständig, da es unter Einwirkung von feuchter Luft einen schützenden Überzug von basischem Zinkkarbonat bildet. Zink ist in Säuren und starken Alkalilaugen löslich (S. 93).

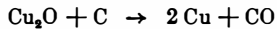
Vorkommen und Gewinnung

Die wichtigsten Zinkerze sind Zinkblende (ZnS) und Zinkspat oder Galmei (ZnCO₃). Die Fundorte befinden sich in Europa in Polen, Deutschland (Harz und Rheinland), Belgien, Frankreich



Abb. 92. Auf verzinkten Geräten ist die Kristallstruktur des Zinküberzuges deutlich zu erkennen.

Das dabei entstehende Kupfer(I)oxyd wird mit Kohle reduziert:



Kohlenmonoxyd (S 56.)

Wie beim Eisen können dabei *Konverter* mit basischem Futter aus Magnesiasteinen verwendet werden. Man erhält zunächst Konvert-, Roh- oder Schwarzkupfer von 94 bis 97% Reinheitsgrad. Für elektrotechnische Zwecke hat noch eine elektrolytische Reinigung zu erfolgen. Elektrolytkupfer besteht zu 99,9% aus reinem Kupfer.

Kupfer-Legierungen

Es gibt zahlreiche Kupferlegierungen, die ebenso wie die Legierungen des Aluminiums und Magnesiums als Knet- und Gußlegierungen hergestellt werden.

Die Kupferlegierungen sind bei Zugabe geeigneter Zusätze gut gießbar und liefern somit beim Guß dichte Gußstücke. Sie sind widerstandsfähig sowohl gegen atmosphärische Einflüsse als auch gegen Laugen und Säuren. Sie haben die erwünschte Härte und Festigkeit und nutzen sich infolgedessen nur wenig ab.

Die Festigkeit kann bei Zusatz von Nickel oder Phosphor bis zu der des Stahles ansteigen.

Die Wärmeleitfähigkeit und die elektrische Leitfähigkeit bestimmter Kupferlegierungen ist im Gegensatz zum reinen Kupfer gering.

Die wichtigsten Kupferlegierungen sind: Bronze, Tombak, Messing und Neusilber.

Bronzen haben einen Kupfergehalt von mindestens 75%, der Restbestandteil ist vor allem *Zinn*. Weiches Kupfer und weiches Zinn ergeben zusammen eigenartigerweise eine harte und feste Bronze. Aus Bronze werden u. a. hergestellt: Siebbleche für chemische Betriebe, zerschleißfeste Teile für Meß- und Regelgeräte, Lagerschalen, Schneckenräder, Armaturen.

Nach der Art der Verarbeitung unterscheidet man *Walzbronzen* und *Gußbronzen*.

Walzbronzen: Zu den Walzbronzen gehört die Zinnbronze, die bis zu 10% Zinn enthält. Die Sonderbronzen sind zinnfrei und enthalten Zusätze von Al, Si, Mg, Cd, Mn, Ni und Pb. Aluminiumbronze z. B. enthält 5 bis 10% Aluminium, sieht goldgelb aus, hat eine große Härte und Festigkeit, zeigt Glanz, ist leicht bearbeitbar und gibt beim Anschlag einen schönen Klang.

Gußbronzen: Phosphorbronzen enthalten bis zu 30% Zinn. Durch den Phosphor wird die Elastizitätsgrenze der Legierung erweitert und die Festigkeit und Dehnbarkeit gesteigert (im Eisen hat Phosphor die gegenteilige Wirkung).

Diese Bronzen sind für Getriebe, Zapfenlager und hydraulische Pressen geeignet.

Rotguß ist eine Legierung aus 82 bis 93% Cu, 2 bis 7% Zn und 4 bis 10% Sn oder Zn und 1 bis 3% Pb. Außerdem werden besondere Bronzen für Glockenguß und zur Herstellung von Kunstgegenständen legiert.

Tombak ist eine Legierung aus 68 bis 90% Kupfer, Zink und etwas Zinn. Diese Legierung ist hart und schwer verformbar.

Messing enthält bis zu 68% Cu, der Restbestandteil ist vorwiegend *Zink*. Messing ist weicher und weniger fest als Bronze. Aus diesem Grunde eignet sich Messing besonders zur Herstellung von feinmechanischen Geräten. Wir unterscheiden:

Walzmessing, Gußmessing und Lötmessing.

Walzmessing besteht zu 56 bis 67% aus Kupfer und enthält Zusätze von Blei, Eisen, Mangan, Aluminium, Zinn und Nickel.

Gußmessing setzt sich aus 60 bis 68% Kupfer und Zusätzen von Blei, Zink und Mangan zusammen. *Lötmessing* wird zum Hartlöten verwendet. (Näheres s. S. 164.)

Neusilber (Argentan) besteht aus 40 bis 60% Kupfer, 19 bis 44% Zink und 6 bis 22% Nickel. Neusilber wird in der Feinmechanik für die Herstellung optischer und ärztlicher Instrumente sowie für die Anfertigung kunstgewerblicher Gegenstände verwendet. Versilbertes Neusilber wird *Alpaka* genannt.

Nickelin und *Konstantan* sind Kupfer-Nickel-Legierungen, die wegen ihrer geringen elektrischen Leitfähigkeit besonders für die Herstellung von elektrischen Widerständen geeignet sind.

3. Zink (Zn)

Bunsenbrenner — Zinkstäbe — Zinkblech — Bimetallstreifen

Eigenschaften

Eine auffallende Eigenschaft des Zinks ist die Bildung deutlich sichtbarer Kristalle, die vielfach an der Oberfläche von Geräten aus Zink oder mit Zinküberzug zu erkennen sind. Beispielsweise ist ein solches Kristallmuster auf verzinkten Eimern gut zu sehen (s. Abb. 92).

Versuch 9:

Wir biegen Zinkstäbe oder Zinkblechstreifen. Dabei brechen sie.

Im Versuch 9 wird die *Sprödigkeit* des Zinks gezeigt. Infolge seiner Sprödigkeit kann Zink erst bei Temperaturen zwischen 140° und 170° C verformt werden. Zink hat eine geringe Härte, eine geringe Zugfestigkeit (300 kp/cm²) und ist bei normaler Temperatur nur wenig dehnbar. Bei Erwärmung hingegen dehnt sich Zink von allen Metallen am stärksten aus (2¹/₂mal so viel wie Eisen). Diese Tatsache muß bei allen Arbeitsverfahren mit Zinkgeräten berücksichtigt werden.

Zwischen 140° und 170° C läßt sich Zink gut walzen, pressen, löten und schweißen. Bei Temperaturen über 200° C wird Zink wieder spröde, und zwar so stark, daß es pulverisiert werden kann. Der Schmelzpunkt liegt bei 419° C. Der Siedepunkt liegt bei 907° C. Zink verdampft bei einer Temperatur von über 500° C bereits aus dem flüssigen Zustand. Zink ist verhältnismäßig witterungsbeständig, da es unter Einwirkung von feuchter Luft einen schützenden Überzug von basischem Zinkkarbonat bildet. Zink ist in Säuren und starken Alkalilösungen löslich (S. 93).

Vorkommen und Gewinnung

Die wichtigsten Zinkerze sind Zinkblende (ZnS) und Zinkspat oder Galmei (ZnCO₃). Die Fundorte befinden sich in Europa in Polen, Deutschland (Harz und Rheinland), Belgien, Frankreich



Abb. 92. Auf verzinkten Geräten ist die Kristallstruktur des Zinküberzuges deutlich zu erkennen.

und in der Sowjetunion, außerdem in den USA und Australien. Bei der Gewinnung werden die gerösteten Zinkerze mit Koks und Kohlenoxyd reduziert. Wegen seiner niedrigen Verdampfungstemperatur entsteht dabei aus dem Zinkoxyd dampfförmiges Zink, das durch Abkühlung in tönernen Vorlegern flüssig wird und erstarrt.

Verwendung

Da Zink wegen seiner geringen Härte und Zugfestigkeit hohen mechanischen Beanspruchungen nicht gewachsen, aber an der Luft korrosionsfest ist, wird der größte Teil des Zinkaufkommens lediglich zum *Verzinken* verwendet. Reines Zink wird zu Dachrinnen, Waschgefäßen und Draht verarbeitet. Zink ist ein wertvolles *Legierungsmetall* (z. B. für Messing, Neusilber). Reines Zink wird in Form von Platten in galvanischen Elementen benutzt. Zinkstaub mit Leinölfirniß liefert eine graue Ölfarbe.

Versuch 10:

Wir erhitzen einen aus Eisen und Zink zusammengesetzten Bimetallstreifen. Da der Zinkstreifen ein größeres Ausdehnungsvermögen besitzt als Eisen, biegt sich der Doppelstreifen nach der Seite des Eisens.

Man verwendet solche Bimetallstreifen in der Technik z. B. für automatische elektrische Schaltungen oder als Thermometer.

Wichtige *Zinkverbindungen* sind Zinkchlorid ($ZnCl_2$), Zinkoxyd (ZnO) und Zinksulfid (ZnS). Einige werden als Anstrichfarben verarbeitet. Zinkoxyd findet auch als Puder gegen Hautkrankheiten Verwendung.

4. Zinn (Sn)

Schmelztiigel — Thermometer (0° bis 360° C) — Mikroskop — Zinnkörner — Zinnstab

Eigenschaften

Versuch 11:

Wir schmelzen eine kleine Menge Zinn in einem Schmelztiigel und messen dabei die Temperatur mit einem guten Laborthermometer. Zinn schmilzt bei 232° C.

Versuch 12:

Wir betrachten das erstarrte Zinn unter dem Mikroskop (Schülerversuch).

Versuch 11 zeigt den niedrigen Schmelzpunkt von Zinn: 232° C. Mit Versuch 12 wird die farnkrautähnliche Kristallbildung des Zinns erkannt, die besonders beim Anätzen mit Königswasser (1 Teil HNO_3 und 3 Teile HCl , konz.) sichtbar wird. Zinn ist geschmeidig und dehnbar, so daß es sich leicht in dünne Blättchen auswalzen läßt (Stanniol).

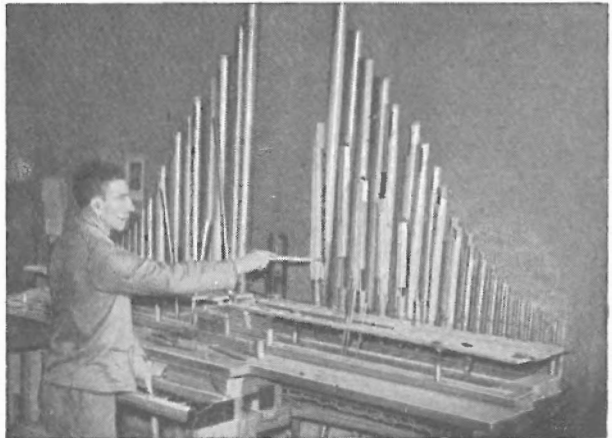


Abb. 93. Der Orgelbauer stellt die Pfeifen, die aus einer Zinn-Blei-Legierung bestehen, zusammen.

Versuch 13:

Wir biegen einen Zinnstab oder ein Zinnblech. Ohne sichtbare Veränderung des Zinngegenstandes wird ein Knirschen hörbar, das als „Zinngeschrei“ bezeichnet wird.

Dieses für Zinn charakteristische Geräusch entsteht, weil die Kristalle im Innern des Zinngegenstandes sich aneinander reiben. Dennoch ist Zinn bei normaler Temperatur nicht ausgesprochen spröde. Erst bei 200° C wird Zinn spröde und dann sogar pulverisierbar. Bei längerem Lagern unterhalb +18° C, schneller unterhalb -15° C, wird Zinn grau und matt und verwandelt sich unter Aufblähen in eine pulverförmige Substanz. Diese Erscheinung wird „Zinnpest“ genannt.

Zinn ist noch witterungsbeständiger als Zink, da die Schutzschicht aus Zinnoxid besonders dicht ist. Zinn ist widerstandsfähig gegen schwache Säuren.

Vorkommen und Gewinnung

Zinn ist ein Gebrauchsmetall, das z. Zt. in der Deutschen Demokratischen Republik nur in geringen Mengen zur Verfügung steht und deshalb besonders sparsam verwendet werden muß.

Die großen Zinnvorkommen der Welt liegen im indo-australischen Raume.

In der Deutschen Demokratischen Republik soll die Zinnförderung im Erzgebirge wieder aufgenommen werden.

Zinn kommt in den meisten Fällen als Zinnstein (SnO_2) vor. Das Erz wird nach langwierigen Aufbereitungsarbeiten geröstet, reduziert, verschmolzen und schließlich in Flammöfen oder elektrolytisch raffiniert. In Deutschland wird Zinn von Weißblechabfällen durch Chlorentzinnung (Zinn wird leicht durch trockenes Chlor angegriffen) wiedergewonnen.

Verwendung

Wie schon erwähnt, ist Zinn ein wertvoller Bestandteil verschiedener Legierungen (s. S. 154). Es wird für Lote und als Lagermetall verwendet (s. S. 160). Als Rostschutz dient Zinn in Form eines Überzuges für Haushaltgegenstände und Konservendosen (Weißblech). In Deutschland wird Zinn nach Möglichkeit durch Aluminium, Zink und Blei ersetzt.

In Verbindungen dient Zinn in Form von Zinnoxid als Zusatz von Glasflüssen (Milchglas, Emaille). Zinn(IV)chlorid wird als Beize in der Zeugfärberei verwendet.

5. Blei (Pb)

Mikroskop — Becherglas — Bleistücke — Bleiazetatlösung — Zinkspäne — Letternmetall

Eigenschaften*Versuch 14:*

Wir ritzen ein Stück Blei mit dem Fingernagel (Schülerversuch):

Das blaugraue Blei hat zwei auffällige physikalische Eigenschaften:

1. Blei ist so *weich*, daß es mit dem Fingernagel geritzt werden kann (Fingernagelprobe) und graue Striche hinterläßt, wenn es mit leichtem Druck auf Papier bewegt wird (Versuch).
2. Blei hat von allen Gebrauchsmetallen die *größte Dichte*: 11,4 g/cm³ (Wichte: 11,4 p/cm³).

Wegen seiner großen Wichte ist Blei für Beschwerungsgewichtsstücke (z. B. für Taucher) besonders geeignet.

Versuch 15:

Wir betrachten einen Tropfen klarer Bleiazetatlösung, in dem sich ein Zinkspänchen befindet, unter dem Mikroskop. Am Zinkspan ist eine Kristallbildung zu beobachten.

Da das Zink in der Spannungsreihe der Metalle links vom Blei steht (s. Kap. 9, S. 95), vermag es das Blei aus den Lösungen seiner Salze zu verdrängen. Es kristallisiert hierbei in schönen Kristallen aus.

Blei kann *leicht verformt* werden, aber die Zugfestigkeit ist gering, so daß z. B. aus Blei keine Drähte gezogen werden können.

Von allen Metallen ist Blei der *schlechteste Leiter für Wärme und für elektrischen Strom*. An der Luft und im Wasser hält sich Blei infolge Bildung einer wirksamen Schutzschicht recht gut. Blei wird von Säuren stark, von Laugen kaum angegriffen.

Verwendung

Obgleich Blei in löslichen Verbindungen *stark giftig* ist, kann es für Wasserleitungsrohre verwendet werden, da die Schutzschicht, die sich in den Röhren bildet (PbCO_3) einerseits unlöslich und damit nicht giftig ist, und andererseits das Blei vor weiterer Korrosion durch das Wasser bewahrt.

Da Blei von *Röntgenstrahlen und Radiumstrahlen* kaum durchdrungen wird, dienen Bleiwände, Bleischürzen sowie Brillen aus Bleiglas zum Schutz gegen schädigende Einwirkungen der Strahlen.

Mennige (Pb_3O_4) ist eine Bleiverbindung, die als Malerfarbe und als Rostschutzmittel dient. Bleiweiß [$2\text{PbCO}_3, \text{Pb}(\text{OH})_2$] und viele andere Bleiverbindungen werden ebenfalls als Malerfarbe verwendet.

Bleilegierungen

Bleilegierungen werden als *Weichlote* (s. S. 162) und Lagermetalle (s. S. 160) und in Form von Hartblei zur Herstellung von Lettern für Druckereien verwendet.

Hartblei besteht zu 50 bis 60% aus Blei, zu 25% aus Antimon (Sb) und zu 10 bis 20% aus Zinn.

c) Lagermetalle

Lötrohr — Bunsenbrenner — Filtrierpapier — Antimon — Holzkohle

Begriff

Lagerschalen sind Maschinenelemente, die zur Stützung und Führung sich drehender Maschinenteile (Achsen, Wellen, Zapfen) dienen. Diese Lagerschalen müssen hohen Anforderungen gewachsen sein und werden aus verschiedenen Werkstoffen hergestellt. Die als Material für Lagerschalen besonders geeigneten Metalle und Legierungen werden *Lagermetalle* genannt.

An Lagermetalle sind folgende Anforderungen zu stellen:

1. *Tragfähigkeit, Druckfestigkeit und Härte*, verbunden mit einer gewissen *Plastizität*,
2. *geringer Verschleiß* durch Reibung infolge einer gewissen *Geschmeidigkeit*,

3. *Widerstandsfähigkeit gegen Erwärmung, gute Wärmeleitfähigkeit, hoher Schmelzpunkt,*
4. *geringer Ölverbrauch bei Ölmangel; das Metall darf nicht zum „Fressen“ des Öls neigen (gute Notlaufeigenschaft).*

Lagermetalle sind gekennzeichnet durch Druckfestigkeit, Härte, Plastizität, hohen Schmelzpunkt und gute Wärmeleitfähigkeit.

Zusammensetzung

Zur Verwendung als Lagermetall wurden viele Legierungen entwickelt. Dabei zeigte sich, daß die notwendigen Eigenschaften (Druckfestigkeit, Härte, Plastizität, Geschmeidigkeit) im allgemeinen nur zu erreichen sind, wenn in eine weichere metallische Grundmasse härtere Kristalle eingebettet sind. Die vorteilhaftesten derartigen Legierungen enthalten etwa 80% weiche Metallmasse und etwa 20% harte Bestandteile. Bisher wurden in den meisten Fällen *Kupfer-Antimon-Zinn-Legierungen* benutzt. Diese Legierungen können in vielen Fällen durch *Lagermetall-Legierungen aus Eisen, Zink, Blei und Aluminium* ersetzt werden. Man ist ferner dazu übergegangen, chemisch-technisch erzeugte *Kunststoffe* und *Sintereisen* zu verwenden, das durch Sinterung (Zusammenbacken) von Eisenpulver hergestellt wird (s. Abb. 94).

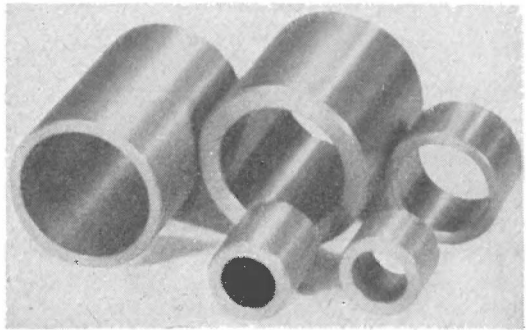


Abb. 94. Gleitlager aus Sintereisen

Ein wichtiger Bestandteil der Lagermetall-Legierungen ist das *Antimon* (Sb).

Versuch 16:

Wir schmelzen ein erbsengroßes Stück Antimon auf Holzkohle mit dem Lötrohr. Aus etwa 30 cm Höhe schütten wir dann den geschmolzenen Inhalt auf einen großen Bogen helles Papier, dessen Ränder nach oben umgebogen sind. Die entstehenden zahlreichen Tropfen springen wie Bälle nach allen Seiten und hinterlassen schwarze Bahnen (Brandflecken).

Antimon ist ein glänzendes, sprödes Metall von weißblauer Farbe. Wie der Versuch zeigt, bildet Antimon im geschmolzenen Zustand (Schmelzpunkt 631° C) leicht kugelförmige Tropfen, ähnlich wie Quecksilber. Diese Erscheinung ist in der großen Kohäsion des Antimons begründet. Wenn Blei mit Antimon zusammengeschmolzen wird, entsteht eine Legierung, die sich infolge der Kohäsion des beigemengten Antimons durch besondere Härte auszeichnet und z. B. zur Herstellung von Schrot für Jagdpatronen verwendet wird. In entsprechender Weise werden auch Lagermetall-Legierungen durch Zusatz von Antimon gehärtet.

Antimon wirkt härtend. Lagermetalle mit Antimonzusatz gewährleisten einen besonders einwandfreien Lauf von Wellen und Achsen.

Lagermetall-Legierungen, die kein Eisen enthalten, werden in *zinnhaltige und zinnfreie Lagermetalle* eingeteilt.

In steigendem Maße wird *Sintereisen* als Lagermetall verwendet.

1. Zinnhaltige Lagermetalle

Bei den zinnhaltigen Lagermetallen sind zu unterscheiden: *Lagerweißmetalle*, *Rotguß* und *Bronzen*.

Lagerweißmetalle

Lagermetalle, die 5 bis 80% Zinn enthalten, werden als Lagerweißmetalle bezeichnet. Zur Erzielung der notwendigen Härte werden 11 bis 16% Antimon zugesetzt, Kupfergehalt: 1 bis 9%, Bleigehalt: 2 bis 78%.

Die Druckfestigkeit der Lagerweißmetalle beträgt 12 bis 18 kp/mm², die Brinellhärte 21 bis 30 kp/mm² und der Schmelzbereich 240 bis 360° C. Lager aus hochprozentigem Zinnlagermetall eignen sich für höchste Geschwindigkeiten mit starker Stoß- und Schlagbeanspruchung.

Um Zinn einzusparen, wird *Verbundguß* bevorzugt, bei dem lediglich die Gleitfläche der Lagerwelle aus Lagerweißmetall, der Grund der Schale jedoch aus Stahl besteht. Zinnarmes Lagerweißmetall, das bis zu 12% Zinn enthält, zeigt eine gute Gleitfähigkeit, wenn in die Legierung Graphit eingelagert ist.

Lagerweißmetalle mit 73,5 bis 78,5% Blei und 5 bis 10% Zinn können auch zu den Bleilagermetallen gerechnet werden.

Rotguß und Bronzen

Die Zusammensetzung von Rotguß und Bronzen ist auf S. 154 angegeben. Mit einer Druckfestigkeit von 60 kp/mm² und einer Brinellhärte von 60 bis 80 kp/mm² bei einem Schmelzpunkt von 900 bis 1000° C ist *Rotguß* ein hochwertiges Lagermetall, das besonders für hohe Druckbeanspruchung geeignet ist. Auch *Bleibronzen* mit 25 bis 70 kp/mm² Brinellhärte (s. S. 167) und *Bleizinnbronzen* mit über 70 kp/mm² Härte haben sich als Lagermetall bewährt.

Um Kupfer und Zinn zu sparen, wird die Lagerschale ebenfalls im Verbundguß hergestellt.

2. Zinnfreie Lagermetalle

Als zinnfreie Lagermetalle werden *Zink-, Blei- und Aluminiumlegierungen* verwendet.

Zinklagermetalle

Der Zinkgehalt der Zinklagermetalle beträgt mindestens 90%. Zur Herstellung von Zinklagermetallen wird Feinzink (99,99% Zn) mit Kupfer, Aluminium und Magnesium legiert. Zinklagermetalle (Brinellhärte 80 bis 110 kp/mm²) sind für mittlere Beanspruchungen geeignet.

Bleilagermetalle

Bleilagermetalle enthalten 80 bis 90% Blei und 11,5 bis 16,5% Antimon. Außer geringen Zusätzen von Barium, Kalzium, Natrium und Lithium gibt man zu der Legierung

noch Magnesium und Aluminium, um die Aushärtung des gegossenen Lagers zu verbessern.

Die Reichsbahn verwendet als Lagermetall eine Legierung, die als „Bahnmetall“ bezeichnet wird. Bahnmetall enthält 98% Blei und geeignete Zusätze, vor allem Barium und Magnesium.

Bleilagermetalle werden im allgemeinen Maschinenbau verwendet, wenn keine außergewöhnlichen Beanspruchungen vorliegen.

Aluminiumlagermetalle

Aluminiumlagermetalle enthalten 95 bis 98% Aluminium; der Restbestandteil ist Kupfer. Sie sind auch für höher beanspruchte Lagerschalen geeignet.

3. Sintereisenlagermetall

Als vollwertiger Ersatz für Lagermetall-Legierungen hat sich Sintereisen bewährt, das aus Eisenpulver hergestellt wird (s. S. 170). Sintereisen ist porös und kann deshalb Schmieröl aufsaugen. Bei Belastung des Sintereisen-Lagers tritt das Öl aus dem Lager heraus und schmiert die laufende Welle selbsttätig. Das Öl wird wieder aufgesaugt, wenn die Belastung aufhört. Diese Selbstschmierung ist (z. B. bei Kleinstlagern) bei geringen Belastungen voll ausreichend. Bei höheren Beanspruchungen muß für eine Zusatzschmierung gesorgt werden.

Gleitlager aus Sintereisen zeichnen sich durch ihre guten Notlaufeigenschaften aus.

4. Kunststoffe als Lagerwerkstoff

Lagerschalen aus Kunststoff sind für Maschinen geeignet, die in einer staubigen Atmosphäre arbeiten (Steinbrüche, Bergbau). Kunstharzlager vertragen nur eine Temperatur von höchstens 80 bis 90° C. Der Anschaffungspreis liegt über dem der Metalllager, jedoch werden die verhältnismäßig hohen Anschaffungskosten durch geringe Schmiermittelkosten aufgewogen.

d) Lote

Woodsches Metall — Reagenzglas — Bunsenbrenner — Becherglas — Thermometer

Allgemeines

Lote sind Legierungen, die dazu dienen, zwei Metallstücke miteinander zu verbinden (Abb. 95). Die Lote schmelzen beim Erhitzen, werden dann flüssig aufgetragen und stellen nach dem Erstarren die feste Verbindung zwischen den beiden Metallstücken her.

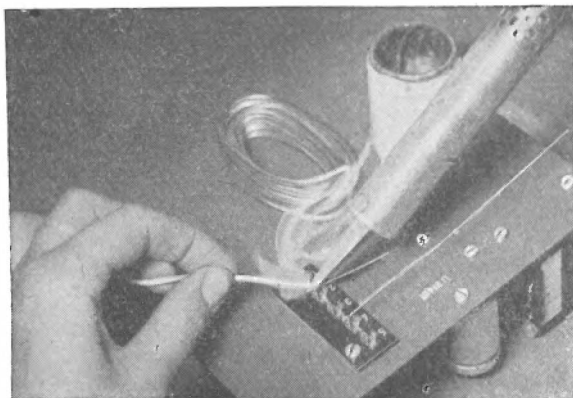


Abb. 95. Löten

An Lote werden ganz bestimmte *Anforderungen* gestellt:

1. Der *Schmelzpunkt des Lotes muß unter dem Schmelzpunkt des zu lötenden Metalles liegen*, damit das Metall des Werkstückes beim Löten nicht erweicht oder schmilzt.
2. Die *Bestandteile des Lotes* und die des zu lötenden Metalls *dürfen in der Spannungsreihe der Metalle* (s. S. 95) *nicht zu weit auseinander liegen*, damit die beim Zutritt von Feuchtigkeit auftretende elektrische Spannung und somit auch die elektrolytische Korrosion (s. S. 95) möglichst gering ist.
3. Das Lot und das zu lötenden Metall sollen in *Zusammensetzung und Farbe* möglichst gleichartig sein.

Eigenart und Schmelzpunkt des zu lötenden Metalles sind ausschlaggebend für die Wahl des geeigneten Lotes. Wir unterscheiden:

1. *Weichlote* (Schnellote, Weißlote) mit *niedrigem Schmelzpunkt*,
2. *Hartlote* (Strenglote, Schlaglote) mit *hohem Schmelzpunkt*.

Das wichtigste Merkmal der Lote ist der Schmelzpunkt.

1. Weichlote

Weichlote haben einen niedrigen Schmelzpunkt (180 bis 240° C, evtl. auch bis 315° C). Die Festigkeit der Weichlote ist gering (2 bis 8 kp/mm²). Deshalb sind weich gelötete Stellen stärkeren mechanischen Beanspruchungen nicht gewachsen. Falls keine solchen besonderen Beanspruchungen zu erwarten sind, sind Weichlote *zum Löten von Kupfer, Zink und Stahl geeignet*. Weichlote werden vor allem bei Klempnerarbeiten benutzt.

Technik des Weichlötens

Vor dem Löten müssen die Lötstellen mit Feile und Schmirgelpapier sorgfältig gereinigt werden. Um Oxydreste zu entfernen, werden die gereinigten Stellen mit Lötwasser bestrichen. Dann wird der stark erhitzte LötKolben auf dem Lötstein (Salmiakstein) gerieben und an die Weichlotstange gedrückt. Dabei bleiben Tropfen von geschmolzenem Weichlot am Kolben hängen, die mit dem Kolben auf die Lötstelle gebracht werden. Zuletzt wird die Lötstelle mit klarem Wasser abgewaschen und mit einem Lappen trockengerieben.

Zusammensetzung der Weichlote

Als Weichlote kommen verschiedene Legierungen zur Anwendung:

1. Blei-Zinn-Legierungen verschiedener Zusammensetzung,
2. Silberbleilote (97% Blei, Restbestandteil aus Silber, Gold und Kadmium),
3. Zinklote mit 98% Zink und 2% Kupfer.

Blei-Zinn-Legierungen sind die wichtigsten Weichlote.

Der Schmelzpunkt der Lote liegt tiefer als die Schmelzpunkte ihrer Bestandteile.

Nachstehendes Diagramm (Abb. 96) erläutert die Beeinflussung des Schmelzpunktes durch den Prozentsatz der Bestandteile der Blei-Zinn-Legierung.

Aus Abb. 96 ist zu erkennen, daß eine Mischung von 62% Zinn und 38% Blei von sämtlichen Mischungsmöglichkeiten den tiefsten Schmelzpunkt hat. Ein solches

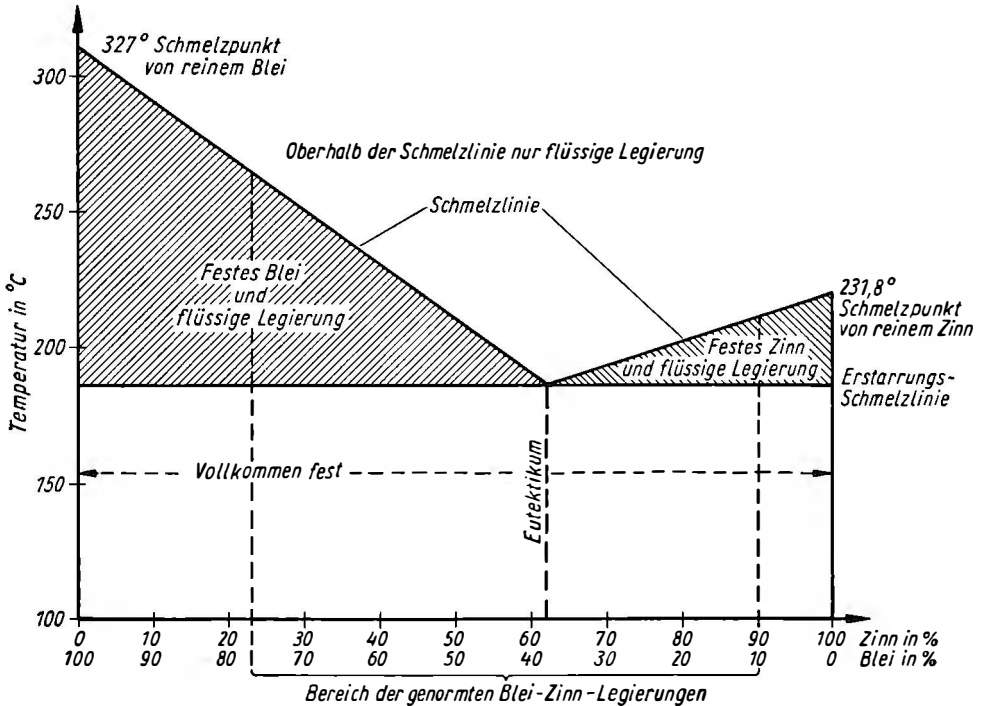


Abb. 96. Diagramm der Blei-Zinn-Legierung

Mischungsverhältnis wird *Eutektikum* genannt oder als *eutektische Mischung* bezeichnet. Eine eutektische Mischung hat (wie ein einheitlicher Stoff) *einen* Schmelzpunkt. Eine nichteutektische Mischung hingegen schmilzt in einem Temperaturbereich.

Als Weichlote werden eutektische Mischungen verwendet.

Versuch 17:

Wir bringen ein Stück Wood-Metall in ein z. T. mit H_2O gefülltes Reagenzglas. Wir erhitzen das Wasser und stellen fest, bei welcher Temperatur das Metall schmilzt ($70^\circ C$).

Das *Wood-Metall* ist eine Legierung von 50% Wismut, 25% Blei, 12,5% Zinn und 12,5% Kadmium. Die Schmelzpunkte der Bestandteile dieser Legierung liegen zwischen $231,8^\circ$ (Zinn) und 327° (Blei) C. Der Schmelzpunkt des Wood-Metalls liegt bei $70^\circ C$. Auch andere Metall-Legierungen zeigen einen bedeutend niedrigeren Schmelzpunkt als jeder ihrer Bestandteile.

