

# W

**Wissensspeicher  
für die  
Berufsbildung**

## **SPANUNGSTECHNIK**

**GOLZ**



# SPANUNGSTECHNIK

# WISSENSPEICHER FÜR DIE BERUFSBILDUNG

# SPANUNGSTECHNIK

Wolf-Dietrich Golz



VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Als berufsbildende Literatur für verbindlich erklärt

22.9.1971

Ministerium für Verarbeitungsmaschinen -  
und Fahrzeugbau

Einband: Kurt Beckert

Redaktionsschluß: 10.10.1971

Lektor: Günter Gottschlag

DK 621.91.07 · ES 20 G 3

VT 2/5/4772-1

Alle Rechte vorbehalten. Copyright 1972 by

VEB Verlag Technik, 102 Berlin

VLN 201 · Dg.-Nr. 370/135/72 Deutsche Demokratische Republik

Schreibsatz: VEB Verlag Technik, Berlin

Offsetrotation und buchbind. Verarbeitung: 52 Nationales Druckhaus,

VOB National, Berlin

Bestellwort: Golz, Spannungstechn.

2.50

## Vorwort

Das Buch löst die im nicht mehr erscheinenden Lehrbuch „Grundausbildung Metall 2“ zu diesem Stoffgebiet enthaltene Kapitel ab. Entsprechend den Forderungen nach Berufsschulliteratur mit einer hohen Effektivität für den Unterricht wurde die Form des Wissensspeichers gewählt. Der gebotene Stoff ist deshalb nicht immer als Erstinformation voll zu erfassen, sondern muß durch andere Medien, wie Lehrervortrag, Programm oder Film usw., vermittelt werden. Vielfach wird es allerdings auf Grund der zweifarbigen Bilder und der Darstellung in Übersichten für den Lernenden auch möglich sein, sich nur aus dem Wissensspeicher einen Überblick über die Problematik des Stoffes zu verschaffen. Weitere für die Ausbildung in spanenden Berufen zum Baukastensystem der Berufsbildung im VEB Verlag Technik erschienene und in der Entwicklung befindliche Literatur ist aus der nachfolgenden Übersicht zu ersehen. Die in Klammern gesetzten Zahlen geben bei Neuentwicklungen das voraussichtliche Erscheinungsjahr an.

### Grundwissen

Beyrodt: Tabellenbuch Metall

Hinzmann/Prüfer: Fachzeichnen Metall, Wissensspeicher

Muchau/Muchau: Aufgabenblätter Fachzeichnen Metall, Grundlehrgang

Wosnizok: Werkstoffe — kurz und übersichtlich

Kulke: Fertigungstechnik Metall, Wissensspeicher (1973)

Finze/Kulke: Einführung in Maßtoleranzen und Passungen, Lernprogramm

Fuchs: Allgemeine Maschinenlehre, Arbeitsblattsammlung (1972)

### Fachwissen

Becker: Prüftechnik — Fertigungsmeßtechnik

Mesch/Heger: Aufgabensammlung Fertigungs- und Meßtechnik

Hintze: Automatisierung spanabhebender Werkzeugmaschinen

Stein: Aufgabenblätter Fachzeichnen für Zerspanerberufe

Autorenkollektiv: Spanende Werkzeuge

### Spezialwissen

Autorenkollektiv: Schule des Drehers

Vach: Fräsen

Zur Information über weitere berufsbildende Literatur empfehlen wir den Literaturkatalog Berufsbildung, der vom Staatssekretariat für Berufsbildung herausgegeben wurde. Für kritische Hinweise, die uns helfen, das Buch oder das Baukastensystem berufsbildender Literatur zu verbessern, sind wir stets dankbar.

VEB Verlag Technik

# Inhaltsverzeichnis

0.	Einführung in das Gebiet der Spannungstechnik . . . . .	9
1.1.	Begriffsbestimmung . . . . .	9
1.2.	Bedeutung der spanenden Formgebung . . . . .	10
1.	Einflußgrößen auf den Spannungsvorgang . . . . .	11
2.	Spannungsvorgang . . . . .	12
2.1.	Bewegungen . . . . .	12
2.1.1.	Allgemeines . . . . .	12
2.1.2.	Arten . . . . .	13
2.2.	Arbeitswerte . . . . .	15
2.2.1.	Hilfsbegriffe . . . . .	15
2.2.2.	Geschwindigkeiten . . . . .	15
2.2.3.	Schnittgrößen . . . . .	16
2.2.4.	Spanungsgrößen . . . . .	19
2.3.	Spanbildung . . . . .	20
2.3.1.	Vorgänge bei der Spanbildung . . . . .	20
2.3.2.	Spanarten und -formen . . . . .	21
2.3.3.	Spanungsvolumen . . . . .	25
2.4.	Kräfte . . . . .	26
2.4.1.	Kräfte beim Drehen . . . . .	27
2.4.2.	Kräfte beim Hobeln und Stoßen . . . . .	29
2.4.3.	Kräfte beim Bohren . . . . .	30
2.4.4.	Kräfte beim Räumen . . . . .	30
2.4.5.	Kräfte beim Fräsen . . . . .	30
2.4.6.	Bestimmen der Größe der Kräfte . . . . .	31
2.4.6.1.	Spezifische Schnittkraft $k_s$ . . . . .	32
2.4.6.2.	Einflußgrößen auf $k_s$ . . . . .	33
2.5.	Leistungen beim Spanen . . . . .	35
2.5.1.	Spanungsleistung . . . . .	35
2.5.2.	Antriebsleistung . . . . .	36
2.6.	Erwärmung . . . . .	37
2.7.	Ergänzungen . . . . .	39
3.	Werkzeug . . . . .	40
3.1.	Ausführungsformen und -arten . . . . .	40
3.2.	Schneidengeometrie . . . . .	41
3.2.1.	Flächen, Schneiden, Ecken und Fasen . . . . .	41

3.2.2.	Bezugssysteme zur Bestimmung der Winkel am Schneidkeil . . . . .	42
3.2.3.	Winkel am Werkzeug . . . . .	44
3.3.	Schneidstoffe . . . . .	49
3.4.	Verschleiß . . . . .	52
3.4.1.	Allgemeines . . . . .	52
3.4.2.	Standgrößen . . . . .	55
3.4.3.	Maßnahmen zur Erhöhung des Standvermögens . . . . .	57
3.5.	Ergänzungen . . . . .	59
4.	Werkstück . . . . .	60
4.1.	Werkstückoberflächen . . . . .	60
4.2.	Gestaltabweichungen . . . . .	61
4.3.	Oberflächencharakter der Werkstückoberfläche . . . . .	62
4.4.	Rauhigkeiten . . . . .	63
4.5.	Maßtoleranzen . . . . .	65
4.6.	Ergänzungen . . . . .	65
5.	Wirtschaftliches Spanen . . . . .	66
5.1.	Auslastung der Maschine . . . . .	66
5.2.	Auslastung des Werkzeugs . . . . .	67
5.3.	Auslastung von Werkzeug und Maschine . . . . .	69
5.4.	Grundzeit—Maschine . . . . .	71
5.5.	Ergänzungen . . . . .	73
	Sachwörterverzeichnis . . . . .	77



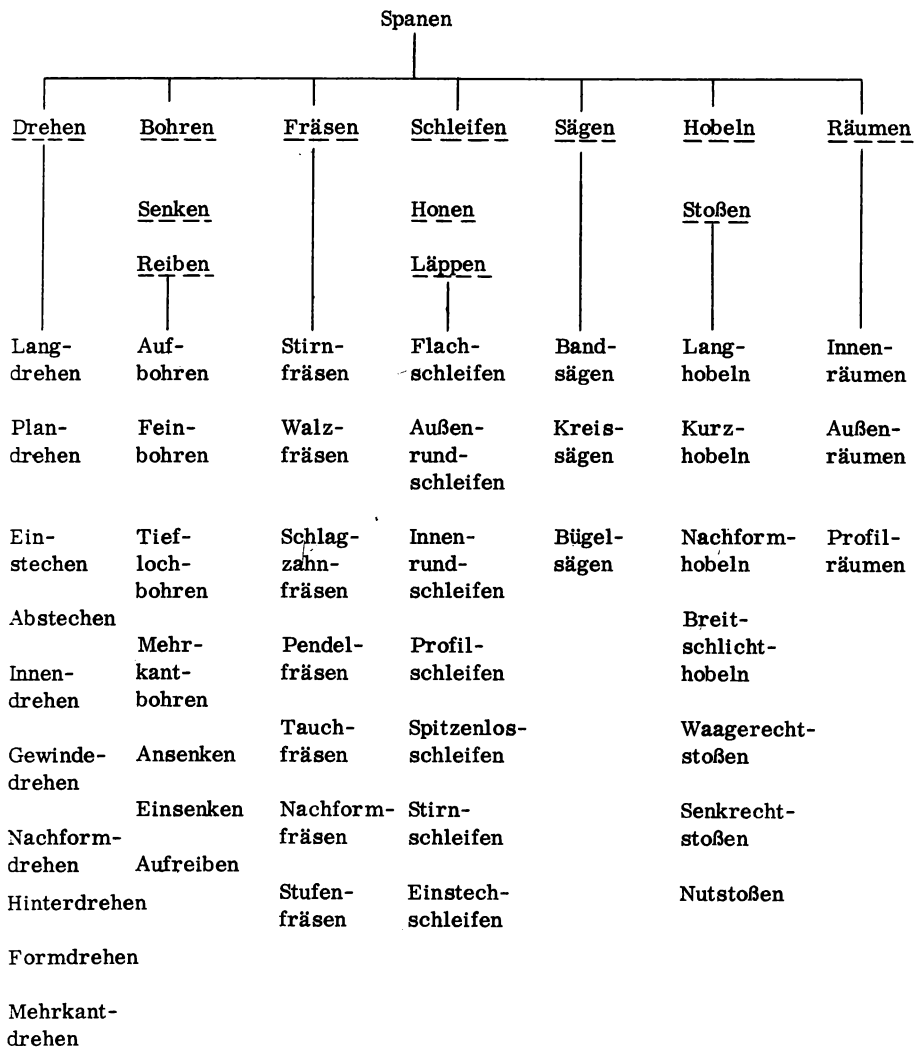
# 0. Einführung in das Gebiet der Spannungstechnik

## 0.1. Begriffsbestimmung

Spanen ist Gestaltändern durch Abtrennen von Werkstoff-  
teilchen auf mechanischem Weg.

Die abgetrennten Werkstoffteilchen, als Späne bezeichnet,  
entstehen durch mechanisches Eindringen der Werkzeug-  
schneide in den zu zerspanenden Werkstoff.

Tafel 0.1. Überblick über die Verfahrensgruppe Spanen (Auswahl)



## 0.2. Bedeutung der spanenden Formgebung

### Spanen

- Erlaubt eine Bearbeitung auch von kompliziert gestalteten Werkstücken,
- ist als Fertigungsverfahren für die wirtschaftliche Bearbeitung kleiner Stückzahlen geeignet,
- ist wegen der Vielfalt der Verfahren vielfältig anwendbar,
- eignet sich für die Bearbeitung von schwer urform- oder umformbaren Werkstoffen.

### Entwicklungstendenzen

Der wissenschaftlich-technische Fortschritt hat selbstverständlich auch Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit des Spanens. Folgende Maßnahmen tragen wesentlich dazu bei, die Arbeitsproduktivität des Spanens zu erhöhen:

- Automatisierung,
- Einführung der BMSR-Technik und Elektronik im Werkzeugmaschinenbau,
- Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung,
- Anwendung rationellerer Technologien,
- Einsatz von Hochleistungsschneidstoffen,
- Entwicklung leistungsfähigerer Maschinen, Werkzeuge, Spannzeuge,
- Verkettung von Maschinensystemen,
- Einsatz wirksamerer Zerspanungshilfsstoffe.

### Nachteile des Spanens

- ungünstigere Werkstoffausnutzung,
- lange Bearbeitungsdauer,
- große Investitionen,
- hoher Werkzeugverschleiß.

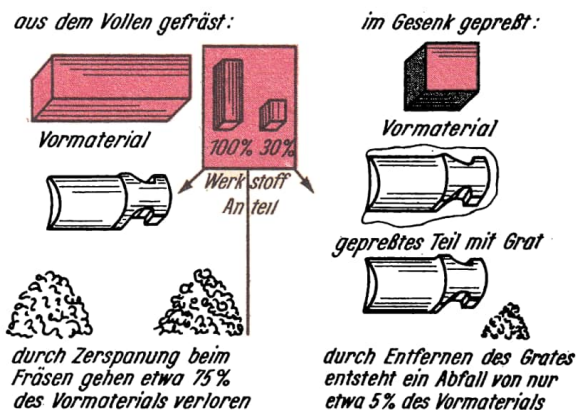


Bild 0.1. Vergleich zwischen Umformen und Spanen

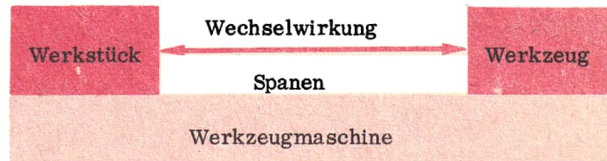
Das besagt nicht, daß die spanende Formgebung an Bedeutung verloren hat. Nur der Anteil der Grobzerspanung wird immer geringer, da viele Werkstücke durch Umformen ihre endgültige Form erhalten. Jedoch hat sich der Anteil des Feinzerspanens entsprechend erhöht.

## 1. Einflußgrößen auf den Spanungsvorgang

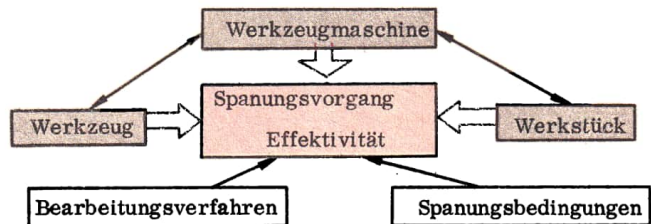
### Elemente

Der maschinelle Spanungsvorgang erfordert drei Elemente: Werkstück, Werkzeug, Werkzeugmaschine. Die Maschine trägt und führt Werkzeug und Werkstück und ermöglicht den Eingriff beider.

### Wechselwirkungen



Die Effektivität des Spanungsvorgangs wird durch die Wahl des Bearbeitungsverfahrens und die Spanungsbedingungen beeinflusst.



Werkstück, Werkzeug, Werkzeugmaschine, Bearbeitungsverfahren und Spanungsbedingungen stehen im Zusammenhang und in enger Wechselwirkung.

Folgende Komponenten wirken in den Elementen und Einflußgrößen:

### Werkstück

Werkstoff (Festigkeit, Gefüge, Homogenität, Formänderungsvermögen), Abmessungen, Gestalt, Stabilität.

### Werkzeug

Form, Art (ein-, zwei-, mehrschneidig), Schneidenwerkstoff, Anschliff, Verschleiß, Abmessungen, Starrheit.

### Werkzeugmaschine

Spannelemente, Starrheit, Schwingungsverhalten, Zustand, Leistung, Genauigkeit.

### Bearbeitungsverfahren

Fräsen – Hobeln – Schleifen, Gleichlaufräsen – Gegenlaufräsen.

### Spanungsbedingungen

$v$ ,  $a$ ,  $s$ , Wirkwinkel, Kühlung, Schmierung; Schruppen, Schlichten, Feinschlichten.

## 2. Spanungsvorgang

### 2.1. Bewegungen

#### 2.1.1. Allgemeines

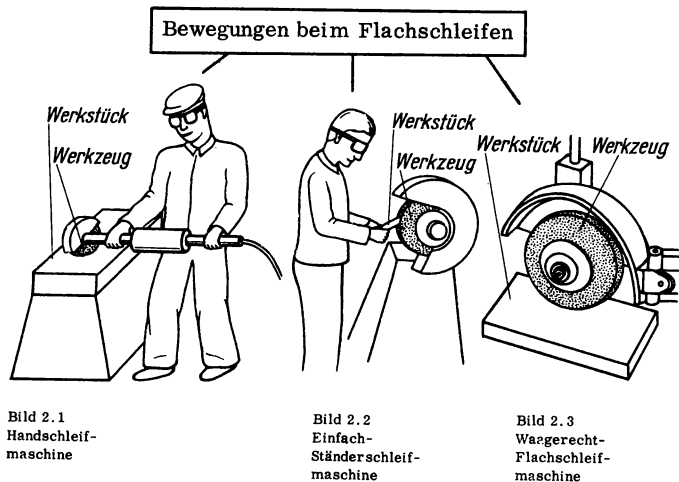
##### Aufgabe

Bewegungen zwischen Werkstück und Werkzeug führen dazu, daß

- das Werkzeug an das Werkstück herangeführt wird,
- die Werkzeugschneide in die Oberfläche des Werkstücks eindringt,
- Späne abgehoben werden.

##### Relativbewegungen

Für die Betrachtung des Zerspanungsvorgangs ist es belanglos, welches Teil die Bewegungen ausführt, entscheidend ist die Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück.



Werkstück führt aus	keine Bewegung	Anstellbewegung, Zustellbewegung, Vorschub	Anstellbewegung (waagrecht), Vorschub
Werkzeug führt aus	Schnittbewegung, Vorschubbewegung, Anstellbewegung, Zustellbewegung	Schnittbewegung	Schnittbewegung, Zustellbewegung, Anstellbewegung (senkrecht)

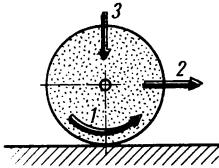


Bild 2.4. Bewegungen beim Verfahren  
Flachsleifen im Umfangschliff  
1 Schnittbewegung; 2 Vorschubbewegung;  
3 Zustellbewegung

### 2.1.2. Arten

#### Schnittbewegung

Um von der Vielfalt der möglichen Maschinenkonstruktionen abzusehen und zu vergleichbaren Aussagen zu gelangen, wurde vereinbart:

Die Relativbewegungen werden stets auf das ruhend gedachte Werkstück bezogen, d.h., nur das Werkzeug führt alle erforderlichen Bewegungen aus.

Sämtliche Begriffe beziehen sich auf den jeweils betrachteten Schneidenpunkt.

Verfahren mit rotatorischer  
(drehender) Schnittbewegung

Drehen;  
Fräsen, Sägen mit  
Kreissäge;  
Bohren, Senken, Reiben;  
Schleifen

Verfahren mit transla-  
torischer (geradliniger)  
Schnittbewegung

Hobeln;  
Stoßen;  
Sägen mit Band- oder  
Bügelsäge;  
Räumen

#### Vorschubbewegung

Bewirkt im Zusammenhang mit der Schnittbewegung eine kontinuierliche Spanabnahme oder die Abnahme mehrerer Späne. Sie kann stetig oder schrittweise (z. B. nach jedem Hub) erfolgen, kann in einer Richtung oder, z. B. bei einer kurvenförmigen Sollfläche, auch in mehreren Komponenten wirken. Die resultierende Vorschubbewegung gibt dann die Bewegungsrichtung der Schneide (Richtung des Arbeitsfortschritts) an.

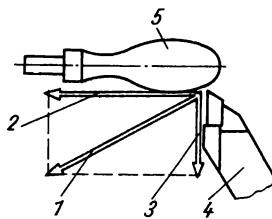


Bild 2.5. Bewegung beim Nachform-  
drehen  
1 resultierende Vorschubbewegung;  
2 Hauptvorschubbewegung; 3 Neben-  
vorschubbewegung; 4 Drehmeißel;  
5 Werkstück

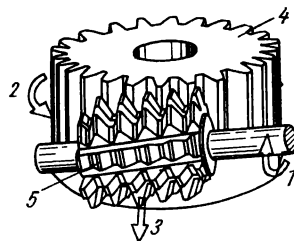


Bild 2.6. Wälzfräsen von Zahnrädern  
als Beispiel für die Wirkung zusammen-  
gesetzter Bewegungen. Durch die Über-  
lagerung von Schnittbewegung 1, Vor-  
schubbewegung in Umfangsrichtung (Wälz-  
bewegung) 2 und Vorschub in axialer  
Richtung 3 entsteht im Werkstück 4 die  
evolventische Form der Zahnflanken;  
5 Werkzeug

## Wirkbewegung

Ist die Resultierende aus Schnitt- und Vorschubbewegung. Erfolgt keine gleichzeitige Vorschubbewegung, ist die Wirkbewegung gleich der Schnittbewegung. Für die Bestimmung der Richtung des Werkzeugeingriffs ist daher die Festlegung der Richtung der Wirkbewegung notwendig.