Woodsches Metall und ähnliche niedrigschmelzende Legierungen werden unter anderem zum Verlöten von Sicherheitshebeln an Dampfkesseln und von Stützhebeln an Brausen für automatische Brandlöschung verwendet. Überschreitet die Lufttemperatur infolge eines Brandes etwa $100^\circ C$, schmelzen diese Metalle an den Stützhebeln der Brausen, so daß die Brausen automatisch freigegeben werden und Wasser auf den Brandherd sprühen.

Lötpasten enthalten außer pulverisierter Lötlegierung zugleich das Lötmedium. So gibt es z. B. eine pastenartige Mischung von feingepulvertem Lötzinns mit Salmiak oder Kolophonium. Solche Pasten erleichtern die Handhabung des Lötens, können jedoch nicht überall angewendet werden.

2. Hartlote

Für Lötstellen, die stärkeren Beanspruchungen genügen müssen, sind Hartlote zu verwenden. *Hartlote* werden auch als *Strenglote* oder *Schlaglote* bezeichnet.

Man unterscheidet verschiedene Arten von Hartloten:

1. Messinglote
2. Kupferlote
3. Silberlote
4. Aluminiumlote

Die Festigkeit der Hartlote beträgt etwa 20 bis 50 kp/mm², so daß die Lötstelle nahezu die gleichen Beanspruchungen verträgt wie das Metall, das gelötet wird. Der Schmelzpunkt der Hartlote liegt zwischen 500 und 1020° C.

Technik des Hartlötens

Das meist körnerförmige Hartlot wird gemeinsam mit einem Flußmittel (z. B. Borax) auf die Lötstelle aufgetragen. Dann wird die Lötstelle in der Flamme des Azetylen-Sauerstoff-Brenners (oder in einem Muffelofen) erhitzt. Dabei dringt das geschmolzene Lot in den Zwischenraum zwischen den beiden metallischen Teilen. In diesem Augenblick wird die Lötflamme weggenommen: Das Lot erstarrt und verbindet die beiden Teile.

Zusammensetzung der Hartlote

Messinglote sind Hartlote, die 41 bis 86% Kupfer und daneben Zink enthalten. Manche Messinglote enthalten etwas Silizium (0,2 bis 0,4%). Die Arbeitstemperatur liegt bei diesen Loten zwischen 845° (41% Cu, 56% Zn) und 1020° (84% Cu, 13% Zn). Sie steigt mit dem Kupfergehalt. Wenn Kupferlegierungen hartgelötet werden sollen, ist besonderer Wert darauf zu legen, daß der Schmelzpunkt des Hartlotes niedriger liegt als der Schmelzpunkt der Kupferlegierung. Außer Kupfer und Kupferlegierungen können auch Stahl und Gußeisen mit Messingloten hartgelötet werden.

Kupferlote aus reinem Kupfer werden für Tauchlötungen, Salzbadlötungen und Ofenlötungen verwendet. Sie werden für Teile aus Stahl, Grauguß, Kupfer, Kupferlegierungen und Hartmetall-Legierungen verwendet.

Silberlote sind sehr dünnflüssig und füllen daher die kleinsten Zwischenräume aus. Die Lötstellen sind dehnbar, gut hämmerbar und zur Nachbearbeitung geeignet. Die Silberlote für *Schwermetalle und Eisenwerkstücke* enthalten 7 bis 51% Silber, 32 bis 55% Kupfer, bis zu 17% Kadmium; der Restbestandteil ist Zink. Die Arbeitstemperaturen liegen zwischen 700° und 860° C.

Es werden auch Silberlote verwendet, die Mangan und Nickel enthalten. Zum Auflöten von Hartmetall auf Drehstähle (z. B. zum Schnelldrehen, s. S. 173) ist z. B. bei 730° C eine Silberlegierung geeignet, die 27% Silber, 40% Kupfer, 10% Mangan, 4 bis 6% Nickel und einen Restzusatz an Zink enthält.

Zum Hartlöten von Edelmetallen verwendet man Silberlote, die wie folgt zusammengesetzt sind: 44 bis 84% Silber, 17 bis 28% Kupfer, bis zu 22% Kadmium, Restbestandteil Zink. Die Arbeitstemperaturen bei diesen schwanken zwischen 620° und 830° C.

Aluminiumlote mit 80 bis 99,5% Aluminium und 4 bis 5% Silizium werden zum Hartlöten von Aluminium und Aluminiumlegierungen bei einer Arbeitstemperatur von etwa 550° C verwendet.

Aluminium-Zink-Legierungen mit 56 bis 84% Zink und einem Zusatz von Aluminium, Zinn oder Kadmium ermöglichen eine Arbeitstemperatur von nur 320 bis 450° C. Als Lote für Kabel und Gußstücke sind diese Legierungen infolge ihrer geringen Korrosionsfestigkeit noch nicht ausreichend befriedigend. Zum Löten von Aluminiumdrähten und -folien verwendet man eine Aluminiumlegierung mit 59% Zinn und 39% Zink. Auch diese Legierung zeigt noch keine völlig ausreichende Korrosionsfestigkeit.

Aufgaben:

1. Begründe, weshalb für das Entzünden von Thermit eine Zündkirsche notwendig ist!
2. Welche Aufgabe hat Bariumperoxyd beim Zündsatz der Zündkirsche?
3. Stelle die chemischen Gleichungen für das Goldschmidtsche Verfahren zur Gewinnung von Chrom und Mangan auf!
4. Erläutere den chemischen Vorgang, der sich bei der Erwärmung von Magnesium in Wasser ergibt!
5. Wie heißt das Verbrennungsprodukt von Magnesium? Stelle die Gleichung für die Verbrennung von Magnesium auf!
6. Begründe, inwiefern die gute Wärmeleitfähigkeit des Magnesiums die Brandgefahr beim Zerspanen herabsetzt!
7. Welche Aufgabe hat die isolierende Schicht, die man oft zwischen zwei zusammenstoßenden Metallen einfügt?
8. Die Bunsenflamme wird durch hineingehaltene Kupferstreifen grün gefärbt. Begründung? Taucht man das Kupfer zuvor in Salzsäure, so ist die Grünfärbung stärker. Grund?
9. Aus welchem Grunde sind Kupferlegierungen im Gegensatz zu reinem Kupfer gut gießbar?
10. Begründe, weshalb Zink nur bei bestimmten Temperaturen verformt werden kann!
11. Erläutere die Ausdehnungserscheinungen bei Bimetallstreifen!
12. Wie erklärt sich der Name „Bleistift“?
13. Begründe die Bildung von Bleikristallen, die sich auf einem Zinkdraht ausscheiden, der in eine Lösung von Bleiazetat $[\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$ gehängt wird!
14. Warum müssen Lagermetalle gute Wärmeleitfähigkeit besitzen?
15. Beschreibe das Verhalten von Sintereisen bei Ölmangel!
16. Welche Maßnahmen sollen zur Beseitigung des Buntmetall-Engpasses dienen? Welche Austauschstoffe können verwendet werden?
17. Wie ist die Zusammensetzung von Bleischrot? Welche Eigenschaften der Bestandteile werden für die Legierung ausgenutzt?
18. Welchen Vorteil bieten Lötpasten?
19. Wie erklärt sich die automatische Brandlöschung mit Woodschem Metall?
20. Welchen Schmelzbereich hat ein Weichlot von 60% Pb und 40% Sn (s. Diagramm, Abb. 96)?

15. Hartmetalle

Auf Grund des Freundschaftsvertrages zwischen der Deutschen Demokratischen Republik und der Sowjetunion ist nicht nur der Austausch von Handelsgütern, sondern auch der Austausch der wissenschaftlichen Forschungsergebnisse vorgesehen. Im Zuge dieser Bestrebungen und im Zeichen der deutsch-sowjetischen Freundschaft werden uns die neuen und fortschrittlichen sowjetischen Arbeitsmethoden zur Verfügung gestellt.

Pawel Bykow kam persönlich in die Deutsche Demokratische Republik und erklärte den Arbeitern und Ingenieuren praktisch und theoretisch seine Methode des Schnelldrehens.

Diese Methode, auch Schnellzerspanung genannt, führte zu einer bedeutenden Erhöhung der Arbeitsproduktivität in den sowjetischen Betrieben.

Wenn unser Fünfjahrplan zur Verwirk-

lichung seiner Ziele eine Erhöhung der Arbeitsproduktivität vorsieht, so gab uns der Freundschaftsbesuch Pawel Bykows hierzu eine ebenso bedeutende wie dankenswerte Unterstützung.

Sowohl der Fünfjahrplan als auch die beispielhafte Freundschaftstat des sowjetischen Kollegen Bykow verpflichtet unsere künftigen Metallfacharbeiter, sich gründliche Fachkenntnisse anzueignen.

Eine hohe berufliche Qualifikation und die klare Erkenntnis der gesellschaftlichen Verpflichtungen sind die unerläßlichen Voraussetzungen für die fortschrittliche Entwicklung der geplanten Wirtschaft und damit für die Erhöhung des Lebensstandards der gesamten Bevölkerung.

Zur Arbeit an der Drehbank werden Drehstähle verwendet, deren Schneiden aus *Hartmetall* hergestellt sind. Jeder Facharbeiter, der an der Drehbank gute Arbeitsleistungen erreichen und zur Entwicklung neuer Arbeitsmethoden beitragen will, muß die Zusammensetzung und die Eigenschaften der Hartmetalle genau kennen.

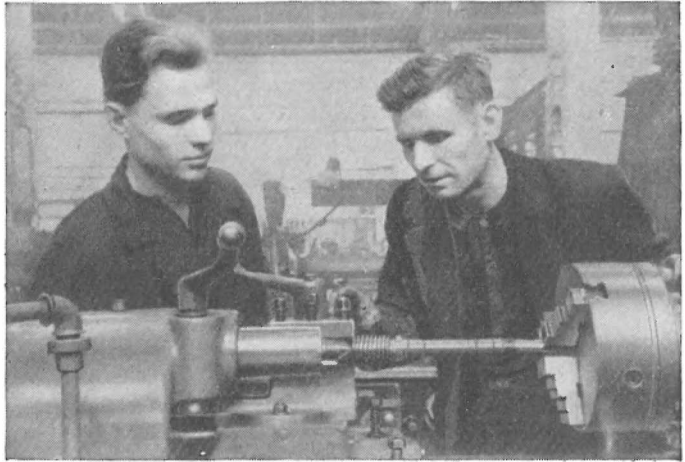


Abb. 97. Pawel Bykow entwickelte neue bahnbrechende Arbeitsmethoden auf dem Gebiete des Schnelldrehens. Für seine großen Leistungen erhielt er den Stalinpreis.

Als Hartmetalle werden bezeichnet:

1. bestimmte Gußlegierungen, die auch *Stellite* genannt werden und heute nur noch wenig Verwendung finden,
2. bestimmte *Metallkarbide* (Verbindungen von Metall und Kohlenstoff).

a) Härteprüfverfahren

Eisenstab mit pyramidenförmiger Spitze — Bleiplatte

Das wichtigste Kennzeichen der Hartmetalle ist — wie ihr Name sagt — die Härte. Unter der *Härte* versteht man den Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen Körpers entgegensetzt. Die Härte wird in kp/mm^2 gemessen.

Die Härte von Mineralien wird am einfachsten mit Hilfe der *Mohsschen Härteskala* (Ritzhärteprüfung) bestimmt (s. Kap. 18, S. 201).

Als Härteprüfverfahren für Metalle sind besonders wichtig: die Härteprüfung nach *Brinell* und die Härteprüfung nach *Vickers*.

Nach *Brinell* wird die Härte eines Werkstoffs ermittelt, indem man eine gehärtete Stahlkugel mit einer bestimmten Belastung auf ein Werkstück von mindestens 10×25 mm Auflagefläche drückt. Der Durchmesser des erzielten kreisförmigen Kugeleindrucks in dem betr. Werkstück ist ein Maß für dessen Härte. Je härter der Werkstoff ist, um so kleiner ist der Eindruck, den die Stahlkugel hinterläßt.

Die Härte nach Brinell läßt sich bis 400 kp/mm^2 einwandfrei bestimmen.

Versuch 1:

Wir drücken einen Eisenstab mit pyramidenförmiger Spitze in ein Stück Blei. Im Blei wird der Eindruck einer kleinen Pyramide sichtbar.

Ähnlich wie im Versuch 1 wird bei der Härteprüfung nach *Vickers* eine quadratische Diamantpyramide unter einer bestimmten Belastung in die Werkstoffoberfläche gedrückt. Die Diagonale des Eindrucksquadrats ist ein Maß für die Härte des Werkstoffes. Je härter ein Werkstoff ist, um so kleiner ist die Diagonale des Eindruckquadrats.

Da der Diamant der härteste technische Werkstoff ist, ist das Vickersprüfverfahren bei der Prüfung sehr harter Werkstoffe zuverlässiger als die Prüfmethode nach Brinell.

Sowohl beim Vickersprüfverfahren als auch bei der Prüfmethode nach Brinell wird die Härte eines Werkstoffes nach der Größe des Eindrucks einer Diamantpyramide bzw. einer Stahlkugel bestimmt.

b) Stellite

Stellite sind Hartmetalle, die aus eisenarmen Legierungen bestehen und früher vielseitige Anwendung zur Herstellung von Schneidwerkzeugen fanden. Sie enthalten 40 bis 50% Kobalt, 25 bis 35% Chrom, 12 bis 20% Wolfram, 1,5 bis 3% Kohlenstoff und einen Restbestandteil Eisen. Die Stellite werden auch als *Gußlegierungen* bezeichnet, weil sie nicht schmiedbar sind. Schneidwerkzeuge aus Stellite werden gegossen und können nach dem Gießen nur noch geschliffen, aber sonst nicht weiter verformt werden.

Da Stellite bis zu Temperaturen von 750° C schneidfest bleiben, kann man mit ihnen bis 5mal so schnell schneiden wie mit einem normalen Kohlenstoffstahl. Stellite sind jedoch spröde und deshalb hochempfindlich. Aus diesem Grunde werden sie heute nur noch selten verwendet. Die Stellite wurden durch Metallkarbide verdrängt.

c) Metallkarbide

Stücke von reinem Wolfram- und Titankarbid — reines Wolfram und Titan

Die Karbide sind Verbindungen eines Metalls mit reinem Kohlenstoff. Beispielsweise ist Zementit (Fe_3C) ein Eisenkarbid.

Wir dürfen die Karbide nicht mit den „Karbonaten“ verwechseln, die ebenfalls Metall und Kohlenstoff, aber auch Sauerstoff enthalten. Karbonate sind Verbindungen eines Metalls mit dem Säurerest der Kohlensäure (s. S. 76). Im Spateisenstein ist das Eisen in Form eines Karbonats gebunden (FeCO_3 , s. S. 98).

Das allgemein bekannteste Karbid, das meist schlechthin nur „Karbid“ genannt wird, ist Kalziumkarbid (CaC_2). Kalziumkarbid liefert bei Wasserzugabe das wertvolle, farblose, brennbare Gas Azetylen (C_2H_2 , s. S. 22).

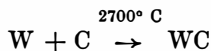
Nicht alle Karbide erreichen die Härtegrade, die für Hartmetalle kennzeichnend sind. Nur bestimmte Metallkarbide sind deshalb als Hartmetalle zu bezeichnen.

In Stahl, der Kohlenstoff, Chrom und Wolfram enthält, befindet sich sowohl *Eisenkarbid* als auch *Chromkarbid* und *Wolframkarbid*. Vor allem das Wolframkarbid gibt diesem Stahl seine Härte.

Wolframkarbid

Das Metall *Wolfram* ist ein silbergraues Metall, dessen Wichte 19,1 p/cm³ beträgt. Es ist fast so hart wie Diamant und schwer zu bearbeiten, besonders deshalb, weil sein Schmelzpunkt bei 3370° C liegt.

Wolframkarbid ist eines der wertvollsten Hartmetalle. Entsprechend der wechselnden Wertigkeit bildet Wolfram zwei Karbide: WC und W_2C . Das Wolframkarbid WC hat einen Kohlenstoffgehalt von 6,12 %; die Wichte beträgt 15,7 p/cm³, der Schmelzpunkt liegt bei 2867° C. W_2C enthält 3,16% Kohlenstoff; seine Wichte beträgt 16,1 p/cm³, der Schmelzpunkt liegt bei 2857° C. Zur Herstellung von Wolframkarbid wird reines Wolfram mit Kohlenstoff bei 2700° C im Elektroofen erhitzt:



Titankarbid

Das silberweiße Metall *Titan* hat eine Wichte von 4,5 p/cm³. Sein Schmelzpunkt liegt bei 1800° C. Es kann sogar im kalten Zustand gewalzt werden.

Titankarbid (TiC) ist noch härter als Wolframkarbid. Der Schmelzpunkt von Titankarbid liegt bei 3250° C.

Da Titankarbid widerstandsfähiger als Wolframkarbid ist, kann es an Stelle von Wolframkarbid verwendet werden. Das ist um so wichtiger, als Titan zu den weitverbreitetsten Elementen der Erdrinde gehört. In der Ackererde sind durchschnittlich 0,5% Titan enthalten. Titan steht also auch in der Deutschen Demokratischen

Republik zur Verfügung, während Wolframerze eingeführt werden müssen. Von den mit der Deutschen Demokratischen Republik wirtschaftlich verbundenen Ländern besitzt lediglich die Volksrepublik China Wolframvorkommen.

Titankarbid wird wie Wolframkarbid durch Glühen von reinem Titan mit Kohlenstoff bei hoher Temperatur hergestellt.

d) Sintermetalle

Porzellan (getrocknet und gesintert, ganze Gegenstände und Bruchstücke) — Scheiben aus Stellite und Sintereisen — Mikroskop oder Mikroprojektionsapparat

Begriff „Sintern“

Versuch 2:

a) Von zwei Porzellangegenständen der gleichen Art und Form wird der eine in getrocknetem, der andere in gesintertem Zustande vorgeführt. Der Volumenunterschied wird deutlich erkannt.

b) Dann werden die Bruchflächen von getrocknetem und von gesintertem Porzellan untersucht. In der Bruchfläche von getrocknetem Porzellan erkennen wir die einzelnen feinen Körnchen der Masse, während die Bruchfläche von gebranntem Porzellan eine dichte, harte, blitzende Struktur zeigt.

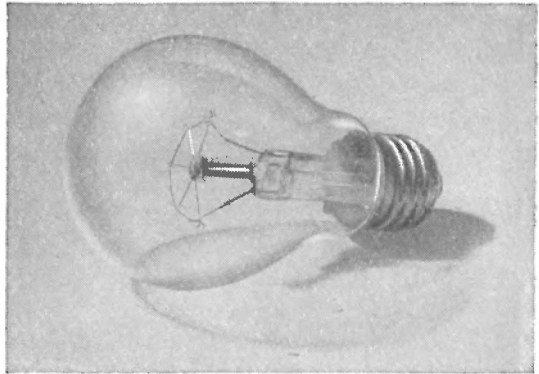


Abb. 98. Die Drähte einer Glühlampe bestehen aus gesintertem, gehämmertem und dann gezogenem Wolfram.

Mit dem Versuch 2 wird der Volumen- und Strukturunterschied von getrocknetem und gebranntem Porzellan erkannt.

Zur Herstellung von Porzellan werden die fein gepulverten Rohstoffe¹⁾ mit Wasser zu einer formbaren Masse angerührt. Nach dem Trocknen und dem „Vorbrennen“ (Verglühen) bei 900° C, erfolgt der Hauptbrand bei 1400 bis 1600° C. Bei dieser Temperatur erweichen die Bestandteile der Porzellanmasse, aber sie schmelzen nicht.

Die beim Trocknen des Porzellans durch das Verdunsten des beigemengten Wassers entstandenen Poren schließen sich hierbei. Dadurch schrumpft die Masse um $\frac{1}{7}$ des ursprünglichen Volumens, ohne nur im geringsten ihre Form zu verändern.

Die Teilchen der Masse verkleben miteinander, und es entsteht eine dichte harte Masse, die „Porzellan“ genannt wird. Der Vorgang, bei dem aus der Rohmasse Porzellan entsteht, wird „Sinterung“ genannt.

Als „Sintern“ bezeichnet man das Erweichen und Zusammenbacken der kleinen Teilchen von aus Pulvern geformten Gegenständen, die bis in die Nähe der Schmelztemperatur erhitzt werden. Beim Sintern erweichen die einzelnen kleinen Teilchen an der Oberfläche und backen zusammen.

¹⁾ Feldspat, Kaolin und Quarz.

Sintern von Metall

Das Sinterverfahren läßt sich auch auf andere Werkstoffe übertragen. Da das Sinterverfahren meist *kostspieliger* als das Schmelzen ist, wird es bei *Werkstoffen mit hohen Schmelzpunkten* nur dann angewendet, wenn die Sinterstoffe günstigere Eigenschaften aufweisen als Gußstücke.

Das Sintern hat sich bei der Verarbeitung verschiedener Metalle und Metallverbindungen, insbesondere von Wolfram und von Metallkarbiden, sehr bewährt.

Da die Sinterung von Metallen nach ähnlichen Grundsätzen wie in der Tonwarenindustrie (Keramik) erfolgt, wird dieses Arbeitsverfahren auch als *Metallkeramik* oder als *Pulvermetallurgie* bezeichnet.

Die in der Metallurgie zum Sintern benötigten feinen Metallpulver gewinnt man entweder in Kugelmühlen oder durch Zerstäuben von Metallschmelzen. Das letztgenannte Verfahren wird z. B. bei Eisen und Bronze angewendet. In manchen Fällen werden die Metallpulver auch durch Reduktion von Metallverbindungen oder durch Elektrolyse wäßriger Metallsalzlösungen gewonnen.

Nach dem Anfeuchten mit Wasser wird das Metallpulver durch hohen Druck (bis zu 10 t/cm²), z. B. in hydraulischen Pressen, zu Preßlingen geformt.

Die Preßlinge werden bei Temperaturen, die *allgemein* $\frac{2}{3}$ bis $\frac{4}{5}$ der Schmelztemperatur betragen, gesintert. Um beim Sintern Oxydationen zu verhüten, wird das Erhitzen im Vakuum (luftleerer Raum) oder in einer Wasserstoffatmosphäre durchgeführt. Bei den Hartmetallen erfolgt das Sintern in zwei Arbeitsgängen.

Nach dem *Vorsintern* bei 800 bis 1000° C ist noch eine Bearbeitung der Stücke durch Drehen, Sägen und Feilen möglich.

Das *Fertigsintern* erfordert eine Temperatur von 1500 bis 1900° C. Das Material ist dann durch das Zusammenbacken so fest geworden, daß nur noch Bearbeitung durch Schleifen mit Spezialschleifscheiben möglich ist.

Bronze wird bei 600 bis 800°, Eisen und Eisenlegierungen werden bei 1000 bis 1300° und Molybdän, Tantal, Wolfram bei 2000 bis 2900° C gesintert.

Bei Wolfram hat sich das Sintern insofern besonders bewährt, als Wolframdrähte nur durch Sinterung hergestellt werden können. Allerdings müssen die gepreßten und gesinterten Wolframstäbe noch bei 1200 bis 1700° gehämmert werden, ehe sie so geschmeidig werden, daß sie sich zu Drähten ausziehen lassen (s. Abb. 98).

Sintereisen

Eine besondere Bedeutung hat das *Sintereisen* erlangt, das auch *Sinterstahl* genannt und aus reinem Flußstahlpulver hergestellt wird.

Infolge seiner *Porosität*, die auch nach dem Sintern noch vorhanden ist, saugt das Sintereisen Schmiermittel auf und ist deshalb als Werkstoff für Gleitlager besonders geeignet (s. S. 161). Der Porenraum bei Sintereisen beträgt etwa 25% und kann zu etwa $\frac{3}{4}$ mit Öl gefüllt werden. Auch zur Herstellung von Gleitlagerbuchsen, Bund- und Flanschenbuchsen, Anlaufscheiben und anderen Formpreßlingen ist Sintereisen sehr geeignet.

Versuch 3:

Wir betrachten Scheiben aus Sintereisen und Stellit unter dem Mikroskop (evtl. Mikroprojektion). Dabei erkennen wir, daß Sintereisen feinkörniger ist als Stellit.

Betrachtet man ein gesintertes Metall und eine entsprechende Gußlegierung unter dem Mikroskop, so erkennt man, daß der Sinterwerkstoff feinkörniger ist und eine gleichmäßigere und festere Struktur als die Gußlegierung aufweist.

Sintermetalle sind hochwertige Werkstoffe.

Die Qualität von Sintermetallen kann infolge nachträglicher Bildung von Kristallen wesentlich absinken. Bei Wolfram wird das durch Zugabe von Thoriumoxyd (ThO_2 , Thorium ist titanähnlich, aber radioaktiv) oder von Alkalisilikaten verhindert.

e) Eigenschaften der Hartmetalle

Kasten mit Mineralien der Mohsschen Härteskala — Glas — Stahlstück — beschädigte Hartmetallplättchen — Zusammenstellung der neun genormten Hartmetalle

Die heute in der Praxis verwendeten Hartmetalle bestehen im wesentlichen aus *gesinterten Metallkarbiden*.

Versuch 4:

Wir ritzen Glas, Stahl und Mineralien der Mohsschen Härteskala mit Hartmetallplättchen.

Mit dem Versuch 4 wird die große Härte der Hartmetalle veranschaulicht. Auf der *Härte* der Hartmetalle beruht deren *technisch wichtigste Eigenschaft: die große Verschleißfestigkeit*. Die *Vickershärte* der Hartmetalle schwankt zwischen 1300 und 1800 kp/mm^2 , während die Härte von Stählen und Stelititen höchstens 1000 kp/mm^2 beträgt. Die Hartmetalle erreichen *nahezu die Härte des Diamanten*, der der härteste technische Werkstoff ist. Die Diamanthärte beträgt auf der Mohsschen Härteskala 10, die der Hartmetalle 9,6 bis 9,8.

Beim Drehen wird das Schneidwerkzeug heiß. Da sich die Härte von Hartmetall bei einer solchen Erwärmung bis auf 900° C fast gar nicht ändert, sagt man, daß das Hartmetall eine *gute Warmhärte* besitzt. Eine sog. *kritische Temperatur*, d. h. eine Temperatur, bei der die Härte plötzlich stark absinkt, *gibt es bei den Hartmetallen nicht*. Die Härte sinkt oberhalb von 900° C nur allmählich ab. Eine Schneide aus Hartmetall ist bei Rotglut immer noch doppelt so hart wie eine Schneide aus Schnellarbeitsstahl. Hartmetalle besitzen ferner eine *gute Wärmeleitfähigkeit*, die weit besser ist als die der anderen Schneidmetalle.

Ein weiterer Vorzug der Hartmetalle ist ihre große *Schneidhaltigkeit*, die auf der guten Warmhärte und Wärmeleitfähigkeit beruht. Unter Schneidhaltigkeit versteht man

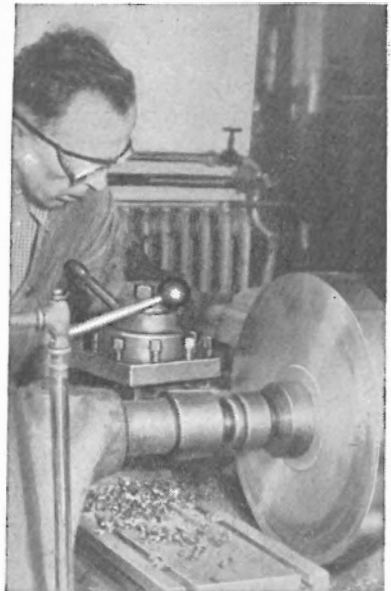


Abb. 99. Erich Wirth, der beste Schnelldreher der Deutschen Demokratischen Republik, hat die Methode der Schnellzerspannung des sowjetischen Schnelldrehers Pawel Bykow in den Halleschen Pumpenwerken eingeführt. Die Schnellzerspannung bzw. das Schnelldrehen kann nur mit Hartmetallen durchgeführt werden.

die Dauer der Erhaltung der Schneidfähigkeit. Sogar beim Schnelldrehen beträgt die Schneidhaltigkeit der Hartmetalle 60 bis 240 Minuten, bei Automaten (Werkzeugmaschinen mit selbsttätigem Arbeitsablauf) 480 Minuten. Das sind wirtschaftliche Bestwerte, die von anderen Schneidmetallen nicht erreicht werden.

Die *Schnittgeschwindigkeit* kann beim Gebrauch von Hartmetallen auf das Zehnfache der mit Kohlenstoffstahl erreichten Schnittgeschwindigkeit gesteigert werden. Wie die Erfahrungen der sowjetischen Kollegen ergeben, ist noch eine bedeutende Steigerung der Schnittgeschwindigkeit auch mit älteren Maschinen möglich.

Die Hartmetalle sind selbst bei höheren Temperaturen *gegen Korrosion außerordentlich widerstandsfähig*.

Bei allen erwähnten Vorzügen der Hartmetalle müssen jedoch auch einige Eigenschaften hervorgehoben werden, deren Nichtbeachtung sich im Arbeitsprozeß nachteilig auswirkt. Der bemerkenswerteste Nachteil ist eine gewisse *Sprödigkeit* der Hartmetalle, die trotz des Sinterprozesses nicht ganz beseitigt werden kann, weil sie ein typisches Merkmal der Ausgangsstoffe, der Metallkarbide, ist. Auf der Sprödigkeit der Hartmetalle beruht auch das allmähliche Stumpfwerden der Hartmetall-Schneiden bei Temperaturen oberhalb 900° C. Das Stumpfwerden ist nicht etwa darauf zurückzuführen, daß das Metall bei diesen Temperaturen erweicht, vielmehr verschleißt bei den genannten Temperaturen der ablaufende Span mit Hartmetallteilchen, die infolge der Sprödigkeit des Hartmetalls aus der Schneide herausgelöst werden. Durch diesen Vorgang wird die Schneide mit der Zeit unbrauchbar. Da Titankarbid gegen die Auswirkung der Sprödigkeit widerstandsfähiger als Wolframkarbid ist, wurde der Entwicklung titankarbidhaltiger Hartmetalle besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Die Produktion von Titankarbid ist auch in wirtschaftlicher Hinsicht von besonderer Bedeutung, als uns im eigenen Boden Titan zur Verfügung steht, Wolfram jedoch nicht (s. S. 168).

Die Sprödigkeit der Hartmetalle macht sich auch noch unter anderen Arbeitsbedingungen nachteilig bemerkbar. Die Schneidkante des Hartmetalles kann ausbrechen oder rissig werden, wenn sie starken Stößen oder starken punktförmigen Belastungen ausgesetzt ist. Solche Einflüsse müssen vermieden werden.

Ferner kann das Hartmetall in Betracht seiner Sprödigkeit reißen, wenn es in starke Eigenschwingungen gerät. Diese Gefahr liegt vor allem dann vor, wenn die Drehzahl der Maschine mit der Eigenschwingungszahl des Hartmetallwerkzeugs übereinstimmt. Die durch eine solche „Resonanz“ hervorgerufenen Schwingungen des Hartmetallwerkzeugs können durch Ändern (Erhöhen oder Erniedrigen) der Drehzahl der Maschine sofort abgestellt werden.

Einzelheiten und Versuche zur Resonanz sind in dem Lehrbuch „Physik für technische Berufe“ angegeben.

Bei Resonanzerscheinungen muß die Drehzahl der Maschine sofort abgeändert, d. h. erhöht oder erniedrigt werden.

Außer der Sprödigkeit ist als nachteilige Eigenschaft der Hartmetalle noch ihr geringer *Ausdehnungskoeffizient* zu nennen. Beim Erwärmen dehnt sich Hartmetall weniger aus als Stahl. Die Verschiedenheit des Ausdehnungskoeffizienten von Stahl und Hartmetall kann sich bereits beim Auflöten der Hartmetallplättchen auf den

stählernen Schaft des Werkzeugs nachteilig auswirken. Beim Abkühlen der Lötstelle treten infolge der Verschiedenheit der Ausdehnungskoeffizienten Spannungen auf, die in Anbetracht der Sprödigkeit des Hartmetalles zu Rissen im Hartmetall oder zu dessen Bruch führen können.

Da Hartmetall ein wertvoller und teurer Werkstoff ist, kann nicht das gesamte Werkzeug aus Hartmetall angefertigt werden. Der Schaft wird aus Stahl hergestellt. Auf den Schaft wird das Hartmetallplättchen aufgelötet (s. S. 165).

Auch durch Erwärmung des Werkzeuges bei der Arbeit kann sich der unterschiedliche Ausdehnungskoeffizient von Hartmetall und Stahl nachteilig auswirken. Als Material für den Schaft werden aus diesem Grunde nur Stahlsorten mit geringem Ausdehnungskoeffizienten verwendet.

Vorzüge der Hartmetalle: Härte, Verschleißfestigkeit, Warmhärte, Korrosionsbeständigkeit.

Nachteile der Hartmetalle: Sprödigkeit, anderer Ausdehnungskoeffizient als Stahl.

Da die Hartmetalle hochwertiges Arbeitsmaterial sind, muß jeder unnötige Verschleiß von Hartmetall vermieden werden.

f) Arten und Bezeichnung der Hartmetallsorten

Hartmetalle, die als Drehstähle verwendet werden, bestehen aus Grundstoffen und Hilfs- oder Trägerstoffen.

Die *Grundstoffe* der Hartmetalle sind die Karbide der Metalle Wolfram, Titan und Tantal. Als *Hilfsstoffe* werden Kobalt oder Nickel verwendet. Die Hilfsstoffe haben einen tieferen Schmelzpunkt als die Grundstoffe und dienen zum besseren Verkitten der Grundstoffe, deren Schmelzpunkte besonders hoch liegen.

Man unterscheidet neun genormte Hartmetallsorten. Sie sind gemäß DIN 4990 durch folgende Abkürzungen gekennzeichnet: S 1, S 2, S 3, F 1, G 1, G 2, G 3, H 1, H 2. Zur äußerlichen Kennzeichnung der verwendeten Hartmetalle werden die Werkzeugschäfte mit *besonderen Farben* versehen, die ebenfalls im Normblatt DIN 4990 festgelegt sind (s. Tabelle).

Hartmetalle nach DIN 4990

Sorte	Zusammensetzung				Vickershärte kp/mm ²	Farbe	Zu bearbeitende Werkstoffe
	WC	TiC	TaC	Co in %			
S 1	77	17	—	6	1750	schwarz	Stahl und Stahlguß
S 2	77	15	—	8	1650	weiß	„
S 3	88	5	—	7	1500	rot	„
F 1	70	24	—	6	1750	grau	Stahl
G 1	94	—	—	6	1600	blau	Gußeisen
G 2	89	—	—	11	1400	braun	Kunststoffe usw.
G 3	97	—	—	3	1300	blau mit schwarzem Streifen	Elektrokohle
H 1	94	—	—	6	1750	gelb	Hartguß
H 2	91	—	2	7	1800	gelb mit schwarzem Streifen	Sonderhartguß

Aus der vorstehenden Tabelle ist die Zusammensetzung der Hartmetallsorten ersichtlich. Zu unterscheiden sind besonders zwei Gruppen: titankarbidhaltige Hartmetalle und titankarbidfreie Hartmetalle.

Titankarbidhaltige Hartmetalle sind S 1, S 2, S 3 und F 1. Sie zeichnen sich durch große Warmhärte und Verschleißfestigkeit aus. Mit titankarbidhaltigen Hartmetallen lassen sich vor allem *langspanende Werkstoffe*, z. B. Stahl und Stahlguß aller Art, gut bearbeiten. Da die ersten drei der genannten Sorten (S 1, S 2, S 3) zur Stahlbearbeitung geeignet sind, wurden sie mit dem Buchstaben S gekennzeichnet. Die Sorte F 1 ist zur Feinstbearbeitung von Stahl bei hohen Schnittgeschwindigkeiten geeignet.

Titankarbidfreie Hartmetalle sind die Sorten G 1, G 2, G 3, H 1 und H 2. Da diese titankarbidfreien Hartmetalle eine relativ hohe Stoß- und Schlagfestigkeit aufweisen, können mit ihnen *kurzspanende Werkstoffe* bearbeitet werden, die einen großen Verschleiß der Schneide bewirken. Solche kurzspanenden Werkstoffe sind z. B. Gußeisen und Grauguß. Entsprechend den Anfangsbuchstaben der Namen dieser beiden Werkstoffe wurde als Typenbezeichnung für drei der titankarbidfreien Hartmetalle der Buchstabe G gewählt. Die Sorten H 1 und H 2 sind vor allem zur Bearbeitung von Hartguß, Buntmetallen, Kunststoffen, Glas, Porzellan usw. geeignet. Für jede einzelne Sorte gibt es spezielle Verwendungsvorschriften, die dem Facharbeiter wichtige Hinweise für seine Arbeit geben. Aus einer solchen Vorschrift ist beispielsweise zu ersehen, daß H 2 infolge seiner Feinkörnigkeit nicht sehr stoß- und schlagfest ist, dafür aber höchste Verschleißfestigkeit besitzt, so daß es z. B. zur Bearbeitung von nickellegiertem Hartguß besonders geeignet ist.

Hartmetalle sind nicht nur zum Schnellzerspanen geeignet. In Anbetracht ihrer Verschleißfestigkeit werden Hartmetalle auch zur Herstellung vieler Geräte und Einrichtungen verwendet, wie Meßwerkzeuge, Einsätze zu Ziehwerkzeugen, Drehbankkörnerspitzen, Brinell-Kugeln zur Härtebestimmung, Gleitflächen zu Führungsschienen, Feinwerkzeuge u. a.

Zusammenfassend muß auf folgendes hingewiesen werden:

Der Metallfacharbeiter muß sich dessen bewußt sein, daß die Vorzüge der Hartmetalle erst bei einer *richtigen Arbeitsweise* voll ausgenutzt werden können. Deshalb *müssen die Verwendungsvorschriften und die Behandlungsvorschriften für Hartmetalle genau beachtet werden.*

In der Deutschen Demokratischen Republik werden Hartmetalle von folgenden Betrieben hergestellt: Hartmetallwerke Immelborn VEB, Immelborn in Thür.; Berliner Glühlampenwerk VEB, Berlin.

g) Nitride

Becherglas — Magnesiumpulver — Lackmuspapier

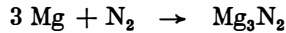
Metallnitride, die in der Metallpraxis kurz als Nitride bezeichnet werden, sind Verbindungen eines Metalles mit Stickstoff.

Versuch 5:

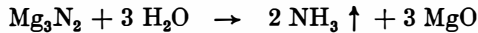
Wir entzünden Magnesiumpulver und verbrennen es unter einem Becherglas. Auf das Verbrennungsprodukt wird tropfenweise Wasser gegeben. Am Geruch wird entstehendes Ammoniak er-

kannt. Rotes Lackmuspapier wird durch das entstandene Ammoniak und durch die befeuchtete Magnesiasche blau gefärbt.

Der Versuch beweist, daß Stickstoff, der bei normalen Temperaturen chemisch träge ist, sich in der Hitze mit Magnesium verbindet. Außer Magnesiumoxyd (MgO) entsteht in Versuch 5 bei der Verbrennung auch Magnesiumnitrid (Mg_3N_2) nach folgender Gleichung:



Der Nachweis durch Wasserzusatz ergibt Ammoniak nach folgender Gleichung:



Ammoniak (NH_3) wird leicht am Geruch erkannt.

Die Fähigkeit des Stickstoffes, sich bei hohen Temperaturen mit Metallen zu verbinden, wird bei der Nitrierhärtung ausgenützt. Bei der Nitrierhärtung entstehen Metallnitride von großer Härte.

• Nitrierhärtung

Auch Eisen bindet unter bestimmten Voraussetzungen Stickstoff. Dabei entsteht Eisennitrid Fe_3N_2 , das eine Vickershärte von 950 kp/mm^2 hat, während normaler Einsatzstahl nur eine Vickershärte von 650 kp/mm^2 besitzt. Eisennitrid ist jedoch spröde und kann deshalb bröcklig werden.

Bei der *Nitrierhärtung* entsteht durch die Einwirkung von Stickstoff an der Oberfläche des Werkstückes eine etwa 1 mm dicke Nitridschicht. Es erfolgt dabei keinerlei Formveränderung, so daß ein Nachschleifen nicht erforderlich ist.

Da die Härte der Nitridschicht schon von 0,2 mm Tiefe an stärker abnimmt als bei anderen Verfahren der Einsatzhärtung, ist die Nitrierhärtung nur dann zweckmäßig, wenn die zu erwartenden Flächendrucke nicht allzu hoch sind.

Nicht jeder Stahl ist nitrierbar. Bei gewöhnlichem Kohlenstoffstahl ergibt sich aus dem obengenannten Grunde keine völlig einwandfreie Randschicht. Es kommen deshalb für die *Nitrierhärtung* vor allem *Sonderstähle* in Betracht, die z. B. *Aluminium* (1,2 bis 1,5%), *Chrom*, *Molybdän*, *Titan* oder *Vanadin* enthalten. Die Nitride dieser Metalle sind nicht so spröde wie Eisennitrid, so daß bei der Nitrierhärtung solcher Sonderstähle an der Oberfläche der Werkstücke eine überaus widerstandsfähige Schicht entsteht. *Schnelldrehstähle* z. B. können im Nitrierverfahren gut gehärtet werden.

Titannitrid und *Vanadinnitrid* sind hochwertige Bestandteile sehr harter Nickellegierungen, die hochglänzend sind und messing- bis goldgelb aussehen. Titannitrid kann mit 1 bis 3% in den Hartmetallen enthalten sein.

Man unterscheidet zwei Verfahren der Nitrierhärtung: das Gasnitrieren und das Badnitrieren.

Beim *Gasnitrieren* liefert Ammoniak den erforderlichen Stickstoff, wenn er bis zu vier Tagen auf das Werkstück einwirkt, das im elektrischen Ofen auf einer Temperatur von etwa 500°C gehalten wird.

Zum *Badnitrieren* werden Bäder (Lösungen) verwendet, die das giftige Kaliumcyanid (KCN) oder Natriumcyanid ($NaCN$) enthalten. Diese Zyanide geben Stickstoff an die Werkstücke ab. Das Badnitrieren hat den Vorzug, daß es in 5 bis 45 Minuten vollzogen ist. Schnelldrehstähle werden vielfach nach diesem Verfahren gehärtet.

Die Metallnitride sind weniger hart als die Metallkarbide. Sie sind als Bestandteil in Stählen enthalten, die durch Nitrieren gehärtet wurden.

Zur Zerspanung besonders harter Werkstoffe haben sich Schneidmetalle aus Metallkarbid vorzüglich bewährt. Schneidmetalle aus Metallnitrid hingegen finden keine Verwendung.

Aufgaben:

1. Warum ermöglicht das Vickersverfahren eine genauere Prüfung eines Werkstoffes als das Brinellverfahren ?
2. Welche Metallbearbeitungsverfahren gehören zum Zerspanen ?
3. Warum sind Sinterwerkstoffe feinkörniger als Gußlegierungen ?
4. Vergleiche die Vorgänge beim Schmelzen und Sintern und nenne die Vor- und Nachteile dieser beiden Verfahren!
5. Wie erklärt sich das Geschmeidigwerden des Elementes Wolfram beim Hämmern ?
6. Begründe die Korrosionsfestigkeit der Hartmetalle!
7. Beschreibe Arten und Zusammensetzung der Hartmetalle!
8. Erkläre die Begriffe Warmhärte und Wärmeableitung und erläutere die Begriffe im Zusammenhang mit der Verwendung der Hartmetalle in der Praxis!
9. Welche Vorkehrungen müssen bei Resonanzerscheinungen beim Schnelldrehen getroffen werden ?
10. Nenne die Unterschiede zwischen Stahlschaft und Hartmetallschneide, die in der Technik beachtet werden müssen!
11. Warum sind titankarbidhaltige Hartmetalle besonders zur Bearbeitung langspanender Werkstoffe geeignet ?
12. Erläutere, welche chemischen Vorgänge sich beim Verbrennen von Magnesium in Anwesenheit von Stickstoff abspielen und wie diese Vorgänge technisch ausgenutzt werden!

16. Oberflächenschutz und Veredelungsverfahren

Werkstücke: brüniert, phosphatiert, chromatisiert, schwarzgebrannt, gestrichen — 2 Filtriergestelle — ein verrostetes Stück Eisen — verdünnte Schwefelsäure — Salzsäure — Ammoniumrhodanid — Kalilauge — ein Stück Elektronmetall — 5% ige Natriumdichromatlösung

Durch die Verheerungen des Hitler-Krieges wurden viele wertvolle Maschinen der Einwirkung von Wind und Wetter und damit der Zerstörung durch Rost ausgesetzt. Gleich nach Beendigung der Kampfhandlungen unternahmen die Werktätigen alle Anstrengungen, die Erzeugnisse ihres Fleißes zu retten. Noch verwertbare Maschinen und Maschinenteile wurden geborgen und entrostet.

Das meist gebräuchliche Entrostungsverfahren für Stahl- und Eisenteile ist das „Beizen“. Dabei werden die verrosteten Teile in einen Beiztrog gehängt, der mit Säure gefüllt ist. Der Rost wird durch die Säure gelöst.

a) Notwendigkeit von Oberflächenschutz und Veredelungsverfahren

Alle technischen Werkstoffe sind mehr oder weniger einem gewissen Verschleiß ausgesetzt, der teils durch mechanische Abnutzung, teils durch chemische Einwirkung (z. B. durch Luft oder Wasser) verursacht wird. Durch geeignete Schutzmaßnahmen kann der Verschleiß ausgeschaltet oder wesentlich herabgesetzt werden.

Metallische Werkstücke müssen insbesondere gegen alle Einwirkungen geschützt werden, die zunächst nur die Oberfläche des Metalls angreifen, von hier aus aber gegebenenfalls auch seine tieferliegende Schichten erfassen und zerstören. Solche Korrosionserscheinungen können durch Oberflächenschutz und Veredelungsverfahren unterbunden oder mindestens stark verringert werden.

Der Metallfacharbeiter muß diese Verfahren und die chemischen Vorgänge, auf denen diese Verfahren beruhen, genau kennen.

b) Vorbehandlung von Metalloberflächen

Versuch 1:

Wir legen ein verrostetes Eisenstück in verdünnte Schwefelsäure.

Versuch 2:

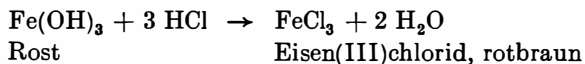
Wir versetzen Roststaub mit Wasser. Die Flüssigkeit wird filtriert. Beim Filtrieren der Flüssigkeit bleibt der Rost auf dem Papier zurück.

Versuch 3:

Wir versetzen Roststaub mit Salzsäure.

Die Säure löst den Rost. Beim Filtrieren sickert ein klares rotbraunes Filtrat durch das Filter. Die rotbraune Farbe ist nicht etwa durch Rostteilchen bedingt, denn Versuch 2 zeigte, daß Rostteilchen nicht durch das Filter gehen. Im Filtrat kann Eisen mit Ammoniumrhodanid (NH_4SCN) durch starke Rotfärbung nachgewiesen werden.

Die Versuche 1 und 3 zeigen, daß Rost durch Säuren aufgelöst wird. Bei der Einwirkung von Salzsäure (HCl) auf Rost $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ entsteht rotbraunes, lösliches Eisenchlorid (FeCl_3):



Versuch 4:

Durch Zusatz von etwas¹⁾ Kali- oder Natronlauge zur Eisenchloridlösung entsteht ein brauner, flockiger Niederschlag von $\text{Fe}(\text{OH})_3$ [Rost]. Beim Filtrieren verbleibt ein Niederschlag — ebenso wie der Rost in Versuch 2 — auf dem Filter. Dergelöste Rost ist somit zurückgewonnen worden.

¹⁾ Verwendet man die Lauge im Überschuß, so läßt sich der Niederschlag nicht filtrieren, da die Lauge das Filterpapier zerstört oder zumindestens verklebt.



Abb. 100. Stahlteile werden durch „Beizen“ mit Säure entrostet.

Aus den obigen Versuchen ist in bezug auf die Oberflächenbehandlung von Eisen folgende Schlußfolgerung zu ziehen:

Säuren sind als Beizmittel für Eisen- und Stahlteile geeignet, da sie Rostschichten auflösen.

In der Praxis der Entrostung werden die Eisen- und Stahlteile zunächst mit *Drahtbürste* oder *Sandstrahlgebläse* mechanisch gereinigt und dann mit Säure gebeizt.

Das Entrosten und Beizen ist auch notwendig vor dem *Austragen von Überzügen* auf Metall. Da die zu überziehenden Metallteile vielfach durch Anwendung von Lauge entfettet werden müssen, ist das Beizen um so notwendiger, als durch Laugen leicht wieder Oxydschichten bzw. Rostschichten (vgl. Versuch 4) auf dem Metall entstehen. Beim Beizen wird die auf dem Metall noch haftende Lauge durch Säure neutralisiert.

Da die Säuren nicht nur Rost auflösen, sondern auch reines Eisen angreifen, werden in der Praxis häufig *Sparbeizzusätze* (Inhibitoren) verwendet, die die unerwünschte Zersetzung von Eisen weitgehend unterbinden.

Um das blanke Metall mit Sicherheit vor einer Zersetzung durch die restliche Beizsäure zu bewahren, ist folgendes zu beachten:

Nach dem Beizen muß die verwendete Säure durch gründliches Abwaschen und durch Neutralisieren mit schwacher Lauge (z. B. Kalkmilch) restlos entfernt werden.

c) Chemisch erzeugte Schutzschichten auf Metalloberflächen

Durch Behandeln der Metalle mit den Lösungen bestimmter Chemikalien können die Metalle mit *wasserunlöslichen Farbschichten* überzogen werden, die zugleich Korrosionsschutz gewähren. Dieser Arbeitsvorgang wird als *Färben von Metallen* bezeichnet.

Metalle können gefärbt werden durch: *Brünieren, Phosphatieren, Chromatisieren und Schwarzbrennen.*

Im vorangehenden Abschnitt (b) wurde das Beizen behandelt. Beim Beizen von Stahl und Eisen werden Rostschichten und Zunderschichten (s. S. 140) auf der Oberfläche der Metalle beseitigt, so daß das Metall *freigelegt* wird.

In der Praxis wird das Wort „Beizen“ aber auch noch in einer anderen, gegenteiligen Bedeutung verwendet. Kupfer, Messing und andere Kupferlegierungen können durch eine Behandlung mit geeigneten Chemikalien mit einer Oxydschicht *überzogen* werden. Dieser Arbeitsvorgang wird ebenfalls als Beizen bezeichnet. Auch die dabei verwendeten Lösungen werden Beizen genannt.

Da Kupfer und Kupferlegierungen bereits farbig sind, wird das auf chemischem Wege erfolgende Auftragen einer farbigen Schutzschicht in der Praxis in vielen Fällen nicht — wie bei anderen Metallen — als „Färben“, sondern als „Beizen“ bezeichnet.

Beizen von Kupfer und Kupferlegierungen

Kupfer, Messing und sonstige Kupferlegierungen werden *schwarz gebeizt*, indem man eine Lösung von Kupferniträt $[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2]$ und Silbernitrat $(\text{AgNO}_3, \text{Höllenstein})$ auf die Werkstoffoberfläche einwirken läßt. Es entsteht eine tiefschwarze Schutzschicht von Kupferoxyd.

Bei Behandlung mit geeigneten Lösungen (Säuren, Salzen oder Pflanzensäften) kann Kupfer auf künstlichem Wege mit einer *Patina* überzogen werden. Dieses Verfahren wird *Patinieren* genannt

Brünieren

Unter Brünieren ist das Bräunen oder Schwarzfärben vorwiegend von Eisen-, Stahl- und Messingteilen zu verstehen.

Eisen- und Stahlteile werden durch eine Mischung von Antimontrichlorid (SbCl_3 , Brüniersalz) und Öl brüniert. Bei dem Verfahren, das durch Anwendung von Wärme und Druck beschleunigt werden kann, bildet sich eine dichte Schutzschicht. Zum rohen Brünieren genügt das Kochen in Öl. Die mehrfach brünierten Teile werden mit Wachs eingerieben.

Beim Brünieren von *Messing* bildet sich an der Oberfläche des Werkstückes schwarzes Kupfersulfid (CuS). Als Brüniermittel dient Schwefelleber, eine leberbraune Masse, die aus einem Gemisch von Schwefelkaliumverbindungen ($\text{K}_2\text{S}_5 + \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$) besteht. Bei Zusatz von verdünnten Säuren (z. B. Schwefelsäure) scheidet die Schwefelleber fein verteilten Schwefel ab, die sog. „Schwefelmilch“. Bei der Brünierung bildet Schwefelmilch eine besonders gleichmäßige und dichte Kupfersulfidschicht. Auch Schwefelammonium $[(\text{NH}_4)_2\text{S}]$ in Spiritus kann zum Brünieren verwendet werden. *Zink* kann durch Lösungen von Kupfersulfat (CuSO_4) braun oder schwarz gefärbt werden.

Phosphatieren

Beim Phosphatieren, auch Parkerisieren oder Atramentieren genannt, wird eine kochende Mangan- oder Zinkphosphatlösung verwendet. Auf dem Eisen bildet sich eine feine unlösliche schwarze Eisenphosphat-Schutzschicht. In vielen Fällen werden die phosphatisierten Teile zuletzt noch mit Kunstharzlacken lackiert. Außer Eisen- und Stahlteilen kann auch Zink phosphatisiert werden.

Besonders in der Sowjetunion ist ein Schnellatramentier-Verfahren entwickelt worden, das als „Bondern“ bezeichnet wird. Durch weitere Verbesserung des Verfahrens in der Tschechoslowakei konnte auch die Haltbarkeit (Standzeit) der behandelten Werkzeuge wesentlich erhöht werden.

Chromatisieren

Versuch 5:

Wir kochen ein Stück Elektronmetall in einer 5%igen wäßrigen Natriumdichromatlösung eine Stunde lang.

Auf der Oberfläche des Metalles entsteht eine goldgelbe, fest haftende Schicht von Magnesiumchromat. Das Chromatisieren erfolgt durch Behandeln der Werkstücke mit einer Chromatlösung. Man verwendet meist ein Dichromat (Salz der Dichromsäure $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), wie z. B. Kaliumdichromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) oder Natriumdichromat ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Auf der Metalloberfläche bildet sich eine Schicht von goldgelbem Chromat.

Schwarzbrennen

Die Stahlstücke werden mit Leinöl bestrichen und solange erhitzt, bis das Öl verbrennt. Dabei entsteht eine Schicht von Ölkohle, die in die Metalloberfläche eingebrannt ist und einen guten Oberflächenschutz gewährt.

Bei allen vorgenannten Metallfärbeverfahren bildet sich auf der Oberfläche des Metalls auf chemischem Wege eine farbige Schutzschicht. Ein *Farbanstrich* ist viel weniger wirksam, da z. B. Rost sich unter dem Anstrich weiterentwickeln kann (Kriechrost) und der Anstrich gegenüber mechanischen Beanspruchungen sehr empfindlich ist.

d) Elektrolytisch aufgetragene Metallüberzüge

Hofmannscher Zersetzungsapparat (oder V- bzw. U-Rohr) — galvanisches Bad für Verkupferung (Modell) — Kupfersulfat — Schwefelsäure — Eisenstück — Holzspan

Verschiedene Fahrradteile, die aus Stahl angefertigt sind, müssen durch eine Schutzschicht gegen Witterungseinflüsse, denen sie ständig ausgesetzt sind, geschützt werden. Als Schutzschicht wird Nickel aufgelegt, das gegenüber Luft und Feuchtigkeit sehr korrosionsbeständig ist (s. Abb. 101).

Dünne fest haftende Überzüge von korrosionsfesten Metallen können auf elektrolytischem Wege (d. h. durch die Wirkung des elektrischen Stromes) auf die Oberfläche von leicht korrodierenden Metallen gebracht werden.

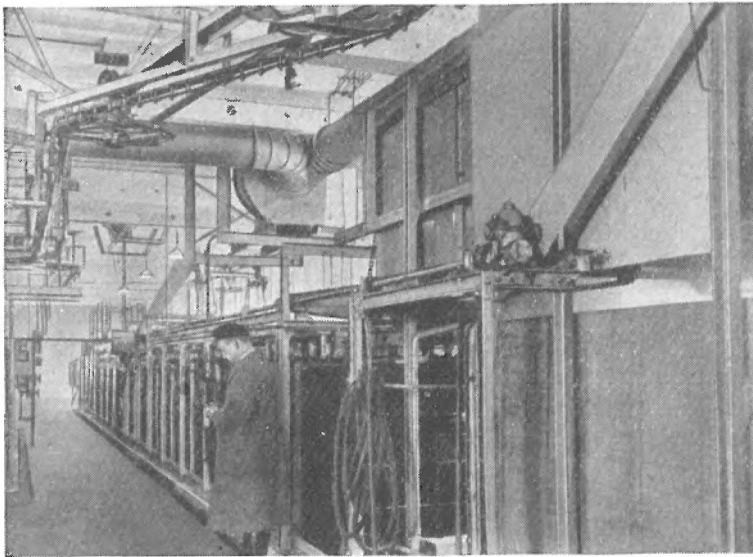


Abb. 101. Glanzvernickelung von Fahrradteilen nach dem neuen Hochglanz - Schnellvernickelungsverfahren der VEB Galvanotechnik, Leipzig.

Elektrolyse

Versuch 6:

Nach Zugabe von einigen Tropfen Schwefelsäure zersetzen wir eine Kupfersulfatlösung im Hofmannschen Apparat (s. S. 29) elektrolytisch.

An der Kathode entstehen schwarzbraune Flocken von Kupfer. Kupfer sieht in feinsten Verteilung schwarz aus (ähnlich wie fein verteiltes Silber auf fotografischen Positiven und Negativen). An der Anode entsteht ein farbloses Gas, das sich bei der Prüfung mit einem glimmenden Span als Sauerstoff erweist.

Die Zersetzung von Kupfersulfat im Versuch 6 beruht auf der chemischen Wirkung des elektrischen Stromes und wird als *Elektrolyse* bezeichnet.

Das Kupfersulfat zerfällt in wässriger Lösung in positiv geladene Kupferionen (Cu^{++}) und negativ geladene Säurerest-Ionen (SO_4^{--}). Sobald an die *Elektroden* (Stromanschlußstellen) des Apparates

eine elektrische Spannung gelegt wird, wandern die positiv geladenen Kupferionen zur *Kathode* (Minuspol), weil sie von der negativen Ladung der Kathode angezogen werden. Entsprechend wandern die negativ geladenen SO_4^{--} -Ionen zur *Anode* (Pluspol).

An der Kathode angelangt, werden die positiven Kupferionen durch Ladungsausgleich entladen. Dabei scheidet sich an der Kathode Kupfer ab.

An der Anode entnimmt jedes entladene SO_4 -Teilchen einem Wassermolekül (H_2O) den Wasserstoff, so daß ein Molekül Schwefelsäure (H_2SO_4) entsteht. Der Sauerstoff des zerlegten Wassers steigt im Hofmannschen Apparat an der Anode auf.

Alle verdünnten Säuren, Basen und Salzlösungen werden durch den elektrischen Strom zersetzt.

Entsprechend dem Ionenzerfall der Säuren, Basen und Salze (s. S. 94) werden bei der Elektrolyse an der Kathode die Metalle und der Wasserstoff ausgeschieden. Die Säurereste und die OH-Gruppen wandern zur Anode und reagieren dort oft mit dem Wasser, so daß Sauerstoff frei wird.

Galvanisieren

Beim *Galvanisieren* wird die elektrolytische Ausscheidung von Metallen an der Kathode zum Überziehen eines Metalls mit einer anderen Metallschicht ausgenutzt. Dieser Zweig der Technik wird als *Galvanotechnik* bezeichnet.

Versuch 7:

Wir führen das Modell einer galvanischen Anlage für Verkupferung vor. Als galvanisches Bad dient eine konzentrierte Kupfersulfatlösung (CuSO_4), der etwas Schwefelsäure zugesetzt ist. Als Anode wird Kupfer, als Kathode Eisen verwendet. Die Stromdichte wird auf $2\text{ A}/100\text{ cm}^2$ eingestellt. Bereits nach einigen Minuten ist das Eisen verkupfert.

Der Versuch zeigt, daß Eisen verkupfert wird, wenn man es als Kathode in ein *galvanisches Bad* hängt, das aus einer wäßrigen Lösung von Kupfersulfat (CuSO_4) besteht. Als Anode wird Kupfer verwendet. Nach dem Einschalten des Stromes scheidet sich auf dem Eisen Kupfer ab. Der Säurerest (SO_4^{--}) wandert zur Anode und bildet mit dem Kupfer der Anode wieder Kupfersulfat. Durch diesen Vorgang an der Anode wird der Elektrolyt (die zu zersetzende Flüssigkeit) immer wieder erneuert. Die Kupferanode wird während des Galvanisierens mehr und mehr verbraucht.

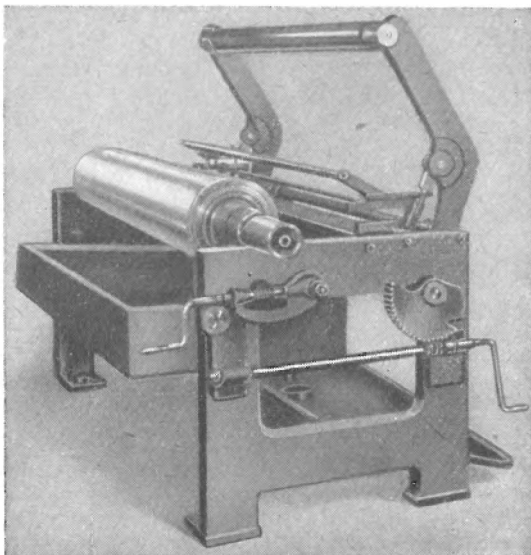


Abb. 102. Der Stahlzylinder für den Kupfertiefdruck wird vor der Verkupferung sorgfältig abgeschliffen und dann im elektrolytischen Bad verkupfert.

Das galvanische Verkupferungsverfahren ist vor allem für den Tiefdruck von großer Bedeutung. Die auf geschliffene Stahlwalzen galvanotechnisch aufgetragene Kupferschicht (s. Abb. 102) dient als Druckstock, der den Druck auf das Papier überträgt.

Auf die verkupferte Stahlwalze wird eine lichtempfindliche Gelatineschicht aufgetragen, in die Satz und Bild inkopiert werden. Die belichteten Stellen (Schwarz- und Halbtöne) werden mit Säure ausgeätzt, so daß vertiefte Stellen entstehen, die mit Druckfarbe ausgewalzt werden und dann drucken.

Das Galvanisieren mit anderen Metallen, z. B. das Verchromen, Vernickeln, Verzinnen, Versilbern, Vergolden, geschieht grundsätzlich auf die gleiche Weise wie die Verkupferung.

Metalle, die galvanisiert werden sollen, müssen vor Beginn des Verfahrens von jeglichen Verunreinigungen befreit werden, damit sich ein gleichmäßiger Metallüberzug bilden kann.

Beim *Verchromen* von Stahl wird häufig zunächst eine Zwischenschicht aus Nickel, Kupfer, Kadmium oder Zink aufgetragen, auf der die Chromschicht besser haftet. Die Hartverchromung unterscheidet sich von der Weichverchromung durch die Schichtdicke. Weichverchromung ist für Haushaltgegenstände ausreichend. Bei der Hartverchromung ist die stärkere Schutzschicht so hart, daß hartverchromte Geräte ohne Einsatzhärtten für Meßgeräte und Werkzeuge verwendbar sind. Chrom oxydiert bei Temperaturen über 500° C.

Für die *Vernickelung* wird ein Bad von Nickel-Ammoniumsulfat verwendet. Bei dem bisherigen Vernickelungsverfahren wies die erzeugte Schutzschicht nicht sofort den nötigen Glanz auf. Durch das nachträgliche Polieren wurde ein Teil der dünnen (0,024 mm) Nickelschicht wieder abgetragen. Ferner dauerte bei dem bisherigen Verfahren das galvanische Auftragen der Schicht sehr lange. Der VEB Galvanotechnik Leipzig gelang es, ein *Hochglanz-Schnellvernickelungsverfahren* zu entwickeln (s. Abb. 101), das in kurzer Zeit glänzende Nickelüberzüge liefert, die nicht mehr poliert zu werden brauchen. Das neue Verfahren ermöglicht eine Senkung der Kosten um 50 bis 60% und hat zugleich den Vorzug, daß die zu diesem Verfahren benötigten chemischen Verbindungen in ausreichender Menge zur Verfügung stehen.

Beim *Eloxalverfahren* wird das Aluminium auf elektrolytischem Wege mit einer Schutzschicht aus Aluminiumoxyd überzogen. Der dabei aufgelegte *Oxydfilm* hat eine Dicke von etwa 0,015 mm. Der Oxydfilm splittert nicht ab, erreicht die Härte von Korund (nach der Moßschen Härteskala Härte 9), ist widerstandsfähig gegen mechanische Beanspruchung, gegen Luftfeuchtigkeit und Rauchgase. *Eloxierbar sind sämtliche Aluminiumlegierungen mit mindestens 85% Aluminiumgehalt.*

Während beim Galvanisieren das mit einer Schutzschicht zu überziehende Metall als Kathode in den Elektrolyten zu hängen ist, wird das zu eloxierende Aluminium als *Anode* in verdünnte Schwefelsäure gebracht. Beim Elektrolysieren von Schwefelsäure entsteht an der Anode Sauerstoff, der sich mit Aluminium zu Aluminiumoxyd (Al_2O_3) verbindet.

Das Eloxalverfahren ist eine elektrolytische Oxydation des Aluminiums.

Da die Oxydschicht zunächst porös bleibt, wird — obgleich die Oxydschichten den elektrischen Strom nicht leiten — der Stromdurchgang doch aufrecht erhalten, so daß die Oxydschicht in die Tiefe dringen kann. Nach dem Trocknen saugen die porö-

sen Oxydschichten Fette und Wasser auf. Dadurch wird die Korrosionsbeständigkeit des eloxierten Werkstückes wesentlich erhöht.