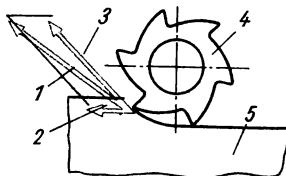


Bild 2.7. Bewegungen beim Fräsen  
1 Wirkbewegung; 2 Vorschubbewegung;  
3 Schnittbewegung; 4 Fräser; 5 Werkstück

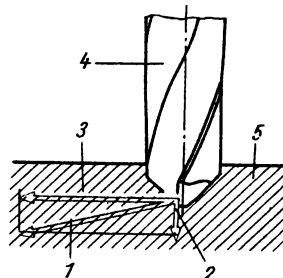


Bild 2.8. Bewegungen beim Bohren  
1 Wirkbewegung; 2 Vorschubbewegung;  
3 Schnittbewegung; 4 Werkzeug; 5 Werkstück

Die genannten Bewegungen bewirken unmittelbar den Zerspanungsvorgang und bestimmen entscheidend die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.

## Positionieren

Die folgenden Bewegungen führen zu keiner direkten Spanabnahme, sondern bewirken das Heranführen des Werkzeugs und die Maßhaltigkeit der herzustellenden Werkstücke (Positionieren).

## Anstellbewegung

Führt das Werkzeug an die Stelle des Werkstücks, an der der Zerspanungsvorgang beginnen soll.

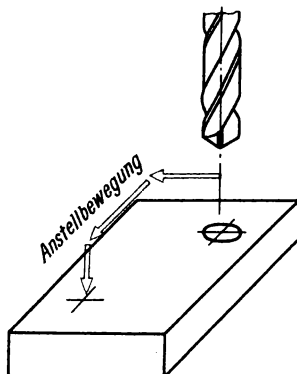


Bild 2.9. Anstellbewegung beim Bohren kann in drei Koordinaten erfolgen

## Zustellbewegung

Bestimmt die Dicke der abzuspannenden Schicht im voraus. Sie kann je nach Verfahren rechtwinklig zur Arbeitsebene (s. S. 17) oder in Richtung der Arbeitsebene erfolgen. Die Dicke der abzuspannenden Schicht kann sowohl an der Maschine (z. B. beim Drehen durch Einstellen der Schnitttiefe) oder auch durch die Formgebung des Werkzeugs (z. B. beim Spiralbohrer entspricht  $1/2 d$  der Zustellung) bestimmt werden.

## Nachstellbewegung

Korrekturbewegung zum Ausgleich von Maßungenauigkeiten, wird z. B. durch Werkzeugverschleiß erforderlich.

## 2.2. Arbeitswerte

### 2.2.1. Hilfsbegriffe

Zur Bestimmung der Arbeitswerte, vor allem der Schnittgrößen, ist die Festlegung von Hilfsbegriffen erforderlich.

## Arbeitsebene

Sie ist eine gedachte Ebene, die durch die Richtung der Schnittbewegung und Vorschubbewegung gebildet wird (s. Bilder 2.12 bis 2.18).

In der Arbeitsebene vollziehen sich alle Bewegungen, die unmittelbar zur Spanentstehung führen.

## Vorschubrichtungswinkel $\varphi$

Er ist der Winkel zwischen der Schnitttrichtung und Vorschubrichtung. Bei vielen Verfahren (Drehen, Stoßen, Bohren) beträgt  $\varphi = 90^\circ$ , während z. B. beim Fräsen und Schleifen während des Schnittes eine ständige Änderung des Winkels  $\varphi$  erfolgt.

### 2.2.2. Geschwindigkeiten

## Schnittgeschwindigkeit $v$

Ist die Geschwindigkeit der Schnittbewegung, eine wichtige Einflußgröße für den Spannungsvorgang.

$$v = \frac{s}{t} \quad (1)$$

$v$  Geschwindigkeit  
 $s$  Weg  
 $t$  Zeit

Schnittgeschwindigkeit  
bei rotatorischer  
Schnittbewegung:

Schnittgeschwindigkeit  
bei translatorischer  
Schnittbewegung:

$$v = d \cdot \pi \cdot n \quad (2)$$

(Rotation)

$$s = d \cdot \pi$$

$$t = \frac{1}{n}$$

$$s = 2 L$$

$$t = \frac{1}{n}$$

$$v = 2 L \cdot n \quad (3)$$

(Translation)

$$v = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000}$$

$v$	$d, L$	$n$
$\frac{\text{m}}{\text{min}}$	$\text{mm}$	$\frac{1}{\text{min}}$

$$v = \frac{2 \cdot L \cdot n}{1000}$$

$v$  Schnittgeschwindigkeit

$d$  Ausgangsdurchmesser

$n$  Drehzahl,

$L$  Länge des Werkstücks

Doppelhubzahl

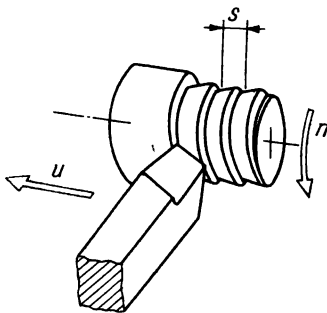
plus Zuschläge

Beim Schleifen wird die Umfangsgeschwindigkeit der Schleifscheibe in  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  angegeben.

### Wirkgeschwindigkeit $v_e$

Ist die Geschwindigkeit der Wirkbewegung. Mit wachsender Vorschubgeschwindigkeit wächst die Differenz zwischen Schnitt- und Wirkgeschwindigkeit. In den meisten Fällen genügt die Näherung  $v_e \approx v$ .

### Vorschubgeschwindigkeit $u$



Ist die Geschwindigkeit des Werkzeugs in Vorschubrichtung (s. S. 13). Da an der Werkzeugmaschine der Vorschub je Umdrehung oder je Doppelhub eingestellt wird, bestimmt sich die Vorschubgeschwindigkeit aus Gl. 4.

Bild 2.10. Vorschub und Vorschubgeschwindigkeit beim Drehen

$$u = s \cdot n$$

(4)

$u$  Vorschubgeschwindigkeit (angegeben in  $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ )

$s$  Vorschub

$n$  Drehzahl oder Hubzahl

### 2.2.3. Schnittgrößen

#### Vorschub $s$

Ist der Weg des Werkzeugs in Vorschubrichtung (Vorschubweg) bei einer Umdrehung oder einem Hub (s. Bild 2.10).

#### Zahnvorschub $s_z$

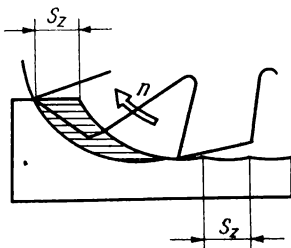
$$s = s_z \cdot z$$

(5)

$s$  Vorschub (angegeben in mm)

$z$  Anzahl der Schneidenträger (Zähne)

$s_z$  Zahnvorschub



Hat das Werkzeug nur eine Schneide, z. B. beim Drehen ( $z = 1$ ), so ist  $s_z = s$ .

Bild 2.11. Zahnvorschub beim Fräsen



## Schnitttiefe bzw. Schnittbreite $a$

Ist die Tiefe bzw. Breite des Eingriffs der Hauptschneide, rechtwinklig zur Arbeitsebene gemessen.

## Eingriffsgröße $e$

Bestimmt ebenfalls die Größe der abzuspannenden Schicht durch den Betrag des Eingriffs der Schneide rechtwinklig zur Schnitttiefe oder -breite. Sie wird im Gegensatz zu dieser in der Arbeitsebene und rechtwinklig zur Vorschubrichtung gemessen. Die Eingriffsgröße tritt vor allem beim Fräsen und Schleifen auf.

### Schnitttiefe bzw. -breite und Eingriffsgröße bei verschiedenen Verfahren

#### Langdrehen

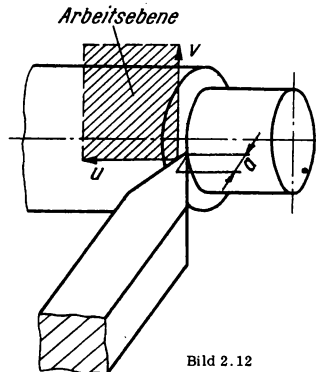


Bild 2.12

$a$  liegt an der Schneide rechtwinklig zur Arbeitsebene. Es ist die Schnitttiefe und entspricht der Zustellung

#### Flandrehen

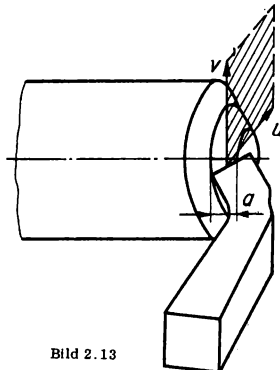


Bild 2.13

$a$  liegt an der Schneide rechtwinklig zur Arbeitsebene. Es ist die Schnitttiefe und entspricht der Zustellung

#### Stirnfräsen

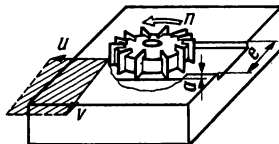


Bild 2.14

Rechtwinklig zur Arbeitsebene ergibt sich die Schnitttiefe  $a$ , in Richtung der Arbeitsebene die Eingriffsgröße  $e$ . Zustellbewegung ergibt die Schnitttiefe. Eingriffsgröße ist durch den Eingriff des Werkzeugs bestimmt

## Ein- oder Abstechen

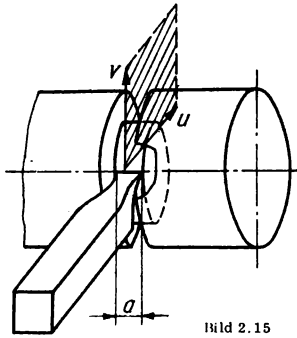


Bild 2.15

$a$  liegt rechtwinklig zur Arbeitsebene. Es ist die Schnittbreite und wird durch den Werkzeuganschlag bestimmt

## Walzfräsen

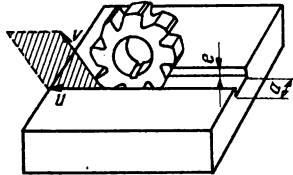


Bild 2.16

$a$  ist die Schnittbreite und ist gleich dem Eingriff des Fräasers in Achsrichtung. Die Schnittbreite ist bestimmt durch die Werkzeugbreite (s. Bild 2.16) oder durch die Breite eines einzufräsenden Absatzes, bei schmalen Werkstück durch die Werkstückbreite. Die Zustellbewegung, da sie in Richtung der Arbeitsebene ausgeführt wird, bewirkt den Betrag der Eingriffsgröße

## Räumen

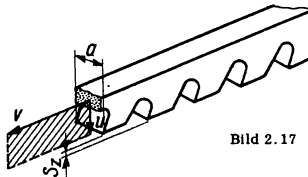


Bild 2.17

Der Vorschub je Zahn ist durch den Höhenunterschied von Schneide zu Schneide bestimmt. Die Schnittbreite  $a$  wird rechtwinklig zur Arbeitsebene gemessen. Sie ist durch die Werkzeugabmessung gegeben

## Bohren

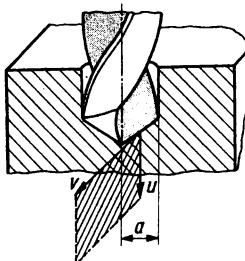


Bild 2.18

Die Schnittbreite  $a$  entspricht dem halben Bohrungsdurchmesser und ist ebenfalls werkzeugabhängig

## 2.2.4. Spanungsgrößen

Spanungsgrößen sind aus den Schnittgrößen abgeleitet. Sie charakterisieren Form und Größe des abzuspannenden Elements, des Spanungsquerschnitts im voraus. Sie sind nicht mit den Maßen der abgehobenen Späne (den Sparrgrößen) identisch.

### Spanungsbreite $b$

Breite des abzunehmenden Spanes, gemessen rechtwinklig zur Richtung der Schnittbewegung (Schnitttrichtung) und in der Schnittfläche (s. Bilder 2.19, 2.20).  
Bei Werkzeugen mit geraden Schneiden und ohne Eckenrundung besteht die Beziehung Gl. (6) zwischen der Schnittgröße  $a$  und der Spanungsgröße  $b$ .

$$b = \frac{a}{\sin \alpha}$$

(6)  $\alpha$  Einstellwinkel der Hauptschneide (s.S. 45).

### Spanungsdicke $h$

Dicke des abzunehmenden Spanes, senkrecht zur Schnitttrichtung und rechtwinklig zur Schnittfläche gemessen (s. Bilder 2.19, 2.20).

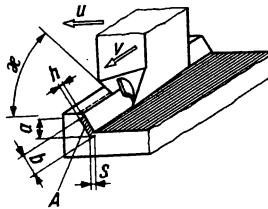


Bild 2.19. Spanungsgrößen beim Waagrechtstoßen

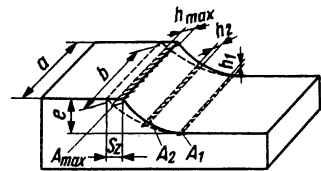


Bild 2.20. Spanungsgrößen beim Wälzfräsen  
Spanungsquerschnitt verändert sich in Abhängigkeit von der Stellung der Schneide

Zwischen  $s$  und  $h$  besteht im einfachsten Fall die Beziehung Gl. (7).

$$h = s \cdot \sin \alpha$$

(7)  $\alpha$  Einstellwinkel der Hauptschneide (s.S. 45).

Ist  $\alpha = 90^\circ$ , so ist  $b = a$  und  $h = s$  (s. Bild 2.21).

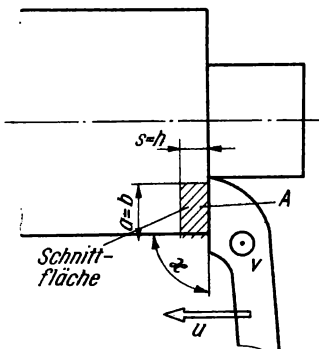


Bild 2.21. Spanungsquerschnitt beim Drehen mit einem Einstellwinkel  $\alpha = 90^\circ$

## Spanungsquerschnitt A

$$A = b \cdot h$$

(8)

Der Spanungsquerschnitt ist der Querschnitt des abzunehmenden Spanes senkrecht zur Schnittrichtung.

Die Bestimmung des Spanungsquerschnitts kann bei Werkzeugen mit gerader Schneide und ohne Eckenrundung nach nebenstehender Gleichung erfolgen.

Bei Verfahren, bei denen Vorschub- und Schnittrichtung einen Winkel von  $90^\circ$  bilden (z. B. Drehen und Hobeln), gilt außerdem  $A = a \cdot s$ .

Diese Beziehung stellt jedoch einen Spezialfall dar und gilt z. B. nicht für das Fräsen (s. Bild 2.20).

## 2.3. Spanbildung

### 2.3.1. Vorgänge bei der Spanbildung

#### Phasen

Die Entstehung eines Spanes erfolgt in vier Phasen, wobei sich der Span in Form von dünnen Lamellen fortlaufend bildet und sich die Phasen ständig wiederholen.

#### Anstauchen

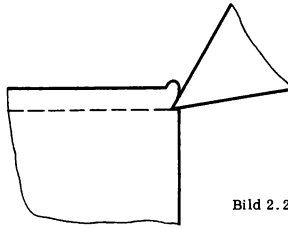


Bild 2.22

Die keilförmige Werkzeugspitze beginnt in den Werkstoff einzudringen. Das Spanelement wird angestaucht.

#### Abscheren

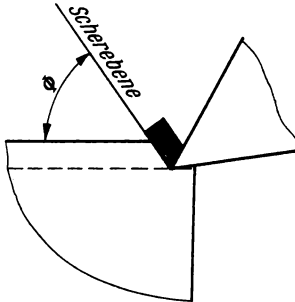


Bild 2.23

An der Schneidenspitze wachsen die auf den Werkstoff ausgeübten Druck- und Schubspannungen bis zur Bruchgrenze. Das Abscheren des Spanelements von der Oberfläche erfolgt am geometrischen Ort der maximalen Schubspannungen, der Scherebene, die mit der Werkstückoberfläche den Scherwinkel  $\phi$  bildet.

#### Verschieben in Gleitebenen

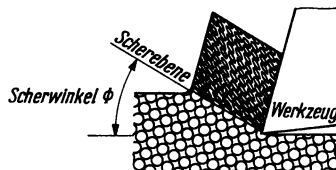


Bild 2.24

Der unmittelbar an der Scherebene befindliche und weiter über die Spanebene abfließende Werkstoff wird umgeformt. Die Kristalle werden in Gleitebenen verschoben.

## Abfließen

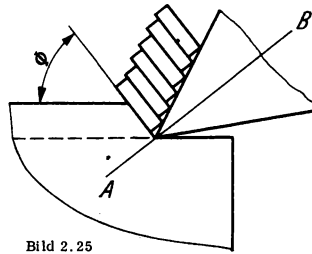


Bild 2.25

Der Span ist bestrebt, sich senkrecht zur Scherebene, auf der Ebene AB, zu bewegen. Wird er durch die Spanfläche gehindert, erfolgt eine weitere Stauchung. Der Span gleitet in Richtung des geringsten Widerstands über die Spanfläche ab

## Spanstauchung

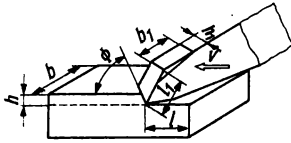


Bild 2.26 Spanstauchungen am idealisierten Rechteckspan

Als Folge der Stauchvorgänge bei der Spanbildung wird der Span höher, breiter und kürzer als die entsprechenden Spanungsgrößen.

Allgemein gilt:

Spanungsdicke  $h < \text{Spanndicke } h_1$ ,

Spanungsbreite  $b < \text{Spannbreite } b_1$ ,

Spanungslänge  $l > \text{Spanlänge } l_1$ ,

Spanungsquerschnitt  $A < \text{Spanquerschnitt } A_1$ .

Der Wert der Spanstauchung hängt vom Formänderungsvermögen des Werkstoffs und von den geometrischen Verhältnissen am Schneidkeil ab.

## 2.3.2. Spanarten und -formen

### Spanarten

Nach der Auswirkung des Spanbildungsprozesses auf den sich bildenden Span unterscheidet man folgende Spanarten:


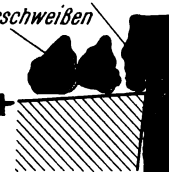
Spanart	Kennzeichen	Spanbildung	Bedingungen
<b>Fließspan</b> <i>abfließen</i> 	Spanelemente zusammenhängend; unterschiedliche Oberfläche; untere Seite immer glatt	kontinuierliches Abfließen des Werkstoffs; Spanelemente wer- den in Scherzone nicht getrennt, sondern kontinu- ierlich umgeformt	zäher Werkstoff bei günstigsten Span- bildungsbedingungen. (hohe Schnittge- schwindigkeit, großer Spanwinkel $\gamma$ )
<b>Scherspan</b> <i>abscheren</i> <i>verschweißen</i> 	Einzelne zusam- menhängende Spanelemente erkennbar; Oberfläche stark gezackt	Spanlamellen werden in der Scherebene nur gering umgeformt, voneinander getrennt, aber anschließend wieder verschweißt	Störform des Fließ- spans. Störungs- ursachen: Ungleich- heit im Werkstoff, Schwingungen, zu kleiner Spanwinkel, große Schnitttiefe, kleine Schnittge- schwindigkeit

Bild 2.28


Spanart	Kennzeichen	Spanbildung	Bedingungen
<b>Reißspan</b> <b>(Bröckelspan)</b> 	Einzelne, unzusammenhängende Spanelemente; raue Oberfläche durch Bruchgefüge	Spanelemente lassen sich in Scherebene nicht verformen (spröder Werkstoff läßt Gleiten nicht zu); Werkstoff reißt vor der Schneide	Werkstoff mit geringem plastischem Verhalten, bei zähen Stoffen (Stahl) ungünstige Schnittbedingungen (niedrige Schnittgeschwindigkeit, zu kleiner Spanwinkel)

Bild 2.29

Die Grenzen der Spanarten sind fließend. Man kann bei der Bearbeitung eines Werkstoffs durch Veränderung einer oder mehrerer Bedingungen jede der drei Spanarten erzielen (s. Bild 2.30). Die Werte sind auf der Oberfläche des Reliefs abzulesen.