Durch das Eloxalverfahren erhält Aluminium eine Schutzschicht von großer Härte und Widerstandsfähigkeit.

e) Vergiftungsgefahren bei den Oberflächenschutz- und Veredelungsverfahren

Bechergläser — Eisenfeilspäne — Salpetersäure — rauchende Salpetersäure — rauchende Salzsäure — rauchende Schwefelsäure — Bleinitrat — Schwefeleisen — Salzsäure — Bittermandelöl — Kaliumzyanid — rotes und gelbes Blutlaugensalz

Bei den Oberflächenschutz- und Veredelungsverfahren werden Chemikalien verwendet, durch deren unsachgemäße Handhabung oder Behandlung Gesundheitsschäden verursacht werden können. Solche Schäden sind für den Facharbeiter um so gefährlicher und schwerwiegender, als sie sich oft erst nach längerer Einwirkung bemerkbar machen.

Die Schutzvorschriften gegen Vergiftungsgefahren müssen im eigenen Interesse des Facharbeiters streng eingehalten werden.

Die bei den Schutz- und Veredelungsverfahren auftretenden Gifte werden entsprechend ihrer Auswirkung auf den menschlichen Organismus unterteilt in 1. Reiz- und Ätzgifte, 2. Blut- und Nervengifte.

1. Reiz- und Ätzgifte

Reiz- und Ätzgifte rufen besonders beim Einatmen starke Verätzungen der Atemwege hervor. Auch die äußere Haut kann durch Berührung mit Ätzgiften verletzt werden. Reiz- und Ätzgifte sind Chlorwasserstoff HCl, Ammoniak NH_3 , Salpetersäure, nitrose Gase, Schwefelsäure.

Versuch 8:

Wir übergießen Eisenfeilspäne unter einem Abzug mit verdünnter Salpetersäure. Es entweichen dichte braune Dämpfe.

Versuch 9:

Beim Öffnen der Flaschenstopfen von rauchender Salz- und Salpetersäure werden Säurenebel sichtbar. Feuchtes blaues Lackmuspapier wird durch diese Nebel rot gefärbt.

Säurenebel bilden sich u. a. bei der Vorbehandlung der Metalle zum Tauchverfahren, beim Metallbeizen und beim Galvanisieren in Säurebädern. Vor allem die Dämpfe von Salzsäure und Salpetersäure wirken schädigend und reizen die Atmungsorgane. Die bei einigen Verfahren verwendete verdünnte Schwefelsäure gibt keine Dämpfe ab, kann aber bei Unvorsichtigkeit Verätzungen der Haut herbeiführen.

Beim Arbeiten mit Salpetersäure sind die aufsteigenden *nitrosen Gase* besonders gefährlich. Sie bestehen aus mehreren Oxyden des Stickstoffs, vor allem aus dem braunen Stickstoffdioxid, das im Versuch 8 beobachtet wurde. Durch Einatmen nitrosen Gase kann der Herzmuskel plötzlich gelähmt werden und der Tod eintreten. Auf jeden Fall erleiden die Atmungsorgane durch nitrose Gase Schaden, da diese Dämpfe mit der Feuchtigkeit der Schleimhäute wieder Salpetersäure bilden.

bereits bei Zimmertemperatur verdampft und mit der eingeatmeten Luft in das Blut gelangen kann.

Blausäure und der größte Teil ihrer Verbindungen sind schwerste Blut- und Nervengifte.

Schon 0,05 g Blausäure lähmen die Nerven des Atemzentrums, so daß bei Blausäurevergiftung nach kurzer Zeit der Tod eintritt. Hingegen wirkt sich die regelmäßige Aufnahme geringster Blausäuremengen — wie sie in manchen Betrieben bei bestimmten Arbeitsgängen gegeben ist — in keiner Weise schädigend auf den Organismus aus, da der menschliche Körper diese geringen Mengen sofort ausscheidet. Da der Facharbeiter aber nicht übersehen kann, wann das ungefährliche Minimum überschritten ist, ist stets Vorsicht geboten!

Speisen und Mund dürfen weder mit Blausäure noch mit ihren Verbindungen in Berührung kommen.

Als Gegenmittel bei Vergiftung mit Blausäure muß sofort künstliche Atmung eingeleitet werden, am besten mit reinem Sauerstoff.

Sollten durch unglückliche Umstände Blausäure oder Zyanide in den Magen eines Menschen gelangt sein, muß sofort Erbrechen herbeigeführt werden (Schlundkitzeln).

Bei Vergiftungen durch Blausäure und ihre Verbindungen muß sofort der Arzt hinzugezogen werden.

Blei und seine Verbindungen

Bleidämpfe sind äußerst giftig. Sie entwickeln sich z. B. beim Verbleien von Stahl durch Aufschmelzen von Blei oder beim Metallspritzverfahren (s. Abb. 103). Ebenso gefährlich wie Bleidampf ist der Staub von Bleiverbindungen. Solcher Staub entwickelt sich z. B. beim autogenen Schneiden oder Schweißen von Eisenträgern, die zum Schutz gegen Rost mit Bleimennige gestrichen sind.

Bei allen Arbeiten, bei denen Bleidämpfe oder Staub von Bleiverbindungen entstehen, muß ein *Atemfilter* benutzt werden.

Außer dem Metallfacharbeiter sind auch Schriftgießer, Setzer, Arbeiter in Akkumulatorenfabriken und keramischen Betrieben sowie Maler und Anstreicher (Bleiweiß ist eine Bleiverbindung) der Gefahr der Bleivergiftung ausgesetzt.

Selbst durch Einatmen oder Verschlucken an sich unschädlicher winziger Mengen von Blei oder Bleiverbindungen können gefährliche Vergiftungen entstehen, wenn dem Körper alltäglich solche winzige Mengen zugeführt werden.

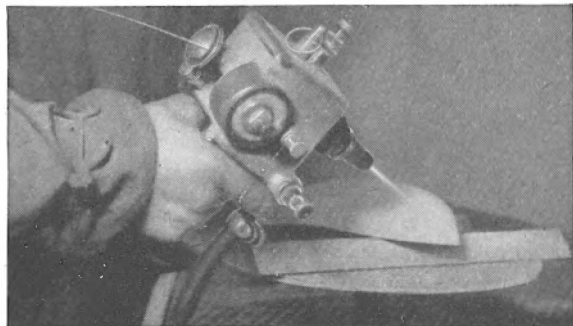


Abb. 103. Stahl wird mit der Spritzpistole verbleit. Wegen der Giftigkeit der dabei entstehenden Bleidämpfe ist Vorsicht geboten.

Größte Vorsicht ist auch beim Angreifen bleihaltiger Waren geboten. Nach dem Umgang mit Blei dürfen Nahrungsmittel nicht berührt werden, es sei denn nach gründlichem Reinigen der Hände.

Beim Einatmen gelangt der Bleidampf bzw. der Bleistaub über die Lunge ins Blut. Dabei wird auch ein Teil des Bleies vom Speichel aufgenommen und mit diesem dem Magen zugeführt. Dadurch können *chronische Bleivergiftungen* hervorgerufen werden. Die chronische Bleivergiftung macht sich zunächst durch Verdauungsstörungen bemerkbar und führt zu der sog. *Bleianämie*, die auf einer Schädigung der roten Blutkörperchen des Blutes beruht. Schließlich wird eine schwarzgraue Verfärbung der Zahnfleischränder, der sog. *Bleisaum*, sichtbar, der durch Ablagerung von schwarzem Bleisulfid zu erklären ist. *Bleikoliken* (äußerst heftige Leibscherzen), *Gelenkschmerzen* und *Nervenschwächen* sind weitere Erscheinungen der Bleivergiftung. Insbesondere werden die Speichennerven der Vorderarme gelähmt, so daß die Finger nicht mehr gestreckt werden können. Schädigungen des Gehirns, der Augen und der Nieren (Bleinieren) können sich ebenfalls einstellen. Die chronische Bleivergiftung führt also zu schwerem körperlichen Verfall. Eine langwierige Heilung ist bei Vermeidung weiterer Bleizufuhr durch langsames Entfernen der bereits aufgenommenen Bleimengen aus dem Körper möglich.

Nicht alle Menschen sind für Blei in gleicher Weise empfindlich. Trotzdem ist größte Vorsicht am Platze.

Bei regelmäßigem Umgang mit Bleidampf und Bleistaub muß ein Atemfilter benutzt werden.

Um Arbeiter der bleiverarbeitenden Berufe vor Bleivergiftungen zu bewahren, muß jeder Betriebsangehörige in bestimmten Zeitabschnitten vom Betriebsarzt untersucht werden.

Die *akute* (plötzliche) *Bleivergiftung* ist selten und tritt nur auf, wenn größere Mengen von Bleisalzen in den Magen des Menschen gelangen. Als „Erste Hilfe“ wird durch Schlundkitzeln oder Gurgeln mit 5%iger CuSO_4 -Lösung Brechreiz erzeugt. Weitere Gegenmittel sind *Milch*, *rohes Eiweiß* und *Abführmittel*. Der Arzt muß möglichst schnell eingreifen.

Kupfersalze

Kupfervergiftungen werden vor allem durch *Kupferchlorid*, *Kupfersulfat* und *Grünspan* hervorgerufen. Solche Vergiftungen äußern sich durch Schmerzen im Verdauungsapparat (*Kupferkolik*). Kupfervergiftungen können zu schweren Störungen des Nervensystems und zum Tode führen. Da Kupfersalze starken Brechreiz hervorrufen, hilft sich der menschliche Organismus meist selbst, indem er die aufgenommenen Gifte durch Erbrechen wieder aus dem Körper entfernt. Wenn bestimmte Mengen von Kupfersalzen direkt ins Blut gelangen, so treten starke Vergiftungserscheinungen auf.

Bei Arbeitern kupferverarbeitender Betriebe tritt gelegentlich eine grünliche Verfärbung der Haut, der Haare und der Zähne auf. Diese Erscheinungen sind zwar durch die regelmäßige Aufnahme geringer Kupfermengen in den Körper entstanden, sind aber im übrigen harmlos und nicht die Anzeichen einer Kupfervergiftung.

Bei Kupfervergiftungen gibt man als erste Hilfe *Brech- und Abführmittel*, Eiweiß, Milch und *Tierkohle*. *Fette oder Öle sind unbedingt zu vermeiden.*

Die vergiftende Wirkung des Kupfersulfats auf Organismen wird für die Bekämpfung der Schädlinge der Weinrebe, gegen die Kartoffelkrankheit und für das Beizen des Saatweizens gegen Brand ausgenutzt.

Um Schädigungen der Gesundheit beim Umgang mit Giftstoffen zu vermeiden, muß der Facharbeiter die gegebenen Schutzvorschriften genau einhalten.

Aufgaben:

1. Erläutere den chemischen Vorgang beim Beizen von Eisen mit Schwefelsäure!
2. Wie ist die chemische Zusammensetzung einer durch Phosphatisieren hergestellten Schutzschicht?
3. Wie ist die Bildung von Rost bei der Einwirkung von Lauge auf Eisenchloridlösung zu erklären?
4. Begründe die Anwendung von Kalkmilch nach dem Beizen von Metallteilen!
5. Beschreibe die Vorgänge bei der elektrolytischen Vernickelung mit Nickelsulfat!
6. Warum dürfen Gegenstände, die galvanisiert werden sollen, nach der Reinigung nicht mehr mit der Hand berührt werden?
7. Erläutere das Eloxalverfahren an Hand einer schematischen Darstellung!
8. Begründe, weshalb bei Vergiftungen mit Säurenebeln Salmiakgeistdämpfe als „erste Hilfe“ verwendet werden!
9. Woran wird auftretende Blausäure erkannt?
10. Nenne die Ursachen von Bleivergiftungen. Wie werden Bleivergiftungen vermieden?

6. Ausbildungsabschnitt

16. bis 18. Monat · 12 Stunden

17. Schmiermittel

a) Zweck der Schmierung

Betrachten wir zwei aufeinander gleitende Flächen einer Maschine (Abb. 104) durch ein Mikroskop, so erkennen wir deutlich die Unebenheiten und Vertiefungen der Gleitflächen (Abb. 105).

Diese Unebenheiten verursachen eine große Reibung, einen hohen Kraftaufwand, einen raschen Verschleiß und eine starke Erwärmung der bewegten Maschinenteile. Auch durch Schleifen und Polieren lassen sich solche Unebenheiten nicht vollkommen beseitigen.

Bringen wir ein Schmiermittel, Öl oder Fett auf die Gleitfläche, so füllt es die Unebenheiten aus, so daß die beiden Stücke gewissermaßen aufeinander schwimmen (Abb. 106). Dadurch wird die Reibung erheblich herabgesetzt. Gleichzeitig wird die geringe noch entstehende Wärme vom Öl abgeführt.

Die Schmierung vermindert die Reibung. Sie gleicht Unebenheiten aus, führt Wärme ab und setzt den Verschleiß herab.

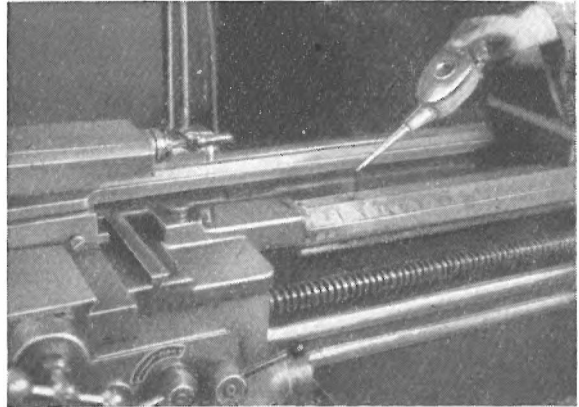


Abb. 104. Um unerwünschte Reibung zu vermeiden, muß eine Drehbank regelmäßig geölt werden. Das Ölen gehört zur persönlichen Maschinenpflege.

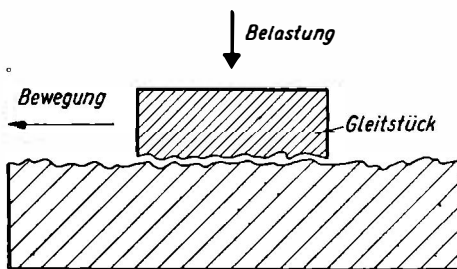


Abb. 105. Schematische Darstellung zweier aufeinander gleitender Teile.

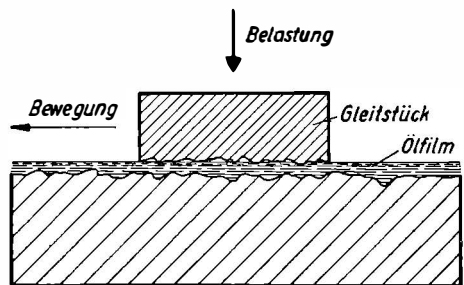


Abb. 106. Schematische Darstellung zweier aufeinander gleitender Teile mit Ölfilm.

b) Schmiermittelarten

Nach der Herkunft unterscheidet man:

1. Pflanzenöle (vegetabilisch),
2. tierische Öle und Fette (animalisch),
3. mineralische Schmiermittel.

1. Pflanzenöle

Pflanzliche Öle waren lange Zeit gebräuchliche Schmiermittel. Durch Schmierstoffe mineralischer Natur sind sie nach und nach zurückgedrängt worden.

Die besten Pflanzenöle sind hellgelb und klar. Manche Sorten sind dunkler und riechen stark.

Die Gewinnung erfolgt durch hydraulisches Auspressen der Rohstoffe. Durch Behandlung mit Schwefelsäure entfernt man Eiweiß- und Schleimstoffe.

Man unterscheidet folgende Ölsorten:

- a) *Rüböl* wird aus Raps gewonnen, hat eine kühlende Wirkung und wird zweckmäßig als Zusatz zu Mineralölen verwendet (hoher Preis).
- b) *Rizinusöl*, rein und gemischt, verwendet man zum Schmieren von Flugzeug- und Rennmotoren. Unlöslichkeit in Benzin und hohe Zähflüssigkeit sind gute Eigenschaften des Öles. Der hohe Preis verhindert aber allgemeine Anwendung.
- c) *Olivenöl*, (Baumöl) wird aus der Frucht des Olivenbaumes durch Zerkleinern und Pressen gewonnen. Es hat nur in solchen Gebieten Bedeutung, in denen es in großen Mengen gewonnen wird (Mittelmeerländer, Südfrankreich, Australien).
- d) *Baumwollsaamenöl* enthält als Rohmaterial viel Verunreinigungen, die mittels Lauge und Wasserdampf entfernt werden. Da es an der Luft eintrocknet, wird es meist nur als Zusatz zu Mineralölen verwendet.

2. Tierische Öle und Fette

Tierische Öle und Fette, die heute nur noch selten als Schmiermittel verwendet werden, gewinnt man meist durch Ausschmelzen oder durch Extrahieren (Ausziehen) mit Fettlösungsmitteln (Benzin, Schwefelkohlenstoff).

Arten:

- a) *Knochenöl* ist ein weißes, leichtflüssiges, an der Luft sehr beständiges und in der Kälte schwer erstarrendes Öl. Gut gereinigtes, säurefreies Knochenöl wird aus diesem Grunde zum Schmieren feiner Maschinenteile und Vorrichtungen (Nähmaschinen) verwendet.
- b) *Klauenöl* ist ein durch Auskochen der Klauen von Schlachttieren gewonnenes Öl, das die gleiche Verwendung findet wie Knochenöl.
- c) *Tran* ist ein dünnflüssiges Öl, das aus dem Speck der Wäلتiere oder aus Fischen gewonnen wird. Da der Tran an der Luft seine Dünnflüssigkeit verliert, wird er nur zur Mischung mit anderen Ölen verwendet.
- d) *Talg* fand als Mischung mit Oliven- oder Rüböl zur Schmierung von Flächen, die unter hohem Druck standen, Verwendung. Heute wird er selten und nur noch als Zusatzstoff zu Mineralölen gebraucht.

Pflanzliche und tierische Öle werden als *fette Öle* bezeichnet. Sie haben einen höheren Schmierwert als Mineralöle. Ihre Nachteile sind, daß sie sich an der Luft schnell zersetzen, ranzig werden und sich innig mit Wasser vermischen. In vielen Fällen zersetzen sich diese Ölsorten beim Gebrauch in Fettsäure und Glycerin.

3. Mineralische Schmiermittel

Allgemeines

Die Schmiermittel, die in der Metallverarbeitung hauptsächlich Verwendung finden, sind *Mineralöle* und *Mineralfette*. Das sind Destillationsprodukte des Erdöls, der Steinkohle oder der Braunkohle (Kohlen-Wasserstoff-Verbindungen).

Ihre Farbe ist hellgelb bis dunkelgrün. Im auffallenden Lichte zeigen sie einen eigentümlichen Schimmer, sog. Fluoreszenz (Öle aus der UdSSR haben bläulichen Schimmer, amerikanische Öle grünen Schimmer).

Mineralschmieröle besitzen außerordentlich verschiedene Eigenschaften, die von der Herkunft und von der Verarbeitung abhängig sind. Eine Prüfung der Ölsorten ist deshalb unerlässlich. Mineralöle zeigen gegenüber pflanzlichen und tierischen Fetten folgende Vorzüge:

Mineralöle sind widerstandsfähig gegen den Einfluß der Luft, zersetzen sich nicht unter Säurebildung, trocknen nicht ein und sind billig.

Der Flammpunkt von Mineralölen liegt zwischen 150 und 325° C.

Mineralöle werden gewonnen:

1. aus Erdöl,
2. aus Braunkohle und Steinkohle und bei der Holz- und Torfverkohlung,
3. auf synthetischem Wege (Hydrierung).

Die durch Destillation gewonnenen Schmiermittel heißen *Destillate* und haben eine dunkle Farbe. Öle, die von den dunklen bituminösen Bestandteilen durch weitere chemische Behandlung mit Säuren, Bleicherden und Lösungsmitteln befreit sind, nennt man *Raffinate*. Sie haben eine helle Farbe und sind durchscheinend.

Arten der Mineralöle

Nebenstehende Tabelle gibt uns die Arten, die Kennwerte und die Verwendungszwecke von einigen Mineralölen an.

Schmierfette

Schmierstoffe, die durch Lösen von Seifen in Schmierölen entstanden sind, werden *Schmierfette* genannt. Wir unterscheiden:

1. *kalkverseifte Fette* (Tropfpunkt bis etwa 100° C),
2. *natronverseifte Fette* (Tropfpunkt bis etwa 180° C).

Schmierfette verwendet man für schwerbelastete Gleitflächen, Zahnradgetriebe und für Maschinenteile, bei denen eine Ölschmierung nicht zweckmäßig ist.

Nach ihrem Verwendungszweck teilt man die Schmierfette ein in: *Maschinenfett* (Staufferfett), *Wälzlagerfett*, *Getriebefett*, *Walzenfett*, *Wagenfett*, *Zahnradfett*.

Vaseline ist eine Mischung von Paraffingemischen mit Mineralöl (Rostschutzmittel).

Einteilung der Mineralöle

Arten	Flammpunkt	Zähigkeit	Verwendungszwecke
Spindelöl (DIN 6541)	125° C	1,8. . .12 E*) bei 20° C	Für schnellaufende, leicht belastete Maschinenteile, z. B. Luftdruckwerkzeuge, Fahrräder, Druckereimaschinen, Papiermaschinen, Zentrifugen, Spinnmaschinen, Ventilatoren. Ferner als Polieröl.
Lagerschmieröl (DIN 6543)	140. . .170° C	1,8. . .7,5 E bei 50° C	Für bewegte Maschinenteile aller Art und als Drahtseilöl. Z. B. elektr. Maschinen, Transmissionen, Loch- und Stanzmaschinen, Sägemaschinen, Werkzeugmaschinen, Brikettpressen, Dreschmaschinen
Getriebeöl (DIN 6546)	175° C	4. . .12 E bei 50° C	Für Zahnradvorgelege, Schneckengetriebe, Wechselgetriebe, Differentialgetriebe
Schmieröle für ortsfeste oder Fahrzeugmotoren (DIN 6547)	185. . .200° C	Im Winter 4. . .8 E bei 50° C Im Sommer über 8 E bei 50° C	Für Krafträder, Personenwagen, Lastkraftwagen, Dieselmotoren, Zugmaschinen, Boote und Motorpflüge
Zylinderöl für Dampfmaschinen (DIN 6552)	240. . .270° C	2,5. . .9 E bei 100° C	Für Zylinder, Kolbenstangen, Stopfbüchsen, Ventile und Schieber der Dampfmaschinen
Öle für Feinmechanik (DIN 6542)	125° C	1,8 E bei 20° C	Für Büromaschinen, Meßgeräte, Uhrwerke, Nähmaschinen, Indikatoren, Magnetzündler u. a.
Achsenöl (DIN 6544)	140. . .160° C	4. . .10 E bei 50° C	Für Achsenlager der Eisenbahn-, Straßenbahn- und Förderwagen
Öle für Verdichter (Kompressoren) (DIN 6545)	175. . .200° C	1. . .12 E bei 50° C	Für Kompressoren, Hochofengebläse, Stahlwerksgebläse
Gasmaschinenöl (DIN 6550)	160. . .175° C	3. . .6 E bei 50° C	Für Gasmaschinen, Groß-Dieselmotoren
Dampfturbinenöl (DIN 6553)	165. . .180° C	2,5. . .7 E bei 50° C	Für Getriebe, Lager, Regler von Dampfturbinen und Turboverdichter
Kältemaschinenöl (DIN 6553)	145° C	4. . .25 E bei 20° C	Für Verdichter zur Kälteerzeugung
Wasserturbinenöl (DIN 6555)	160° C	2,5. . .12 E bei 50° C	Für Wasserturbinen

*) Englergrad, s. S. 193.

Graphitschmiermittel

Wenn Graphit in feinsten Form auf Metallflächen aufgetragen wird, hat er die Eigenschaft, Unebenheiten und Vertiefungen dieser Flächen auszugleichen und gleichzeitig die durch Reibung entstehende Wärme abzuleiten. Zu diesem Zwecke wird feingemahlener Graphit, der frei von Verunreinigungen ist, mit Öl und Fett vermischt (etwa 1 bis 2% Graphit). Dieses Schmiermittel haftet in den Poren der Reibflächen und kann auch bei hohen Drücken nicht so leicht wie reines Öl oder Fett weggedrückt werden. Verstopfungen der Schmiermittelwege und Vorrichtungen werden unter Verwendung von künstlichem Graphit in Form von Lösungen vermieden. Graphitölmischungen ergeben eine Ölersparnis bis zu 50%.

Da die Sublimationstemperatur des Graphits über 3500° C liegt, verwendet man die Graphitschmierung besonders bei Dampfzylindern (etwa 15% Graphitgehalt), Heißdampfmaschinen-Zylindern und Stopfbüchsen, ferner bei Verbrennungsmotoren und Kompressoren.

c) Charakteristische Eigenschaften der Schmiermittel

Die Wahl der richtigen Schmiermittel ist von großer Bedeutung, weil wir damit zur Erhaltung unserer wertvollen Maschinen beitragen und zugleich einem Produktionsausfall durch Maschinenstillstand vorbeugen. Die Erhöhung der Betriebssicherheit und der Wirtschaftlichkeit eines Betriebes durch richtige Schmiermittelbewirtschaftung trägt wesentlich zur Erfüllung unseres Fünfjahrplanes bei.

Der Wert eines Schmiermittels ist durch seine *Zähflüssigkeit (Viskosität)*, seine *Wärme- und Kältebeständigkeit* und seine *Reinheit von Fremdstoffen* bedingt.

1. Zähflüssigkeit

Die Viskosität ist ein wichtiges Kennzeichen für die Eignung und Verwendung der Schmiermittel. Wenn das Öl keine ausreichende Zähigkeit besitzt, kann sich kein Ölfilm zwischen den Gleitflächen bilden, weil in diesem Falle die Flüssigkeitsschicht durch den Druck der Flächen zerquetscht wird. Andererseits aber darf die Viskosität nicht zu hoch sein, da eine große Viskosität (innere Reibung im Öl) einen erhöhten Kraftverbrauch der Maschine verursacht.

Für gering belastete Gleitflächen mit großer Geschwindigkeit sind Schmierstoffe mit geringer Viskosität erforderlich (Elektromotoren). Bei hochbelasteten Gleitflächen mit kleiner Geschwindigkeit wählt man ein zähflüssiges Schmiermittel (Dampfmaschinen).

2. Wärme- und Kältebeständigkeit

Wenn Schmiermittel hohen Temperaturen ausgesetzt werden (z. B. in Zylindern der Dampfmaschinen), soll sich ihre Viskosität wenig ändern, und die Bestandteile der Schmiermittel sollen nicht verdampfen. Bei der Wahl des Schmiermittels ist dieser Gesichtspunkt unbedingt zu beachten.

Wenn Schmieröle abgekühlt sind, werden sie bei einer bestimmten Temperatur steif und sind infolgedessen dann nicht mehr zum Schmieren geeignet.

Für Maschinen, die im Freien oder in kalten Räumen laufen (Eisenbahnwagen, Kälteerzeugungsmaschinen), muß deshalb ein Schmiermittel verwendet werden, das auch bei tiefen Temperaturen noch flüssig bleibt.

Die Viskosität nimmt mit steigender Temperatur ab.

3. Reinheit von Fremdstoffen

Schmiermittel müssen vor allen Dingen frei von unlöslichen Fremdkörpern sein. Sie dürfen ferner keine Harze, keine Säuren und kein Wasser enthalten.

Die Harze bewirken das Eintrocknen zu einer klebrigen Substanz (Krustenbildung). Schon geringe Spuren von Säuren im Schmiermittel greifen die mit dem Öl in Berührung kommenden Gleitflächen an. Ein Wassergehalt setzt die Schmierwirkung erheblich herab.

d) Prüfung der Schmiermittel

Um die Verwendbarkeit der Schmiermittel für die verschiedenen Anwendungsgebiete festzustellen, sind bestimmte Untersuchungsverfahren notwendig. Nachstehend werden die wichtigsten Prüfverfahren zur Beurteilung der Schmierstoffe genannt.

Bestimmung der Dichte

Teilt man die in g gemessene Masse eines Öles durch das in cm^3 gemessene Volumen dieser Ölmenge, so erhält man die in g/cm^3 gemessene Dichte. Die Dichte kann auch in kg/dm^3 angegeben werden. Der Zahlenwert ist in beiden Fällen gleich groß. Beträgt die Dichte eines Schmiermittels $0,915 \text{ g/cm}^3$ bzw. $0,915 \text{ kg/dm}^3$, so wiegt 1 dm^3 bzw. 11 des Öles $0,915 \text{ kg}$. Die Dichte der Schmieröle liegt zwischen $0,890$ und $0,960 \text{ g/cm}^3$.

Zur Ermittlung der Dichte von Ölen dient das *Aräometer*. Beim Eintauchen in die Flüssigkeit kann die Dichte an der Skala der Spindel abgelesen werden (s. Abb. 107).

Bestimmung der Viskosität

Eine Maßbezeichnung für die Zähflüssigkeit des Öles ist der *Englergrad* (E). Das Schmieröl wird mit einem Prüfgefäß (Viskosimeter) auf die Versuchstemperatur (20° oder 50° oder 100°) erwärmt. Dann wird die Zeit, in der 200 cm^3 Öl ausfließen, gemessen. Je größer die Viskosität ist, desto weniger Öl läuft aus und umgekehrt.

Als dann läßt man aus dem gleichen Prüfgefäß Wasser von 20° ausfließen und stellt dabei die Zeit für das Auslaufen des Wassers fest. Teilt man die ermittelte Ausflußzeit des Öles durch die Ausflußzeit des Wassers, so gibt die erhaltene Zahl die im Englergrad gemessene Viskosität an. Wenn beispielsweise das Ausfließen von 200 cm^3 Öl 3 mal so lange dauert als das Auslaufen der gleichen Wassermenge, so beträgt die Viskosität des Öles 3 Englergrade (3 E).

Neben diesem Viskositätsmessungsverfahren sind auch noch andere Methoden üblich.

Bestimmung des Flammpunktes

Der Flammpunkt wird ermittelt, indem man die Temperatur feststellt, bei der die Öldämpfe sich beim Nähern einer Flamme entzünden und aufflammen.

Der Flammpunkt kennzeichnet die Feuergefährlichkeit eines Schmiermittels.

Bestimmung des Erstarrungspunktes (Stockpunkt)

Bei der Einwirkung von Kälte gehen die Öle in einen salbenartigen Zustand über. Da die in den Lagern durch Reibung erzeugte Wärme meist ausreicht, um das Öl flüssig zu halten, hat der Stockpunkt beim eigentlichen Schmiervorgang nur eine geringe Bedeutung.

Zur Bestimmung des Erstarrungspunktes wird die in einem Reagenzglas befindliche Ölprobe in eine Kältemischung gebracht. Sobald beim Verkippfen des Glases keine Bewegung des sich abkühlenden Öles mehr eintritt, stellt man mit einem Thermometer die Temperatur fest und erhält damit den Stockpunkt.

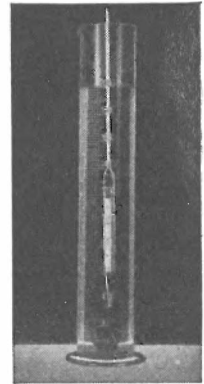


Abb. 107. Die Dichte der Mineralöle wird mit dem Aräometer bestimmt.

Bestimmung des Säuregehaltes

Das zu prüfende Öl wird mit erwärmtem 96%igem Alkohol gemischt. Blaues Lackmuspapier, das in die Mischung getaucht wird, färbt sich bei Anwesenheit von Säure rot.

Eine andere Prüfung auf Säure wird durchgeführt, indem man auf eine polierte Messingplatte etwas Öl gießt und dieses einen Tag stehen läßt. Wenn Säure im Öl enthalten ist, wird auf dem Messing infolge Salzbildung eine Grünfärbung sichtbar.

Bestimmung des Wassergehaltes

Der Nachweis für einen Wassergehalt des Öles kann leicht geführt werden, indem man etwas Kalziumkarbid in die Ölprobe mischt. Wenn dann Blasen aufsteigen, die mit Azetylen gefüllt sind, ist nachgewiesen, daß das Öl Wasser enthält.

Prüfung auf Verunreinigungen

Bringt man einen Tropfen erwärmtes Öl auf Löschpapier, so können mechanische Verunreinigungen des Öles leicht erkannt werden (Fettfleckprobe).

Eine weitere Prüfung auf Verunreinigungen kann mit einer Zentrifuge ausgeführt werden. Das mit Benzin gemischte Öl wird ausgeschleudert, wobei sich die spezifisch schwereren Fremdstoffe infolge der Wirkung der Zentrifugalkraft am Boden absetzen.

e) Schneid- und Kühlmittelöle

Bei den spanabhebenden Arbeitsverfahren in der Metallbearbeitung haben die Mineralöle als *Schneid-* und *Kühlmittel* die Aufgabe, die Standzeit der Werkzeugschneide zu verlängern, gleichzeitig die Spanleistung zu erhöhen und die Oberflächengüte der zu bearbeitenden Teile zu verbessern.

Durch die Spanabnahme tritt eine Erwärmung ein. Die Ursachen sind folgende:

1. Lostrennen und Verformung des Spanes
2. Reibung des Spanes auf der Spanfläche des Werkzeuges
3. Reibung zwischen Werkstück und Werkzeug

Die starke Erwärmung kann verhindert werden durch:

1. Richtigen Anschliff des Werkzeuges
2. Wahl der richtigen Schnittgeschwindigkeit
3. Einwandfreie Kühlung

Schneid- und Kühlmittelöle haben eine schmierende und kühlende Wirkung. Ein guter Erfolg kann nur erreicht werden, wenn ein kräftiger Strahl die Schnittstelle erreicht. Bei unzureichender Kühlung bekommt das Werkzeug Risse, so daß die Werkstückgenauigkeit nicht eingehalten werden kann.

Kühlmittel in ausreichender Menge auf die Schnittstellen bringen!

Schneidöle

Das früher allgemein in der Metallbearbeitung als Schneidöl verwendete Rüböl wurde wegen seiner Unbeständigkeit mehr und mehr durch mineralische Schneidöle verdrängt. Schneidöle verwendet man, wenn außer der Schnittkante große, nicht schneidende Flächen des Werkzeuges mit dem Werkstück in Berührung kommen und eine hohe Standzeit des Werkzeuges erzielt werden soll.

Die Schneidöle sind mit Wasser nicht mischbar. Ihre Hauptaufgabe ist die Schmierwirkung.

Kühlmittelöle

Kühlmittelöle sind vor allem die *Bohrölemulsionen*. Sie entstehen durch Mischen von Bohröl mit Wasser und sind infolge der feinen Verteilung von Öltröpfchen im Wasser weiß gefärbt. Das Mischungsverhältnis kann beliebig sein. Hartes Wasser darf nicht verwendet werden, weil Öl und hartes Wasser keine Emulsion bilden.

Eine evtl. notwendige Wasserenthärtung wird am einfachsten durch Zugabe von Soda erreicht (für 1° deutscher Härte sind 18,9 mg kalzinierte Soda oder 51 mg Kristallsoda je Liter zuzusetzen). Das Öl darf erst nach etwa 4 Stunden zugegeben werden. Verwendet man eine zu ölarme Emulsion, so rosten die Maschinenteile und Werkstücke. Aus diesem Grunde müssen alle Kühlmittelöle sorgfältig auf ihre richtige Zusammensetzung überprüft werden. Kühlmittelöle besitzen eine größere Kühlfähigkeit als Schneidöle.

Für Bohrölemulsionen nur weiches bzw. enthärtetes Wasser verwenden!

Folgende Tabelle gibt Auskunft über Kühlung und Schmierung in der Metallbearbeitung.

Kühlen und Schmieren bei der Metallbearbeitung

Bearbeitung	Stahl	Kupfer und Cu-Legierungen	Aluminium und Al-Legierungen	Magnesium und Mg-Legierungen
Schruppen	B 1:20	M, B 1:20 trocken	S, B trocken	trocken 4%ige Natriumfluorid-Lösung
Drehen	S, B, M	M, B 1:20 trocken	S, B trocken, Petroleum	trocken 4%ige Natriumfluorid-Lösung
Schlichten				
Bohren	Si B 1:20	M, B 1:20 trocken	S, B 1:20 Seifenwasser	trocken 4%ige Natriumfluorid-Lösung
Gewinde-schneiden	S	S	S, Petroleum	trocken 4%ige Natriumfluorid-Lösung
Reiben	S, B	S, M	S, B 1:20 Seifenwasser, Petroleum	trocken Petroleum + M 4%ige Natriumfluorid-Lösung
Schleifen	B 1:60	B 1:60	B 1:60 Petroleum	4%ige Natriumfluorid-Lösung
Schruppen	B 1:20	B 1:10 S	B 1:10 S	trocken 4%ige Natriumfluorid-Lösung
Fräsen				
Schlichten	S, M	B 1:10 S	B 1:10 S	trocken 4%ige Natriumfluorid-Lösung

S = Schneidöl nach DIN 6557.

M = Mineralöl (Oxydationsbeständiges dünnflüssiges Öl) nach DIN 6541.

B = Bohrölemulsion nach DIN 6558.

(1:20 bedeutet 1 Liter Öl auf 20 Liter Wasser, „trocken“ bedeutet ohne jeden Zusatz von Flüssigkeit.)

f) Aufbewahrung und Behandlung

Um Betriebsstörungen möglichst auszuschalten, müssen bei der **Aufbewahrung und Lagerung** der Schmiermittel folgende Gesichtspunkte beachtet werden:

1. *Ölfässer nicht im Freien aufbewahren und der Einwirkung von Regen und Sonne aussetzen!*
2. *Schmierstoffbehälter stets verschlossen halten!*
3. *Ölgefäße peinlich sauber halten!*
4. *Schmiermittel feuersicher lagern!*
5. *Beim Öffnen der Behälter darauf achten, daß keine Fremdkörper (Fasern, Sand, Schmutz) in das Öl gelangen können.*
6. *Schmiermittel nur in die für sie bestimmten Behälter abfüllen!*
7. *Öle beim Abfüllen in die Ölkannen stets durch ein Sieb laufen lassen, damit Verunreinigungen zurückgehalten werden!*
8. *Schmiermittelbehälter mit guter Beschriftung der enthaltenen Ölart versehen!*

Jedes Schmutzteilchen im Öl erhöht den Verschleiß der Maschine.

Zur Schmierung von Werkzeugmaschinen mit Öllöchern ist die Beschaffung einer *Sparkanne* zweckmäßig (s. Abb. 104).

Schmierfette werden mittels Handpressen, Staufferbüchsen oder durch selbsttätig wirkende Fettpressen den Maschinenteilen zugeführt.

Besondere Beachtung ist ferner den *Altölen* zu schenken. Das sind Öle, die durch Feuchtigkeit, Wärme und Luft eine Veränderung ihrer Eigenschaften erfahren haben und ihre Aufgaben nicht mehr erfüllen können. Überall, wo geschmiert wird, wo Ölwechsel vorgenommen werden usw. fällt Altöl ab. Durch Filtern und Schleudern können diese verunreinigten Öle wieder verwendungsfähig gemacht werden.

Stark gealterte Öle erhalten durch Auffrischen (Regenerierung) ihre ursprünglichen chemischen und physikalischen Eigenschaften wieder. Die Aufbereitung erfolgt durch Entfernen der Verunreinigungen und durch Ausscheiden der gelösten Alterungsstoffe (Behandlung mit Säure und Bleicherde).

Im Interesse der Materialersparnis und der Erfüllung unserer Wirtschaftspläne darf Altöl nicht vergeudet, sondern muß der Regenerierung zugeführt werden.

Aufgaben:

1. Gib den Zweck und die Wirkungsweise der Schmiermittel an!
2. Welche Öle finden in der Metallbearbeitung vorwiegend Verwendung?
3. Welche Eigenschaften muß ein gutes Schmiermittel aufweisen?
4. Wie prüfe ich die Schmiermittel auf ihre Eigenschaften?
5. Welche Gesichtspunkte sind bei der Aufbewahrung der Schmiermittel zu beachten?
6. Was ist eine Bohrölemulsion und wozu wird sie hauptsächlich verwendet?

18. Schleifmittel

a) Zweck und Wirkungsweise des Schleifens

Das Schleifen findet Anwendung:

1. Zum Schärfen von Werkzeugen (Abb. 108)
2. Zum Erreichen einer hohen Maßhaltigkeit und einer ebenmäßigen Oberfläche von Werkstücken
3. Zum Bearbeiten besonders harter Werkstücke

Beim Schleifen mit einer *Schleifscheibe* werden von dem zu bearbeitenden Körper feinste Spänchen abgehoben. Somit gehört das Schleifen zu den spanabhebenden Arbeitsverfahren. Eine Schleifscheibe ist mit einem Fräser zu vergleichen (Abb. 109), der eine besonders große Anzahl von Zähnen besitzt.

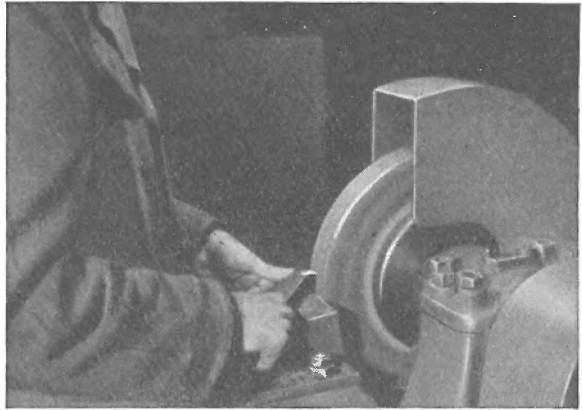


Abb. 108. Schleifen eines Drehstahls

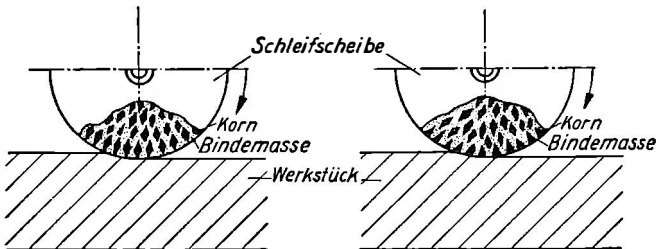


Abb. 109. Schleifkörner einer Schleifscheibe. Die Schleifscheibe wirkt wie eine Fräse mit vielen Zähnen (links). Beim Schleifen werden die Schneidkanten der Körner der Schleifsteine stumpf (rechts).

Die Späne, die durch die scharfkantigen Körner der Schleifscheibe abgehoben werden, sind viel kleiner als Fräs- und Drehspäne. Ebenso wie der Dreh- und Hobelstahl nur eine bestimmte Standzeit hat und dann stumpf wird, nutzen sich auch die Schneidkanten der Körner des Schleifsteines ab und werden stumpf. Wenn

durch den Druck des zu schleifenden Werkstückes die Festigkeit der Bindemasse überschritten wird, so bricht das Korn aus der Bindung der Schleifscheibe aus. Dadurch wird ein neues, scharfes Schleifkorn freigelegt, das sofort die weitere Bearbeitung des Werkstückes übernimmt.

Die Schleifscheibe ist ein billiges Werkzeug. Sie braucht nicht regelmäßig nachgeschliffen zu werden und kann fast restlos verbraucht werden. Durch das Schleifen wird eine große Genauigkeit der Werkstücke erreicht. Da die Schleifkörner der Schleifscheibe eine große Härte besitzen, ermöglichen sie auch die Bearbeitung der

härtesten Stoffe. Beim Arbeiten mit hoher Umfangsgeschwindigkeit ist eine Ersparnis an Arbeitszeit möglich.

Die kennzeichnenden Merkmale einer Schleifscheibe sind: *Form, Abmessung, Schleifmittel, Körnung, Bindung, Härte* und *Gefüge*.

b) Formen und Abmessungen von Schleifscheiben

Die Form der Schleifscheibe richtet sich nach dem Verwendungszweck. Die verschiedenen Formen von Schleifscheiben sind in Abb. 110 dargestellt.

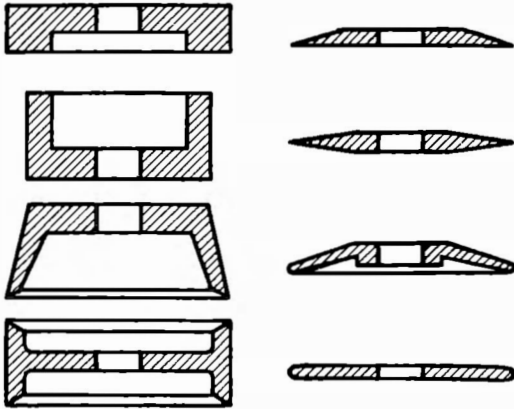


Abb. 110. Formen von Schleifscheiben



Abb. 111. Begleitzettel einer Schleifscheibe

Die Angabe der *Abmessung* erfolgt in bestimmter Reihenfolge:

$$\text{Außendurchmesser} \times \text{Breite} \times \text{Bohrung}$$

Die den Schleifscheiben beigelegten bzw. auf den Scheiben aufgeklebten Begleitzettel (Abb. 111) geben Auskunft über die oben angeführten Merkmale.

c) Material

Früher wurden lediglich Natursteine als Schleifmittel benutzt. Heute jedoch werden zur Herstellung von Schleifscheiben vor allem künstliche Schleifmittel verwendet, die eine größere Härte besitzen und sich durch eine besondere Gleichmäßigkeit in ihrer Beschaffenheit auszeichnen.

Man unterscheidet:

1. *Natürliche Schleifmittel*
Schmirgel, Korund, Diamant, Quarz, Sandstein, Bimsstein
2. *Künstliche Schleifmittel*
Kunstkorund (Elektrokorund), Siliziumkarbid, Borkarbid

1. Natürliche Schleifmittel

Schmirgel und Korund (Naturkorund)

Der feinkörnige, grau-schwarze *Schmirgel* ist ein besonders hartes Mineral, das in Griechenland (Insel Naxos: „Naxos-Schmirgel“), Kleinasien („Levante-Schmirgel“) und Amerika gefunden wird. Schmirgel ist in chemischer Hinsicht Aluminiumoxyd (Al_2O_3) und enthält als Verunreinigungen vor allem Eisenoxyd (Fe_2O_3) und Siliziumdioxid (SiO_2). *Die Schleifkraft des Schmirgels ist durch den Gehalt an krist. Aluminiumoxyd bedingt.* Im allgemeinen enthält Schmirgel etwa 60% Al_2O_3 . Die gewonnenen Stücke werden zerkleinert und nach Korngröße sortiert.

Der Gehalt an krist. Aluminiumoxyd bestimmt die Schleifkraft des Schmirgels.

Korund (Naturkorund, Demantspat) ist ein Mineral, das etwa 95% Aluminiumoxyd enthält. Mit der Härte 9 ist Korund höherwertiger als Schmirgel. Fundorte liegen in Amerika, Indien und Afrika.

Aus Schmirgel und Korund werden sowohl Schleifscheiben als auch lose Schleifmittel hergestellt. Beim *Schmirgelpapier* oder *Schmirgelleinen* ist das Schleifmittel auf Papier oder Stoff aufgeleimt. Klebt man Schmirgelleinen um Holzformstücke, so erhält man *Schmirgelfeilen*.

Diamant

Diamant hat die Härte 10. Für die Herstellung von Scheiben verwendet man Diamanten, die für Schmuckstücke unbrauchbar sind. Dabei wird gepulverter Diamant in den Körnungen 100, 180, 240 und 400 (s. S. 202) unter Verwendung von Bindemitteln aufgetragen.

Diamant-Schleifscheiben werden verwendet zum *Schleifen von Hartmetall* (Widia, Titanit, Böhlerit u. a.). Diamantstaub wird zum *Läppen und Polieren* benutzt.

Quarz

Quarz (Siliziumoxyd) ist oft durch Metalloxyde gefärbt und kommt in vielen Abarten vor. Nach der Mohsschen Härteskala hat er die Härte 7.

Quarzsand und Quarzmehl werden zur Herstellung von *Sandpapier* und Schleifpasten benutzt. Feinkörniger Quarzsand wird ferner in *Sandstrahlgebläsen* verwendet.

Das Sandstrahlgebläse dient in der Gußputzerei zum Reinigen der Gußstücke von anhaftendem Formsand. Ferner werden mit dem Sandstrahlgebläse Rost- und Zunderschichten entfernt und Oberflächen mattiert. Die Größe der Sandkörner ist je nach Verwendungszweck verschieden (0,2 bis 3 mm).

Die scharfkantigen Sandkörner werden durch Preßluft (3 bis 7 at) mit großer Wucht auf die Oberfläche der Werkstücke geschleudert. Je härter und schärfer die Sandkörner sind, um so besser ist die Wirkung des Sandstrahls.

Sandstein

Im Sandstein sind Quarzkörner meist durch tonige oder holzige Bindemittel verbunden. Die Größe der Schleifkörner beträgt 0,1 bis 3 mm. Sandschleifscheiben haben heute nur noch geringe Bedeutung.

Durch Zusammenschmelzen von 55% Quarz und 45% Alaun erhält man künstlichen Sandstein.

Bimsstein

Bimsstein ist ein schaumiges oder schwammiges Eruptivgestein, das beim Durchströmen von Gasen durch glutflüssige Lava entstanden ist. Er besteht hauptsächlich aus Siliziumdioxid.

Bimsstein wird verwendet beim Schleifen von Metallen und Farbschichten.

2. Künstliche Schleifmittel

Kunstkorund (Elektrokorund)

Der Kunstkorund wird im elektrischen Ofen durch Schmelzen von Tonerde (Bauxit) mit Koks hergestellt. Er besitzt große Härte (fast 9 nach Härteskala) und eine große Zähigkeit. Seine Farbe ist weiß, grau oder bräunlich. Kunstkorund enthält Verunreinigungen wie Eisenoxyd (Fe_2O_3), Siliziumdioxid (SiO_2) und Titandioxid (TiO_2). Der Bauxitgehalt bestimmt die Härte des Schleifmittels.

Man unterscheidet nach DIN 69100:

1. Schwarzen Korund mit 72 bis 75% Aluminiumoxyd (dunkelbraun bis schwarz)
2. Normalkorund mit 93 bis 95% „ (grau bis braun)
3. Halbedelkorund mit etwa 98% „ (braun bis rosa)
4. Edelkorund mit etwa 99% „ (weiß)

Kunstkorund wird verwendet zum Schleifen von zähen Werkstoffen mit großer Festigkeit (z. B. Gehärtete und ungehärtete Stähle, Temperguß, Stahlguß). Zum Schleifen von Werkstoffen eignet sich besonders Halbedelkorund und Edelkorund.

Siliziumkarbid (Karbokorund)

Siliziumkarbid (SiC) wird im elektrischen Ofen durch hohes Erhitzen von Quarz mit Koks gewonnen. Diese chemische Verbindung bildet gut ausgebildete Kristalle von schwarzer, grüner oder blauer Farbe. Da Siliziumkarbid fast die Härte des Diamanten erreicht, ist es ein wichtiges, hochwertiges Schleifmittel.

Verwendung: Zum Schleifen von harten und spröden Werkstoffen (Hartmetall, Gußeisen, Hartguß, Glas), aber auch zur Bearbeitung weicher Werkstoffe (Aluminium, Kupfer, Messing).

Borkarbid

Die Herstellung des Borkarbid (B_4C) erfolgt ebenfalls im elektrischen Ofen (sehr hohe Herstellungskosten). Die kleinen, glänzenden Kristalle sind noch härter als Siliziumkarbid.

Verwendung: Zur Bearbeitung von Hartmetall und zum Schneiden von Stein und Glas.

Poliermittel

Unter Polieren versteht man das Glätten der Oberfläche von Werkstücken. Die damit verbundene Beseitigung feinsten Unebenheiten kann entweder durch Druckpolieren oder durch Schleifpolieren erreicht werden.

Zum Schleifpolieren in der Metallbearbeitung dienen folgende Stoffe:

1. Wiener Kalk (gebrannter Kalk), der vor allem zur Herstellung von Hochglanzpasten geeignet ist. Da er leicht Wasser anzieht, ist er stets in gut verschlossenen Gefäßen aufzubewahren.
2. Schlämmkreide (kohlenaurer Kalk)
3. Knochenasche
4. Eisenoxyd (Fe_2O_3), bekannt unter dem Namen Englischrot, Pariserrot und Polierrot, ist das beste und das am meisten verwendete Poliermittel.
5. Talk (Speckstein), besonders zum Polieren empfindlicher Stoffe geeignet
6. Chromoxyd (Cr_2O_3), Poliergrün genannt. Es wird verwendet zum Polieren von harten Metallen, Stahl, Silber, Platin und verchromten Teilen.

Die Poliermittel kommen in Form fertiger Pasten zur Anwendung oder werden mit Stearinöl, Spiritus, Glyzerin, Mineralöl oder Wasser angerührt.

3. Härte der Schleifmittel

Die Härte eines Schleifmittels wird in den Härtegraden der von Mohs aufgestellten *Härteskala* angegeben. In dieser Härteskala (s. nachstehende Tafel) folgen 10 Mineralien derart aufeinander, daß jedes dieser Mineralien lediglich mit einem der nachfolgenden Mineralien geritzt werden kann. Beispielsweise kann Quarz mit Topas, Korund und Diamant geritzt werden, jedoch nicht mit Feldspat, Apatit usw. In der nachstehenden Tafel sind die wichtigsten Schleifmittel entsprechend ihrer Härte in die Härteskala eingefügt.

Härteskala nach Mohs

<i>Mineral,</i> Schleif- und Poliermittel	Härte	<i>Mineral,</i> Schleif- und Poliermittel	Härte
<i>Talk</i>	1	Blutstein (Hämatit)	5,5—6,5
<i>Gips</i>	2	Feuerstein	7
gebrannter Kalk	2—3	Granat	6,5—7,5
<i>Kalkspat</i>	3	<i>Quarz</i>	7
Schwerspat	3,5	Levante-Schmirgel	etwa 8
Dolomit	3,5—4	<i>Topas</i>	8
<i>Flußspat</i>	4	Naxoschmirgel	8—9
<i>Apatit</i>	5	Chromoxyd	etwa 9
Roteisenstein, Polierrot	1—6	Elektrokorund	etwa 9
Glas	4—6	<i>Korund</i>	9
Bimsstein	5—6	Siliziumkarbid	etwa 9,25—9,75
<i>Feldspat</i>	6	Borkarbid	fast 10
		<i>Diamant</i>	10

d) Körnung

Nach dem Vorzerkleinern und Mahlen der Schleifrohstoffe werden die erhaltenen Produkte nach ihrer Korngröße sortiert, indem man die Körner über Siebe (Drahtgewebe, Seidengaze) laufen läßt. Jede Siebgröße hat eine bestimmte Anzahl Maschen auf 1 Zoll Seitenlänge. Die Bezeichnung der Körnung erfolgt nach der Feinheit (Maschenzahl) des Siebes, durch das die Schleifkörner gerade noch hindurchgehen. Je größer die Maschenzahl des Siebes ist, um so feiner ist das Schleifkorn. Bei der Angabe „Korn 80“ handelt es sich um Schleifkörner, die beim Sortieren durch ein Sieb von 80 Maschen auf ein Zoll gefallen sind.

Unter Körnung versteht man die Korngröße der Schleifmittel.

Die Einteilung der Körnung erfolgt nach DIN 691000 in sechs Gruppen, die in nachstehender Tabelle aufgeführt sind.

Körnung der Schleifmittel

Körnung	Kornnummer					Verwendungszweck
Sehr grob	8 (2,4*)	10 (2)	12 (1,7)	—	—	Schmiedestücke
Grob	14	16	20	24	—	Gußteile, Leichtmetalle
Mittel	30 (0,6)	36 (0,5)	46 (0,35)	50 (0,3)	60 (0,25)	Stahl, Kupfer, Messing
Fein	70 (0,2)	80 (0,18)	90 (0,17)	100 (0,16)	120 (0,12)	Stahl, Kupfer, Messing
Sehr fein	150 (0,1)	180 (0,09)	200 (0,08)	220 (0,07)	240 (0,05)	Zum Läppen
Staubfein	280	320	400	500	600	Zum Läppen

Die feinsten staubförmigen Schleifmittel werden durch Schlämmen gesondert. Man rührt sie zu diesem Zweck mit Wasser an und läßt sie dann einige Minuten absetzen. Die richtige Auswahl der Korngröße ist für die Herstellung von Schleifscheiben von großer Bedeutung.

e) Bindung

Bei den künstlich hergestellten Schleifscheiben werden die einzelnen Körner durch ein *Bindemittel* zusammengehalten (Abb. 109). Durch Korn und Bindemittel sind die Eigenschaften der Schleifscheibe bedingt.

Man unterscheidet folgende Bindemittel:

*) Die eingeklammerten Zahlen geben die Korngröße in mm an.

1. Keramische Bindung
2. Organische Bindung:
 - a) Gummibindung, b) Kunstharzbindung, c) Schellackbindung
3. Mineralische Bindung:
 - a) Magnesitbindung, b) Silikatbindung

1. Keramische Bindung

Die keramische Bindung ist die am häufigsten angewendete Bindung (70% aller Schleifscheiben). Als Bindemittel verwendet man Kaolin (Ton), Feldspat und Quarz. Die teigartige Masse von Schleifkorn und Bindemittel wird in Formen gegossen, getrocknet, vorgedreht und dann in Schamotteformen drei bis fünf Tage lang bei Weißglut (etwa 1400° C) im Brennofen gebrannt. Nach langsamem Abkühlen (ungefähr 6 Tage) werden die Schleifscheiben maßgerecht bearbeitet. Bei Scheiben größeren Durchmessers (500 bis 1000 mm) wird die Formgebung durch Stampfen und hydraulisches Pressen erzielt. Der Druck beim Pressen, die Zusammensetzung des Bindemittels und die Brenntemperatur sind ausschlaggebend für die Härte der Scheiben.

Schleifscheiben mit keramischer Bindung sind widerstandsfähig gegen Hitze, Kälte, Öl und Wasser. Diese Scheiben können aber infolge ihrer Sprödigkeit keinen Schlag, Stoß oder seitlichen Druck aushalten.

Verwendung: Für die meisten Schleifzwecke geeignet, besonders für Naßschliff.

2. Organische oder vegetabilische Bindung

Bei der organischen Bindung werden Bindestoffe wie Gummi, Kunstharze und Schellack verwendet. Organisch gebundene Schleifscheiben besitzen große Zähigkeit und Festigkeit. Sie vertragen Schlag, Stoß und Seitendruck. Sie ergeben einen sauberen Schliff und schmieren nicht. Vor hohen Temperaturen, Öl und Laugen soll man sie schützen.

Die organische Bindung ist insbesondere für dünne Schleifscheiben und Profilscheiben vorteilhaft.

a) Gummibindung

Für dünne Scheiben, die besonders große Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchungen und hohe Umdrehungszahlen erfordern, eignet sich die Gummibindung (Hochleistungsscheiben).

b) Kunstharzbindung

Schleifmittel und Phenolharz werden gemischt, geformt, zum Trocknen ausgesetzt, gebrannt und mit einem Druck von 80 bis 450 kg/cm² gepreßt (hoher Preßdruck ergibt harte Scheibe). Der Harzgehalt (etwa 10 bis 25%) hat entscheidenden Einfluß auf Härte und Sprödigkeit der Schleifscheibe. Je geringer der Harzgehalt ist, um so härter und spröder ist die Scheibe. Sonderschleifscheiben (Profil-, Feinschliff- und Schneidscheiben) haben bis zu 20% Harzgehalt. Scheiben mit Kunstharzbindung werden sowohl für Naß- als auch für Trockenschliff verwendet.

c) Schellackbindung

Zur Erreichung eines hochwertigen Feinschliffes, besonders für gehärtete Stähle, eignen sich Schleifscheiben mit Schellackbindung.

3. Mineralische Bindungen

a) Magnesitbindung

Zur Herstellung der Magnesitbindung wird ein Gemisch von Magnesiapulver (gebrannter Magnesit) und Magnesiumchlorid mit Wasser angerührt (Sorelzement). Nach dem Mischen der Stoffe wird die Masse geformt und an der Luft getrocknet. Die Herstellung der Schleifscheiben mit Magnesitbindung ist billig und erfolgt in kurzer Zeit. Wegen der Empfindlichkeit gegen Nässe dürfen solche Scheiben nur zum Trockenschliff verwendet werden.

Verwendung: Zum Schleifen von Messern, Scheren und weichen Metallen (Aluminium, Zink).

b) Silikatbindung

Als Bindemittel dient Wasserglas. Die Schleifscheiben können für Naß- und Trockenschliff gebraucht werden und schneiden zarte Späne.

Verwendung: Zum Schleifen von wärmeempfindlichen Werkstücken (Scharfschleifen von Messern und Stählen).

f) Härte der Schleifscheiben

Die Härte einer Schleifscheibe ist der Widerstand, den die Bindung dem Ausbrechen der Schleifkörner aus der Scheibe entgegensetzt.

Die Härte der Schleifscheibe darf nicht mit der Härte des Schleifmittels verwechselt werden.

Die Härte der Schleifscheibe ist abhängig:

1. von der Festigkeit des Bindemittels
2. von der Schichtdicke des Bindemittels
3. von der Größe der Körnung
4. vom Preßdruck bei der Herstellung
5. von der Brenntemperatur

Die Härte der Schleifscheibe wird wie folgt durch große lateinische Buchstaben gekennzeichnet:

Härtegrade der Schleifscheiben

Sehr weich	E	F	G	
Weich	H	Jot	K	
Mittel	L	M	N	O
Hart	P	Qu	R	S
Sehr hart	T	U	V	W
Äußerst hart	X	Y	Z	

Beim Schleifen von harten Werkstoffen werden die Schleifkörner rasch stumpf. Damit neue, scharfe Körner zur Wirkung kommen, muß die Härte der Schleifscheibe derart gewählt werden, daß die Schleifkörner ausbrechen, sobald sie stumpf sind.

Bei der Bearbeitung von weichen Werkstoffen hingegen bleiben die Schneidkanten der Körner längere Zeit scharf. Ein Ausbrechen der Schleifkörner braucht also hier

nicht so schnell zu erfolgen. Brechen die Schleifkörner bereits vor dem Stumpfwerden vorzeitig aus der Bindung aus, so nützen sich die Scheiben schnell ab. Man sagt in diesem Fall, die Schleifscheibe ist zu weich.

Eine Schleifscheibe hat die richtige Härte, wenn das Schleifkorn ausbricht, sobald es stumpf ist.

Demgemäß gilt für die Auswahl der Scheiben im allgemeinen die folgende Regel:

Harte Werkstoffe — weiche Scheiben
Weiche Werkstoffe — harte Scheiben

Diese Regel ist nicht anzuwenden auf weiche Werkstoffe, die zum Schmieren neigen (Leichtmetall, Kupfer).

g) Gefüge (Struktur)

Unter „Gefüge“ versteht man das Verhältnis der Schleifmittelmenge zur Bindemittelmenge und die Anordnung der einzelnen Schleifkörner im Bindemittel. Man spricht von einem dichten Gefüge, wenn die Schleifkörner in der Schleifscheibe dicht nebeneinander liegen (Abb. 112). Bei einem offenen Gefüge liegen die Körnchen weiter voneinander entfernt.

Scheiben mit dichtem Gefüge eignen sich für harte und spröde Werkstoffe (gehärteter Stahl, Chromnickelstahl) und ergeben einen feinen Schliff. Scheiben mit offenem Gefüge werden verwendet zum Schleifen

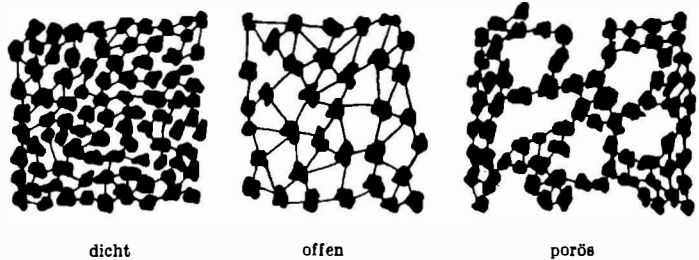


Abb. 112. Schematische Darstellung des Gefügebaues von Schleifscheiben

weicher Werkstoffe (Aluminium, Kunstharze) und liefern einen Schrappschliff. Scheiben mit hochporösem Gefüge sind geeignet für Grobschliff und besonders zum Schleifen von Hartmetallwerkzeugen.

Aufgaben:

1. Beschreibe die Wirkungsweise beim Schleifen mit der Schleifscheibe!
2. Wann kommt das Schleifen zur Anwendung?
3. Wozu dienen die Begleitzettel der Schleifscheiben?
4. Nenne die wichtigsten Schleifmittel!
5. Welche Verwendung findet der Elektrokorund?
6. Nenne einige Poliermittel!
7. Wonach richtet sich die Härte der Schleifmittel?
8. Was versteht man unter Körnung?
9. Welche Aufgabe hat das Bindemittel einer Schleifscheibe?
10. Was versteht man unter der Härte der Schleifscheibe und wovon ist sie abhängig?
11. Welche Regeln gelten bei der Auswahl von Schleifscheiben?

19. Kunst- und Preßstoffe, Gummi, Leder

Unter „Kunststoffen“ versteht man nicht etwa sämtliche künstlich hergestellte Stoffe, sondern lediglich die aus hochmolekularen Verbindungen bestehenden organischen Werkstoffe.

Der akute Mangel an Buntmetallen und anderen Metallen zwingt uns zur Produktion und zur Verwendung von Austauschstoffen, deren Qualität möglichst besser sein soll als die der bisher für den betreffenden Zweck verwendeten Materialien (s. Abb. 113).

Im Zuge des Fünfjahrplanes soll die Produktion der Kunststoffe im Vergleich zum Jahre 1950 um 213% gesteigert werden.

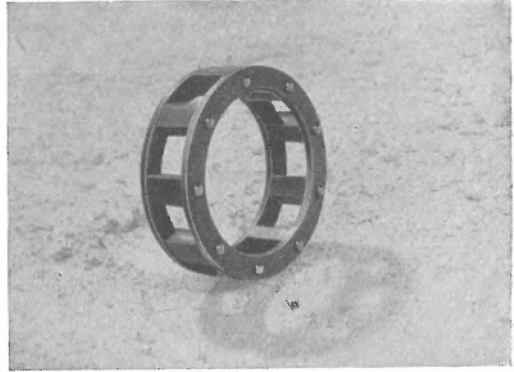


Abb. 113. Um Buntmetall zu sparen, werden Kugellagerkäfige heute vielfach aus Hartholz statt aus Messing hergestellt. Kugellagerkäfige aus Hartholz haben größere Lebensdauer und gewährleisten einen ruhigen Lauf. In vielen Fällen können wir heute Metall durch andere Werkstoffe, wie z. B. Kunst- und Preßstoffe ersetzen.