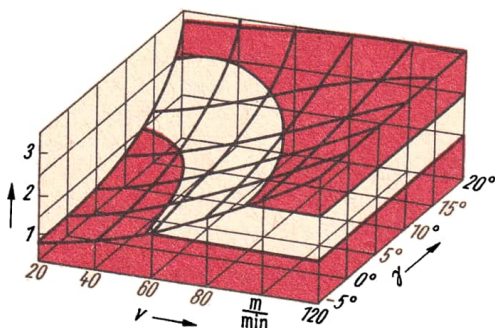

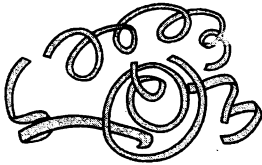
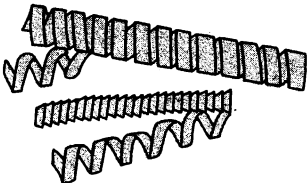

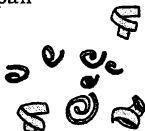
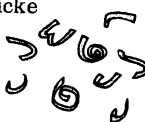


Bild 2.30. Einfluß von Schnittgeschwindigkeit  $v$  und Spanwinkel  $\gamma$  auf die Spanarten bei Stahl  
 1 Reißspan; 2 Scherspan; 3 Fließspan

## Spanformen

Nach der Form, mit der der Span, unabhängig von seiner kinematischen Entstehung, die Spanfläche des Werkzeugs verläßt, unterscheidet man die folgenden Spanformen:

<u>Spanform- klasse</u>	<u>Spanform</u>	<u>Schüttdichte</u> $\frac{t \cdot m}{s^3}$ (bei Stahl)	<u>Beurteilung</u>
1	Bandspan  Bild 2. 31	$\leq 0,09$	ungünstig; bilden Spanknäuel; gefährden die Arbeits- sicherheit; beschädigen Werkstückoberflächen; behindern Spänefall; verhindern automati- schen Spänetransport
2	Wirrspan  Bild 2. 32	$\leq 0,09$	
3	Schraubenspan  Bild 2. 33	$\leq 0,15$	befriedigend: gleiche Beurteilung wie bei Band- und Wirrspan mit geringerer Auswir- kung
4	Schraubenbruchspan  Bild 2. 34	$\leq 0,32$	günstig; da gut transportier- und lagerbar (auch durch automatischen Spänetransport); geringere Gefährdung des Arbeiters; keine Beschädigung der Werk- stücke, Werkzeuge und Maschinen
5	Spiralbruchspan  Bild 2. 35	$\leq 0,95$	
6	Spiralspanstücke  Bild 2. 36	$\leq 0,95$	


Spanform- klasse	<u>Spanform</u>	<u>Schüttdichte</u> $\frac{t}{l} \cdot \frac{m}{n} \cdot 3$ (bei Stahl)	<u>Beurteilung</u>
7	Spanbruchstücke 	$\leq 2,5$	befriedigend; durch das Umherspritzen Verstopfen und Verkratzen der Führungen; Gefährdung der Arbeitssicherheit

Bild 2.37

### Erreichen günstiger Spanformen

- Verspröden langspanenden Werkstoffs durch Legierungsbildung, z. B. durch Zulegieren von Phosphor (Automatenstahl),
- Spanbrechung durch eingeschliffene Spanleitstufe oder aufgesetzte Spanleitplatte,

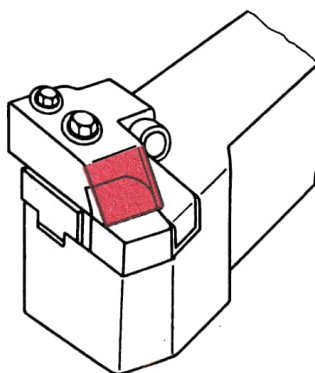


Bild 2.38. Meißel mit Spanleitplatte

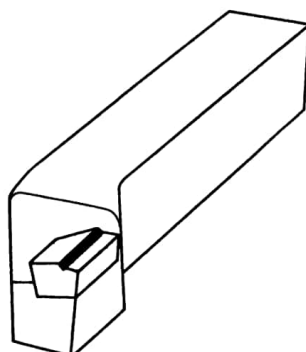


Bild 2.39. Meißel mit eingeschliffener Spanleitstufe

- Verändern der Schnittbedingungen, so daß sich mit zunehmendem Vorschub der Span stärker krümmt und besser bricht. Mit wachsender Schnittgeschwindigkeit tendiert der Span zur Bildung von Wirr- oder Bandspänen. Im Bild 2.40 wird außerdem die Beeinflussung durch die weiteren Einflußfaktoren Schnitttiefe, Spanwinkel und Einstellwinkel angedeutet. (Die Bereiche sind an der Reliefoberfläche zu erkennen.)



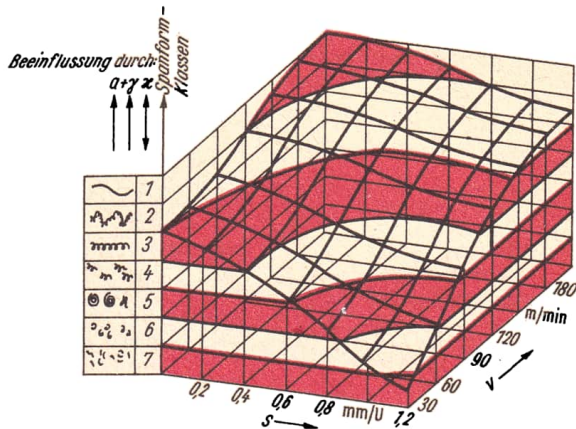


Bild 2.40. Einfluß von Vorschub  $s$  und Schnittgeschwindigkeit  $v$  auf die Bildung der Spanformen beim Drehen von Stahl ohne Spanleittstufe

### 2.3.3. Spannungsvolumen

Als Maß für die Effektivität des Zerspanungsvorgangs und die Produktivität der Werkzeugmaschine gilt das in der Zeiteinheit abgespannte Volumen:

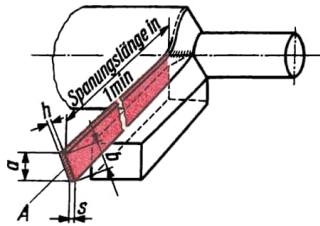


Bild 2.41. Spannungsvolumen beim Drehen

$$Q = \frac{V}{t} = A \cdot v \quad (9)$$

$t$  erforderliche Zeit  
 $V$  abgespanntes Volumen

Unter Beachtung der auf S. 20 getroffenen Aussagen ergibt sich:

$$A = b \cdot h \text{ oder } a \cdot s$$

$A$  Spanquerschnitt

Dann gilt

$$Q = a \cdot s \cdot v \quad (10)$$

$Q$  Spannungsvolumen je Zeiteinheit  
 (angegeben in  $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )

$$Q = b \cdot h \cdot v \quad (11)$$

$v$  Schnittgeschwindigkeit  
 $a$  Schnitttiefe  
 $s$  Vorschub  
 $b$  Spanungsbreite  
 $h$  Spanungsdicke

Beim Fräsen errechnet man  $Q$  einfacher aus dem Querschnitt der abzutragenden Schicht multipliziert mit der Vorschubgeschwindigkeit

$$Q = e \cdot a \cdot u$$

(12)

oder als Zahlenwertgleichung

$$Q = \frac{e \cdot a \cdot u}{1000} \quad \begin{array}{c|c|c|c} e & a & u & Q \\ \hline \text{mm} & \text{mm} & \text{mm} \cdot \text{min}^{-1} & \text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \end{array}$$

$Q$  Spanungsvolumen

$e$  Eingriffsgröße

$a$  Schnitttiefe

$u$  Vorschubgeschwindigkeit

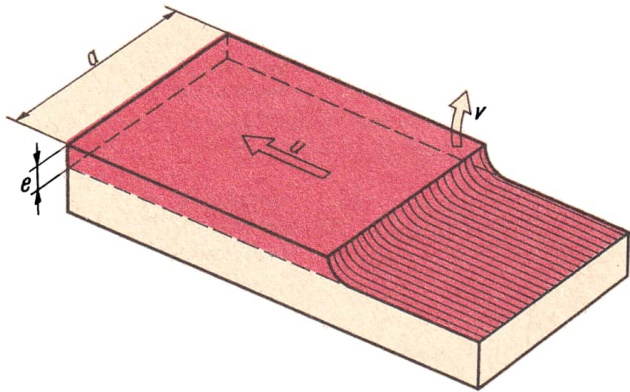


Bild 2.42. Bestimmung des Spanungsvolumens beim Fräsen

## 2.4. Kräfte

### Spanungskraft $F_z$

Der zu bearbeitende Werkstoff setzt dem Eindringen des Schneidkeils einen seiner Festigkeit und Härte entsprechenden Widerstand entgegen.

Dieser kann nur überwunden werden, wenn eine Kraft – die Spanungskraft  $F_z$  – wirkt, die größer als der Werkstoffwiderstand ist.

Die Spanungskraft kann in verschiedene Einzelkomponenten zerlegt werden. Diese gewinnt man durch die Projektion der Spanungskraft auf die jeweiligen Kraftwirkungsrichtungen, die oft mit den Bewegungsrichtungen übereinstimmen.

Zur Vereinfachung wird angenommen, daß die flächenhaft verteilten Kräfte an einem Punkt der Schneide angreifen. Die auf das Werkstück wirkende Spanungskraft übt ihrerseits auf das Werkstück eine gleich große, entgegengesetzt gerichtete Kraft aus, die in die möglichen Kraftaufnahme-richtungen zerlegt werden kann. Die Gesamtheit der Kraftkomponenten muß sich im Gleichgewicht befinden.

## Spanneinrichtungen

Die Kräfte müssen durch geeignete Spanneinrichtungen aufgenommen werden. Andernfalls können Arbeitsaus-  
schuß oder Unfallgefahren auftreten.

### 2.4.1. Kräfte beim Drehen

<u>Bezeichnung</u>		<u>Definition</u>	<u>Ursache</u>	<u>Wirkung (Beanspruchung) auf</u>	
alt	neu			Werkzeug	Werkstück
$F, F_{\text{ges}}$ Gesamtkraft	$F_Z$ Spanungskraft	auf Schneidkeil wirkende Gesamtkraft	Spanabnahme, Summe der Einzelkräfte	s. Einzelkomponenten	
$F_H$ Hauptschnittkraft	$F_S$ Schnittkraft	Projektion von $F_Z$ auf Schnitt- richtung	Schnittbewegung	Biegung	Torsion und Biegung
$F_V$ Vorschubkraft	$F_V$ Vorschubkraft	Projektion von $F_Z$ auf Vorschub- richtung	Vorschubbewegung	Biegung	Druck
—	$F_A$ Aktivkraft	Projektion von $F_Z$ auf Arbeits- ebene, s. S. 15	Wirkbewegung (Resultierende aus $F_S$ und $F_V$ )	Biegung	Torsion und Biegung
—	$F_D$ Drangkraft	Projektion von $F_Z$ senkrecht zur Schnittfläche	Widerstand des Werkstoffs	Druck	Druck; Bestreben, Schneidkeil aus dem Eingriff zu drängen
$F_R$ Rückkraft, auch Abdräng- oder Schaffkraft	$F_P$ Passivkraft	Projektion von $F_Z$ senkrecht zur Arbeits- ebene, ist an Spanungsleistung un- beteiligt, weil sie auf sämtlichen Bewegungs- richtungen senkrecht steht	Zustellbewegung	Druck	Biegung

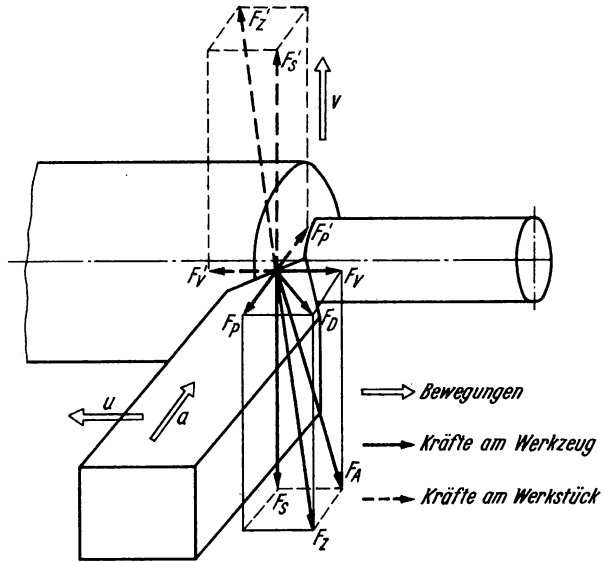


Bild 2.43. Kräfte beim Drehen

### Beeinflussung der Passivkraft

Zunehmende Passivkraft (durch große Schnittiefen) birgt Gefahr des Durchbiegens langer Wellen in sich. Dem dabei entstehenden Arbeitsausschuß kann durch sachkundiges Spannen (z. B. Verwendung von Setzstöcken) begegnet werden. Die Größe der Passivkraft ist durch den Einstellwinkel  $\alpha$  beeinflussbar.

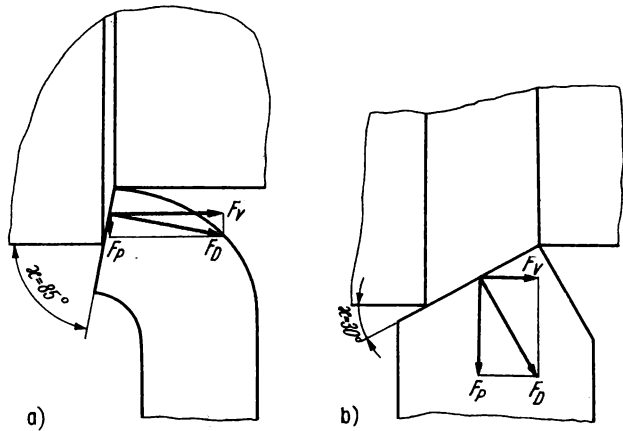


Bild 2.44a und b. Zerlegung der Drangkraft  $F_D$  in Abhängigkeit vom Einstellwinkel  $\alpha$

Die Zerlegung der Drangkraft in die Komponenten Vorschub- und Passivkraft ist vom Einstellwinkel  $\alpha$  abhängig. Je größer  $\alpha$ , desto kleiner wird die Passivkraft zugunsten der Vorschubkraft.

Beim Bearbeiten von schlanken langen Wellen großen Einstellwinkel wählen (Bild 2.45).

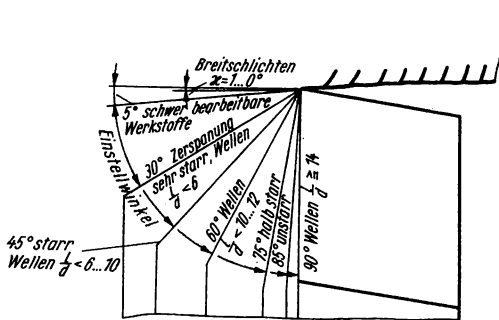


Bild 2.45. Wahl des richtigen Einstellwinkels  $\alpha$

#### 2.4.2. Kräfte beim Hobeln und Stoßen

Drehen sowie Hobeln und Stoßen ähneln sich, das Hobeln entspricht der Bearbeitung eines unendlich großen Drehdurchmessers.

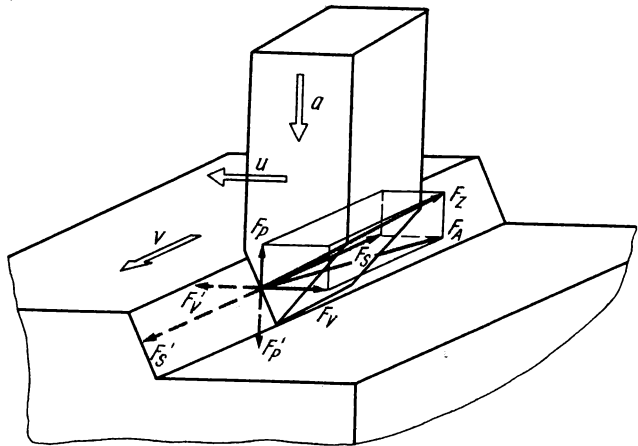


Bild 2.46. Kräfte beim Stoßen

Auf das Werkstück gerichtete Komponente Passivkraft bedarf hier keiner besonderen Beachtung, da sie nach unten in Richtung der Werkstückaufnahme gerichtet ist.

### 2.4.3. Kräfte beim Bohren

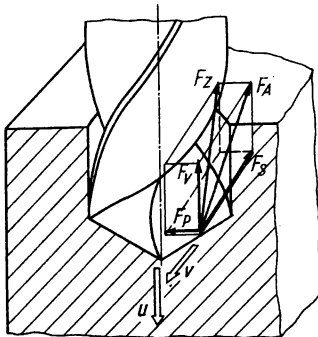


Bild 2.47. Kräfte am Spiralbohrer für eine Hauptschneide betrachtet

Im Bild 2.47 ist die Kraftzerlegung beim Bohren mit Spiralbohrer dargestellt.

Die Kräfte wirken an jeder Hauptschneide und treten somit paarweise auf. Dabei wird die Passivkraft (da gleich groß und entgegengesetzt gerichtet) aufgehoben.

Spanungskraft	Beanspruchungsart	Wirkung
<u>Vorschubkraft</u>	Axialkraft im Bohrerschaft	Aufbäumen der Maschine
<u>Schnittkraft</u>	Torsionskraft im Werkzeug	Herumschlagen des Werkstücks

### 2.4.4. Kräfte beim Räumen

An geradverzahnten Räumwerkzeugen (s. Bild 2.48) ist die Passivkraft Null.

Schnitt- und Vorschubkraft müssen durch geeignete Spanneinrichtungen aufgenommen werden.

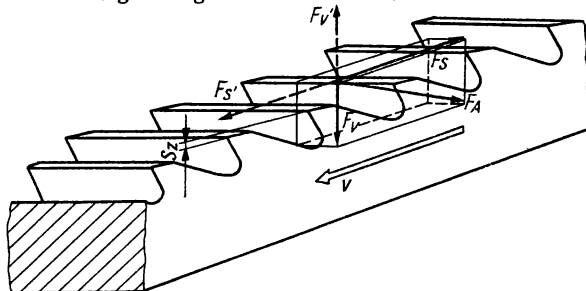


Bild 2.48. Kräfte beim Räumen

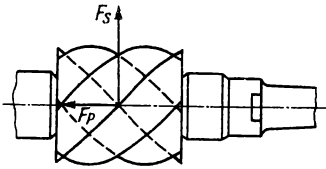
### 2.4.5. Kräfte beim Fräsen

Die Untersuchung der beim Fräsen auftretenden Kräfte ist durch die komplizierten geometrischen und kinematischen Verhältnisse dieses Verfahrens erschwert. Je nach der Lage des Eingriffs des untersuchten Schneidpunktes ändern die Kräfte ihre Wirkungsrichtung und in Abhängigkeit von der momentanen Spanungsdicke ihre Größe.

#### Am geradverzahnten Walzfräser

Die Passivkräfte sind ebenfalls Null.  $F_z$  liegt damit in der Arbeitsebene und ist mit der Aktivkraft identisch. Die übrigen Kräfte ergeben sich durch die Projektion der Spanungskraft auf die jeweilige Kraftwirkungsrichtung.

## An-schrägverzahnten Fräsern



Die Passivkraft wird als Komponente in axialer Richtung wirksam (s. Bild 2.49). Sie soll stets auf das Spindellager gerichtet sein.

Bild 2.49. Kräfte am schrägverzahnten Walzfräser

## Gegen- und Gleichlaufräsen

Vor allem hinsichtlich der Kraftwirkungen am Werkstück unterschieden.

Tafel 2.1. Wirkung der Kräfte beim Fräsen

	Gegenlauf	Gleichlauf
$F_W$ <u>Waagerechtkraft</u>	Biegung des Fräsdorns	Werkstück wird in Fräser hineingezogen – Gefahr des Werkzeugbruchs
$F_{Senk}$ <u>Senkrechtkraft</u>	Werkstück wird von Unterlage abgehoben, Ratterneigung; schlechte Oberfläche; Quetschen beim Anschnitt	Werkstück wird auf Frästisch gedrückt; Verdichtung der Oberfläche; ruhiger Schnitt

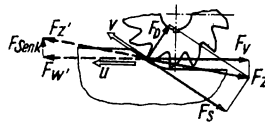


Bild 2.50. Kräfte beim Gegenlaufräsen

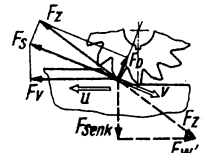
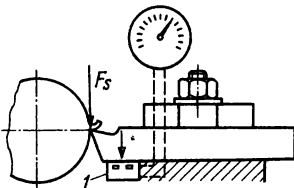


Bild 2.51. Kräfte beim Gleichlaufräsen

## 2.4.6. Bestimmen der Größe der Kräfte

Für die Praxis ist nicht nur die Lage und Richtung der Kraftkomponenten von Bedeutung, sondern vor allem auch ihre Größe.

## Kraftmessung



Die Kräfte am Werkzeug können mit einem Schnittkraftmesser unmittelbar aus dem Spanungsversuch bestimmt werden. Die Meßeinrichtung wird am Meißelhalter befestigt und ermöglicht eine hydraulische oder elektrische Meßwerterfassung.

Je nach Konstruktion können eine oder mehrere Kraftkomponenten gleichzeitig gemessen werden.

Bild 2.52. Prinzip eines Einkomponentenschnittkraftmessers  
1 Meßgeber

Die Schnittkraft wird berechnet, und nach der Beziehung

$$F_S : F_P : F_V = 5 : 2 : 1$$

wird auf die Größen der übrigen Kraftkomponenten geschlossen.