Kunststoffe können entweder durch Umformung natürlich hochmolekularer Verbindungen oder aus niedermolekularen Stoffen synthetisch aufgebaut werden (Abb. 114).

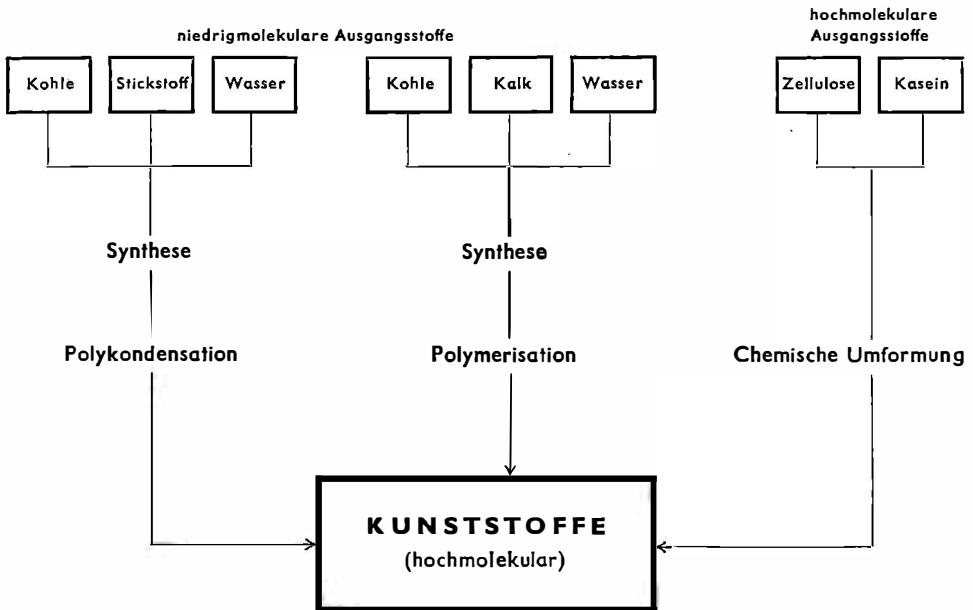


Abb. 114. Kunststoffe werden entweder durch Umformung hochmolekularer natürlicher Stoffe oder durch Synthese aus niedermolekularen Stoffen gewonnen.

Demgemäß unterteilt man die Kunststoffe in:

1. *abgewandelte Naturstoffe*
2. *vollsynthetische Kunststoffe*

Unter den abgewandelten Naturstoffen sind die *Zellulose-Kunststoffe* von besonderer Bedeutung. Die vollsynthetischen Kunststoffe teilen wir ein in *Kondensationsstoffe* und *Polymerisationsstoffe*.

a) Zellulose-Kunststoffe

Vulkanfiber

Läßt man Papierbahnen durch ein Bad mit Zinkchlorid oder Schwefelsäure laufen, so quillt die Zellulose, aus der das Papier besteht. Sie wird anschließend langen Wasch- und Trockenprozessen unterworfen, und es entsteht eine Masse, die als Vulkanfiber bezeichnet wird. Da Vulkanfiber in begrenzter Menge Wasser aufnehmen kann, wird sie durch *Kunstharzzusätze zäh, hart und wasserfest* gemacht. Sie ist gegen Öle, Benzin und andere Lösungsmittel beständig.

Unter den Zelluloseabkömmlingen hält Vulkanfiber den *höchsten mechanischen Beanspruchungen* stand. Aus ihr werden Platten, Rohre, Stanzteile, Zahnräder u. a. hergestellt.

Zelluloid (Zellhorn)

Zellulose ist auch der Rohstoff für das *leicht brennbare* und *sehr plastische* Zelluloid, das aus Zellulosenitrat (oft fälschlicherweise als Nitrozellulose bezeichnet) und alkoholischer Kampherlösung hergestellt wird. Die gequollene Masse wird unter Druck zu Zelluloidplatten gepreßt, die entweder transparent oder in allen Farbtönungen im Handel sind.

Zellon ist ein Werkstoff, der schwerer als Zelluloid entflammt, im Gegensatz zu diesem lichteht ist und z. B. für Mehrschichtensicherheitsgläser verwendet wird. Zellon wird aus Zelluloseazetat (einer Verbindung von Zellulose mit Essigsäure) durch Vermischung mit Kampher oder Kampherersatzmitteln hergestellt.

Zellophan wird in Form einer Haut aus Viskoselösung (s. unten) gewonnen. Nach mehreren Reinigungsprozessen und nach dem Trocknen erhält man glasklare Folien, die geruchfrei, luftdicht, weich und unzerbrechlich sind.

Kunstseide

Je nach dem Herstellungsverfahren der Kunstseide unterscheidet man *Viskose-, Azetat- und Kupferseide*. Alle Kunstseidensorten werden aus Holzzellstoff gewonnen, der im wesentlichen aus reiner Zellulose $(C_6H_{10}O_5)_n$ besteht. Beim *Viskose-Verfahren* läßt man den Zellstoff in 18%iger Natronlauge quellen, wobei Alkalizellulose entsteht. Nach Zugabe von Schwefelkohlenstoff bildet sich gelbes *Zellulosexanthogenat*, das durch verd. Natronlauge in eine zähe Masse, die sog. *Viskoselösung* übergeht (viscosus lat., zähe, klebrig). Die Viskoselösung wird dann durch feinste Düsen in ein Fällbad aus Schwefelsäure und Natriumsulfatlösung gepreßt, in dem die Viskosestrahlen

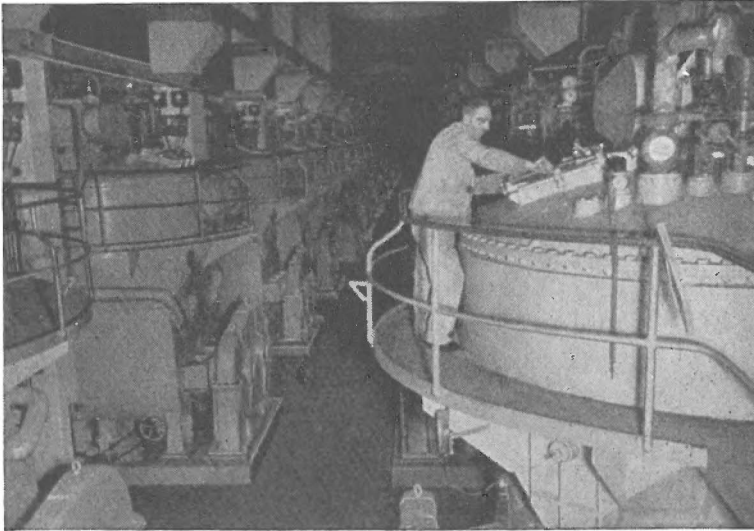


Abb.115. Kunstseide und Zellwolle gehören zu den wichtigsten Kunstfasern. Die Forderung der Verbesserung ihrer Qualität und die Erweiterung ihrer Herstellung ist im Fünfjahrplan festgelegt. Das Bild zeigt die großen Knetmaschinen, in denen der Zellstoff des Holzes unter der Einwirkung bestimmter Chemikalien sowie von Druck und Temperatur in eine Lösung überführt wird, aus der Fäden gesponnen werden können.

zu feinen Kunstseidefäden erstarren. Durch nachfolgendes Spülen wird die Faser von der anhaftenden Säure befreit.

Vulkanfiber, Zelluloid, Zellon, Zellophan, Zellwolle und Kunstseide sind Kunststoffe, die durch chemische Umformung der Zellulose gebildet werden.

b) Kondensationsstoffe (härtbar)

Bakelit (Phenolharze)

Reagieren *Phenole* und *Formaldehyd* in alkalischer Lösung miteinander, so entsteht nach einiger Zeit *unter Wasseraustritt* eine harzige Masse, die Phenolharz genannt wird. Bei diesem Vorgang, der als *Kondensation* bezeichnet wird, lagern sich viele Moleküle zu großen Molekülketten aneinander.

Die aus Phenol hergestellten Massen können in der Wärme verformt werden und werden deshalb als *Phenoplaste* oder *Bakelit* bezeichnet. Durch weitere Behandlung (Hitze und Druck) können die Phenoplaste *gehärtet* werden.

Das zuerst gebildete Kunstharz, *Resol* genannt, ist schmelzbar, in Spiritus, nicht aber in Öl löslich. Durch geeignete Lenkung des Verfahrens entstehen öllösliche Phenolharze, die als *korrosionsbeständige Kunstharzlacke* bekannt sind.

Die nächste Härtungsstufe ist das *elastische Resitolharz*, das kaum noch löslich ist, während man bei weiterem Erhitzen unlösliches und *unschmelzbares Resit* gewinnt.

Phenolharze werden als hochwertige Isolierstoffe in der Elektrotechnik, im Apparatebau sowie für viele Dinge des täglichen Bedarfs verwendet. Sie können weitgehend an Stelle von Metall verwendet werden.

Kondensationskunstharze entstehen unter Wasserabscheidung durch Zusammenlagern vieler Moleküle zu großen Molekülketten und Netzwerken und sind härtbar.

Galalith

Das *Kasein* (Phosphor-Eiweiß-Verbindung) der Magermilch kann mit *Formaldehyd* gehärtet werden. Dabei entsteht durch Kondensation *Kunsthorn* oder *Galalith*. Kunsthorn ist gegen organische Lösungsmittel beständig, wird aber von Säuren und Alkalien angegriffen. Vor dem Härten werden *Füll- und Farbstoffe* zugesetzt. Mit schönen Maserungen versehen, stellt man daraus Knöpfe und Schnallen her.

Preßstoffe

Die Festigkeit vieler Kunststoffe wird verbessert, indem man im *formbaren Zustand Füllstoffe* (*Holzmehl, Textilfaser*) zusetzt. Für die Herstellung von elektrotechnischen Artikeln verwendet man Kunststoffe mit anorganischen Füllmassen. Werden Kunststoffe, die Füllmittel enthalten, gepreßt, so spricht man von Preßstoffen.

Mit Füllmitteln gepreßte Kunstharze heißen Preßstoffe.

Hartpapier und Hartgewebe

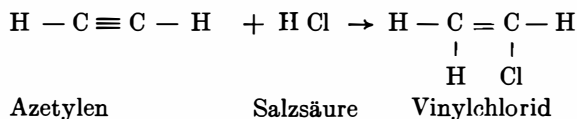
Wenn man Papier bzw. Gewebe mit einer *alkoholischen Phenolharzlösung* durchtränkt und dann bei erhöhter Temperatur preßt, so erhält man Hartpapier bzw. Hartgewebe. Aus Hartpapier werden Platten und Rohre hergestellt, die in der Elektrotechnik und in der Bautechnik vielseitige Verwendung finden. Hartgewebe sind geeignet u. a. zur Herstellung von Lagerschalen und geräuschloslaufenden Zahnrädern.

c) Polymerisationsstoffe (nicht härtbar)

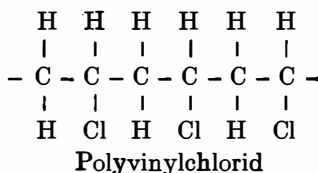
Igelit

Die Igelite zählen heute zu den wichtigsten Werkstoffarten.

Die Ausgangsrohstoffe zur Herstellung von Igelit sind Kalk und Kohle. Aus Kalk und Kohle wird *Kalzium-Karbid* gewonnen, aus dem durch Zugabe von Wasser *Azetylen* entsteht. Dieses Gas ist eine ungesättigte Kohlenwasserstoffverbindung, deren Molekül eine Dreifachbindung des Kohlenstoffs ($-C \equiv C-$) enthält. Diese Dreifachbindung geht bei der Anlagerung von Chlorwasserstoff in eine Zweifachbindung über. Dabei entsteht *Vinylchlorid*:



Durch die Einwirkung von Katalysatoren lagern sich bei höherer Temperatur viele Moleküle des Vinylchlorides zu einem Riesenmolekül zusammen (Polymerisation). Das entstandene Produkt heißt Polyvinylchlorid.



Polyvinylchlorid ist ein Kunststoff, der im Gegensatz zu den Kondensationsstoffen durch Wärme jederzeit plastisch verformt werden kann und nicht härtbar ist (Abb. 116).

Polyvinylchlorid ist unter verschiedenen Handelsnamen wie *Mipolam* und *Vinidur* bekannt. Aus Mipolam werden Rohre hergestellt, die an Stelle von Blei und Stahlrohren verwendet werden können. Rohre aus Mipolam sind leicht, dehnbar und frostsicher. Bei größerer Erwärmung erweichen sie. Infolge dieser Eigenschaft können solche Rohre leicht geschweißt werden. Sie sind verwendbar in einem Temperaturbereich von -20°C bis 80°C und werden von Säuren und Alkalien nicht angegriffen.

Aus Mipolam werden auch Isolationsplatten und Läufer hergestellt.

Durch Zusatz von *Weichmachern* zu Polyvinylchlorid entsteht eine weiche, gummiartige Masse: *Igelit*. Igelit ist als Austauschstoff für Leder weit verbreitet. Schuhe, Schläuche, Tischdecken, Schürzen usw. werden aus Igelit hergestellt.

Unter Polymerisation versteht man das Zusammenlagern gleicher Moleküle zu einem Kettenmolekül ohne Abspaltung irgendwelcher Bestandteile. Die durch Polymerisation entstandenen Harze können in der Wärme verformt werden und sind nicht härtbar.

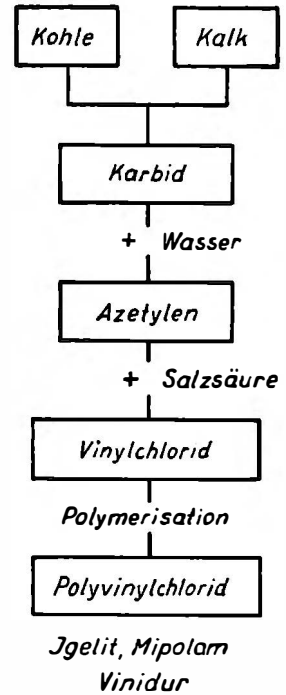


Abb. 116. Schema der Darstellung von Igelit, Mipolam und Vinidur.

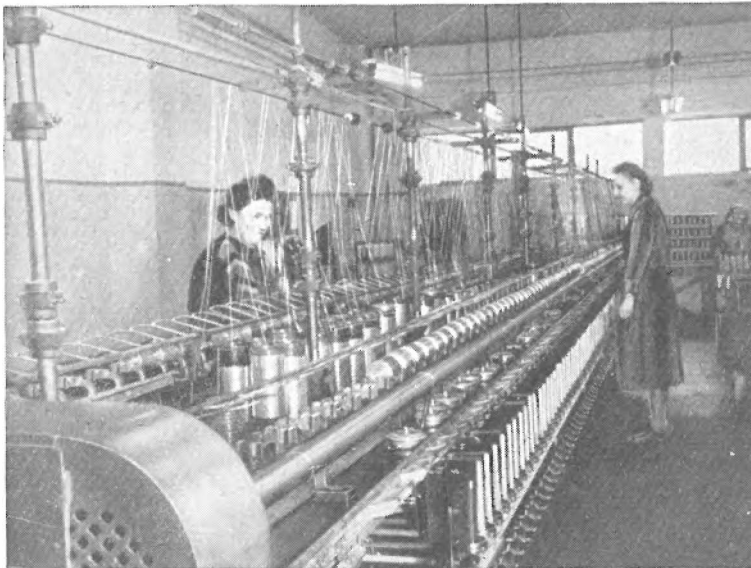


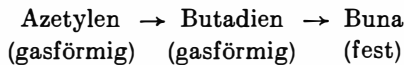
Abb. 117. Die VEB Aceta, Berlin, stellt Qualitätserzeugnisse aus Perlon her. Mit der Seidenabzugsmaschine werden Perlon-Fäden ausgezogen.

Perlon

Aus Phenol wird in einem verwickelten Verfahren über verschiedene Zwischenverbindungen ein *Polyamid*, Perlon genannt, hergestellt. Als *vollsynthetische Faser* besitzt Perlon bessere Eigenschaften als alle anderen Faserstoffe. Perlon ist lichtecht, sehr elastisch, nicht brennbar, und wird vor allem zur Fabrikation von Strümpfen verwendet (Abb. 117). Von vielen Lösungsmitteln (Benzin, Benzol) wird es nicht angegriffen.

Buna

Der Ausgangsstoff für die Herstellung von Buna ist das Azetylen, aus dem man über mehrere Stufen das *Butadien* gewinnt. Dieses polymerisiert durch die *katalytische Einwirkung des Natriums* zu einer elastischen Masse, die entsprechend den Anfangsbuchstaben von „Butadien“ und „Natrium“ als Buna bezeichnet wird. Beim Polymerisationsprozeß werden Tausende von Butadienmolekülen miteinander verbunden.



Dem derart synthetisch gewonnenen Kautschuk werden *Füllstoffe* (Ruß, Kreide, Gips u. a.) zugesetzt. Dann wird er *mit Schwefel vulkanisiert*, d. h. unter Druck bei einer Temperatur von 130 bis 140° C gehärtet. Durch einen mehr oder weniger großen Schwefelzusatz kann *Hartgummi* und *Weichgummi* hergestellt werden. Etwa 80% der Bunaproduktion wird für Bereifungen verwendet, während aus den übrigen 20% technische und hygienische Artikel erzeugt werden.

Durch geeignete Lenkung der Herstellung können verschiedene Bunasorten erzeugt werden:

Perbunan: Als öl-, fett- und benzinbeständiger Kautschuk unterliegt er einer besonders geringen Abnutzung und zeigt große Alterungsbeständigkeit.

Buna S: Neben einer geringen Abnutzung zeigt Buna S eine große Hitzebeständigkeit und Alterungsbeständigkeit.

Zahlenbuna: Er dient als Weichmacher anderer Bunasorten und zeigt bessere elektrische Eigenschaften.

Aus Azetylen wird Butadien gewonnen. Durch Polymerisation von Butadien erhält man Buna.

d) Naturkautschuk, Leder**Naturkautschuk**

Früher wurde Gummi ausschließlich aus dem klebrigen Milchsafte tropischer Wolfsmilchgewächse gewonnen. Der *Wildkautschuk* Brasiliens und später der *Plantagenkautschuk* Niederl.-Indiens, Ostindiens und Südchinas waren bis zur Bunasynthese die einzigen Gummiquellen.

Läßt man Säuren (Essig- oder Ameisensäure) auf die Kautschukmilch einwirken, so ballen sich die Teilchen zu einer krümeligen Masse zusammen, die zu Rohkautschuk-

fellen ausgewalzt werden. Dieser *Rohkautschuk* ist *in der Kälte zäh bis spröde* und wird *in der Wärme elastisch und klebrig*. Er löst sich in Benzin, Benzol, Äther und Schwefelkohlenstoff. Erst nach Zugabe geeigneter Füllstoffe und durch Vulkanisation entsteht aus dem Rohkautschuk praktisch verwertbarer Gummi.

Der Verwendung des Naturgummis sind in der Technik Grenzen gesetzt, da er folgende Mängel zeigt:

1. Öl- und Treibstoffempfindlichkeit. Seine Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung läßt nach.
2. Wenig wärmebeständig.
3. Neigung zum Altern, d. h. er wird nach geraumer Zeit hart und spröde. Das Altern wird durch Sauerstoff und Sonnenbestrahlung beschleunigt.

Der Naturkautschuk ist technisch nur begrenzt verwendbar, da seine Widerstandsfähigkeit geringer als die von Buna ist.

Leder

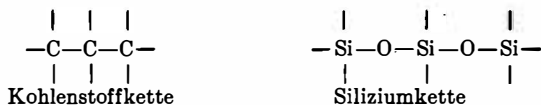
Werkstoffe, an die die höchsten Anforderungen gestellt werden, müssen oft zugleich die *größte Festigkeit und Biagsamkeit* besitzen. Neben einigen Kunststoffen weist Leder diese Eigenschaften auf. Leder ist *tierische Haut*, die sich aus *Eiweißverbindungen* zusammensetzt. Beim Austrocknen werden Häute hart und brüchig, während sie bei Feuchtigkeit in Fäulnis übergehen. Durch das *Gerben* werden die Häute haltbar und geschmeidiger gemacht.

Beim Gerben lagern sich zwischen die Fasern der Haut *Gerbstoffe* ein, die die Eiweißverbindungen fest und unverweslich machen und somit die Haut in Leder umwandeln. Gerbstoffe sind *pflanzliche Extrakte* aus Rinden, Wurzeln, Gallen, Früchten u. a. Einer der bekanntesten Gerbstoffe ist das *Tannin* der Galläpfel und des Tees. Ähnlich wirken *Formaldehyd, Chrom- und Aluminiumsalze*. Durch Chromgerbung wird das Leder wasserbeständig.

Leder besteht aus Eiweißverbindungen, die durch das Gerben unlöslich und haltbar gemacht werden.

e) Silikone

Ähnlich wie Kohlenstoffatome können sich auch Siliziumatome zu Ketten oder Ringen aneinanderreihen. Allerdings sind dabei je zwei Siliziumatome nicht unmittelbar miteinander verbunden, sondern jeweils durch ein Sauerstoffatom aneinander gekoppelt.



Auf diese Weise entstehen große Moleküle von Siliziumverbindungen, die als Silikone bezeichnet werden. Zu dieser neuen Stoffgruppe gehören u. a. hitzebeständige Schmier-, Isolier- und Dichtungstoffe. Man hat neuerdings kautschukartige Silikone entwickelt, die durch Temperaturwechsel zwischen -57°C und $+260^{\circ}\text{C}$ kaum beeinflusst werden. Es wurden Silikon-Kunstharze hergestellt, die hitzebeständige Anstrichfarben liefern und zum Wasserdichtmachen geeignet sind.

Von volkseigenen chemischen Werken wurden Silikonlacke entwickelt, die insbesondere zur hitzebeständigen Isolierung der Kupferdrähte von Elektromotoren verwendet werden. Solche silikonisolierten Motoren können bei einer Betriebstemperatur von etwa 120° C laufen. Dadurch wird eine Leistungssteigerung der Motoren um 60% ermöglicht. Da ein Silikon-Motor infolge seiner größeren Hitzebeständigkeit wesentlich kleiner gebaut werden kann als ein Normalmotor gleicher Leistung, sind erhebliche Einsparungen an Kupfer, Dynamoblech, Grauguß und Wellenstahl möglich. Im Rahmen unserer Wirtschaftspläne ist somit die Silikonisolierung von großer Bedeutung für den Elektromaschinenbau.

Silikone sind Stoffe, die in der Natur auf der Erde nicht vorkommen und ausschließlich durch vom Chemiker gesteuerte Reaktionen gewonnen werden. Da die rund 300000 Kohlenstoffverbindungen der Organischen Chemie durch Verkettung von Kohlenstoffatomen entstehen, ist zu vermuten, daß auch die neue „siliziumorganische Chemie“ eine ähnliche Menge völlig neuer Stoffe entwickeln wird.

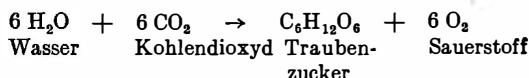
Für bahnbrechende Arbeiten auf dem Gebiete der Synthese von Silikonen wurde Dr. Richard Müller, Radebeul, 1951 mit dem Nationalpreis der Deutschen Demokratischen Republik ausgezeichnet.

Die Entwicklung der Silikone zeigt uns wie kaum ein anderes Beispiel aus der Chemie, daß der Mensch in immer weiter fortschreitendem Maße die Natur erkennt, beherrscht und meistert. Der Mensch ist nicht nur befähigt, die erdgebundene Natur zu erkennen, sondern es ist ihm darüber hinaus gelungen, eine Anzahl von chemischen Verbindungen synthetisch darzustellen, die möglicherweise auf anderen Himmelskörpern in einer „siliziumorganischen“ Natur zu finden sind.

Die Entwicklung der Silikone ist eine jener Großtaten der Chemie, die uns deutlich vor Augen führen, daß unter Benutzung geeigneter wissenschaftlicher Forschungsmethoden die Welt in allen ihren Einzelheiten erkennbar ist.

Aufgaben:

1. Stelle in der Umgebung des Arbeitsplatzes Gegenstände oder Teile fest, die aus Kunststoffen bestehen!
2. Welche Kunststoffe können als vollsynthetisch bezeichnet werden?
3. Wie unterscheiden sich Polykondensation und Polymerisation?
4. Bei der Assimilation nehmen grüne Pflanzen im Sonnenlicht Kohlendioxyd auf. Gleichzeitig scheiden sie Sauerstoff aus. Aus Kohlendioxyd und Wasser wird in den grünen Chlorophyllkörnern der Pflanze Traubenzucker gebildet:



Aus Traubenzucker entsteht schließlich Stärke. Das Stärkemolekül hat die Formel $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$. Dabei ist n eine sehr große Zahl, die noch nicht genau bekannt ist und vermutlich etwa 1000 beträgt. Ist die Bildung von Stärke aus Traubenzucker als Polykondensation oder als Polymerisation zu bezeichnen?

5. Wie heißen die 3 Härtungsstufen der Phenolharze?
6. Wodurch unterscheiden sich die Kunststoffe von den Preßstoffen?
7. Warum verwendet man bei Preßstoffen für die Elektrotechnik nur anorganische Füllstoffe?
8. Welchen Nachteil können Kunststofflager in bezug auf die entstandene Reibungswärme haben?
9. Welche Beobachtungen machen wir beim Igelit während der verschiedenen Jahreszeiten?
10. Welche technischen Eigenschaften lassen sich bei der Herstellung von Buna erzielen?

20. Atomphysik

Tafel des Periodensystems der Elemente

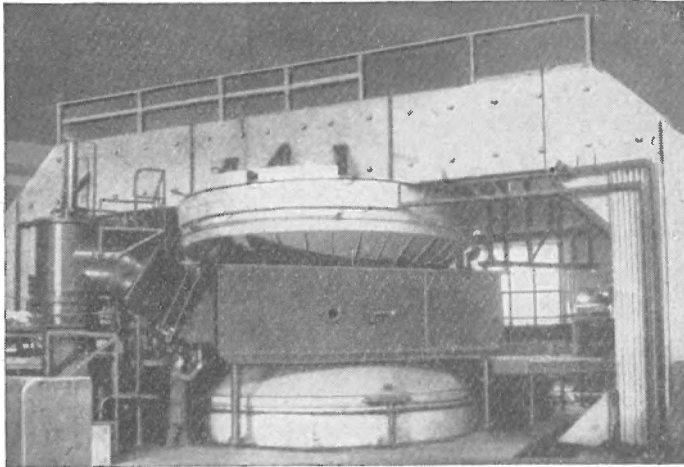


Abb. 118. Ansicht des Synchro-Zyklotrons für 400 Millionen Volt

Im Zyklotron wird elektrisch geladenen Teilchen eine so hohe Geschwindigkeit erteilt, daß diese Teilchen auf Grund der ihnen innewohnenden Energie als Wurfgeschoss für die Spaltung von Atomkernen verwendet werden können (Abb. 118).

a) Geschichtlicher Überblick

Das *Zyklotron* ist ein Hilfsmittel zur Atomzertrümmerung bzw. Atomumwandlung. Mit Hilfe dieses Meisterwerkes menschlicher Erfindungskraft können die chemischen Grundstoffe (Elemente) ineinander umgewandelt werden. Damit ist der Wunschtraum mittelalterlicher Alchimisten erfüllt, die z. B. aus unedlem Material Gold herstellen wollten. Die Gewinnung von Gold durch Atomzertrümmerung ist allerdings nicht lohnend, da die Herstellungskosten eines solchen Verfahrens weit über dem üblichen Wert des Goldes liegen würden. Das Verfahren zur Zertrümmerung von Atomen konnte entwickelt werden auf Grund unserer neuesten Erkenntnisse über den Atomaufbau.

Die Vorstellung von der Existenz atomarer Gebilde ist sehr alt. Schon vor etwa 2400 Jahren stellte der griechische materialistische Philosoph *Demokrit* Überlegungen an, ob mit einem unendlich feinen Messer z. B. ein Stück Schwefel in immer kleinere Stücke zerlegt werden kann und ob eine solche Zerteilung wohl einmal eine Grenze erreicht. Er bejahte diese Frage und nannte diese letzten, unteilbaren Bausteine der Materie *Atome*. Diese Vermutung von Demokrit wurde von der modernen Physik als im Prinzip richtig erwiesen. Aus Atomen bauen sich die *Elemente* auf, von denen heute etwa 100 bekannt sind. Jedem Element entspricht eine bestimmte Art von Atomen. Da es rund 100 Elemente gibt, gibt es also auch rund 100 verschiedene

Arten von Atomen. Aus diesen Atomen sind sämtliche anorganischen und organischen Stoffe aufgebaut.

b) Atomaufbau

Wir wissen heute, daß die Atome wiederum aus Urbausteinen, den sog. *Elementarteilchen* zusammengesetzt sind. Und zwar sind die Atome sämtlicher Elemente aus den gleichen Elementarteilchen aufgebaut. Lediglich die Zahl der Elementarteilchen innerhalb des Atoms ist von Element zu Element verschieden.

Atommodell von Rutherford

Die Atome, die normalerweise elektrisch neutral sind, können in elektrisch geladene Gebilde verwandelt (ionisiert) werden. Dieser Vorgang beruht auf der Abspaltung oder Aufnahme von Elektronen (das sind kleinste negativ elektrische Elementarladungen). Wir erkennen also im Elektron ein Elementarteilchen, d. h. einen Bestandteil der Atome. Der elektrisch neutrale Zustand eines Atoms beruht darauf, daß das Atom noch ebenso viel Ladungen mit entgegengesetztem (positivem) Vorzeichen besitzt, wie es Elektronen enthält. Diese positiven Ladungen finden wir im *Atomkern*, der sog. *Protonen* (positiv geladene Wasserstoffkerne) enthält. Die Protonen sind somit eine zweite Art von Elementarteilchen. Der Engländer Ernst *Rutherford* (geb. 1871) hat auf Grund dieser Erkenntnisse ein Modell geschaffen, nach dem die Atome aus einem positiv geladenen Kern, der praktisch die gesamte Atommasse enthält, bestehen. Sein Durchmesser beträgt größenordnungsmäßig 10^{-12} cm (d. h. ein Billionstel cm). Um diesen Kern kreisen in einem Abstand von der Größenordnung 10^{-8} cm (d. h. ein Hundertmillionstel cm) die Elektronen in ähnlicher Weise, wie die Planeten sich um die Sonne bewegen. Dabei ist die Zahl der Elektronen, die den Kern umkreisen, stets ebenso groß wie die Zahl der Protonen, die im Kern enthalten sind.

Elektronen sind kleinste, negativ geladene elektrische Teilchen, deren Ladungsmenge als elektrisches Elementarquantum bezeichnet wird. Die Masse des Elektrons beträgt etwa $\frac{1}{1836}$ der Masse des Protons.

Protonen sind positiv geladene Wasserstoffkerne, die im Kern eines jeden Atoms enthalten sind.

Der Kern eines Atoms enthält fast die gesamte Masse des Atoms und wird von Elektronen umkreist.

Das Rutherfordsche Atommodell führt allerdings zu einem Widerspruch zur klassischen Elektrodynamik. Nach dieser muß jedes einen Kern umkreisende Elektron Energie (in diesem Falle Licht) ausstrahlen. Dadurch muß es selbst Energie (Bewegungsenergie) verlieren, seine Geschwindigkeit verringern und schließlich in den Kern stürzen. Da aber ein solcher Effekt nicht eintritt, mußte der Rutherfordsche Gedanke einer Korrektur unterworfen werden.

Atommodell von Bohr

Die von dem deutschen Physiker Max *Planck* seit 1900 entwickelte Quantentheorie diente dem Dänen Niels *Bohr* (1913) zur Aufstellung eines neuen Atommodells. Im

Gegensatz zu Rutherford, der in seinem Modell den Elektronen völlige Freiheit in der Wahl ihrer Bahnen ließ, schrieb ihnen Bohr ganz bestimmte Bahnen zu. Diesen Bahnen entsprechen wiederum ganz bestimmte Energiestufen. Durchläuft ein Elektron eine solche „erlaubte“ Bahn, so strahlt es keine Energie aus. Wird es dagegen durch Energiezufuhr von außen (Temperaturerhöhung, Bestrahlung) auf eine Bahn höherer Energie gehoben — man sagt: „es wird angeregt“ —, so gibt es beim Zurückspringen auf seine alte Bahn diesen aufgenommenen Energiebetrag (Energiequant) als Licht (Lichtquant) wieder ab.

Beim Bohrschen Atommodell sind den Elektronen ganz bestimmte Bahnen zugeschrieben. Auf diesen geben sie nach außen keine Energie ab und umlaufen den Atomkern nach den gleichen Gesetzen wie die Planeten die Sonne.