Diese Relation ist nur eine Faustformel, sie gilt für die Bearbeitung von Stahl bei  $\alpha = 45^\circ$ .  $F_V$  kann z. B. größer als  $F_P$  werden, wenn  $\alpha$  größer gewählt wird (s. Bild 2.44).

Die Größe der Schnittkraft ist abhängig:

- von der Größe und Form des Spanungsquerschnitts;
- vom Werkstoff des Werkstücks;
- von der Schneidengeometrie, vor allem von den Winkeln;
- von der Schnittgeschwindigkeit;
- vom Spanungsverhältnis  $a : s$ ;
- von den Reibungsverhältnissen auf der Spanfläche, d. h. Werkstoff-Schneidstoff-Paarung, Einsatz von Schmiermitteln.

Die fünf letzten Einflußfaktoren werden in der spezifischen Schnittkraft  $k_S$  berücksichtigt.

#### 2.4.6.1. Spezifische Schnittkraft $k_S$

##### Definition

Die spezifische Schnittkraft ist die Kraft, die benötigt wird, um ein Spanelement von der Größe  $1 \text{ mm}^2$  abzutrennen.

$$k_S = \frac{F_S}{A}$$

(13)

$k_S$  spezifische Schnittkraft in  $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$

$F_S$  Schnittkraft

$A$  Spanungsquerschnitt

Die Werte für  $k_S$  wurden in einer Vielzahl von Versuchen unter den verschiedensten Spanungsbedingungen ermittelt und in Form von Richtwertdiagrammen oder Tabellen veröffentlicht. Hieraus läßt sich die Größe der Schnittkraft berechnen.

$$F_S = k_S \cdot A$$

$$F_S = k_S \cdot b \cdot h$$

(14)

Durch Einsetzen des Spanungsquerschnitts (s. Abschn. 2.2.3 S. 20) ergeben sich je nach Verfahren die nebenstehenden Gleichungen:

$$F_S = k_S \cdot a \cdot s$$

(15)

$b$  Spanungsbreite

$h$  Spanungsdicke

$a$  Schnitttiefe oder -breite

$s$  Vorschub



#### 2.4.6.2. Einflußgrößen auf $k_S$

##### Werkstückwerkstoff

Mit zunehmender Festigkeit muß ein größerer Werkstoffwiderstand überwunden werden, zum Umformen des abgehobenen Spanes ist eine höhere Kraft aufzuwenden.  $k_S$  steigt demnach.

##### Spanungsdicke, Vorschub

Beim Abheben eines Spanes mit größerer Spanungsdicke wächst die Schnittkraft nicht proportional mit der Zunahme des Spanungsquerschnitts, sondern um einen geringeren Betrag.

Mit zunehmender Spanungsdicke (durch Wahl eines größeren Vorschubs) nimmt die spezifische Schnittkraft ab.

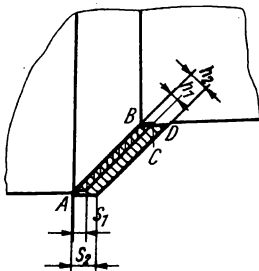


Bild 2.53. Längs der Linien  $\overline{ABCD}$  Abtrennen des jeweiligen Spanelements. Obwohl  $s_2 = 2 \cdot s_1$ ,  $\overline{ABED}$  nur wenig länger als  $\overline{ABC}$

Ursache: Maßgebend für die Größe der aufzubringenden Kraft bei der Spanbildung sind die Winkelverhältnisse am Schneidkeil, insbesondere die Größe des Spanwinkels. Im Bereich der Schneidkantenrundung wird der Spanwinkel negativ, entsprechend steigt der Kraftbedarf an. Da der Anteil der Schneidkantenrundung mit größer werdender Spanungsdicke prozentual abnimmt, muß sich die spezifische Schnittkraft verringern. Außerdem ist bei gleicher Spanungsbreite und größerer Spanungsdicke die im Eingriff befindliche Schneidkantenlänge nur wenig größer, so daß der Kraftanteil für das Abtrennen des Spanelements nur gering ansteigt (s. Bild 2.53). Im Versuchsfeld des Zentralinstituts für Fertigungstechnik, Karl-Marx-Stadt, ergaben sich unter den Bedingungen  $v = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $\alpha = 60^\circ$  und  $\gamma = 6^\circ$  beim Drehen die in Tafel 2.2 gegebenen Werte.

Tafel 2.2.  $k_S$ -Werte beim Drehen

Vorschub $s$ in mm	0,063	0,08	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	0,8	1,0	1,6	2,5
$k_S$ bei St 50 in $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$	421	400	378	332	294	260	229	216	205	180	161
$k_S$ bei GG 18 in $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$	206	192	182	162	145	129	115	108	102	92	80

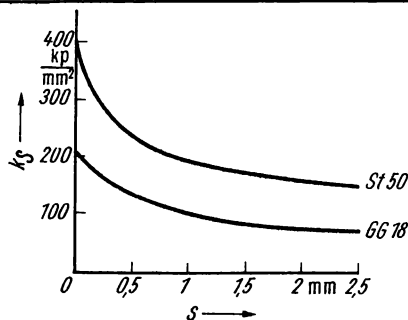
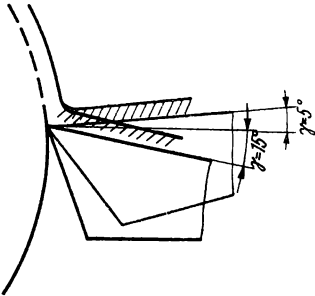


Bild 2.54. Grafische Darstellung des Vorschubeinflusses auf  $k_S$

Stehen bei Schrupparbeit mehrere Vorschübe zur Verfügung, so ist es wirtschaftlicher, mit dem größeren Vorschub zu arbeiten.

### Spanwinkel $\gamma$



Je kleiner  $\gamma$ , desto stärker muß der ablaufende Span abgebogen werden. Die erhöhte Umformarbeit bedingt eine größere Schnittkraft. Diese Einflußgröße kann im Korrekturfaktor  $K_\gamma$  erfaßt werden.

Aus ähnlichen Überlegungen lassen sich Abhängigkeiten für die anderen Winkel ableiten.

Bild 2.55. Spanwinkeleinfluß

### Schneidenverschleiß

Eine scharfe Werkzeugschneide dringt leichter in den Werkstoff ein als eine bereits abgestumpfte, bei der  $k_S$  um 30 ... 50% höher liegt (s. auch Erläuterungen zum Spannungsdickeneinfluß). Auch das kann durch den Korrekturfaktor  $K_{ver}$  berücksichtigt werden.

### Verfahren

Die  $k_S$ -Werte wurden ursprünglich für das Drehen ermittelt. Um jedoch mit diesen Tafelwerten die Schnittkräfte auch bei anderen Verfahren berechnen zu können, wurde ein weiterer Faktor, der Verfahrensfaktor, ermittelt, der die verfahrenstypischen Werkzeugformen, die Bedingungen des Spanablaufs und weitere den Spanungsprozess positiv oder negativ beeinflussenden Faktoren, z.B. beim Räumen, Fräsen, Bohren, berücksichtigt.

### Weitere Einflußgrößen

- Schnitttiefe,
- Spanungsverhältnis  $a : s$ ,
- Schnittgeschwindigkeit,
- Schneidenwerkstoff,
- Kühlung und Schmierung

können ebenfalls durch die Wahl von Korrekturfaktoren oder direkt bei der Aufstellung der  $k_S$ -Werte erfaßt werden.

### Erfassen der Einflußgrößen

Unter Beachtung der vielfältigen Einflüsse ergibt sich folgende Beziehung für die Berechnung der Schnittkraft:

$$F_S = b \cdot h \cdot k_S \cdot K_\gamma \cdot K_v \cdot K_{sch} \cdot K_{ver} \cdot f; \quad (16)$$

$F_S$	Schnittkraft
$b$	Spanungsbreite
$h$	Spanungsdicke
$k_S$	spezifische Schnittkraft
$K_\gamma$	Korrekturfaktor Spanwinkel
$K_v$	Korrekturfaktor Schnittgeschwindigkeit
$K_{sch}$	Korrekturfaktor Schneidstoff
$K_{ver}$	Korrekturfaktor Verschleiß
$f$	Verfahrensfaktor

## 2.5. Leistungen beim Spanen

### 2.5.1. Spanungsleistung

Die zum Spanen erforderliche Leistung ist aus der allgemeinen Leistungsgleichung ableitbar.

$$P = \frac{W}{t} \quad (17)$$

$$P = \frac{F \cdot s}{t} \quad (18)$$

$$P = F \cdot v \quad (19)$$

P Leistung  
W Arbeit  
t Zeit  
F Kraft  
s Weg  
v Geschwindigkeit

Somit lässt sich die beim Spanen wirksame Leistung aus dem Produkt der Kraft und der in Krafrichtung wirkenden Geschwindigkeit berechnen. Bei Verwendung der üblichen Größen ergibt sich die Zahlenwertgleichung (20).

$$P_S = \frac{F_S \cdot v}{60 \cdot 102} \quad (20)$$

$P_S$	$F_S$	$v$
kW	kp	$\frac{m}{min}$

$P_S$  Schnitt- oder Spanungsleistung (auch effektive Leistung  $P_e$  genannt)

$F_S$  Schnittkraft  
 $v$  Schnittgeschwindigkeit

Für Verfahren, bei denen mehrere Schneiden im Eingriff stehen, muß die Gleichung mit der Zähnezahl multipliziert werden.

$$P_S = \frac{F_S \cdot z_{iE} \cdot v}{60 \cdot 102} \quad (21)$$

$P_S$	$F_S$	$v$
kW	kp	$\frac{m}{min}$

$z_{iE}$  Anzahl der gleichzeitig im Eingriff befindlichen Zähne

Für die meisten Fälle ist es ausreichend, die aus der Schnittkraft und der Schnittgeschwindigkeit resultierende Leistung  $P_S$  zu ermitteln. Weitere Leistungskomponenten zeigt Bild 2.56.

### 2.5.2. Antriebsleistung

**Antriebsleistung > Schnittleistung**

Der Antriebsmotor der Werkzeugmaschine muß die zum Spanen notwendigen Leistungen aufbringen. Diese Antriebs- oder Motorleistung muß größer als die erforderliche Schnittleistung sein, da ein Teil der Motorleistung zum Überwinden der Getriebe- und Reibungsverluste benötigt wird. Außerdem werden vom Hauptmotor oftmals noch Drehmomente für den Vorschubantrieb oder Schmiermittelkreislauf abgezweigt. Diese Verluste werden durch den Maschinenwirkungsgrad  $\eta$  erfaßt.

$$P_A = \frac{P_S}{\eta}$$

(22)

$\eta$  schwankt je nach Antriebsverhältnissen, Alter und Zustand der Maschine zwischen 0,7 und 0,85. Demnach gilt Gl. (22):

$P_S$  Schnittleistung

$P_A$  Antriebsleistung

$\eta$  Maschinenwirkungsgrad

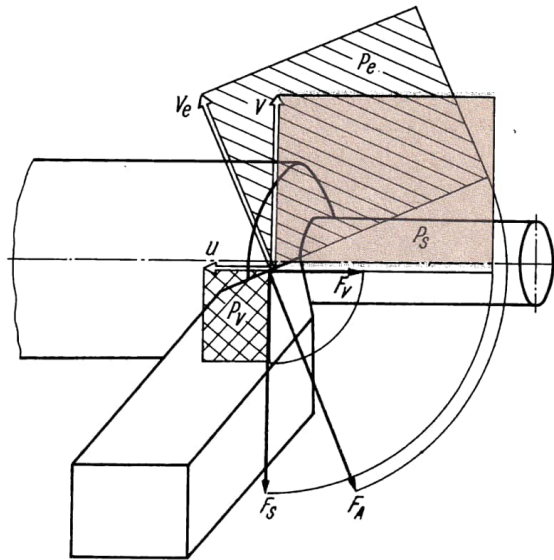


Bild 2.56. Grafische Darstellungen der Leistungen beim Drehen

$F_S \cdot v =$  Schnittleistung

$F_A \cdot v_e =$  Aktivleistung

$F_V \cdot u =$  Vorschubleistung

## 2.6. Erwärmung

Fast die gesamte bei der Zerspaltung aufgewandte Energie wird durch die äußere und innere Reibung in Wärme umgewandelt.

### Wärmequellen

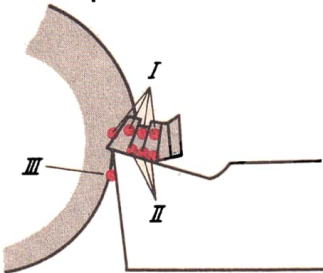


Bild 2.57. Wärmequellen beim Spanen

### Wärmequelle

I

### Ursache

innere Reibung durch Formänderungsarbeit beim Trennen, Scheren und Umformen des Spanes

II

Reibung des ablaufenden Spanes auf der Spanfläche des Meißels

III

Reibung der Werkzeugfreifläche am Werkstück

### Temperaturen

Die entstandene Wärmemenge führt zur Temperaturerhöhung der Schnittstelle und ihrer Umgebung. In Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit sind unterschiedliche Temperaturen am Werkzeug, Werkstück und im Span feststellbar (s. Bild 2.58).

Die Temperatur verteilt sich auch nicht gleichmäßig am Werkzeug, sondern sie ist in der Nähe der Schneidenspitze am höchsten und nimmt zum Schaft hin ab (s. Bilder 2.59 und 3.19).

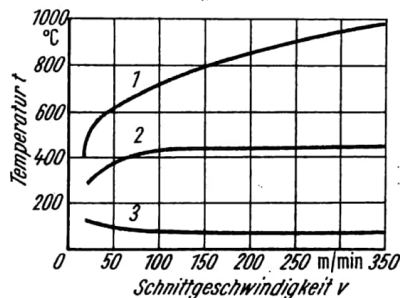


Bild 2.58. Temperaturen in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit  
1 Schneidentemperatur; 2 mittlere Spantemperatur; 3 Werkstücktemperatur

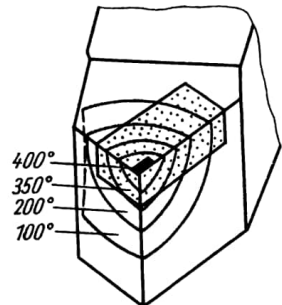
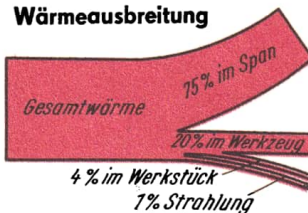


Bild 2.59. Temperaturfelder am Drehmeißel

### Wärmeausbreitung



Die erhöhte Temperatur führt zu einem Wärmeaustausch mit der Umgebung. Die weitaus größte Wärmemenge wird vom Span abgeführt (s. Bild 2.60). Die hier dargestellten Prozentangaben sind Mittelwerte bei einer Schnittgeschwindigkeit von  $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Bild 2.60. Wärmeausbreitung beim Spanen

## Erwärmung

Auswirkung	<u>Wärmeausdehnung</u>	<u>Gefügeveränderung</u>	<u>Unfallgefahren</u>
Folge	Fehl-messungen; Verformung an Werk-stück oder Maschine	verstärkter Verschleiß am Werk-zeug; Rand-schicht des Werkstücks verändert sich unter Umständen ungünstig	Verbrennun-gen und Augen-verletzungen des Arbeiters besonders bei Feinspänen (Drehen sprö-der Werkstoffe, Schleifen); ge-schlossene Arbeitskleidung und Augenschutz sind notwendig

### Verminderung der Erwärmung

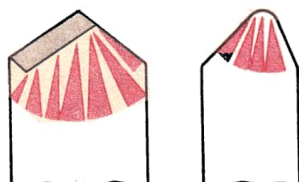


Bild 2.61. Breiter Schneidkeil begünstigt die Wärmeableitung

### Wärmeentstehung wird verringert durch:

- Wahl der richtigen Arbeitswerte, vor allem der Schnittgeschwindigkeit (s. Bild 2.58),
- scharfe Werkzeugschneide,
- richtige Schneidengeometrie,
- Herabsetzen der äußeren Reibung durch Schmiermittel.

### Verbesserung der Wärmeableitung ist möglich durch:

- großen Schneidkeil,
- langen Schneideneingriff,
- Kühlung oder Anwendung der Kühlschmierung.

## 2.7. Ergänzungen

Leitbegriff	Bemerkungen

Leitbegriff	Bemerkungen

### 3. Werkzeug

#### 3.1. Ausführungsformen und -arten

Die Forderung nach hoher Ökonomie des Spannungsvorgangs wird entscheidend durch das Werkzeug beeinflusst. Es besteht aus dem Werkzeu­gkörper mit dem Einspannteil und den Schneiden.

##### Werkzeugkörper

Trägt die Werkzeugschneiden, wird mit der Werkzeugspanneinrichtung in der Maschine befestigt. Je nach Bearbeitungsverfahren und Maschinenart sind unterschiedliche Ausführungsformen möglich.

Tafel 3.1. Beispiele für Einspannteile von Werkzeugen

Werkzeuge	Dreh- und Stoßmeißel	Bohrer, Stirnfräser, Fräser kleiner Durchmesser, Senker, Reibahlen	umlaufende Werkzeuge großer Durchmesser (Walzenfräser, Schleifscheiben, Kreissägeblätter)
Ausführung	quadratischer, rechteckiger oder runder Querschnitt	zylindrischer Schaft, Werkzeugkegel mit und ohne Anzugsgewinde	Bohrung zur Aufnahme von Dornen oder Spindeln

##### Schneidenform

Die Grundform der Werkzeugschneide ist der Keil. Unter Beibehaltung der Keilform ist das Werkzeug den verschiedensten Anforderungen angepaßt worden. Die Formenvielfalt der Werkzeuge wird durch die Schneidengeometrie erfaßt.

##### Anzahl der Schneiden

Nach der Anzahl der Hauptschneiden wird in ein-, zwei- und mehrschneidige Werkzeuge eingeteilt. Ein Drehmeißel, obwohl er eine Haupt- und Nebenschneide hat, kann nur jeweils einen Span abheben. Er zählt deshalb zu den einschneidigen Werkzeugen.



Einschneidig	Zweischneidig	Mehrschneidig
Drehmeißel,	Spiralbohrer,	Walzen- und
Hobel- bzw.	Spitzbohrer,	Walzenstirnfräser,
Stoßmeißel,	Zentrierbohrer,	Messerköpfe,
Gravierfräser	T-Nutenfräser,	Reibahlen,
	Langlochfräser,	Gewindebohrer,
		Sägeblätter,
		Schleifscheiben

### Werkzeuge mit eingesetzten Schneiden

Häufig fertigt man den Werkzeugkörper aus Baustahl an und setzt die Schneide ein, um

- wertvollen Schneidstoff zu sparen
- die geringe Biegefestigkeit der modernen Schneidstoffe zu berücksichtigen
- ein schnelles Auswechseln unbrauchbarer Schneiden zu ermöglichen.

### Schneidenbefestigung

Werkstoff	Befestigungsart
Schnellarbeitsstahl	Schweißen, Löten, Klemmen
Keramik	Kleben, Klemmen
Schneiddiamant	Klemmen, Kitten, Kleben

## 3.2. Schneidengeometrie

Die Schneidengeometrie umfaßt die Untersuchung der Form und Lage der einzelnen Flächen, Ecken, Kanten und Winkel am Werkzeug sowie ihre gegenseitigen Beziehungen.

### Geometrisch unbestimmte Schneiden

Die Untersuchung der Werkzeugschneide setzt voraus, daß der Schneidkeil eine regelmäßige geometrische und damit bestimmte Form hat. Das gilt für alle spanenden Werkzeuge mit Ausnahme des Schleif-, Hon- und Läppkorns. Seine Form ist, durch die Herstellung bedingt, unregelmäßig – sie ist geometrisch unbestimmt.

#### 3.2.1. Flächen, Schneiden, Ecken und Fasen

##### Spanfläche

Fläche des Schneidkeils, auf der der Span abläuft.

##### Freifläche

Fläche am Schneidkeil, die der im jeweiligen Moment entstehenden Schnittfläche zugekehrt ist. Bei Werkzeugen mit Haupt- und Nebenschneide treten zwei Freiflächen auf.

##### Hauptfreifläche Nebenfreifläche

Man unterscheidet demnach in Freifläche der Hauptschneide (Hauptfreifläche) und Freifläche der Nebenschneide (Nebenfreifläche).

## Fasen

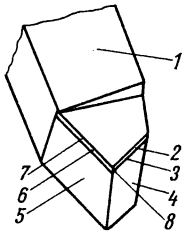


Bild 3.1. Bezeichnungen am Schneidkeil  
1 Schaft; 2 Spanflächenfase der Nebenschneide; 3 Nebenschneide; 4 Freifläche der Nebenschneide; 5 Freifläche der Hauptschneide; 6 Freiflächenfase der Hauptschneide; 7 Hauptschneide; 8 Schneidenecke

## Schneiden

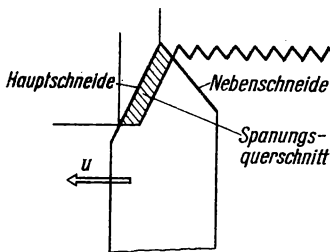
Kanten (Linien), die durch eine Span- und Freifläche gebildet werden.

### Hauptschneide

Jede Schneide, die bei normalem Gebrauch des Werkzeugs in Vorschubrichtung weist. Sie wird von der Spanfläche und der Hauptfreifläche gebildet. Die Hauptschneide leistet die hauptsächliche Spanungsarbeit, zerlegt die Bearbeitungszugabe und schneidet ein.

### Nebenschneide

Jede Schneide am Werkzeug, die nicht in Vorschubrichtung weist. Bezeichnungen und Winkel erhalten den Index n.



Die Nebenschneide trennt das Spanelement ab (s. Bild 3.2) und beeinflusst in der Regel die Mikroform der entstehenden Oberfläche.

Bild 3.2. Wirkung von Haupt- und Nebenschneide

### Schneidenecke

Der Punkt, an dem Haupt- und Nebenschneide zusammen treffen.

## 3.2.2. Bezugssysteme zur Bestimmung der Winkel am Schneidkeil

### Bestimmungsebenen

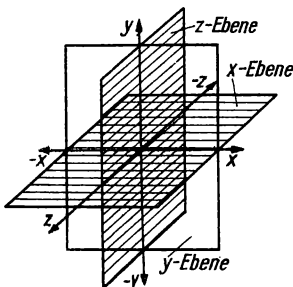


Bild 3.3. Dreidimensionales Koordinatensystem

Die Schneiden, Flächen und ihre Winkel müssen exakt meß-, berechnen- und herstellbar sein. Deshalb ist es erforderlich, die Werkzeugschneide in einem gedachten System von Ebenen zu betrachten. Da zur Bestimmung der Lage eines Punktes im Raum drei Koordinaten (x-, y- und z-Richtung) erforderlich sind, wurden drei Bezugsebenen gebildet, die rechtwinklig aufeinanderstehen (Bild 3.3). In Abweichung von der mathematischen Begriffsbestimmung bezeichnet man die Ebenen nicht mit x, y und z, sondern nach ihrer Funktionsbestimmung als:

- Bezugsebene,
- Schneidenebene,
- Keilmeßebebene.

## Bezugssysteme

In der Spanungsforschung wird unterschieden:

- Werkzeugbezugssystem  
für das nicht arbeitende Werkzeug;
- Wirkbezugssystem  
für das im Eingriff befindliche Werkzeug.

Die Winkel im Wirkbezugssystem werden durch den Index  $e$  (effektiv) unterschieden, die übrigen Begriffe durch Voranstellen des Wortes „Wirk“ kenntlich gemacht. Beide Bezugssysteme unterscheiden sich in ihrer Lage durch den Winkel zwischen Schnitt- und Wirkrichtung (s. S. 14).

## Ebenen im Werkzeugbezugssystem

### Bezugsebene

Bei vielen Verfahren ist dieser Winkel vernachlässigbar klein, daher werden alle weiteren Aussagen auf das Werkzeugbezugssystem bezogen.

Sie ist Ausgangspunkt für die Bestimmung des Werkzeugbezugssystems. Sie wird so durch den betrachteten Schnittpunkt gelegt, daß sie senkrecht zur angenommenen Schnitttrichtung steht. Die Bezugsebene wird nach einer Hauptachse oder Kante des Werkzeugs ausgerichtet.

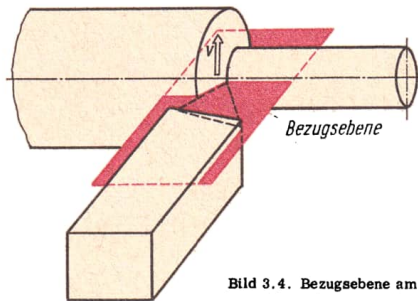


Bild 3.4. Bezugsebene am Drehmeißel

Bei umlaufenden Werkzeugen verläuft die Werkzeugbezugsebene durch den betrachteten Schnittpunkt und die Mittelachse.

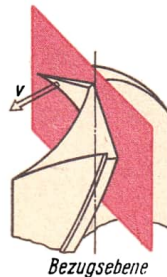


Bild 3.5. Bezugsebene am Spiralbohrer

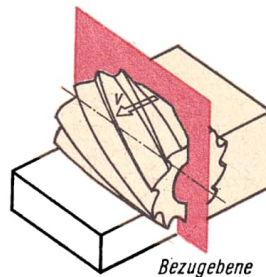


Bild 3.6. Bezugsebene am Walzfräser

## Schneidenebene

Rechtwinklig zur Bezugsebene errichtet, verläuft in Richtung der Schnittbewegung. Sie berührt die entstehende Schnittfläche.

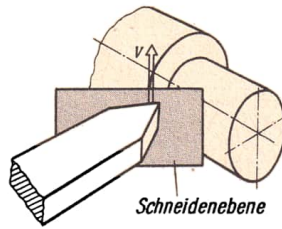


Bild 3.7. Schneidenebene am Drehmeißel

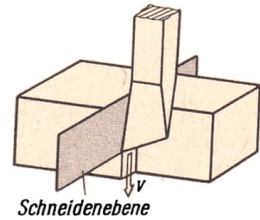


Bild 3.8. Schneidenebene am Stoßmeißel

## Keilmeßebe

Steht senkrecht auf der Schneidenebene und der Bezugsebene. In ihr werden die Hauptwinkel des Schneidkeils gemessen.

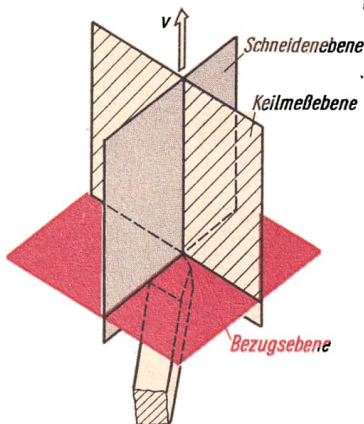


Bild 3.9. Bezugssystem beim Drehen

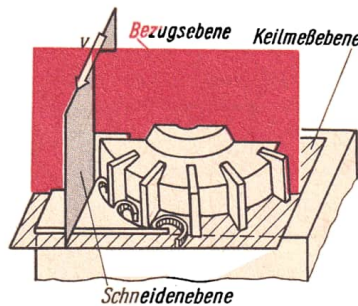


Bild 3.10. Bezugssystem beim Stirnfräsen

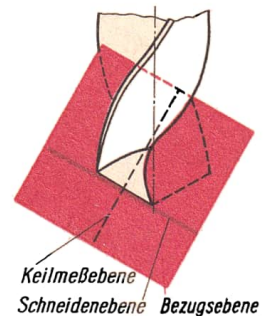


Bild 3.11. Bezugssystem beim Bohren

### 3.2.3. Winkel am Werkzeug

#### Freiwinkel $\alpha$

Winkel zwischen der Freifläche des Werkzeugs und der Schneidenebene. Da die Schneidenebene mit der Schnittfläche zusammenfällt oder sie tangiert, lässt sich der Freiwinkel auch als Winkel zwischen der Freifläche und der Schnittfläche beschreiben.

#### Keilwinkel $\beta$

Winkel zwischen Spanfläche und Freifläche.

#### Spanwinkel $\gamma$

Winkel zwischen Spanfläche des Werkzeugs und Bezugsebene.

#### Schnittwinkel $\delta$

Winkel zwischen Schneidenebene und Spanfläche des Werkzeugs. Er ergibt sich als Summe des Freiwinkels und Keilwinkels.

$$\delta = \alpha + \beta$$

(23)

Die genannten Winkel werden in der Keilmeßebene bestimmt. Sie lassen sich daher alle in ihr abbilden.

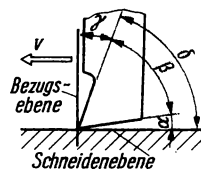


Bild 3.12. Winkel in der Keilmeßebene am Stoßmeißel

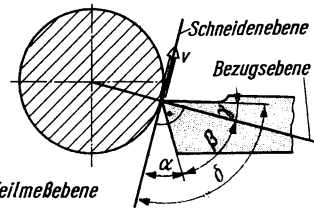


Bild 3.13. Winkel in der Keilmeßebene am Drehmeißel beim Einstechdrehen

Durch die Definition der Ebenen müssen die drei Winkel  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$ , die zwischen der Schnittebene und der Bezugsebene liegen, die Winkelsumme von  $90^\circ$  ergeben.

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (24)$$

Bei der Wahl besonderer Werkzeuge kann sich der Schnittwinkel  $\delta$  größer als  $90^\circ$  ergeben, der Spanwinkel  $\gamma$  wird dann negativ.

In diesem Fall, wie Bild 3.13 zeigt, gilt  $\alpha + \beta + (-\gamma) = 90^\circ$ .

**Spitzenwinkel  $\varepsilon$**

Winkel zwischen Haupt- und Nebenschneide. Er gibt die Schlankheit des Schneidkeils an.

**Einstellwinkel  $\varphi$**

Winkel zwischen Arbeitsebene und Schnittebene. Die Winkel  $\varphi$  und  $\varepsilon$  werden in der Werkzeugbezugsebene gemessen, sie können daher gemeinsam in einer Ansicht abgebildet werden (s. Bild 3.14).

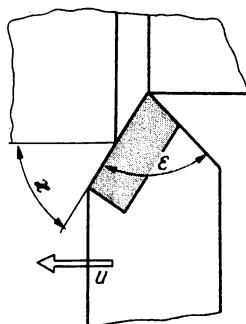


Bild 3.14. Winkel in der Bezugsebene

## Neigungswinkel $\lambda$

Winkel zwischen der Hauptschneide und der Bezugsebene.  $\lambda$  wird in der Schneidenebene gemessen. Bei einer in Richtung der Bezugsebene ausgerichteten Schneide ist er daher Null (s. Bild 3.15).

Schneidet die Schneidenecke der übrigen Schneide voraus, ist  $\lambda$  positiv.

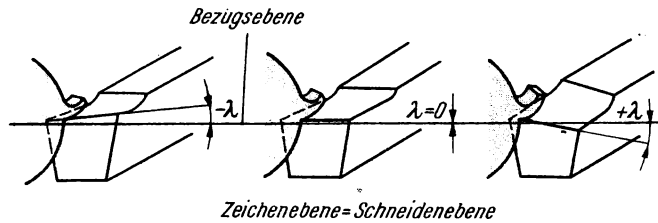


Bild 3.15. Neigungswinkel  $\lambda$  beim Drehen

## Werkzeugwinkel

Die Winkel  $\beta$  und  $\epsilon$  werden von Werkzeugflächen oder -kanten gebildet. Sie werden daher nur vom Anschliff des Werkzeugs bestimmt und sind vom Spanungsprozeß nicht beeinflussbar.  $\beta$  und  $\epsilon$  sind Werkzeugwinkel.

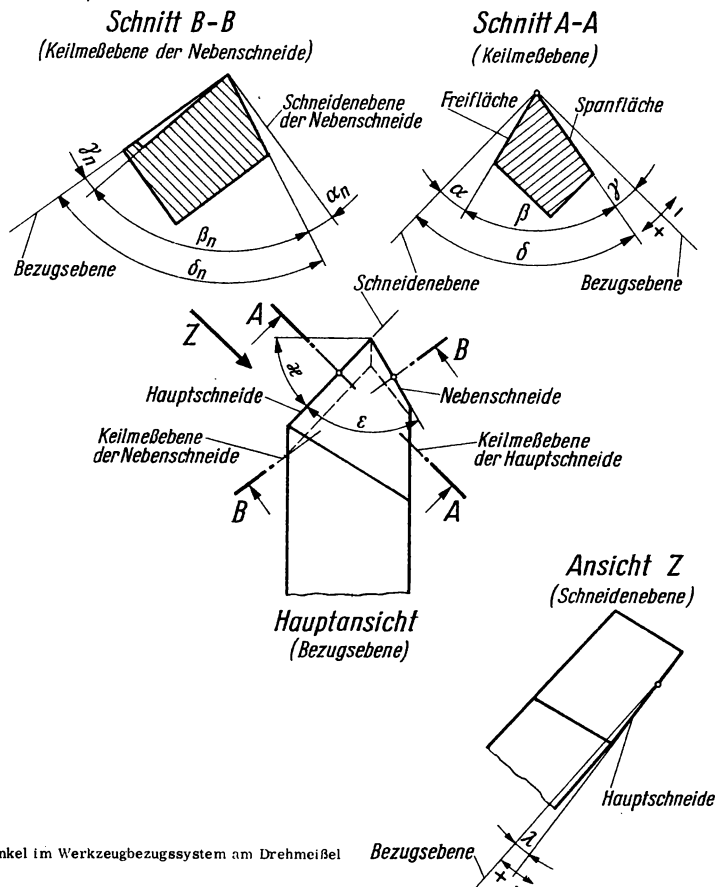


Bild 3.16. Winkel im Werkzeug Bezugssystem am Drehmeißel

## Arbeitswinkel

Die Winkel  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\varphi$  und  $\lambda$  werden einerseits von einer Kante oder Fläche des Werkzeugs und andererseits von einer Ebene des Bezugssystems begrenzt. Sie ändern ihre Größe mit der Lage des Werkzeugs im Bezugssystem und hängen somit von der jeweiligen Einstellung ab. Man nennt sie daher auch Arbeitswinkel.

### Einfluß der Winkelgröße auf den Spanungsprozeß

<u>Winkel</u>	<u>Vergrößerung</u>	<u>Verkleinerung</u>
Freiwinkel $\alpha$	hat oberhalb eines Mindestbetrags nur geringen Einfluß auf die Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück; <u>Anwendung bei rauher Oberfläche</u>	<u>Anwendung bei hoher Oberflächengüte</u>
Keilwinkel $\beta$	bewirkt erschwertes Eindringen des Schneidkeils, aber größere Standfestigkeit, bessere Wärmeableitung; <u>Anwendung bei festen Werkstoffen</u>	bewirkt sinkende Schnittkräfte, aber geringere Standfestigkeit, erschwerte Wärmeableitung; <u>Anwendung bei weichen Werkstoffen</u>
Spanwinkel $\gamma$	ermöglicht verbesserte Spanabfuhr und Fließspanbildung, ergibt sinkende $k_s$ -Werte; <u>Anwendung bei Bearbeitung zäher Werkstoffe, zur Erzielung hoher Oberflächengüten</u>	führt zu wachsenden $k_s$ -Werten; bei negativem Spanwinkel dringt Schneidspitze als letzter Punkt der Schneide ein (hohes Standvermögen); <u>Anwendung bei sprödem Schneidstoff und schwerem oder unterbrochenem Schnitt</u>
Spitzenwinkel $\epsilon$	bewirkt größere Widerstandsfähigkeit der Schneidenecke; bei Vorliegen einer Eckenrundung geringe Furchung des Werkstücks, hohe Oberflächengüte; <u>Anwendung zur Erhöhung des Standvermögens; bei Verwendung als Breitschlichtmeißel: Schleppschneide zum Glätten</u>	ergibt Erhöhung des Eckenverschleißes; <u>Anwendung s. Einstellwinkel</u>
Einstellwinkel $\varphi$	bewirkt Anwachsen der Vorschubkraft, kurzen Schneideingriff, hohe spezifische Beanspruchung der Schneidkante; <u>Anwendung bei instabilen Werkstücken</u>	bewirkt Anwachsen der Passivkraft bei Verkleinerung der Vorschubkraft, größeren Eingriff der Schneidkante; <u>Anwendung bei stabilen Werkstücken</u>

Winkel

Vergrößerung

Verkleinerung

Neigungswinkel  $\lambda$

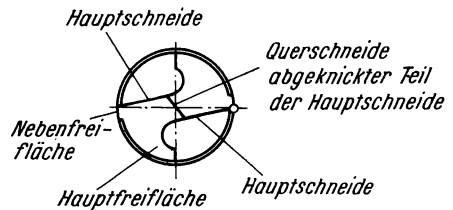
Schneidenecke kommt  
zuerst zum Eingriff,  
Gefahr des Bruchs;

fördert bei negativem  
Neigungswinkel Entstehen  
von Wendelspänen, günstigen  
Spanablauf; führt zu Voraus-  
eilen der Schneide gegenüber  
der Schneidenecke; schützt  
die Schneidenecke;

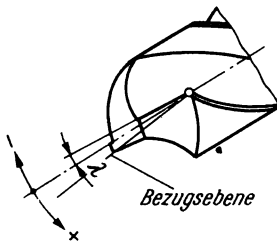
Anwendung bei kontinuier-  
lichem Schnitt und  
Schlichten

Anwendung bei unterbroche-  
nem Schnitt (Fräsen mit  
Fräsköpfen) und ungünstiger  
Spanbrechung

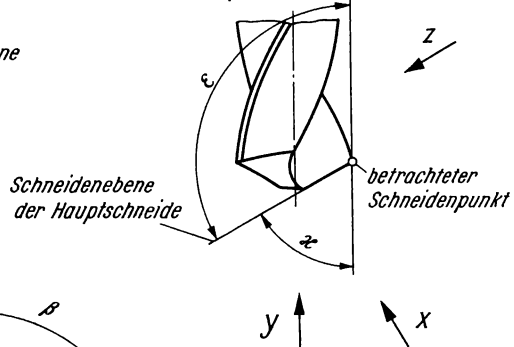
*Ansicht y*



*Ansicht x  
(Schneidenebene)*



*Hauptansicht (Bezugsebene)*



*Ansicht z  
(Keilmeßebeine)*

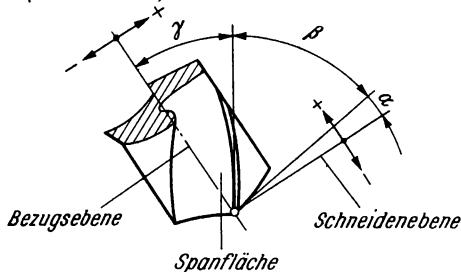


Bild 3.17. Winkel im Werkzeugbezugssystem am Spiralbohrer



### 3.3. Schneidstoffe

#### Definition.

Als Schneidstoff (auch Schneidenwerkstoff bzw. Werkzeugwerkstoff) wird der Werkstoff bezeichnet, aus dem der Schneidkeil hergestellt ist.

#### Anforderungen

Möglichst hohe Werte bei:

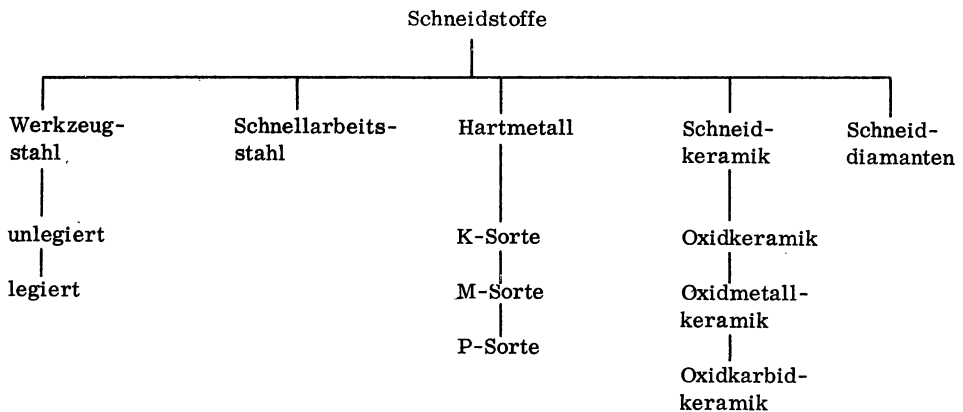
- Härte und Druckfestigkeit,
- Biegefestigkeit und Zähigkeit,
- Kantenfestigkeit,
- innerer Bindefestigkeit,
- Warmfestigkeit,
- Zunderbeständigkeit,
- Wärmeleitfähigkeit.

Möglichst geringe Werte bei:

- Diffusion,
- Klebneigung gegenüber den zu bearbeitenden Werkstoffen,
- spezifischer Wärme,
- Wärmedehnung.