Atommodell von Schrödinger

Eine Vervollkommnung des überaus anschaulichen Bohrschen Modells wurde durch die von *de Broglie* entdeckte Wellennatur des Elektrons erzielt. *Schrödinger* begründete im Jahre 1925 die wellenmechanische Theorie der Elektronenbewegung im Atom, nach der nicht mehr von diskreten Elektronen auf bestimmten Bahnen, sog. Planetenelektronen, die Rede ist.

Wenn auch dieses Modell stark an Anschaulichkeit gegenüber dem Bohrschen eingeübt hat, so stellt es doch eine wesentlich bessere Annäherung an die Wirklichkeit dar.

Neutronen

Die elektrisch neutralen Atome kann man sich durch die Vereinigung gleich vieler Protonen und Elektronen entstanden denken. Da die Ladungsgrößen der beiden Teilchen gleich, ihre Vorzeichen jedoch entgegengesetzt sind, müßte das Atom nach außen auf jeden Fall elektrisch ungeladen erscheinen. Diese Auffassung trifft beim Atom des Wasserstoffes zu. Bei diesem haben sich ein Proton und ein Elektron vereinigt.

Schon beim Helium treten jedoch mit dieser Auffassung Schwierigkeiten auf. Da das Atomgewicht von Helium 4 beträgt, so muß man zunächst schließen, daß der Atomkern des Helium 4 Protonen enthält. Diese erfordern zu ihrem Ausgleich vier Elektronen. Man weiß jedoch — z. B. auf Grund chemischer Forschungsergebnisse —, daß hierzu nur 2 Elektronen zur Verfügung stehen. Um die elektrische Neutralisation zu erreichen, hat man zunächst im Innern des Atomkernes 2 zusätzliche Elektronen angenommen, die die Ladung der beiden restlichen Protonen ausgleichen sollten.

Chadwick, einem Schüler Rutherfords, gelang es im Jahre 1932, ein neues Elementarteilchen nachzuweisen, das in sehr einfacher Weise den Aufbau der Atome zu erklären ermöglicht. Dieses neue Teilchen besitzt eine Masse, die der Masse des Protons fast gleich ist, hat aber selbst keine Ladung und ist somit elektrisch neutral. Aus diesem Grunde bekam es den Namen *Neutron*. Der Kern des Heliums enthält 2 Protonen und 2 Neutronen, und wird von 2 Elektronen umkreist. Alle Atomkerne sind aus Protonen und Neutronen aufgebaut und werden von soviel Elektronen umkreist, wie der Kern Protonen enthält.

Die Atome sind aus Protonen, Neutronen und Elektronen aufgebaut.

Atomdimensionen

Um eine anschauliche Vorstellung von den Abmessungen eines Wasserstoffatoms, seines Kernes und seines Elektrons zu gewinnen, denken wir uns seinen Kern, also das Proton, durch eine Kugel von 10 cm Durchmesser dargestellt. Das Elektron, das den Kern umkreist, müßte dann als ein Kügelchen von etwa 7 mm Durchmesser dargestellt werden. Da die etwa kreisförmige Bahn des Elektrons einen Durchmesser von rund 2 km entsprechen würde, so wäre das gesamte Atom durch eine Kugel von 2 km Durchmesser darzustellen.

c) Das Periodensystem der Elemente

Im Jahre 1869 veröffentlichte der russische Wissenschaftler *Mendelejew* eine Arbeit „Die Beziehungen zwischen den Eigenschaften der Elemente und ihren Atomgewichten“. Die Entwicklung, die die Chemie im 19. Jahrhundert genommen hatte, mußte unbedingt dazu führen, die Eigenschaften der Elemente in einen Zusammenhang mit ihren Atomgewichten zu bringen. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß neben mathematisch formulierten Gesetzmäßigkeiten verschiedene Systematisierungen der Elemente, wie z. B. durch *Lothar Meyer* entstanden. Die Tabelle von Meyer kam der von Mendelejew im wesentlichen gleich, jedoch versuchte Meyer durch einen formalen Ansatz ein Gesetz zu finden, während Mendelejew durch die Erkenntnis eines neuen Naturzusammenhanges zu seiner Tabelle kam.

Im Periodensystem sind die Elemente im wesentlichen nach steigendem Atomgewicht geordnet. Dabei ergibt sich, daß in einer solchen Aufeinanderfolge Elemente mit ähnlichen chemischen Eigenschaften in periodischen Abständen wiederkehren. Bricht man die Zeile der Aufeinanderfolge an geeigneter Stelle ab, so kommen chemisch verwandte Elemente senkrecht untereinander zu stehen. So sehen wir in nachstehender Tafel (s. S. 218) z. B. in einer Spalte die Halogene, in einer anderen die Alkalimetalle, in einer dritten die Edelgase usw. Diejenige Stelle, die ein Element im Periodensystem einnimmt, wird als die *Ordnungszahl* des betr. Elementes bezeichnet. Wasserstoff z. B. hat die Ordnungszahl 1, Helium die Ordnungszahl 2, Chlor 17 usw.

Die periodische Wiederkehr ähnlicher Eigenschaften der Elemente im Periodensystem ist in der Gesetzmäßigkeit des Aufbaues sämtlicher Atome begründet. Es zeigt sich, daß die *Kernladungszahl*, d. h. die Zahl der Protonen im Atomkern, der Ordnungszahl entspricht. Die Elektronen, die den Kern umkreisen, sind auf verschiedenen Schalen um den Kern verteilt, von denen jede maximal nur eine bestimmte Anzahl von Elektronen enthalten kann. Die erste Schale ist bereits mit 2 Elektronen, die zweite mit 8 Elektronen abgesättigt. Atome mit solchen gesättigten Schalen zeigen keinerlei chemische Affinität, d. h. sie gehen mit anderen Elementen keine Verbindungen ein. In der Tabelle finden wir sie als die sog. Edelgase senkrecht untereinanderstehend in der Gruppe 0 (Null).

Die in der senkrechten Spalte des Periodensystems untereinander stehenden Elemente besitzen ähnliche chemische Eigenschaften. Eine solche Gesamtheit von Elementen wird als eine Gruppe des Periodensystems bezeichnet.

Periodensystem der Elemente

Periode	I. Gruppe	II. Gruppe	III. Gruppe	IV. Gruppe	V. Gruppe	VI. Gruppe	VII. Gruppe	VIII. Gruppe	0. Gruppe
I	1 H 1,008								2 He 4,00
II	3 Li 6,94	4 Be 9,01	5 B 10,82	6 C 12,010	7 N 14,008	8 O 16,000	9 F 19,00		10 Ne 20,18
III	11 Na 21,997	12 Mg 24,32	13 Al 26,97	14 Si 28,06	15 P 30,98	16 S 32,066	17 Cl 35,457		18 Ar 39,94
IV	19 K 39,096	20 Ca 40,08	21 Sc 45,10	22 Ti 47,90	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,93	26 Fe 27 Co 28 Ni 55,85 58,94 58,69	
	29 Cu 63,54	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,60	33 As 74,91	34 Se 78,96	35 Br 79,916		36 Kr 83,7
V	37 Rb 85,48	38 Sr 87,63	39 Y 88,92	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,95	43 Te (99)	44 Ru 45 Rh 46 Pd 101,7 102,9 106,7	
	47 Ag 107,88	48 Cd 112,41	49 In 114,76	50 Sn 118,7	51 Sb 121,76	52 Te 127,61	53 J 126,92		54 X 131,3
VI	55 Cs 132,91	56 Ba 137,36	57 bis 71 Lanthaniden	72 Hf 178,6	73 Ta 180,88	74 W 183,92	75 Re 186,31	76 Os 77 Ir 78 Pt 190,2 193,1 195,2	
	79 Au 197,2	80 Hg 200,61	81 Tl 204,4	82 Pb 207,21	83 Bi 209,0	84 Po (210)	85 At (211)		86 Rn 222
VII	87 Fr (223)	88 Ra 226,05	89 Ac (227)	90 Th 232,1	91 Pa (231)	92 U 238,07			

Die fettgedruckten Zahlen sind die Ordnungszahlen der Elemente. Die kleingedruckten Zahlen sind die Atomgewichte. Die Elemente oberhalb der Ordnungszahl 92, die in der Natur nicht vorkommen, sind in der obigen Übersicht nicht eingetragen.

Nach dem *Bohrschen Aufbauprinzip* erfolgt ein schrittweiser Aufbau der einzelnen Atomarten aus Atomkernen und Elektronen, und zwar so, daß nach jedem erreichten Edelgaszustand das nächste hinzukommende Elektron sich in einem erheblich größeren Abstand vom Atomkern befindet als die vorhergehenden. Die Auffüllung dieser neuen Schale erfolgt so lange, bis sie ebenfalls gesättigt, d. h. der nächste Edelgaszustand erreicht ist. Durch die Elektronenanlagerung bildet sich von innen heraus eine Schale nach der anderen.

d) Ionisierung

Wie wir wissen, verhält sich ein Atom, das also stets aus Protonen, Neutronen und Elektronen zusammengesetzt ist, nach außen hin stets wie ein elektrisch ungeladenes, neutrales Gebilde. Durch gewisse Einwirkungen kann jedoch aus der äußeren Schale des Atoms ein Elektron entweichen. Da dann die Ladung eines Protons nicht mehr kompensiert wird, verbleibt ein positiv geladener Atomrest, den man *Ion* nennt. Aus dem Atom können auch mehrere Elektronen entweichen, und zwar maximal soviel Elektronen, wie die Wertigkeitszahl des betreffenden Elementes angibt. Treten z. B. 2 Elektronen aus dem Atomverband aus, so entsteht ein doppelt positiv geladenes Ion. Umgekehrt können an den Atomverband auch Elektronen angelagert werden. Dadurch entstehen negativ geladene Ionen. Gase und Flüssigkeit werden durch die Anwesenheit von Ionen zu elektrischen Leitern.

Gase können ionisiert werden durch Bestrahlung mit ultravioletttem Licht oder Röntgenstrahlen. Säuren, Basen und Salze ionisieren spontan in wäßrigen Lösungen. Eine Ionisation kann ferner eintreten durch heftige Zusammenstöße der Moleküle bei hohen Temperaturen. Schließlich können Atome auch durch Zusammenstöße mit Elektronen in Ionen verwandelt werden.

e) Atomzerfall

Es würde uns zweifellos sehr merkwürdig anmuten, wenn aus einem Stück Eisen, Kupfer oder Aluminium im Laufe der Zeit ein anderes Element entstünde. Ein solches Ereignis ist auch nicht zu erwarten, weil es sich bei diesen Metallen um sog. stabile Elemente handelt, an denen keine Veränderungen vor sich gehen.

Im Jahre 1896 machte der französische Physiker *Becquerel* eine seltsame Entdeckung. Ein uranhaltiges Mineral, das er auf eine in einer Kassette verschlossene Fotoplatte gelegt hatte, rief auf dieser Schwärzungen hervor. Da die Silberbromidschicht nur von Licht oder Röntgenstrahlen angegriffen wird, mußte vermutet werden, daß dieses Mineral eine ähnliche Strahlung aussendet.

Ausgehend von dieser Entdeckung wurde in jahrzehntelanger internationaler Forschungsarbeit gefunden, daß es nicht nur in der Natur Elemente gibt, deren Atome zu Atomen anderer Elemente zerfallen, sondern daß durch geeignete Maßnahmen auch künstlich ein Atomzerfall erreicht werden kann und somit Elemente in andere Elemente verwandelt werden können. Dabei werden in vielen Fällen ungeheure Mengen von Energie frei.

f) Radioaktivität

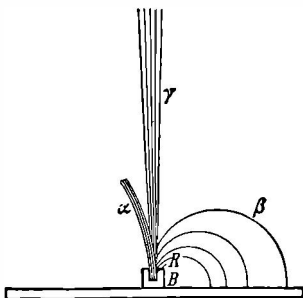
Angeregt durch die von Becquerel gemachte Entdeckung ist es *Marie und Pierre Curie* in einem langwierigen, große Geduld und Kosten verursachenden Verfahren gelungen, aus der Pechblende ein bisher unbekanntes Element, das *Radium* (das Strahlende) abzuscheiden. Dieses erwies sich als die eigentliche Ursache der Becquerel-Strahlen. Im Laufe der Zeit sind noch weitere, die gleiche Strahlung aussendende Substanzen gefunden worden. Diese eigenartige Erscheinung nennt man *Radioaktivität*. Die Gesamtheit der Substanzen, die Radioaktivität zeigen, werden als radioaktive Familien oder Reihen bezeichnet. Wir unterscheiden vor allem die *Uranreihe*, die *Thoriumreihe* und die *Aktiniumreihe*. Bei diesen Familien geht spontan, ohne daß wir den Vorgang irgendwie beeinflussen könnten, ein schrittweiser Zerfall vor sich. Das Uran ist nur wenig radioaktiv, d. h. es zerfällt nur sehr langsam. Eines seiner Zerfallsprodukte ist das Radium, das seinerseits in ein Edelgas, die *Radiumemanation*, zerfällt. Auch diese zerfällt weiter, und an letzter Stelle der Entwicklung steht ein stabiles Element, das keine Radioaktivität mehr zeigt und mit dem Blei identisch ist. Es wird *Radiumblei* genannt. Das vorletzte Glied dieser Zerfallsreihe heißt Polonium.

In völlig gleicher Weise erfolgt der Zerfall in der Thorium- und Aktiniumreihe. In beiden Reihen ist über das Zwischenprodukt einer *Emanation* (Edelgas) das letzte Glied der Entwicklungskette eine mit dem Blei chemisch identische Substanz. Diese drei Bleisorten werden als Isotope bezeichnet. Sie besitzen die gleichen chemischen Eigenschaften, nehmen also den gleichen (griech. isos gleich) Ort (griech. topos Ort) im Periodensystem ein. Als einziges Merkmal treten geringe Unterschiede im Atomgewicht auf, die durch verschiedene Neutronenzahl bedingt sind.

Beispielsweise hat Uran Isotope, die zwar sämtlich die Ordnungsnummer 92 haben, aber sich durch ihre Atomgewichte (z. B. 234, 235, 238) unterscheiden. Für die Gewinnung von Atomenergie ist das Uran-Isotop 235 von besonderer Bedeutung.

Die Strahlungen radioaktiver Substanzen

Untersuchungen in elektrischen bzw. magnetischen Feldern haben ergeben, daß die radioaktiven Substanzen drei verschiedene Strahlungen aussenden. Bringen wir ein Radiumpräparat in ein Magnetfeld (Abb. 119), dessen Kraftlinien senkrecht auf der



Zeichenebene stehen und in der Blickrichtung verlaufen, so tritt eine Aufspaltung in die sog. α -, β - und γ -Strahlen ein. Die α -Strahlen werden wie ein Strom elektrisch positiver, die β -Strahlen wie ein Strom negativer Teilchen abgelenkt. Die weiteren Untersuchungen ergaben, daß die α -Strahlen bereits von einem dünnen Blatt Papier, das man in ihre Bahn bringt, völlig verschluckt, die β -Strahlen durch dieses jedoch weit

Abb. 119. α -, β - und γ -Strahlen im magnetischen Felde.

geringer absorbiert werden. Völlig ungehindert gehen dagegen die nicht aus ihrer Bahn abgelenkten γ -Strahlen hindurch.

α -Strahlen

Aus der Kombination der Ablenkungen in elektrischen und magnetischen Feldern ergab sich, daß die α -Teilchen Heliumkerne, d. h. Heliumatome ohne äußere Elektronen sind. Sie bestehen demnach aus zwei Protonen und zwei Neutronen, besitzen also zwei positive Ladungen. Auf diese Weise erklärt sich ihre oben erwähnte positive Ladung und leichte Absorbierbarkeit. Die Geschwindigkeit, mit der sie aus den radioaktiven Substanzen ausgeschleudert werden, ist beachtlich; sie beträgt beispielsweise etwa $2 \cdot 10^9$ cm/sec, d. h. $\frac{1}{15}$ der Lichtgeschwindigkeit. Indirekt sichtbar werden α -Strahlen, indem sie eine phosphoreszierenden Zinksulfidschirm zum Aufleuchten bringen. Will man dagegen ihre Bahn beobachten, verwendet man eine sog. *Wilson-Kammer*. In dieser befindet sich übersättigter Wasserdampf. Ein durch die Kammer gehender Hagel von α -Teilchen erzeugt zunächst Ionen, an denen sich der Wasserdampf wie an Kondensationskernen (Kondensstreifen hinter Flugzeugen) niederschlägt und damit die Spur der α -Strahlen sichtbar werden läßt (Abb. 120).

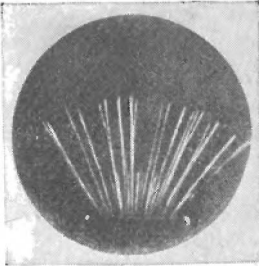


Abb. 120. Die Bewegung von α -Teilchen wird in der Nebelkammer durch dicke, kurze Nebelstreifen sichtbar gemacht, die durch Wasserdampfkondensation längs des Weges der α -Teilchen entstehen.

β -Strahlen

Die β -Strahlen erwiesen sich als gleichartig mit den von Gasentladungsvorgängen her bekannten Kathodenstrahlen. Es handelt sich also bei ihnen um Elektronenstrahlen, d. h. um einen Strom negativer Elementarquanten. Die Geschwindigkeit der Elektronen erreicht fast die Lichtgeschwindigkeit. Ihre Bahnen lassen sich ebenfalls in der Wilsonschen Nebelkammer sichtbar machen. Sie unterscheiden sich von denen der α -Strahlen durch ihre vielen Krümmungen, die von den ablenkenden Kräften der umgebenden Atome herrühren (Abb. 121).



Abb. 121. Die Nebelspuren von β -Teilchen sind dünner als die Nebelspuren von α -Teilchen. β -Teilchen haben eine größere Reichweite als α -Teilchen.

γ -Strahlen

Die γ -Strahlen unterscheiden sich grundsätzlich von den α - und β -Strahlen. Die γ -Strahlen werden, ebenso wie das Licht, weder durch elektrische noch durch magnetische Felder abgelenkt (Abb. 119). Durch entsprechende Experimente konnten γ -Strahlen — ebenso wie das Licht — als elektromagnetische Schwingungen identifiziert werden. Die γ -Strahlung ist eine außerordentlich kurzwellige Strah-

lung, deren Wellenlänge kleiner ist als die des Lichtes, der Ultraviolettstrahlung und der Röntgenstrahlen. Ihre Wellenlänge liegt meist zwischen $2 \cdot 10^{-11}$ cm und $3 \cdot 10^{-9}$ cm, während die Wellenlängen der Röntgenstrahlen zwischen $1,6 \cdot 10^{-9}$ und $6,6 \cdot 10^{-6}$ cm liegen. Aus dieser Kurzwelligkeit erklärt sich die starke Durchdringungsfähigkeit der γ -Strahlen. Praktisch-technische Anwendung finden γ - und Röntgenstrahlen in der Medizin und bei der sog. zerstörungsfreien Werkstoffprüfung. In noch stärkerem Maße als Röntgenstrahlen verursachen γ -Strahlen im lebenden Organismus gefährliche Zerstörungen.

g) Atomzertrümmerung

Kernumwandlungen durch Beschuß von Atomen wurden erstmalig von Rutherford im Jahre 1919 erzielt. Dabei wird der Kern eines Elementes mit α -Teilchen beschossen und dadurch in den Kern eines anderen Elementes verwandelt. Trifft ein α -Teilchen einen Atomkern, so bleibt es in diesem stecken, während der getroffene Kern ein Proton mit großer Geschwindigkeit ausstößt.

Die Ausbeute bei dieser Umwandlung von Stickstoff in Sauerstoff ist allerdings äußerst gering. Auf etwa 50000 α -Teilchen kommt nur eine einzige solche Atomzertrümmerung. Bei einem so geringen Wirkungsgrad kann man natürlich niemals an eine technische Verwertung der Atomumwandlung denken. Zur Erhöhung des Nutzeffektes müßte die Zahl der zur Verfügung stehenden Geschosse wesentlich erhöht werden. Mit den α -Teilchen radioaktiver Substanzen ist diese Erhöhung des Nutzeffektes nicht zu erzielen, denn wir können den radioaktiven Zerfall, der uns die α -Geschosse liefert, in keiner Weise beschleunigen. Aus diesem Grunde ist man zu einer Atomzertrümmerung übergegangen, bei der man die erforderlichen Geschosßgarben auf künstlichem Wege herstellt.

Durch Beschuß mit α -Strahlen werden Kernumwandlungen erzielt, die man als Atomzertrümmerungen bezeichnet. Das getroffene Atom verwandelt sich in das Atom eines anderen Elementes. Bei der Atomzertrümmerung werden in vielen Fällen große Energiemengen in Form von Wärme frei.

Das Zyklotron

Der Amerikaner *Lawrence* kam bei der Suche nach künstlichen Geschossen auf den Gedanken, im sog. Zyklotron (einer Art „Atomrundlauf“) Protonen, Deuteronen (das sind die Kerne des sog. schweren Wasserstoffs) und andere elektrisch geladene Teilchen durch ein Magnetfeld rhythmisch anzuregen. Dadurch werden die Teilchen gezwungen, auf immer größer werdenden Kreisbahnen mit immer größerer Geschwindigkeit umzulaufen, bis sie schließlich infolge ihrer außerordentlich hohen Bewegungsenergie Atomzertrümmerungen von ungeahnter Ausbeute vollziehen können.

Im Zyklotron wird Protonen die für die Atomzertrümmerung erforderliche hohe kinetische Energie erteilt.

Alle positiv geladenen Geschosse (α -Teilchen, Protonen, Deuteronen) haben einen Nachteil. Da zwei positive Ladungen sich gegenseitig abstoßen, werden solche den Atomkern anfliegenden Geschosßteilchen vom positiv geladenen Kern des Atoms ab-

gestoßen. Aus diesem Grund ist die Treffwahrscheinlichkeit um so geringer, je stärker der Atomkern geladen ist, d. h. je höher das Atomgewicht des betreffenden Elementes ist.

Solchen Überlegungen folgend, hat das Ehepaar *Joliot-Curie* an Stelle der α -Strahlen ungeladene Teilchen, und zwar Neutronen, mit großem Erfolge benutzt. Neutronen kommen in der Natur nicht vor, und müssen deshalb erst erzeugt werden. Das Uran-Isotop 235 liefert nun in eigenartiger Weise eine ergiebige Neutronenquelle. Beschießt man nämlich Uran mit Neutronen, die man z. B. aus dem Beschuß von Beryllium mit α -Strahlen erhalten kann, so zerbricht der Urankern — wie die deutschen Physiker *Hahn* und *Strassmann* im Jahre 1939 entdeckten — in zwei etwa gleichgroße Teile. Wenn allein schon dieser Umstand erstaunlich ist (normalerweise entstehen immer nur sehr geringfügige Kernumwandlungen, die zu Elementen führen, die dem bombardierten Element im periodischen System benachbart sind), so ist hierbei von noch weittragenderer Bedeutung, daß die beiden Bruchstücke Neutronen aussenden. Diese ihrerseits spalten wiederum Urankerne, wodurch abermals Neutronen entstehen usw. Infolgedessen wächst — wenn eine genügende Menge Uran vorhanden ist — die Zahl der Kernumwandlungen lawinenartig an zu einer sog. *Kettenreaktion*. Bei einer solchen Kettenreaktion werden im Augenblick ungeheure Energiemengen frei. Zum Einleiten einer Kettenreaktion genügt im Prinzip ein einziges Neutron.

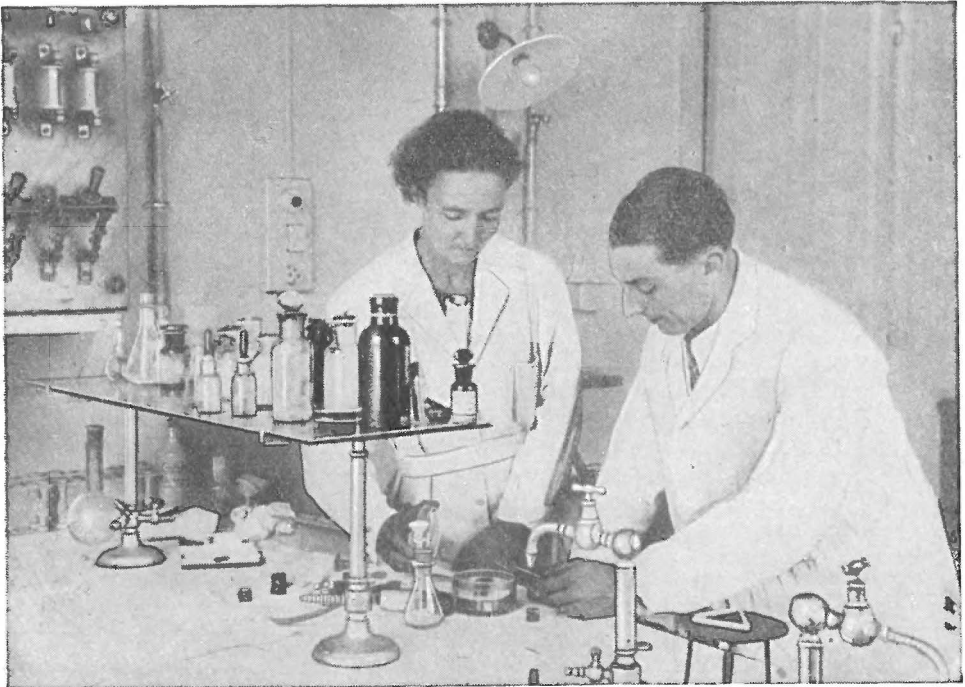


Abb. 122. Prof. Frédéric Joliot-Curie, der Vorsitzende des Weltfriedensrates, steht gemeinsam mit seiner Frau Irene im Dienst des Weltfriedenslagers. Er tritt für die Ausnutzung der Atomenergie für friedliche Zwecke ein.

Durch den Beschuß mit Neutronen ist es Joliot-Curie und Lawrence gelungen, sehr viele Elemente (Stickstoff, Aluminium usw.) in künstliche radioaktive Atomarten umzuwandeln, bei deren Zerfall entweder Neutronen oder Protonen ausgesandt werden.

h) Technische Verwertung der Atomenergie für friedliche Zwecke

Die im Uran 235 vor sich gehende Kettenreaktion ist wegen der schlagartig frei werdenden riesenhaften Energiemenge zunächst nicht ohne weiteres geeignet, eine für technische Zwecke verwertbare Energiequelle zu liefern. In den Händen imperialistischer Mächte wird die Atomenergie in Form der Atombombe zu einem Schrecken der Menschen. Die Sowjetunion dagegen gibt uns ein Beispiel, wie die Atomkräfte dem friedlichen Aufbau nutzbar gemacht werden. Im wahrsten Sinne des Wortes wird in der Sowjetunion die Atomenergie verwendet, um Berge zu versetzen. Zur Verlegung von Flußläufen werden dort ganze Bergmassive unter Benutzung von Atomenergie gesprengt (Ob-Irtytsch-Jenissei-Projekt).

Gemeinsam mit der Sowjetunion und allen anderen friedliebenden Völkern und Menschen der Erde kämpft der maßgebliche Pionier auf dem Gebiete der Atomzertrümmerung, der Präsident des Weltfriedensrates, Prof. Joliot-Curie, für den Gedanken des Völkerfriedens und für das Verbot der Atomwaffen.

Um in der Zukunft eine allgemeine Ausnutzung der Atomenergie für technische Zwecke zu ermöglichen, muß ein Atomzertrümmerungsverfahren entwickelt werden, bei dem die Energie nicht in einem einzigen Augenblick in ungeheurer Menge frei wird, sondern nur langsam in technisch sofort verwertbaren Mengen abgegeben wird. Die Grundgedanken zur Steuerung einer solchen langsam verlaufenden Kettenreaktion liegen bereits vor und führten zur Entwicklung des sog. *Uranbrenners*.

Es steht zu hoffen, daß dieses Verfahren in absehbarer Zeit zur technischen Reife geführt werden kann. Dann werden wir in Atomkraftwerken Energie in einem Ausmaß gewinnen, das uns heute noch kaum vorstellbar ist.

Aufgaben:

1. Nenne und kennzeichne die Elementarteilchen, aus denen alle Atome bestehen!
2. Zeichne das Bohrsche Atommodell des Wasserstoffatoms!
3. Was versteht man unter einer Kettenreaktion und welche Kettenreaktion ist von größter Bedeutung für die Gewinnung von Atomenergie?
4. Welcher Unterschied besteht zwischen der Ausnutzung der Atomenergie in imperialistischen Staaten und in der Sowjetunion?
5. Erkläre, auf welchen gesellschaftlichen Erkenntnissen die Stellungnahme von Prof. Joliot-Curie zum Weltfriedenslager beruht!

- Abraum**, Erd- und Gesteinsmassen ohne Nutzgehalt im Bergbau.
- absolut**, unabhängig, feststehend, Gegensatz → relativ.
- Absorption**, die, Verschluckung, Aufnahme eines Gases durch eine Flüssigkeit oder einen festen Körper ohne chemische Umsetzung.
- Adsorption**, die, Bindung von Gasen und anderen Stoffen an der Oberfläche von Körpern.
- Affinität**, die, Bestreben eines Stoffes, sich mit einem bestimmten anderen Stoff chemisch zu verbinden; Triebkraft einer chemischen Umsetzung.
- Aggregat**, das, ein aus mehreren Teilen bestehender Maschinensatz, z. B. Turbogenerator.
- aggressiv**, angreifend, Bezeichnung für Chemikalien, die auf normale Gefäß- und Leitungsmaterialien besonders stark korrodierend einwirken (z. B. Flußsäure, Chlor).
- Allotropie**, die, Eigenschaft mancher Grundstoffe (z. B. Phosphor), in verschiedenen Erscheinungsformen aufzutreten.
- Amalgam**, das, Quecksilberlegierung.
- Analyse**, die, Zerlegung eines Stoffes zur Ermittlung seiner Zusammensetzung.
- Anode**, die, Pluspol in einer Flüssigkeit, in einem Gas oder einem luftleeren Raum.
- Assimilation**, die, Aufnahme körperfremder Substanz durch einen lebenden Organismus, z. B. Aufnahme von Kohlendioxyd durch die grünen Blätter, in denen aus Kohlendioxyd und Wasser organische Stoffe, z. B. Zucker und Stärke gebildet werden.
- Atom**, das, kleinstes Teilchen eines Elementes.
- bi-**, doppelt.
- Bramme**, die, Rohstahlblock, der zu Blech oder Profilleisen ausgewalzt wird.
- Brownsche Bewegung**, Zitterbewegung mikroskopisch kleiner in einer Flüssigkeit oder einem Gas schwebender Teilchen, hervorgerufen durch Zusammenstöße mit den Flüssigkeits- oder Gasmolekülen.
- chronisch**, langsam verlaufend, langwierig.
- chronologisch**, in einer der zeitlichen Folge entsprechenden Anordnung.
- Decelith**, wie → Vinidur ein in der chemischen Industrie viel verwendeter säurefester Kunststoff auf Polyvinylchloridbasis.
- Diagramm**, das, Schaubild, das den Zusammenhang zweier Größen graphisch darstellt.
- Diaphragma**, das, poröse Scheidewand.
- Dichte**, die, das Verhältnis der Masse eines Körpers zu seinem Rauminhalt. Dimension: kg/dm^3 oder g/cm^3 .
- Dimension**, die, Ausdehnung, Größenordnung, auch Maßbezeichnung. Z. B. ist eine Fläche ein zweidimensionales Gebilde. Die Dimension der Dichte ist Masse/Volumen, die der → Wichte: Gewicht/Volumen, die des Druckes: Kraft/Fläche.
- DIN**, Kurzbezeichnung für normgerechte Erzeugnisse. Die Normen sind festgelegt vom Deutschen Normenausschuß.
- Dissoziation**, die, Zerfall, Aufspaltung eines Moleküls in zwei oder mehrere Teile → elektrolytische Dissoziation.
- Drilling**, die, Verdrehung.
- Elektrode**, die, stromzuführender Pol in einer Flüssigkeit oder einem Gas.
- Elektrolyse**, die, Zersetzung von → Elektrolyten durch den elektrischen Strom.
- Elektrolyt**, der, chemische Verbindung, deren Moleküle (z. B. in wäßriger Lösung), in elektrisch entgegengesetzt geladene Atome bzw. Atomgruppen (Ionen) gespalten sind. Elektrolyte leiten den elektrischen Strom und werden dabei chemisch zersetzt.
- Elektronenmikroskop**, verwendet Elektronenstrahlen an Stelle von Lichtstrahlen zur Abbildung kleinster Gegenstände. Mit optischer Nachvergrößerung ist eine mehr als 100 000fache Vergrößerung möglich, so daß bereits große organische Moleküle sichtbar gemacht werden konnten.
- Emission**, die, Aussendung, Ausstrahlung.
- empirisch**, auf Erfahrung beruhend.
- endotherm**, unter Wärmeaufnahme vor sich gehend. Gegensatz → exotherm.
- Energie**, die, Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Formen der Energie: mechanische Energie, Wärmeenergie, elektrische Energie, magnetische Energie, chemische Energie.
- exotherm**, unter Wärmeabgabe verlaufend (z. V. Verbrennungen). Gegensatz: → endotherm.
- Expansion**, die, Ausdehnung, z. B. bei Gasen.
- Export**, der, Ausfuhr. Gegensatz → Import.
- Extrakt**, der, Auszug, durch Extraktion (Auslaugung) mit verschiedenen Lösungsmitteln hergestellt.
- Film**, der, zusammenhängende, dünne und elastische Schicht.
- Flotation**, die, Schwimmaufbereitung, Verfahren zur Anreicherung von Erzen, Mineralien, Kohle. Beruht auf der Nichtbenetzbarkeit mancher Stoffe durch Wasser und der daraus folgenden verstärkten Anreicherung in Schaum.
- Fluoreszenz**, die, Eigenschaft mancher Stoffe, im durchfallenden Licht eine andere Farbe zu zeigen als im auffallenden (z. B. manche Mineralöle).
- Folie**, die, dünnes Blättchen, z. B. aus Metall; Gold läßt sich zu Folien von nur 0,0001 mm Dicke auswalzen, die durchscheinend sind.
- Frequenz**, die, bei → periodisch verlaufenden Vorgängen: Anzahl der → Perioden pro Sekunde. Bei Schwingungen wird die F. in Hertz gemessen. 1 Hz = 1 Schwingung/sec.