#### Einteilung

Tafel 3.2. Schneidstoffe



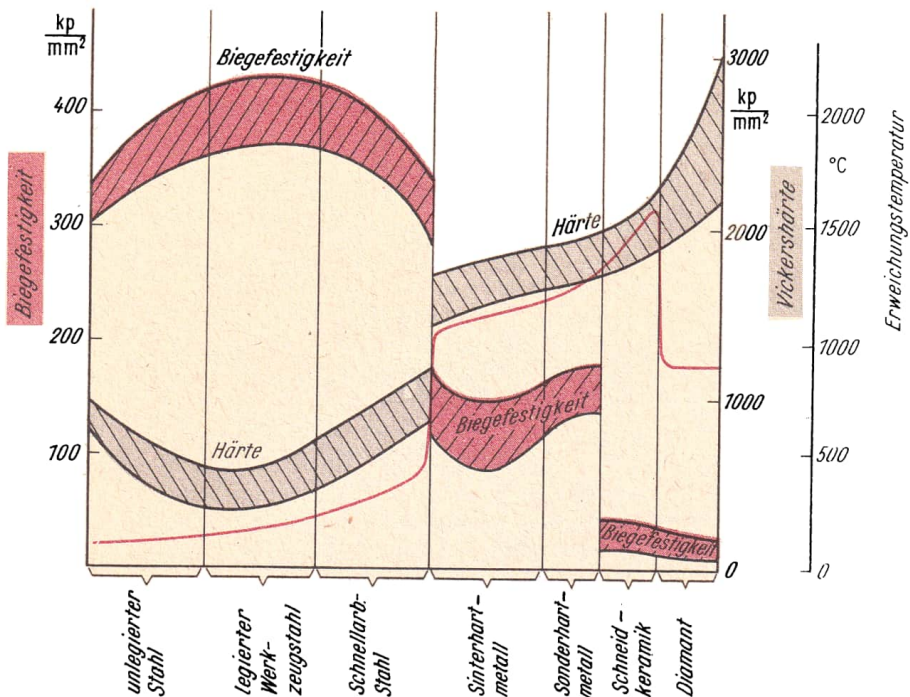


Bild 3.18. Eigenschaften der gebräuchlichsten Schneidstoffe

### Eigenschaften, Zusammensetzung und Einsatz der Schneidstoffe

Werkstoff	Eigenschaften	Zusammensetzung	Einsatz
Werkzeugstahl			
unlegiert	<p>Warmhärte etwa 200 <math>^{\circ}C</math></p> <p>gleichmäßiges Härteverhalten</p> <p>geringe Anlaßbeständigkeit</p> <p>große Verschleißfestigkeit</p> <p>gute Schlagfestigkeit</p>	<p>0,6 ... 1,3% C</p> <p>C &gt; 1%</p> <p>C &lt; 1%</p>	<p>bei geringer Erwärmung</p> <p>handgeführte Werkzeuge</p> <p>Werkzeuge mit großer Verschleißbeanspruchung</p> <p>stoß- und schlagbeanspruchte Werkzeuge</p> <p>Handarbeitswerkzeuge</p>
legiert	<p>Warmhärte etwa 300 <math>^{\circ}C</math></p> <p>bessere Anlaßbeständigkeit als bei unlegiertem WS; Warmfestigkeit und Verschleißfestigkeit steigen</p>	<p>C, Legierungselemente W, Cr, Co, V</p>	<p>Werkzeuge zum Bearbeiten von Holz und Gestein</p>

Werkstoff	Eigenschaften	Zusammensetzung	Einsatz
Schnellarbeits- stahl (SS oder HSS)	Warmhärte etwa 600 °C  gutes Härte- verhalten  gute Anlaß- beständigkeit	C, Legierungs- elemente Cr, W, Mo, V, Co	für $v_{\max}$ etwa 40 m · min <sup>-1</sup> bei Stahl  Kühlung notwendig  für mehrschneidige Werkzeuge (Fräser, & Räumwerkzeuge usw.) Formdrehmeißel Stechmeißel
Hartmetall (HM) (Sinter- hartmetall)	Warmhärte etwa 1000 °C  hart, spröde, schlagempfindlich  mit steigendem Karbidanteil wächst Härte und Sprödigkeit	Wolframkarbide, Titan- und Tantal- karbide  Bindemittel Co, Fe, Ni  geringe Mengen von Tantal, Niob	ohne Kühlung und Schmierung
K-Sorte	große Verschleiß- festigkeit	niederer Kobalt- gehalt	Bearbeitung von kurz- spanenden Werkstoffen Gußeisen Plasten
M-Sorte	Kombination zwischen K- und P-Sorte	großer Tantal- karbidgehalt	Bearbeitung von lang- und kurz- spanenden Werkstoffen
P-Sorte	große Zähigkeit und Schneidkantenfestigkeit	großer Titankarbid- gehalt	Bearbeitung von lang- spanenden Werkstoffen
Schneidkeramik (SK)	Warmhärte über 1000 °C  große Härte  hohe Verschleiß- festigkeit geringer Kolk- verschleiß  geringe Zähigkeit  Sprödigkeit nimmt mit Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Gehalt zu  schwingungs- und stoß- empfindlich  schlechte Wärmeleit- fähigkeit	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Aluminium- oxid) als Basis	Feinbearbeitung $v_{\max}$ 500 m · min <sup>-1</sup>  nicht für unterbrochene Schnitte  für kleine Schnittkräfte  keine Kühlung notwendig

Fortsetzung der Tafel auf Seite 52

Werkstoff	Eigenschaften	Zusammensetzung	Einsatz
Oxidkeramik	wie oben	$\text{Al}_2\text{O}_3$	Mehrzwecksorte für Stahl und Guß
Oxidmetall-keramik		$\text{Al}_2\text{O}_3$ Zusätze von Molybdän Titan	Bearbeitung von lang-spanenden Werkstoffen
Oxidkarbid-keramik	Zähigkeit nimmt zu	$\text{Al}_2\text{O}_3$ Zusätze von Wolframkarbid Titankarbid Molybdänkarbid	Bearbeitung von kurz-spanenden Werkstoffen
Schneiddiamanten (SD)	Warmhärte $< 800\text{ }^\circ\text{C}$  große Härte und Sprödigkeit  große Stoßempfindlichkeit  hohe Verschleißfestigkeit  geringe Reibung in den Kontaktzonen	reiner Kohlenstoff	Fein- und Feinstbearbeitung  an schwingungsarmen Maschinen  zur Bearbeitung von Schwermetallen, Lagermetallen, Edelmetallen, Leichtmetallen, Hartgummi, Weichgummi, Kunststoffe aller Art, Glas <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> Glas Stahl Stahlguß Gußeisen </div> <div style="font-size: 2em; margin-right: 10px;">}</div> <div> nur bedingt </div> </div> bei hohen Schnittgeschwindigkeiten Kühlung mit Spiritus, Petroleum, Terpentin

### 3.4. Verschleiß

#### 3.4.1. Allgemeines

##### Begriff

Verschleiß ist die allmähliche, unbeabsichtigte Oberflächenveränderung durch das Abtragen von kleinsten Werkstoffteilchen.

##### Ursachen

##### Mechanische Beanspruchung

Durch Flächenpressung und Relativbewegung zwischen Werkstück und Freifläche des Werkzeugs sowie durch den Druck des ablaufenden Spanes auf die Spanfläche entsteht Reibung.

Chemische  
Beanspruchung

Zwischen Kühlmittel, Kühlmitteldämpfen, Luftsauerstoff, Span und Schneidwerkstoff treten chemische Reaktionen auf.

Elektrochemische  
Beanspruchung

Temperaturdifferenzen zwischen den Kontaktstellen unterschiedlicher Werkstoffe führen zu Thermospannungen. Schneidkeil und Werkstück weisen elektrochemisch ein verschiedenes Potential auf.

Es bilden sich geschlossene Stromkreise, die eine Magnetisierung der Schneide hervorrufen und Werkstoffveränderungen bewirken.

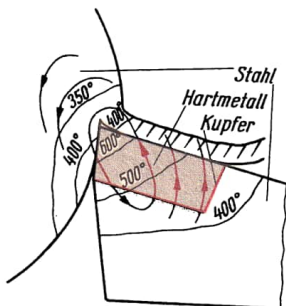


Bild 3.19. Entstehung von Thermoströmen

Diffusion

Atome bestimmter Schneidstoffanteile dringen durch Lösungsvorgänge in den Span oder Werkstückwerkstoff ein.

Thermische  
Beanspruchung

Bei hohen Temperaturen erweicht der Schneidstoff. Außerdem bedingen Temperaturunterschiede zwischen Werkzeugschneide und Werkzeugschaft Wärmespannungen. Bei erhöhter thermischer Beanspruchung werden alle genannten Verschleißursachen in verstärktem Maß wirksam (s. Abschn. 2.6.).

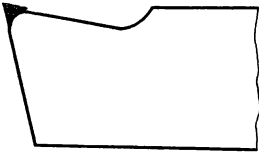
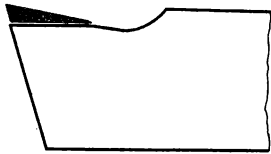
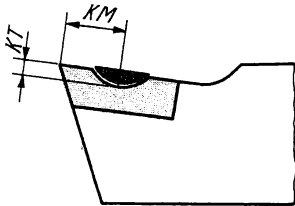
Preßschweißung

Festsetzen von Metallstaub durch Sintern und Verschweißen kleinster Spanteilchen auf der Spanfläche.

## Verschleißformen

<u>Formen</u>	<u>Ursachen</u>	<u>Auswirkung</u>
<p>Freiflächenverschleiß</p> <p>Bild 3.20  <math>\Delta x</math> Versatz der Meißelschneide  B Verschleißmarkenbreite</p>	Reibung am Werkstück	Versatz der Meißelschneide (Maßungenaugigkeit des Werkstücks)

Fortsetzung auf Seite 54

<u>Formen</u>	<u>Ursachen</u>	<u>Auswirkung</u>
<p>Schneidkantenrundung</p>  <p>Bild 3.21</p>	<p>mechanische Beanspruchung der Schneidenspitze</p>	<p>Veränderung der Schneidengeometrie; wachsener Keilwinkel; höhere Schnittkräfte erforderlich; Anstieg der Erwärmung; schlechte Oberflächengüte</p>
<p>Spanflächenverschleiß</p>  <p>Bild 3.22</p>	<p>Abrieb der Spanfläche</p>	
<p>Kolkverschleiß</p>  <p>Bild 3.23</p> $K = \frac{K_T}{K_M} \quad (25)$	<p>Legierungsbestandteile des Schneidstoffes diffundieren in den Span; Bindefestigkeit des Schneidstoffes wird geschwächt</p> <p>K Kolkzahl K<sub>T</sub> Kolkhöhe K<sub>M</sub> Kolkmitteabstand</p>	<p>Veränderung der Spanfläche; Querschnitt der Schneide geschwächt; Schneidenausbruch möglich; Hartmetall zersetzt sich und bröckelt aus</p>

Die folgenden Vorgänge sind nicht auf unmittelbaren Verschleiß zurückzuführen, beeinträchtigen aber ebenfalls die Schneidfähigkeit des Werkzeugs.

#### Erweichung

Stahl wird bei Erwärmung über die Erweichungstemperatur durch Gefügeveränderungen weich

keine Schneidfähigkeit;  
plastische Formänderung der Werkzeugschneide;  
sprunghafter Verschleiß

Fortsetzung auf Seite 55

<u>Formen</u>	<u>Ursachen</u>	<u>Auswirkung</u>
<u>Verzunderung</u>	thermische Überlastung des Werkzeugs	Zunderschicht am Werkzeug
<u>Schneidenausbruch</u>	zu hohe Schnittkräfte; unsachgemäße, vor allem stoßweise Belastung	völlige Unbrauchbarkeit des Werkzeugs
<u>Aufbauschneide</u>	Metallstaub sintert auf Schneidenspitze fest, Schneidenaufbau wächst rasch und wird vom Werkstück mitgerissen	unsaubere Werkstückoberfläche; Wärmestau in der Schneide

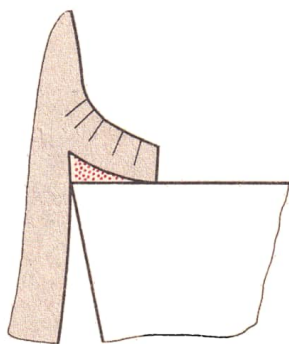


Bild 3.24. Entstehung der Aufbauschneide

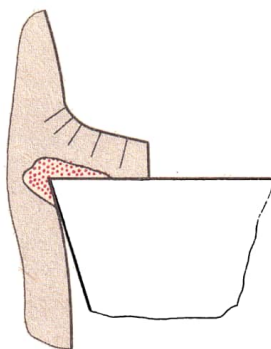


Bild 3.25. Schneidenaufbau drückt sich ins Werkstück ein

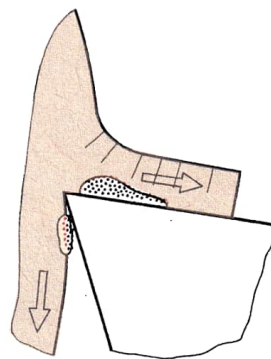


Bild 3.26. Abwandern der Aufbauschneide

Alle Verschleißformen können sowohl einzeln als auch kombiniert mit anderen Verschleißformen oder den weiteren Erscheinungen am Werkzeug auftreten.

#### 3.4.2. Standgrößen

##### **Begriff**

Standgrößen sind Normative für das Standvermögen der Werkzeuge. Sie stellen ein Maß für die Leistungsfähigkeit dar, die ein Werkzeug bis zu seiner durch den Verschleiß bedingten Abstumpfung erreicht.

Je nach Werkzeugart wird das Standvermögen durch unterschiedliche Standgrößen beurteilt:

##### **Standzeit**

Reine Schnittzeit vom Eingriff eines scharfen Werkzeugs bis zu dessen Wiederanschleiff.

Die Standzeit ist bei einschneidigen Werkzeugen (Dreh-, Stoßmeißel) sowie bei Fräsköpfen das Maß für das Standvermögen.

## Standweg

Weg, den ein scharfes Werkzeug bis zu seinem Wiederanschliff schneidend im Einsatz sein kann. Der Standweg, in Vorschubrichtung gemessen (auch Standlänge genannt), wird für die meisten mehrschneidigen Werkzeuge (Fräser, Bohr- und Gewindeschneidwerkzeuge) ermittelt.

## Standmenge

Diejenige Anzahl von Werkstücken, die von einem Werkzeug mit einem Anschliff bearbeitet werden können. Die Standmenge wird vor allem bei automatischen Maschinenfließreihen als Maß für das Standvermögen benötigt.

## Standkriterien

Das Ende des Standvermögens wird von bestimmten für den Verschleiß typischen Merkmalen bestimmt. Als Kriterium hierfür gelten das Anwachsen der Rückkraft und vor allem das Erreichen bestimmter Verschleißgrößen.

Zulässige  
Verschleißgrößen

### ● Freiflächenverschleiß

$B_{\text{zul}} = 0,2 \dots 0,4 \text{ mm}$  bei Schlichtbearbeitung  
 $0,6 \dots 1,2 \text{ mm}$  bei Schruppbearbeitung

### ● Kolkverschleiß (s. Bild auf Seite 54)

$K_T \text{ zul} = 1,0 \dots 1,5 \text{ mm}$  und

$$K = \frac{K_T}{K_M} = 0,4 \quad (26)$$

$B_{\text{zul}}$  zulässige Verschleißmarkenbreite der Freifläche

$K_T$  Kolktiefe

$K_T \text{ zul}$  zulässige Kolktiefe

$K_M$  Kolkmittenabstand

$K$  Kolkzahl

Eine das Standkriterium übersteigende Belastung des Werkzeugs führt zu:

- starkem Anwachsen der Schnittkräfte,
- erhöhtem Leistungsbedarf,
- Qualitätsmängeln des Werkstücks,
- steigender Wärmeentwicklung und somit zu immer rascherem Verschleiß (Wechselwirkung).

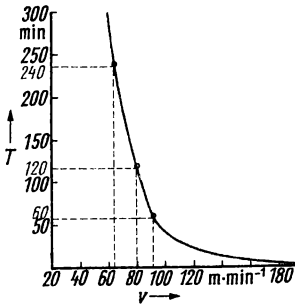
## Einflußgrößen

Das erreichbare Standvermögen ist abhängig von:

- Schneidstoff,
- Schneidengeometrie,
- Werkstoff des Werkstücks,
- Größe evtl. auftretender Erschütterungen,
- Spanungsquerschnitt,
- Kühlung und Schmierung sowie
- Schnittgeschwindigkeit.



## Standzeitschnittgeschwindigkeit



Erfasst die Auswirkung der leicht zu verändernden Einflußgröße Schnittgeschwindigkeit auf die Standzeit. Bei wachsender Schnittgeschwindigkeit entsteht durch Zunahme der Erwärmung ein stärkerer Verschleiß, wodurch die Standzeit abnimmt (s. Bild 3.27). Die dargestellte Kurve ist eine Exponentialfunktion.

Bild 3.27. T-v-Diagramm

$$T = C_1 \cdot v^{-C_2} \quad (27)$$

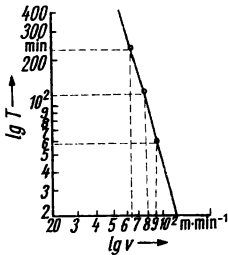


Bild 3.28. T-v-Diagramm bei logarithmischer Koordinatenteilung

T Standzeit  
v Schnittgeschwindigkeit  
 $C_1, C_2$  Konstanten (von den übrigen Einflüssen abhängig)

Die T;v-Beziehung ergibt im logarithmischen Koordinatensystem eine Gerade (s. Bild 3.28).

Zur Erfassung dieses Zusammenhangs dient der Begriff der Standzeitschnittgeschwindigkeit. Im Bild 3.27 erreicht das Werkzeug bei  $v = 64 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  eine Standzeit von 240 min.

Die Standzeitschnittgeschwindigkeit lautet:

$$v_{240} = 64 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}, \text{ dem entspricht}$$

$$v_{120} = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}.$$

## Standwegschnittgeschwindigkeit

Wird mit  $v_L$  bezeichnet, z. B.

$$v_{L 5000} = 18 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1},$$

gibt die Schnittgeschwindigkeit an, bei der ein Bohrer eine Standlänge von 5000 mm erreicht. Die Wahl der wirtschaftlichen Standzeitschnittgeschwindigkeit hängt von unterschiedlichen Bedingungen ab (s. Abschn. 5.2.).

### 3.4.3. Maßnahmen zur Erhöhung des Standvermögens

Ein Grundsatz der modernen Spannungstechnik ist: möglichst hohe Standgrößen bei großen Spanungsleistungen.

Man erzielt das vor allem auf dem Weg über die Verminderung der Erwärmung (s.S. 38), aber auch durch Behandlung der Werkzeuge, die durch geeignete Maßnahmen eine höhere Verschleißfestigkeit erhalten.

<u>Maßnahme</u>	<u>Wirkung</u>	<u>Anwendung</u>
Breiter Schneidkeil	gute Wärmeableitung	bei einfachen Werkzeugen, oft konstruktiv nicht möglich
Schmieren mit Schneidöl	Verringerung der Wärmeentstehung durch Verminderung der Reibung	bei teuren Werkzeugen und geforderter hoher Oberflächengüte (Reiben, Gewindegewinde schneiden, Automatenarbeit)
Kühlen mit Wasser oder Petroleum	Ableiten der entstandenen Wärme	Schleifen; Bearbeiten von Leichtmetallen
Schmierkühlen mit Bohrölemulsion	Verminderung der Wärmeentstehung und verbesserte Wärmeableitung	allgemeine Bearbeitung von Stahl (Drehen, Bohren)
Sprühkühlen	Kühlnebeldämpfe benetzen die bei üblichem Schmieren trockenen Werkzeuteile (Freifläche, Spanfläche unterhalb des Spanes)	Drehen

Das Diagramm zeigt einen Querschnitt durch ein Werkzeug, das in ein Werkstück eintritt. Rote Pfeile deuten auf die Wärmeableitung hin. Oben ist 'Verdampfung' beschriftet, was auf die Verdunstung des Schmiermittels hindeutet. Unten ist 'Kühlnebel' beschriftet, was auf die Sprühdüse hinweist, die einen Nebel erzeugt.

Bild 3. 29. Hochdruckkühlung

Phosphatieren	Phosphatschicht auf Werkzeugen lässt sich gut mit Öl tränken; dadurch bessere Gleiteigenschaften, verbesserter Spanablauf, kein metallischer Kontakt und damit verringerter Verschleiß	besonders bei neuen Werkzeugen (Sägen, Spiralbohrer)
Hartverchromen	harte Chromschicht schützt Werkzeug vor Verschleiß	bei teuren Werkzeugen wie Fräsen, Räumwerkzeugen
Elysieren (elektrolytisches Abtragen)	riß- und schartenfreie Schneidkanten; sehr gute Oberfläche und Verringerung der Reibung	Hartmetalle

### 3.5. Ergänzungen

Leitbegriff

Bemerkungen

## 4. Werkstück

Ziel der spanenden Formgebung ist die Erzeugung des Werkstücks. Verfahren, Werkzeug und Werkzeugmaschine sind nur Mittel zur Erreichung dieses Zieles. Grundforderung ist dabei:

Das Werkstück soll mit den aus den Zeichnungsangaben geforderten Güteigenschaften bei minimalen Kosten in kürzester Zeit hergestellt werden.

### 4.1. Werkstückoberflächen

#### Wirkliche Oberfläche

Begrenzung eines festen Körpers, durch die dieser vom umgebenden Raum getrennt ist.

#### Istoberfläche

Meßtechnisch erfaßte Oberfläche. Sie stellt das angenäherte Abbild der wirklichen Oberfläche dar. Die Genauigkeit der Erfassung hängt vom Meßverfahren ab.

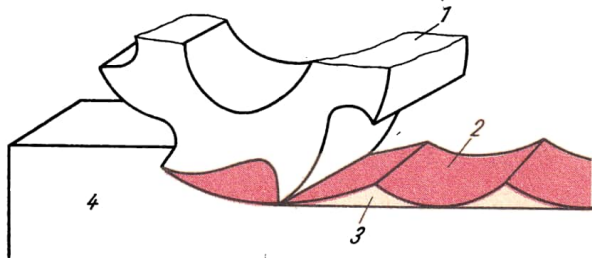


Bild 4.1. Istoberfläche beim Fräsen  
1 Fräser; 2 Istoberfläche; 3 Solloberfläche; 4 Werkstück

#### Geometrisch-ideale Oberfläche

Begrenzung des geometrisch vollkommen gedachten Körpers.

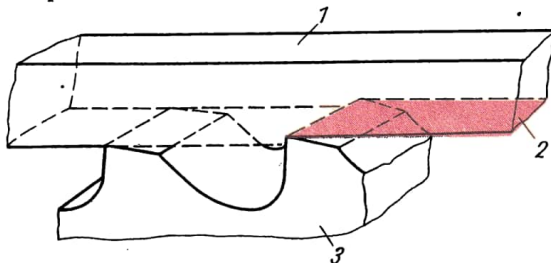


Bild 4.2. Geometrisch-ideale Oberfläche beim Räumen  
1 Werkstück; 2 geometrisch-ideale Oberfläche; 3 Räumwerkzeug

## Solloberfläche

Technologisch vorgeschriebene Oberfläche.  
In technischen Zeichnungen ist sie durch standardgemäße Angaben festgelegt.

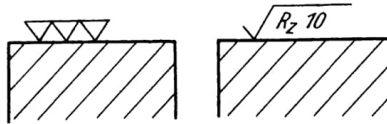


Bild 4.3. Solloberfläche beim Drehen

## Schnittfläche

Am Werkstück unmittelbar während des Schnittvorgangs erzeugte Oberfläche.

Im Bild 4.5 sind Istfläche, geometrisch-ideale Oberfläche und Schnittfläche beim Bohren dargestellt.

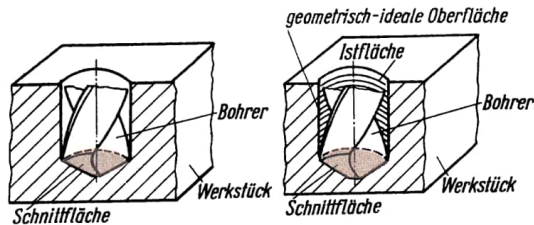


Bild 4.4. Schnittfläche beim Bohren

Bild 4.5. Istfläche, geometrisch-ideale Oberfläche und Schnittfläche beim Bohren

## 4.2. Gestaltabweichungen

Unter Gestaltabweichungen versteht man die Gesamtheit aller Abweichungen der Istoberfläche von der geometrisch-idealen Oberfläche (Formtoleranz).

Es wird bei der Beurteilung der Oberfläche zwischen feinen und groben Abweichungen unterschieden (s. Bild 4.6). Die Einteilung wird in Ordnungsgruppen vorgenommen.

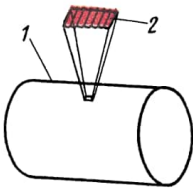


Bild 4.6. Ausschnitt aus der Oberfläche zur Beurteilung der Gestaltabweichung  
1 geometrische Idealoberfläche; 2 vergrößerter Ausschnitt aus der Istoberfläche

Tafel 4.1. Beispiele zur Gestaltabweichung 1. bis 4. Ordnung

### Art der Abweichung

Formabweichung  
von der Ebene

### Gestaltabweichung (im Profil dargestellt)

1. Ordnung



Bild 4.7

### Entstehungsursachen

Fehler in der Führung der  
Werkzeugmaschine  
Durchbiegung des Werk-  
stücks  
falsche Einspannung  
Verschleiß des Werkzeugs  
Verzug durch Härteverfahren

Fortsetzung der Tafel auf Seite 62

Art der Abweichung

Gestaltabweichung  
(im Profil dargestellt)

Entstehungsursachen

Wellen

2. Ordnung



Bild 4.8

außermittige Einspannung  
Formfehler eines Fräasers  
Schwingungen der Werkzeugmaschine oder des Werkzeugs

Rauheit  
als Rillen oder Narben

3. Ordnung



Bild 4.9

Form der Schneide  
Vorschub  
Zustellbewegung  
spanlose Formung

als Riefen

4. Ordnung



Bild 4.10

Spanbildung  
Schneidwerkstoffverformung

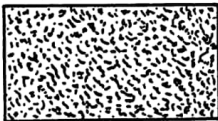
Die in der Tafel 4.1 dargestellten Abweichungen 1. bis 4. Ordnung überlagern sich in der Regel zu der Istoberfläche, wie sie im Bild 4.11 im Schnitt dargestellt ist.



Bild 4.11. Überlagerung der Gestaltabweichung 1. bis 4. Ordnung

### 4.3. Oberflächencharakter der Werkstückoberfläche

**Narbiger Oberflächencharakter**



Spanlos erzeugte Form der Rauheit ohne bevorzugten Richtungsverlauf.  
Hierunter fallen Mulden, Poren, Kuppen, Schuppen.

Bild 4.12

Mulden

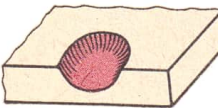


Bild 4.13

herstellungsbedingte, meist runde oder eckige Vertiefungen der Oberfläche

Poren



Bild 4.14

herstellungs- und werkstoffbedingte Hohlräume in der Werkstückoberfläche, deren Tiefenausdehnung im Verhältnis zum Querschnitt größer ist

Kuppen



Bild 4.15

herstellungsbedingte Erhöhungen der Werkstückoberfläche

Schuppen

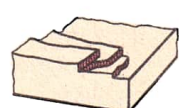


Bild 4.16

Überschichtungen der Werkstückoberfläche

## Rilliger Oberflächen- charakter

Spanend erzeugte Form der Rauheit mit einem dem Herstellungsverfahren typischen Verlauf der Bearbeitungsspuren (s. Bilder 4.17 und 4.18).

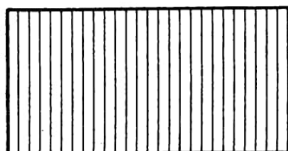


Bild 4.17. Oberfläche  
(geordnet – rillig)



Bild 4.18. Oberfläche  
(ungeordnet – rillig)

## Riefen

Zufällig entstandene grabenförmige Bearbeitungsspuren des Werkzeugs.

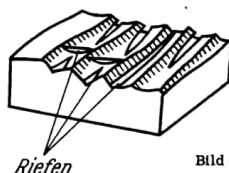


Bild 4.19. Rillen mit Riefen

## Grat

Eine durch den Spannungsvorgang hervorgerufene scharfkantige Erhöhung der geometrisch-idealen Oberfläche.

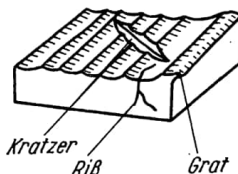


Bild 4.20. Rillen mit Kratzer, Grat und Riß

## Beschädigungen

Risse, Kratzer und Dellen (s. Bilder 4.13 und 4.20).

## 4.4. Rauigkeiten

### Querrauheit

Gestaltabweichung, die senkrecht zur Richtung der Bearbeitungsspuren ermittelt wird.

### Längsrauheit

Gestaltabweichung, die längs zur Richtung der Bearbeitungsspuren ermittelt wird.

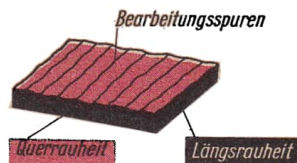


Bild 4.21. Querrauheit und Längsrauheit

## Rauheitsmaße

Zur meßtechnischen Erfassung der Rauheiten sind zahlenmäßige Angaben erforderlich.

Mittlere Rauheit  $R_z$

Mittlerer Abstand zwischen den fünf höchsten und fünf tiefsten Punkten des Istprofils innerhalb einer festgelegten Bezugsstrecke (s. Bild 4.22).

Rauhtiefe  $R_t$

Abstand des Grundprofils vom Rauheitsbezugsprofil (s. Bild 4.22). Für praktische Anwendung ist  $R_t$  und  $R_z$  annähernd gleich.

Rauheitsbezugsstrecke  $l$

Teil der Prüflänge, der zur Auswertung benutzt wird.

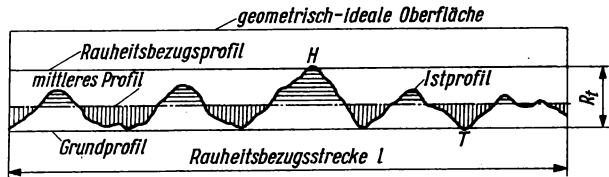
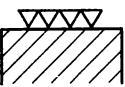
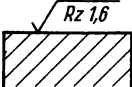
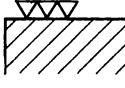
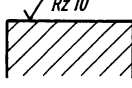
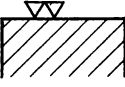
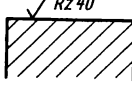
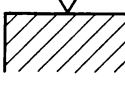
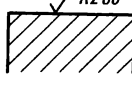


Bild 4.22. Rauheitsbezugsprofil  
H höchster Punkt; T tiefster Punkt

Tafel 4.2. Rauheiten und deren Anwendung

Mittlere Rauheit $R_z \approx$ Rauhtiefe $R_t$ in $\mu\text{m}$	<u>Bezeichnungen in technischen Zeichnungen</u>		<u>Bearbeitungsverfahren</u>	<u>Qualität</u>	<u>Anwendung</u>
	veraltet	gültig			
0,05 0,1 0,2 0,4 0,8 1,6 3,2 6,3 10	 Bild 4.23	 Bild 4.24	Feinstbearbeitung wie Läppen, Zieh-schleifen	IT 1 ... IT 4	Lehren, optische Geräte, Präzisionsmaschinenbau, allgemeiner Maschinenbau (höhere Genauigkeitsanforderungen)
	 Bild 4.25	 Bild 4.26	Schleifen	IT 5 ... IT 7	
20 40	 Bild 4.27	 Bild 4.28	Feindrehen, Schlichten	IT 7 ... IT 10	allgemeiner Maschinenbau, Fahrzeugbau
80 160 320	 Bild 4.29	 Bild 4.30	Drehen (Schruppen)	IT 11 ... IT 16	



## 4.5. Maßtoleranzen

Neben den Formtoleranzen (s. Abschn. 4.1.) sind für die ökonomische Fertigung eines Werkstücks auch die Maßtoleranzen von Bedeutung.

### Maßtoleranz T

$$T = D_g - D_k \quad (28)$$

Unterschied zwischen Größtmaß  $D_g$  und Kleinstmaß  $D_k$ . (s. dazu auch „Tabellenbuch Metall“ und „Aufgabensammlung Prüftechnik – Fertigungsmeßtechnik“)

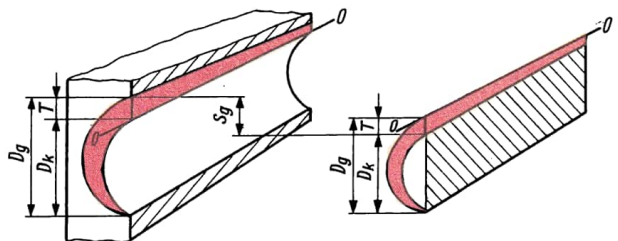


Bild 4.31. Begriffe der Maßtoleranzen bei Bohrungen und Wellen  
T Maßtoleranz;  $D_g$  Größtmaß;  $D_k$  Kleinstmaß;  $S_g$  Größtspiel

## 4.6. Ergänzungen

Leitbegriff

Bemerkungen

## 5. Wirtschaftliches Spanen

Die Wirtschaftlichkeit des Produktionsprozesses läßt sich im Verhältnis von aufgewandten Kosten zum erzielten Gewinn erfassen.

### Hauptkosten

Die Wirtschaftlichkeit wird beeinflusst von:

- Lohnkosten (einschließlich der Zuschläge, SV-Anteile, Krankengeld),
- Materialkosten,
- Maschinenkosten (Abschreibungskosten),
- Werkzeugkosten,
- Energiekosten,
- Maschineninstandhaltungskosten,
- Abteilungs- und Betriebsgemeinkosten.

Die Wirtschaftlichkeit des Spanungsprozesses ist demnach von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Die Forderung für die Produktion muß immer lauten:

### Grundforderung

Werkstücke sind in kürzester Zeit und mit geringsten Kosten herzustellen.

Gegen diese Forderung wird verstoßen, wenn hochproduktive Maschinen aus technischen oder organisatorischen Gründen (z. B. bei nur einschichtigem Einsatz) nicht ausgelastet werden oder Hochleistungsschneidstoffe für untergeordnete Zwecke eingesetzt werden.

### 5.1. Auslastung der Maschine

Eine Werkzeugmaschine ist hinsichtlich ihrer technischen Parameter dann ausgelastet, wenn die verfügbare Schnittleistung gleich der benötigten Schnittleistung ist.

$$P_S = P_A \cdot \eta \quad (29)$$

$$P_A = \frac{k_S \cdot a \cdot s \cdot v}{\eta \cdot 60 \cdot 102} \quad (30)$$

$P_A$	$k_S$	$a$	$s$	$v$
kW	$\frac{kp}{mm^2}$	mm	mm	$\frac{m}{min}$

$P_S$  Schnittleistung  
 $P_A$  Antriebsleistung  
 $\eta$  Maschinenwirkungsgrad  
 $k_S$  spezifische Schnittkraft  
 $a$  Schnitttiefe  
 $s$  Vorschub  
 $v$  Schnittgeschwindigkeit

$$v = \frac{P_A \cdot \eta \cdot 60 \cdot 102}{k_S \cdot a \cdot s} \quad (31)$$

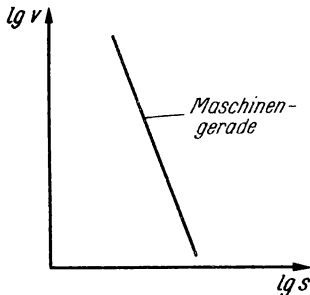


Bild 5.1. Maschinengerade für  $P_A$ ,  $k_S$ ,  $\eta$ ,  
 $a = \text{konstant}$

Umstellen der letzten Gleichung für die Wahl der Schnittgrößen nach der Einflußgröße  $v$  ergibt Gl. (31):

$v$	$P_A$	$k_S$	$a$	$s$
$\frac{m}{min}$	kW	$\frac{kp}{mm^2}$	mm	mm

Den Ausdruck

$$\frac{P_A \cdot \eta \cdot 60 \cdot 102}{k_S \cdot a}$$

als Konstante  $C$  zusammengefaßt, ergibt

$$v = \frac{C}{s}$$

Diese Gleichung wird logarithmiert:

$$\lg v = \lg C - \lg s$$

und auf doppeltlogarithmischem Papier dargestellt (s. Bild 5.1). Die Maschinengerade stellt die verfügbare Schnittleistung dar. Hiervon abhängig sollte  $v$  und  $s$  so gewählt werden, daß die Schnittpunkte auf der Maschinengerade liegen.

## 5.2. Auslastung des Werkzeugs

### Optimale Verschleißmarkenbreite

Ein wirtschaftlicher Werkzeugeinsatz erfordert u. a. möglichst geringe Instandhaltungskosten.

Instandhaltungskosten und deren Abhängigkeit von der Verschleißmarkenbreite  $B$

#### Kostenart

#### B klein

#### B groß

Kosten für Werkzeugwechsel  
(Kurve 1 im Bild 5.2)

häufiges Wechseln,  
hohe Lohnkosten,  
viel Produktionsausfall  
wegen Maschinenstillstand

seltenes Wechseln,  
niedrigere Lohnkosten,  
kurze Maschinenstillstandzeiten

Werkzeugschleifkosten  
(Kurve 2 im Bild 5.2)

häufiges Schleifen,  
aber nur geringe  
Zeitdauer

Schleifvorgang je Werkzeug dauert länger

Schneidstoffverlustkosten  
(Kurve 3 im Bild 5.2)

nur geringes Nachschleifen erforderlich,  
nur wenig wertvoller Schneidstoff wird abgeschliffen, dafür öfter

zur Werkzeugwiederherstellung viel Schneidstoff abgeschliffen

Werkzeugbruchkosten  
(Kurve 4 im Bild 5.2)

keine Bruchgefahr gegeben

Risiko des Werkzeugbruchs, damit völlige Unbrauchbarkeit (besonders bei Kolkverschleiß hoch)

Die minimalen Gesamtkosten ergeben sich durch Addition der Einzelkosten (s. Bild 5.2) bei der optimalen Verschleißmarkenbreite.

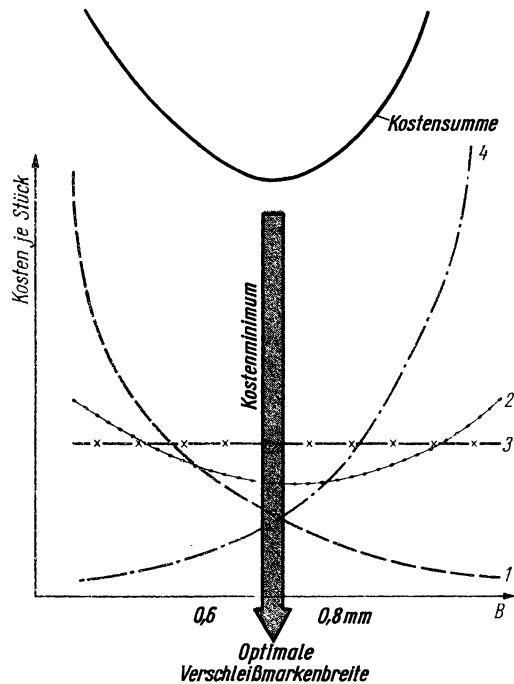


Bild 5.2. Kosten für Werkzeugstandhaltung in Abhängigkeit von Verschleißmarkenbreite B  
1 Werkzeugwechselkosten; 2 Werkzeugschleifkosten; 3 Schnedstoffverlustkosten; 4 Werkzeugbruchkosten

## Wirtschaftliche Standzeit-schnittgeschwindigkeit

Bestimmt den Zeitpunkt, zu dem die optimale Verschleißmarkenbreite erreicht ist und bei dem der Werkzeugwechsel erfolgen sollte (s. S. 55).

Wegen der durch die niedrige Schnittgeschwindigkeit bedingten langen Fertigungszeiten ist die höchste Standzeit nicht die wirtschaftlichste.

<u>Bearbeitungs- verfahren</u>	<u>Werkzeuge</u>	<u>Standzeit</u>
Drehen, Stoßen, Bohren	einfach herstell- bar, leicht zu schärfen	hohe Schnittgeschwin- digkeit T = 60 min
Räumen, Fräsen, Zahnrad- bearbeitung	teuer, mehr- schneidig, schwierig zu schärfen	lange Standzeiten T = 240 min oder T = 480 min,
Automaten- arbeit	oft einfach, aber hohe Werkzeug- wechselkosten	geringe Schnitt- geschwindigkeit

## Werkzeuggerade

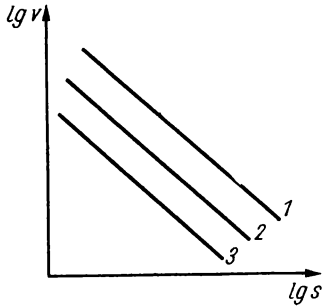


Bild 5.3. Werkzeuggerade für  $a, T = \text{konstant}$  bei gleicher Schneidengeometrie  
1 Hartmetall; 2 Schnellarbeitsstahl;  
3 Werkzeugstahl

Die Werkzeugstandzeit hängt neben der Schnittgeschwindigkeit auch von den übrigen Arbeitswerten ab. Mit steigendem Vorschub und wachsender Schnitttiefe sinkt die Standzeit, oder mit wachsender Schnittgeschwindigkeit muß der Spanungsquerschnitt verkleinert werden, um die gleiche Standzeit zu erhalten.