- Galvanotechnik**, die, befaßt sich mit der elektrolytischen Herstellung von Überzügen auf metallischen oder elektrisch leitend gemachten Gegenständen.
- Generator**, der, Erzeuger, z. B. für Elektrizität oder Gas.
- Geologie**, die, Wissenschaft vom Bau und der Zusammensetzung der Erdkruste; ist von besonderer Bedeutung für den Bergbau.
- graphisch**, zeichnerisch.
- hermetisch**, vollkommen dicht (bei Verschlüssen).
- historisch**, geschichtlich.
- homogen**, vollkommen gleichartig. Gegensatz- inhomogen, auch heterogen.
- hyper-**, über-, mehr.
- hypo-**, unter-, weniger.
- Inchromieren**, ein Oberflächenveredlungsverfahren für kohlenstoffarmen Stahl. Das Werkstück wird in gasförmigem Chromchlorid erhitzt und reichert dadurch Chrom in seiner Oberfläche an.
- Index**, der, an einen Buchstaben unten oder oben angefügtes kleines Unterscheidungszeichen (meist eine Zahl), z. B. A₂.
- Indikator**, der, Anzeiger. Z. B. Phenolphthalein zur Feststellung einer vorhandenen basischen → Reaktion.
- Infrarot**, auch Ultrarot, unsichtbare Strahlung mit größeren Wellenlängen als das sichtbare Rot; wegen ihrer besonderen Wärmewirkung werden infrarote Strahlen in der Technik zum Trocknen verwendet.
- Inhibitor**, der, Zusatzstoff, der unerwünschte chemische Umsetzungen verzögert, z. B. Sparbeizzusätze.
- injizieren**, einspritzen.
- Import**, der, Einfuhr. Gegensatz → Export.
- Impuls**, der, Bewegungsgröße, bei bewegten Körpern Produkt aus Masse und Geschwindigkeit.
- Iso-**, gleich;
- Isomerie**, die, Erscheinung, daß zwei oder mehrere Stoffe die gleiche chemische Summenformel haben, sich aber infolge verschiedener Lagerung der Atome innerhalb des Moleküls in ihren Eigenschaften unterscheiden.
- Isomorphie**, die, Erscheinung, daß chemisch voneinander verschiedene Stoffe infolge ihres ähnlichen Molekülaufbaus gleiche Kristallgestalt besitzen (z. B. verschiedene Alaune).
- Kalorie**, die, Wärmeeinheit; unterscheidet: Kilokalorie (kcal) und Grammkalorie (cal). 1 kcal (Kilokalorie) ist die Wärmemenge, die 1 kg Wasser um 1° C (von 14,5 auf 15,5°C) erwärmt.
- Kapazität**, die, Fassungs-, Leistungsvermögen.
- Kapillare**, die, Haarröhrchen, Rohr mit sehr geringer lichter Weite (kleiner als 1 mm).
- Karat**, das, 0,2 p, Gewichtseinheit im Edelsteinhandel.
- Katalysator**, der, Beschleuniger: Stoff, der eine chemische Umsetzung beschleunigt, ohne sich dabei zu verändern.
- Kathode**, die, Minuspol in einer Flüssigkeit, in einem Gas oder in einem luftleeren Raum.
- Kolloid**, feinst verteilter Stoff (Teilchengröße 10⁻³ bis 10⁻⁶ mm).
- Kolorimetrie**, die, ein Verfahren der Analyse, bei dem man den Gehalt einer Lösung an einem bestimmten Stoff durch Messung oder Vergleich von Farbintensitäten bestimmt.
- Kombinat**, das, Zusammenschluß fertigungsmäßig zusammengehörender Betriebe.
- komprimieren**, zusammendrücken.
- Konglomerat**, das, durch ein Bindemittel (z. B. Kalk, Ton) verkittete grobe Gesteinstrümmen.
- Konsequenz**, die, Folgeerscheinung.
- kontinuierlich**, stetig, lückenlos im Zusammenhang stehend. Gegensatz → diskontinuierlich.
- Konvektion**, die, Transport (z. B. von Wärme) durch bewegte Teilchen, z. B. durch strömende Gase und Flüssigkeiten.
- Konverter**, der, birnenförmiges Gefäß, in dem Luft durch flüssiges Metall hindurchgeblasen wird.
- Konzentration**, die, Gehalt einer Lösung an gelöstem Stoff.
- Korrosion**, die, von der Oberfläche eines Werkstoffes ausgehende Zerstörungserscheinung.
- Kristall**, der, fester, durch ebene Flächen begrenzter Körper mit gesetzmäßigem Aufbau.
- Laboratorium**, Arbeitsraum, vor allem für chemische, physikalische und technische Untersuchungen.
- lokal**, örtlich (begrenzt).
- Metallkeramik**, → Pulvermetallurgie.
- Methode**, Arbeitsweise.
- Modell**, eine weitestgehend wirklichkeitsgetreue Abbildung.
- Modifikation**, die, Formart, Erscheinungsform.
- Neutralisation**, die, Vereinigung von Base und Säure zu Salz und Wasser.
- Niederschachtofen**, kleiner (etwa 16 m hoher) Hochofen mit rechteckigem Querschnitt, gestattet eisenarme Erze wirtschaftlich zu verhütten. In Calbe/S. erstes Niederschachtofenwerk der Welt.
- Oleum**, das, rauchende Schwefelsäure. Enthält überschüssiges SO₃; Pyroschwefelsäure H₂S₂O₇.
- Osmose**, die, allmähliches Vermischen von zwei Flüssigkeiten, die durch eine feinporige Wand voneinander getrennt sind. Eine halbdurchlässige Membrane läßt nur das Lösungsmittel, nicht aber den gelösten Stoff hindurchtreten.
- oszillieren**, schwingen, pendeln.
- Ozon**, das, aktiver Sauerstoff, dessen Molekül aus 3 Sauerstoffatomen besteht. Formel: O₃.
- Periode**, einmaliger Ablauf eines sich wiederholenden Vorganges, „Periodisch“: Nach einer bestimmten Zeitspanne und Gesetzmäßigkeit wiederkehrend.
- Photosynthese**, eine chemische → Synthese, die durch (besonders ultraviolettes) Licht ausgelöst wird.
- Plexiglas**, ein klar durchsichtiger, leicht bearbeitbarer Polymerisationskunststoff (Polymethakrylsäureester).
- Polymorphie**, die, Form der → Allotropie. Liegt vor, wenn ein Stoff im festen Zustand in verschiedenen → Modifikationen auftritt.
- Pond**, das, Abk. p, Gewichtseinheit. Gewicht der Masse 1 g in Meereshöhe auf dem 45. Breitengrad.
- Produktivität**, Verhältnis des Erfolges zum benötigten Aufwand.

- Pulvermetallurgie**, die, Metallkeramik, Herstellung von Körpern aus Metallpulvern unter Druck und nachfolgender → Sinterung.
- Pyrophor**, ein feinverteilter Stoff, der sich an der Luft von selbst entzündet, z. B. durch Reduktion hergestelltes Eisenpulver.
- qualitative Analyse**, Untersuchung eines Stoffes auf die Art seiner Bestandteile.
- quantitative Analyse**, Untersuchung eines Stoffes auf die Menge seiner Bestandteile.
- Radikal**, das, eine Atomgruppe, die in Verbindungen wie ein Atom auftritt, sich aber frei meist nicht darstellen läßt.
- raffinieren**, reinigen.
- rationell**, wirtschaftlich.
- Reaktion**, in der Chemie: Umsetzung.
- relativ**, bedingt, verhältnismäßig. Gegensatz → absolut.
- reversibel**, umkehrbar.
- Rotation**, Drehung.
- sekundär**, in zweiter Linie in Betracht kommend.
- selektiv**, auswählend.
- sensibilisieren**, empfindlich machen (z. B. einen Film für bestimmte Farbbereiche).
- Silikone**, die (Mehrzahl), auf Siliziumbasis hergestellte Kunststoffe mit hervorragenden Eigenschaften (Hitzebeständigkeit usw.)
- Silit**, hauptsächlich aus Siliziumkarbid bestehender Werkstoff für Heizwiderstände in elektrischen Öfen (bis 1400°C).
- Sinterung**, die, Zusammenbacken und Festwerden einer körnigen Masse durch oberflächliches Erweichen der Körner bei Erhitzung knapp unterhalb des Schmelzpunktes.
- Sorelzement**, der, Kunststein, der durch Mischen von Magnesiumoxyd und Magnesiumchlorid unter Hinzugabe von wenig Wasser entsteht. Mit Holzmehl vermenget entsteht Steinholz (Xylolith).
- Spektralanalyse**, optisches Verfahren zur chemischen Untersuchung von Stoffen. Durch Farbenzerlegung des Lichtes, das z. B. eine im elektrischen Funken verdampfende Legierung aussendet, können die Bestandteile der Legierung ermittelt werden.
- spezifisch**, arteigen.
- spontan**, plötzlich, aus eigenem Antrieb.
- stabil**, fest, beständig.
- Symbol**, Sinnbild.
- Synthese**, Aufbau einer chemischen Verbindung aus einfacheren Stoffen.
- System**, abgeschlossenes, zusammenhängendes Ganzes.
- titrieren**. Bestimmen des Gehaltes einer Lösung durch Hinzufügen einer bestimmten Menge einer Maßlösung.
- Torsion**, die, Drillung, Verdrehung. Beanspruchung eines Körpers, bei welcher seine erst geraden Längsfasern spiralförmig gekrümmt werden.
- transparent**, durchscheinend.
- Tyndalleffekt**, der, Streuung des Lichtes durch → kolloide Teilchen (z. B. Sichtbarwerden eines Lichtbündels in einem dunklen Raum durch Tabakrauch).
- Ultrarot**, → Infrarot.
- Ultraschall**, der, Schall, dessen Schwingungszahl über der Hörbarkeitsgrenze liegt (größer als 20000 Hz); wird zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung und zur Herstellung kolloider Verteilungen benutzt.
- Ultraviolett**, unsichtbares Licht mit kürzeren Wellenlängen als das sichtbare Violett. Chemisch besonders wirksam. Die Strahlung der Quecksilberdampflampen ist reich an ultraviolettem Licht.
- Vakuum**, weitestgehend luftverdünnter Raum.
- Valenz**, die, Wertigkeit, Anzahl der Wasserstoffatome, die ein Atom eines Elementes binden oder in einer Verbindung ersetzen kann.
- verquicken**, ein Metall oberflächlich mit Quecksilber legieren, z. B. durch Abreiben mit Quecksilber oder einer Quecksilbersalzlösung.
- Vinidur**, Kunststoff auf Polyvinylchloridgrundlage → Decelith.
- Viskosität**, die, Zähflüssigkeit, innere Reibung.
- Volumen**, Rauminhalt.
- vulkanisieren**, Herstellen der gewünschten Elastizität von Kautschuk durch Behandlung mit Schwefel.
- Wärmeinheit**, WE, → Kalorie.
- Wärmetönung**, Wärmeabgabe (exotherme Reaktion) oder Wärmeaufnahme (endotherme Reaktion) bei einer chemischen Umsetzung.
- Wichte**, Verhältnis des Gewichtes eines Körpers zu seinem Rauminhalt, ausgedrückt in ρ/cm^3 oder kp/dm^3 .
- Wofatite**, Kunstharze, die in gelösten Salzen Metalle gegen Wasserstoff oder Säurereste gegen OH-Gruppen austauschen. (Ionenaustauscher.) Technisch zur Wasserenthärtung verwendet.
- Xylolith**, Steinholz, → Sorelzement.
- Zellulose**, die, Hauptbestandteil der pflanzlichen Zellwand, hochmolekulares Kohlehydrat.
- Zerreißmaschine**, Gerät zur Feststellung der Zerreißfestigkeit von Werkstoffen.
- Zunder**, leicht ablösbare Oxydschicht auf Metallen.
- Zyklon**, das, auf der Fliehkraft beruhende Entstaubungsanlage für Gase.

SACHVERZEICHNIS

- Absolutes Atomgewicht 12
Absolute Luftfeuchtigkeit 33
Affinität 144, 147
Agglomerieren 100
Akkumulator 72
Akute Bleivergiftung 186
Aldrey 146
Alkalilauge 72
Alkalische Reaktion 72
Alpaka 155
Altern 146
Altöl 196
Aluminium 143
Aluminiumlagermetalle 161
Aluminiumlegierungen 146
Aluminiumlote 165
Aluminiumoxyd 144, 199, 200
Aluminiumspritzguß 147
Amalgam 84
Ammoniak 73
Ammoniakwasser 73
Ammoniumchlorid 75
Ammoniumhydroxyd 73
Ammoniakschaden 79
Anstrichmittel 41, 63, 156
Analyse 15, 59
Anhydrit 70
Anode 29
Anlassen 139
Anthrazit 53
Antimon 159
Aqua destillata 30
Äquivalentgewicht 18
Aräometer 193
Argentan 155
Argon 33
Atmung 28
Atom 12
Atomaufbau 215
Atomdimensionen 217
Atomenergie 224
Atomgewicht 12
Atomgewichtstabelle 11
Atomkern 215
Atommodell 215
Atomphysik 214
Atomumwandlung 224
Atomzeichen 11
Atomzerfall 219
Atomzertrümmerung 222
Ätzgifte 183
Ätzkali 72
Ätznatron 72
Aufbereitung d. Eisenerze 99
Aufschlammungen 61
Ausdehnungskoeffizient 172
Ausgangsstoffe f. d. Hoch-
ofenprozeß 103
Autogenes Schneiden 24
Autogenes Schweißen 20, 23
Azetate 77
Azetylen 23, 211
Azetylenanlage 41
Badnitrieren 175, 184
Bahnmetall 161
Bakelit 208
Basen 71
Baumwollsamöl 189
Baustahl 121
Baustoffe 44
Bauxit 145, 200
Becquerel 219
Beizen 178
Beizmittel 80
Benennung d. Oxyde 27
Beschickung d. Hochofens 104
Bessemer-Prozeß 11
Bilkenroth 53
Bimetal 156
Bimsstein 200
Bindung d. Schleifmittel 202
Blausäure 184
Blei 93, 157, 185
Bleiakkumulator 63
Bleianämie 186
Bleichmittel 30
Bleikolik 186
Bleilagermetalle 160
Bleilegierungen 158
Bleimennige 64
Bleistifte 51
Bleivergiftungen 185
Bleiweiß 158, 185
Blitzlichtpulver 148
Blutgifte 184
Blutlaugensalz 184
Bohr, Niels 215
Bohröl 66, 195
Bohrölemulsionen 66, 195
Borax 81
Borkarbid 200
Brandbekämpfung 43
Brandgefahren 41
Brauneisenstein 98
Braunkohle 52
Braunkohleverflüssigung 54
Braunstein 21
Brennstoffe 52
Brikettieren 100
Briketts 53
Brillanten 50
Brinell-Härteprüfung 167
Bronze 160
Brünieren 91, 179
Brownsche Bewegung 65
Buna 211
Buntmetalle 149
Bürette 79
Butadien 211
Bykow, Pawel 166
Chadwick 216
Chemische Gleichung 16
Chemischer Schaum 47
Chemisches Rechnen 17
Chemische Vorgänge 15
Chloride 75
Chlorwasserstoff 68
Chromatisieren 179
Chromstahl 120
Cowperscher Winderhitzer
102
Daniell-Element 65
Daniellscher Hahn 27
Demokrit 214
Desoxydation 113
Destillation 29, 52
Destilliertes Wasser 30, 62
Deuteronen 222

- Diamant 50, 199
 Diffusion 64
 Duraluminium 146
 Edelgase 32
 Edelmetalle 142
 Edelrost 153
 Edelstahl 117
 Edelstahlwerk Döhlen 119
 Eisen 96
 Eisenhüttenkombinat Ost 97
 Eisenhüttenkombinat West 53, 102, 107
 Eisenerze 96
 Eisenkarbonat 77
 Eisenkarbid 107, 133, 168
 Eisen-Nickel-Akkumulator 63
 Eisen-Kohlenstoff-Schaubild 136
 Eisenoxyd 22
 Eisenverfahren 26
 Einsatzhärtung 66
 Elektrische Spannungsreihe 94
 Elektrokorund 200
 Elektrolytische Korrosion 94
 Elektrolyse 29, 180
 Elektrolyt 181
 Elektrolytkupfer 154
 Elektron 149
 Elektronen 12, 215
 Elektrostahlöfen 118
 Elemente 10, 218
 Eloxalverfahren 182
 Emaile 157
 Emulsionen 66, 195
 Englergrad 193
 Entzinnen von Weißblech 157
 Entzündungstemperatur 37
 Entzündungsursachen 38
 Entflammbarkeit 35
 Entgasung der Kohle 54
 Erdöl 190
 Erstarrungspunkt 193
 Erze 96
 Farben v. Metallen 178
 Fette 189
 Fettfleckprobe 194
 Feuerlöscher 45
 Feuerschutzanstrich 44
 Filter 29
 Filtrieren 29
 Flamme 24
 Flammpunkt 36, 193
 Feuerhemmende Schutzmittel 43
 Feuerlöschmittel 44
 Flammenerstickende Gase 47
 Flußmittel 82
 Flammofenfrischen 113
 Flüssige Luft 34
 Flußstahl 113
 Formaldehyd 208
 Formeln 15
 Fraktionierte Destillation 35, 54
 Fünfjahrplan 77, 99, 107, 116, 150
 Galalith 209
 Galvanisches Element 62, 94
 Galvanisieren 90, 181
 Galvanisches Nickelbad 58
 Galvanotechnik 181
 Gärungsvorgänge 38
 Gasflaschen 23
 Gasnitrieren 175
 Gefüge d. Schleifscheiben 205
 Gefügebau d. Stahles 133
 Gelbbrennen 81
 Gemenge 13
 Gesetz v. d. Erhaltung d. Masse 17
 Gesetz v. d. bestimmten Gewichtsverhältnissen 14
 Gichtgas 102, 108
 Gichtglocke 104
 Giftstoffe 183
 Gips 76
 Glanzbeize 81
 Gleichungen 15
 Glühbehandlungen 139
 Gold 142
 Gießereischachtofen 123
 Gitteraufbau d. Eisens 130
 Graphit 51
 Graphitschmiermittel 61, 192
 Grauguß 123
 Grundstoffe 10
 Grünspan 77, 93
 Gußeisen 123
 Gußlegierungen 146
 Hahn 223
 Handfeuerlöscher 45
 Hämatit 98
 Härteprüfverfahren 167
 Härte d. Schleifmittel 201
 Härte d. Schleifscheiben 204
 Härte d. Wassers 61
 Harteskala (Mohs) 201
 Hartgewebe 209
 Hartguß 125
 Hartlote 164
 Hartlötten 164
 Hartmetalle 166
 Hartmetalle (Eigenschaften) 171
 Hartmetallsorten 173
 Heizwert 55
 Helium 32
 Herdfrischen 113
 Hochdruckhydrierung 54
 Hochofen 101
 Hochofenprozeß 101
 Hochofenschlacke 108
 Hofmannscher Zersetzungsapparat 29
 Holzgeist 52
 Holzteer 52
 Hydrierung 27, 54
 Hydrolyse 80
 Igelit 209
 Indikatoren 67
 Inoxydieren 91
 Interferenzerscheinungen 152
 Invarstahl 120
 Ionen 67, 181
 Ionisierung 219
 Isotope 220
 Joliot-Curie 223
 Kalilauge 72
 Kalisalpeter 76
 Kaliumchlorat 21
 Kaliumchlorid 21
 Kaliumnitrat 76
 Kaliumpermanganat 21
 Kaliumzyanid 175
 Kalk 76
 Kalkmilch 73
 Kalkwasser 73
 Kalorie 55
 Kalziumhydroxyd 73, 76
 Kalziumkarbid 40, 209
 Kalziumphosphat 77, 113
 Kalziumsulfat 76
 Karbide 168

- Karbonate 76
Kasein 206, 209
Kernladungszahl 217
Keramische Bindung 203
Kesselstein 62
Kettenreaktion 223
Kieselsäure 77
Kippscher Apparat 25
Klauenöl 189
Knallgas 27
Knetlegierungen 146
Knochenöl 189
Kochsalz 14, 75
Kohlenstoff 49
Kohlenstoffkette 212
Kohlungszone 105
Kondensationsstoffe 208
Konstantan 155
Konverter 110
Körnung d. Schleifmittel 202
Korrosion 83
Korrosionskennzeichen 85
Korrosionsschutz 85
Korrosionsursachen 83
Korund 199
Kreislauf d. Sauerstoffs 28
Krypton 33
Kühlmittelöle 194
Kunstkorund 200
Kunstseide 207
Kunststoffe 206
Kunststoffe als Lagerwerkstoff 161, 206
Kunstharzlacke 208
Kupfer 93, 152
Kupferazetat 77
Kupferchlorid 153
Kupfergewinnung 153
Kupferkolik 186
Kupferlegierungen 154
Kupferlote 164
Kupferoxyd 152
Kupfersalze 186
Kupferschiefer 153
Kupfersulfat 76
Kupfertiefdruck 182
Kupfervitriol 76
Kupolofen 123
- Laboratorim 9
Lackmus 67
Lagermetalle 158
Lagerweißmetalle 160
Laugen 71
Laugenschäden 79
Lavoisier 17
Leder 212
Legieren v. Stahl 119
Legierungen 15, 92
Leuchtgas 54
Levante-Schmirgel 199
Lösungen 58
Lösungswärme 60
Liebig'scher Kühler 30
Lindeverfahren 34
Lomonossow 17
Löslichkeit 59
Lösungen 58
Lösungswärme 60
Lokalelemente 84, 95
Lösungsmittel 63, 40
Lote 161
Lötmittel 81
Lötpasten 164
Lötwasser 82
Lötzinn 82
Luft 31
Luftfeuchtigkeit 33
Luftschaum 47
Luftverflüssigung 34
- Magnesium 39, 147
Magnesiumlegierungen 148
Magnesiumoxyd 27, 39, 148
Magnesiumsulfat 69
Magnet Eisenstein 98
Magnewin 149
Manganzusatz f. Stahl 120
Marmor 76
Mattbrennen 81
Mendelejeff 217
Mennige 158
Messing 154
Messinglote 164
Metallbeizen 64, 178
Metalle 142
Metallhydroxyd 71
Metallkarbide 168
Metallkeramik 170
Metallnitride 174
Metallüberzüge 180
Methan 56
Meyer, Lothar 217
Mineralische Bindung 204
Mineralische Schmiermittel 190
Mineralöle 190
Minette 98
- Mipolam 210
Mohs, Härteskala 201
Molekül 13, 15
Molekulargewicht 13
Möller 103
Molybdän 120
Müller, Richard 213
- Natron 77
Naßfeuerlöscher 45
Natriumhydrogenkarbonat 45, 77
Natriumkarbonat 76
Natriumnitrat 76
Natriumzyanid 175
Natronlauge 72
Naturkautschuk 211
Naturkorund 199
Naxos-Schmirgel 199
Neon 33
Nervengifte 184
Neusilber 155
Neutralisation 78
Neutronen 12, 216
Nichteisenmetalle 142
Nickel 120
Nickelin 155
Nickelstahl 120
Nitrate 76
Nitride 174
Nitrierhärtung 175
Nitrose Gase 183
Normalglühen 139
Normallösung 59
Notlaufeigenschaften 161
- Oberflächenschutz 176
Ob-Irtysch-Jenissei-Projekt 224
Öle 189
Olivöl 189
Ordnungszahlen 217
Organische Bindung 203
Organische Verbindungen 56, 63
Oxydation 27
Oxydationsmittel 28
Oxyde 27
- Paketstahl 114
Passauer Schmelztiegel 51
Patina 153
Perbunan 211
Perhydrol 30

- Periodensystem 217
 Perlon 211
 Pflanzenöle 189
 Phenolharze 208
 Phosphate 77
 Phosphatieren 179
 Phosphor, weiß 39
 Phosphor, rot 32, 39
 Planck, Max 215
 Platin 142
 Plattieren 91
 Poliermittel 201
 Polykondensation 206
 Polymerisation 206
 Polymerisationsstoffe 209
 Polyvinylchlorid 209
 Porzellan 169
 Preßstoffe 209
 Protonen 215
 Prozesse 15
 Puddelprozeß 113
 Pulvermetallurgie 170
 Pyrit 69
 Pyrotechnik 148

 Quarz 199
 Quecksilber 142
 Quecksilberoxyd 10

 Radioaktive Elemente 220
 Radioaktivität 220
 Rammler, Prof. 53
 Raseneisenerz 98
 Rauchgase 33
 Raumgitter des Eisens 131
 Reaktionen 15
 Reduktion 28, 105
 Reduktionsmittel 28
 Reduktionszone 105
 Reduzierventil 23
 Regenerierung 196
 Reizgifte 183
 Relative Luftfeuchtigkeit 33
 Relatives Atomgewicht 12
 Resitolharz 208
 Resonanzerscheinungen 172
 Rizinusöl 189
 Roheisen 106
 Rost 177
 Rosten d. Eisens 86, 88
 Rostschutz 64, 89
 Roteisenstein 98
 Rotguß 160

 Röntgenstrahlen 222
 Rösten 100
 Rüßöl 189
 Rückkohlung 113
 Ruß 51
 Rutherford 215

 Salmiak 81
 Salmiakgeist 73
 Salpetersäure 70
 Salze 73
 Salzsäure 68
 Sandstein 199
 Sandstrahlgebläse 199
 Sauerstoff 20, 83
 Sauerstoffflasche 22
 Sauerstoffkreislauf 22
 Sauerstoffnachweis 21
 Sauerstoffschutzgerät 24
 Säuren 67
 Säuregehalt d. Schmiermittel 194
 Säurerest 75
 Säureschäden 79
 Schadenfeuer 35
 Schaumlösch器 47
 Schleifen 197
 Schleifmittel 197
 Schleifscheibenformen 198
 Schmelzpunkte 11
 Schmelzzone 106
 Schmierfette 190
 Schmieröl 189
 Schmiermittel 41, 188
 Schmirgel 199
 Schneidbrenner 24
 Schneidemaschine 24
 Schneiden 24
 Schneidhaltigkeit 171
 Schneidöl 194
 Schnellote 162
 Schoop-Verfahren 91
 Schrottverfahren 116
 Schwarzbrennen 179
 Schwefel 40
 Schwefeldioxyd 22, 40
 Schwefeleisen 14
 Schwefelfäden 40
 Schwefelsäure 68
 Schwefeltrioxyd 69
 Schweflige Säure 69
 Schweißbrenner 23
 Schweißen 20, 23
 Schwermetalle 149

 Schutzschichten auf Metalloberflächen 178
 Selbstentzündung 38
 Sherardisieren 90
 Siemens-Martin-Verfahren 114
 Siemenssche Regenerativfeuerung 115
 Silber 142
 Silberfarbe 143
 Silberlote 165
 Silikate 77
 Silikone 212
 Silizium 120
 Siliziumkarbid 200
 Siliziumkette 212
 Sintereisen 159, 170
 Sintereisenlagermetall 161
 Sintermetalle 169
 Sintern 169
 Soda 76
 Spannungsfreiglühen 149
 Spannungsreihe d. Metalle 94, 162
 Spateisenstein 77, 98
 Stahl 114
 Stahlgewinnung 109
 Stahlguß 125
 Stahlveredlung 117
 Steinkohle 53
 Stellite 167
 Stickstoff 32
 Stickstoffdioxyd 70
 Stöchiometrie 17
 Stockpunkt 193
 Strassmann 223
 Struktur d. Schleifscheiben 205
 Strukturformel 16
 Sulfate 76
 Suspensionen 66
 Symbole 10
 Synthese 15, 206

 Talg 189
 Temperguß 126
 Tempern 65
 Tetrachlorkohlenstoff 47, 63
 Tetra-Lösch器 47
 Thermit 144
 Thomasbirne 112
 Thomasmehl 77, 113
 Thomas-Prozeß 112, 76
 Thomasschlacke 77, 113

- Thorium 171
 Tiefdruck 182
 Tiegelschmelzverfahren 117
 Tierische Öle u. Fette 189
 Titan 168
 Titankarbid 168
 Titanitrid 175
 Titration 59, 79
 Tombak 154
 Torf 52
 Tran 189
 Treibstoffe 40
 Tri 63
 Trockenfeuerlöscher 48
 Trockenpulver 48
 Ultraviolettstrahlung 222
 Umsetzungen 87
 Umwandlungen v. Stahl 134
 Unedle Schwermetalle 149
 Uran 220
 Uranbrenner 224
 Vanadinitrid 175
 Vanadiumstahl 120
 Vaseline 190
 Verbindungen 10, 14
 Verbindungen, techn. 19
 Verbindungsgewicht 18
 Verbrennung 35
 Verchromung 182
 Veredelungsverfahren 176
 Verflüssigung d. Kohle 27
 Vergiftungsgefahren 183
 Vernickelung 182
 Verschmelzung 54
 Vickers Härteprüfung 167
 Vinidur 210
 Viskosimeter 193
 Vorbehandlung v. Metalloberflächen 177
 Vorwärmezone 104
 Vulkankfiber 207
 Warmbehandlung d. Stähle 130
 Wasser 29
 Wasserdampf 33
 Wassergehalt d. Schmiermittel 194
 Wasserenthärtung 66, 195
 Wasserstoff 25, 68
 Wasserstoffflaschen 27
 Wasserstoffsperoxyd 30
 Wasserwerk 29
 Weichglühen 140
 Weichlote 158, 162
 Weichlöten 162
 Weißblech 157
 Weißmetall 160
 Werkzeugstahl 122
 Wertigkeit 13, 16
 Wilson-Kammer 221
 Winderhitzer 102
 Windfrischen 109
 Wolfram 120, 168
 Wolframkarbid 168
 Wolframstahl 120
 Wood-Metall 163
 Xenon 33
 Zähflüssigkeit 192
 Zahlenbuna 211
 Zellhorn 207
 Zellon 207
 Zellophan 207
 Zelluloid 40, 207
 Zellulose 206
 Zellulose-Kunststoffe 207
 Zementit 168
 Zerlegung 15
 Zersetzungsdestillation 51
 Zink 93, 155
 Zinkchlorid 25, 75, 81, 156
 Zinkgewinnung 155
 Zinklagermetalle 160
 Zinklegierungen 156
 Zinn 156
 Zinneschrei 157
 Zinnlegierungen 157
 Zinnpest 157
 Zonen d. Hochofens 104
 Zunder 140
 Zündkirsche 144
 Zündpunkt 37
 Zuschläge 103
 Zyanide 145, 184
 Zyklotron 214, 222

Quellennachweis der Abbildungen

ADN-Bilderdienst, Berlin: Abb. 44, 45, 67, 86 — Archiv des Schwermaschinenbau Karl Liebknecht, Magdeburg: Abb. 24 — Archiv des volkseigenen Verlages Volk und Wissen, Berlin: Abb. 56 — Dewag-Bild, Leipzig: Abb. 113 — Dewag-Foto, Berlin: Abb. 89 — Max Ittenbach, Berlin: Abb. 61 — Klingner, Berlin-Treptow: Abb. 17 — Wolf Mucke, Leipzig: Abb. 29, 31, 32, 33, 35, 37, 53, 54, 55, 71, 92, 95, 98 — Nagema VEB Maschinenfabrik und Eisengießerei, Wurzen: Abb. 15 — Fritz Reisig, Werkfotograf des Schwermaschinenbau Karl Liebknecht, Magdeburg: Abb. 1, 3, 5, 6, 8, 18, 19, 22, 23, 26, 104, 107, 108 — B. G. Teubner, Verlagsgesellschaft, Leipzig: Abb. 103, 119 — Thüringer Bilderdienst, Weimar: Abb. 51 — Uraniaverlag GmbH., Jena: Zeitschrift „Urania“ Nr. 5/52: Abb. 118 — VEB-Galvanotechnik, Leipzig; Archiv: Abb. 38, 101 — Wissenschaft und Fortschritt Nr. 8/51: Abb. 120, 121 — Werksarchiv Hüttenwerk Thale: Abb. 94 — Zentralbild, Berlin: Abb. 9, 25, 34, 40, 48, 49, 57, 64, 66, 69, 90, 91, 93, 97, 99, 100, 102, 115, 117, 122.

Zeichnungen wurden ausgeführt von der Graphischen Abteilung des volkseigenen Verlages Volk und Wissen Umschlaggestaltung: Bernhard Melzer, Berlin.