Die grafische Darstellung dieses Sachverhalts im logarithmischen Netz ergibt bei konstanter Schnitttiefe die Werkzeuggerade für verschiedene Schneidstoffe (s. Bild 5.3).

Das Werkzeug ist ausgelastet, wenn  $v$  und  $s$  so gewählt werden, daß die Schnittpunkte auf der Werkzeuggeraden liegen. Überlastung bedeutet eine Verminderung der Standzeiten, Unterbelastung eine Verlängerung der Standzeit, bei allerdings verminderter Produktivität.

## 5.3. Auslastung von Werkzeug und Maschine

### Gemeinsame Auslastung

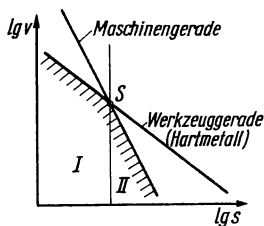


Bild 5.4. Gleichzeitige Auslastung von Werkzeug und Maschine

Überlagerung der Maschinengerade (s. Bild 5.1) und der Werkzeuggeraden (s. Bild 5.3) in einem gemeinsamen Koordinatensystem (s. Bild 5.4) zeigt die gleichzeitige Auslastung von Werkzeug und Werkzeugmaschine an. Im Schnittpunkt S haben Werkzeug und Maschine gemeinsam ihre wirtschaftliche Auslastung. Wenn genaue Einstellung dieser Werte nicht möglich, Korrektur innerhalb des schraffierten Bereiches in zwei Richtungen:

#### Bereich I

Auslastung des Werkzeugs, Maschine wird nicht ausgelastet. Überschreiten der Werkzeuggeraden wäre möglich, führt aber zu Verkürzung der Standzeiten und zur Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit

#### Bereich II

Auslastung der Maschine, Werkzeug ist nicht ausgelastet. Hierbei ergeben sich längere Standzeiten. Dieser Bereich für Korrekturen bevorzugt

### Maschinenauslastungsdiagramme

Ermöglichen die Wahl der optimalen Arbeitswerte bei bestmöglicher Auslastung einer bestimmten Werkzeugmaschine (s. Bild 5.5).

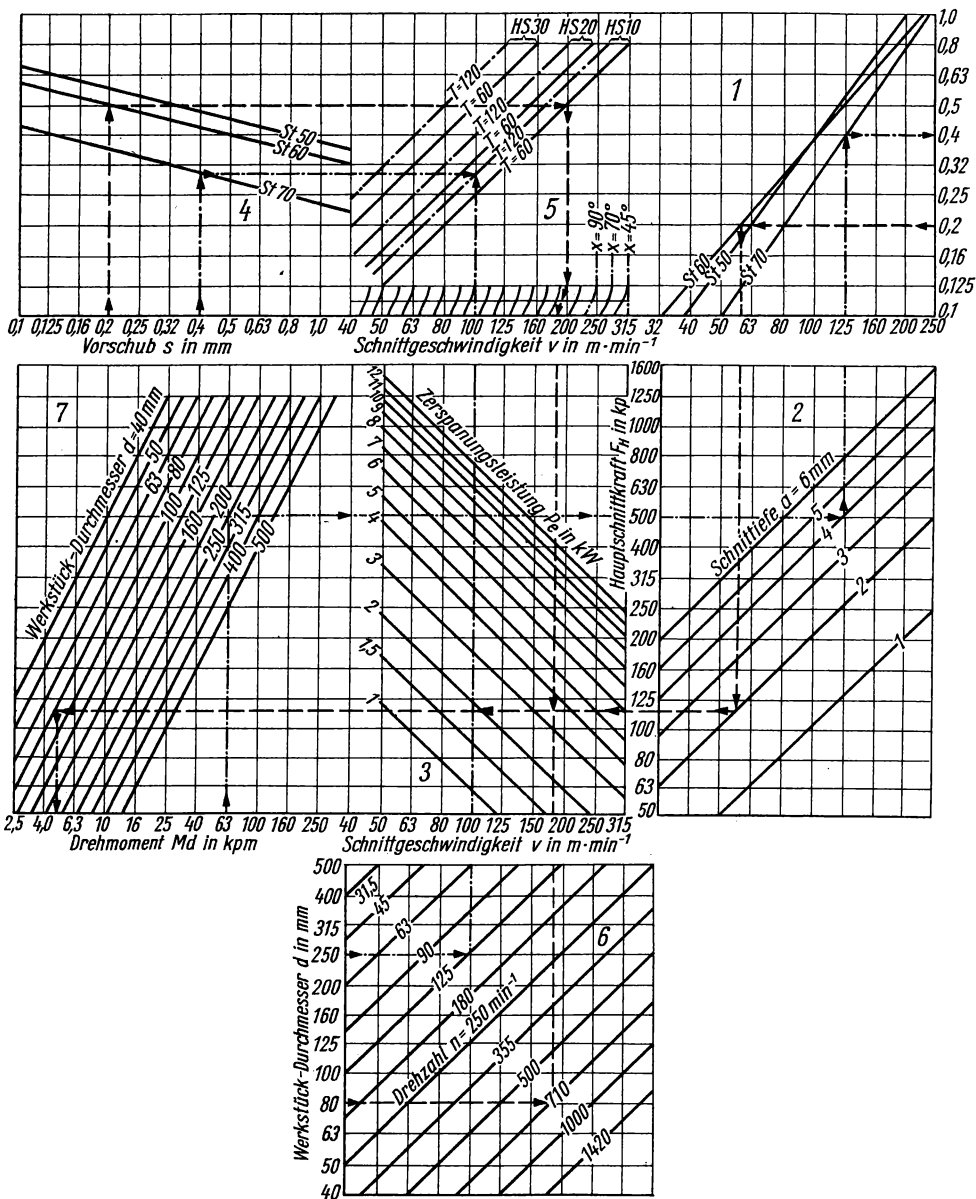


Bild 5.5. Maschinenauslastungsdiagramme

## 5.4. Grundzeit – Maschine

### Begriffsbestimmung

Die Grundzeit-Maschine  $t_{Gm}$  ist der Anteil der Arbeitszeit, in der unmittelbar am Werkstück eine Veränderung im Sinne der Bearbeitungsaufgabe vorgenommen wird bzw. während der die Maschine im Spanungsprozeß läuft.

### Berechnung

Die  $t_{Gm}$  wird berechnet oder aus Leitertafeln abgelesen. Für die Berechnung sind das produktivste Fertigungsverfahren und die optimalen technologischen Arbeitswerte zugrunde zu legen.

Es gilt bei allen Fertigungsverfahren nebenstehende Grundgleichung:

$$t_{Gm} = \frac{L \cdot i}{s \cdot n} \quad (32)$$

L Länge des Werkzeugweges in Vorschubrichtung  
(Werkstücklänge und Zuschläge)

i Anzahl der Schnitte

s Vorschub

n Drehzahl

Änderungen treten lediglich bei der Berechnung der zu spanenden Länge (L) auf.

Berechnung der Gesamtlängen beim

#### Langdrehen

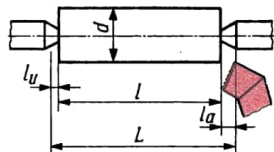


Bild 5.6.

$$L = l + l_a + l_u$$

#### Plandrehen

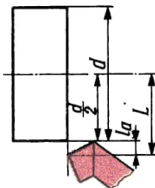


Bild 5.7.

$$L = \frac{d}{2} + l_a$$

#### Plandrehen eines Kreisrings

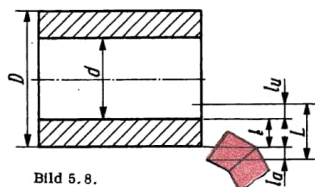


Bild 5.8.

$$L = \frac{D-d}{2} + l_a + l_u$$

#### Bohren einer Dicke

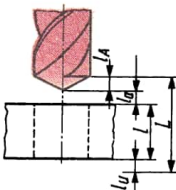


Bild 5.9.

$$L = l + l_A + l_u + l_a$$

$l_A$  richtet sich nach dem zu spanenden Werkstoff und dem davon abhängigen Spitzenwinkel  $\varphi$  (s. dazu auch „Tabellenbuch Metall“)

### Fräsen mit Walzenfräser

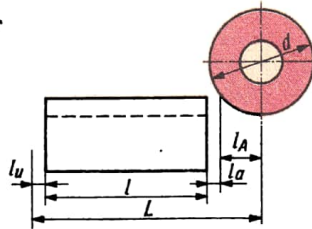


Bild 5.10.

$$L = l + l_A + l_u + l_a;$$

+  $l_A$  ausschlaggebend  
Fräserdurchmesser

### Fräsen mit Stirnfräser

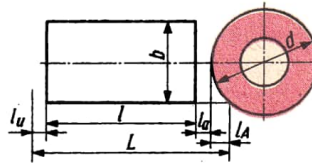


Bild 5.11.

$$L = l + l_A + l_u + l_a;$$

$l_A$  abhängig von  
Fräserdurchmesser

### Rundschleifen

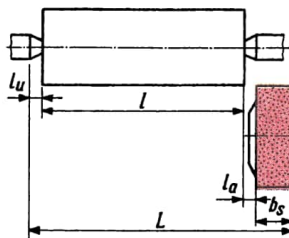


Bild 5.12.

$$L = l + l_a + l_u + b_s$$

### Flächenschleifen mit Umfangschleifscheibe

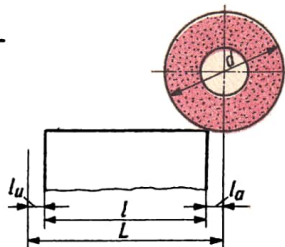


Bild 5.13.

$$L = l + l_a + l_u$$

$l_A$  entfällt wegen des  
geringen Anschnitts

### Flächenschleifen mit Stirnschleifscheibe

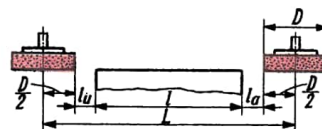


Bild 5.14.

$$L = l + l_a + l_u + D$$

D Durchmesser der  
Schleifscheibe





Leitbegriff

Bemerkungen

Leitbegriff

Bemerkungen

Bild 0.1. Frügel: Fertigungstechnik Grundausbildung Metall, Teil I; Bilder 2.5., 2.7. und 2.8.: TGL 29-6580; Bilder 2.24., 2.30. und 2.40.: Degener, Lutze, Smejkal: „Spanende Formung“; Bilder 2.38., 2.39., 2.58., 3.9., 3.10. und 3.29.: Fertigungstechnik Grundausbildung Metall II; Bilder 2.59. und 5.5.: Das Fachwissen des Ingenieurs Band I/2; Bild 2.60.: Düniß, Neumann, Schwartz: „Trennen“; Bild 3.15.: Schule des Drehers; Bild 4.6.: TGL 0-4760; Bilder 4.7. bis 4.11.: TGL 0-4760; Bilder 4.12. bis 4.20.: TGL 0-4761.

## Sachwörterverzeichnis

- Abdrängkraft 28  
Abfließen 21  
Abscheren 20  
Abstechen 18  
Aktivkraft 27  
Aluminiumoxid 51  
Anstauchen 20  
Anstellbewegung 14  
Antriebsleistung 36  
Arbeitsebene 15, 17, 30  
Arbeitswinkel 47  
Aufbauschneide 55  
Automatenarbeit 68  
Automatenstahl 24  
Axialkraft 30
- Bandspan 23f.  
Beanspruchung  
    chemische 53  
    elektrochemische 53  
    mechanische 52  
    thermische 53  
Bearbeitungsverfahren 11  
Bestimmungsebene 42  
Bewegung 12  
    Anstell- 14  
    Nachstell- 15  
    Vorschub- 13  
    Wirk- 14  
    Zustell- 15  
Bezugsebene 43  
Bezugssysteme 43, 47  
Bohren 9, 18, 30, 34, 68, 71  
Bohrölemulsion 58  
Breiter Schneidkeil 58
- Chemische Beanspruchung 53  
Chemische Reaktionen 53
- Diffusion 53  
Doppelhubzahl 16  
Drangkraft 28  
Drehdurchmesser 29  
Drehen 9, 20, 68  
Drehende Schnittbewegung 13, 15  
Drehmeißel 40f.  
Drehzahl 16
- Ecken 41  
Einflußgröße 11, 34, 56  
Eingriffsgröße 17  
Einspannteile 40  
Einstechen 18  
Einstellwinkel 45, 47  
Elektrische Meßwerterfassung 31  
Elektrochemische Beanspruchung 53  
Elemente 11  
Elysieren 58  
Entwicklungstendenzen 10  
Erwärmung 38  
Erweichung 54  
Exponentialfunktion 57
- Fasen 41f.  
Flächen 41  
Flächenschleifen 72  
Flachschleifen  
    Bewegungen 12  
Fließspan 21  
Fließspanbildung 47  
Formgebung, spanende 10  
Formtoleranz 61, 65  
Fräsen 9, 26, 34, 68, 72  
    Kräfte beim 30  
    mit Stirnfräser 72  
    mit Walzenfräser 72  
Fräser, schrägverzahnte 31  
Freifläche 41  
Freiflächenverschleiß 53  
Freiwinkel 44, 47
- Gefügeveränderung 38  
Gegenlauf 31  
Gegenlaufräsen 31  
Geometrisch-ideale Oberfläche 60f., 63  
Geometrisch unbestimmte Schneiden 41  
Gerade Schneide 20  
Geradlinige Schnittbewegung 13, 15  
Geradverzahnte Walzfräser 30  
Gesamtkosten 68

Gesamtkraft 27  
 Geschwindigkeit 15, 35  
     Schnitt- 15  
     Umfangs- 16  
     Vorschub- 16  
 Gestaltabweichungen 61  
 Gleichlauf 31  
 Gleichlaufräsen 31  
 Gleitebene 20  
 Grat 63  
 Grundforderung 66  
 Grundzeit-Maschine 71  
 Hartmetall 49, 51  
 Hartverchromen 58  
 Hauptbewegung 13  
 Hauptfreifläche 41  
 Hauptkosten 66  
 Hauptschneide 19, 30, 40f., 45  
 Hauptschnittkraft 27  
 Hobeln 9, 20, 29, 73  
 Honen 9  
 Hubzahl 16  
 Hydraulische Meßwerterfassung 31  
  
 Instandhaltungskosten 67  
 Istoberfläche 60f.  
  
 Keil 40  
 Keilmeßebeine 44  
 Keilwinkel 44, 47  
 Kolkverschleiß 54  
 Kraft  
     Aktiv- 27  
     beim Drehen 27  
     Drang- 28  
     Passiv- 28  
     Schnitt- 27  
     Spanungs- 27  
     Vorschub- 27  
 Kraftmessung 31  
 Kühlen 58  
 Kühlnebel dampfe 58  
 Kuppen 62  
  
 Lamellen 20  
 Langdrehen 17, 71  
 Längsrauheit 63  
 Läppen 9  
 Legierungsbildung 24  
 Leistung 35  
     Antriebs- 36  
     Motor- 36  
     Schnitt- 36

Magnetisierung 53  
 Maschinenauslastung 66f., 69  
 Maschinenauslastungsdiagramme 69  
 Maßtoleranzen 65  
 Mechanische Beanspruchung 52  
 Mehrschneidige Werkzeuge 56  
 Meßwerterfassung  
     elektrische 31  
     hydraulische 31  
 Mittlere Rauheit 64  
 Motorleistung 36  
 Mulden 62  
  
 Nachstellbewegung 15  
 Narbiger Oberflächencharakter 62  
 Nebenfriefläche 41  
 Nebenschneide 40f., 45  
 Neigungswinkel 46, 48  
  
 Oberfläche  
     geometrisch-ideale 60f., 63  
     wirkliche 60  
 Oberflächencharakter  
     narbiger 62  
     rilliger 63  
 Optimale Verschleißmarkenbreite 67  
 Oxidkarbidkeramik 52  
 Oxidkeramik 52  
 Oxidmetallkeramik 52  
  
 Passivkraft 28, 30  
 Phosphatieren 58  
 Phosphor 24  
 Plandrehen 17, 71  
 Poren 62  
 Positionieren 14  
 Preßschweißung 53  
  
 Querrauheit 63  
  
 Rauheit 62, 64  
     mittlere 64  
 Rauheitsbezugsstrecke 64  
 Rauheitsmaße 64  
 Rauigkeiten 63  
 Rauhtiefe 64  
 Räumen 9, 18, 34, 68  
     Kräfte beim 30  
 Reiben 9  
 Reißspan 22  
 Relativbewegung 12f.  
 Riefen 63  
 Rilliger Oberflächencharakter 63

- Rotation 15
- Rotatorische Schnittbewegung 13, 15
- Rückkraft 28
- Rundschleifen 72
- Sägen 9
- Schaftkraft 28
- Scherebene 20f.
- Scherspan 21
- Scherwinkel 20
- Schleifen 9
- Schmieren 58
- Schmierkühlen 58
- Schneiden 41f.
  - gerade 20
- Schneidenausbruch 55
- Schneidenbefestigung 41
- Schneiddiamanten 49, 52
- Schneidenebene 44
- Schneidenecke 42
- Schneidenform 40
- Schneidengeometrie 40f.
- Schneidenträger 16
- Schneidenverschleiß 28
- Schneidenwerkstoff 49
- Schneidkantenrundung 54
- Schneidkeil 21, 42
  - breiter 58
- Schneidkeramik 49, 51
- Schniedstoffe 49f.
- Schneidstoffverlustkosten 67
- Schnellarbeitsstahl 49, 51
- Schnittbedingungen 24
- Schnittbewegung 13, 15, 19, 44
  - drehende 13, 15
  - rotatorische 13, 15
  - translatorische 13, 15
- Schnittbreite 17f., 32
- Schnittfläche 19, 61
- Schnittgeschwindigkeit 15f., 24
- Schnittgrößen 16, 19
- Schnitttiefe 17, 32
- Schnittkraft 27, 30, 32ff.
  - Berechnung 32
  - spezifische 32
- Schnittleistung 36, 66
- Schnitttrichtung 19f.
- Schnittwinkel 44
- Schrägverzahnte Fräser 31
- Schraubenbruchspan 23
- Schraubenspan 23
- Schuppen 62
- Schüttdichte 23

- Senken 9
- Senkrechtkraft 31
- Solloberfläche 61
- Span
  - Band- 23
  - Reiß- 22
  - Scher- 21
  - Schrauben- 23
  - Schraubenbruch- 23
  - Spiralbruchspan- 23
  - Wirr- 23
- Spanabnahme 13f.
- Spanarten 21f.
- Spanbildung 20ff., 33
  - Vorgänge 20
- Spanbrechung 24
- Spanbruchstücke 24
- Spanebene 20
- Spanelemente 21, 32
- Spanen 9ff.
  - Arbeitsproduktivität 10
  - Leistungen 35
  - Nachteile 10
  - wirtschaftliches 66
- Spanende Formgebung 10
- Spanfläche 41
- Spanflächenverschleiß 54
- Spanformen 21ff.
- Spanformklasse 23
- Spangrößen 19
- Spanleitplatte 24
- Spanleitstufe 24
- Spanneinrichtungen 27
- Spanstauchung 21
- Spanungsbedingungen 11
- Spanungsbreite 19, 32
- Spanungsdicke 19, 32f.
- Spanungsgröße 19, 21
- Spanungskraft 26f., 30
- Spanungsquerschnitt 19f., 32f.
- Spanungsvolumen 25
- Spanungsvorgang 11f.
  - Aufgabe 12
- Spanwinkel 33f., 44, 47
- Spezifische Schnittkraft 32
- Spiralbruchspan 23
- Spiralspanstücke 23
- Spitzenwinkel 45
- Sprühkühlen 58
- Standgrößen 55, 57
- Standkriterien 56
- Standmenge 56
- Standweg 56

Standwegschnittgeschwindigkeit 57  
 Standzeit 55, 69  
 Standzeitschnittgeschwindigkeit 57, 68  
 Stauchvorgänge 21  
 Stirnfräsen 17  
 Stoßen 9, 29, 68, 73  
 Stoßmeißel 41  
  
 Temperaturdifferenzen 53  
 Temperaturen 37  
 Thermische Beanspruchung 53  
 Thermospannungen 53  
 Torsionskraft 30  
 Translation 16  
 Translatorische Schnittbewegung 13, 15  
  
 Umfangsgeschwindigkeit 16  
 Unfallgefahren 38  
  
 Waagerechtkraft 31  
 Walzfräsen 18  
 Walzfräser, geradverzahnte 30  
 Wärmeableitung 38  
 Wärmeausbreitung 37  
 Wärmeausdehnung 38  
 Wärmeentstehung 38  
 Wärmemenge 37  
 Wärmequellen 37  
 Wechselwirkungen 11  
 Weg 15  
 Wellen 62  
 Wendelspäne 48  
 Werkstoff 11  
 Werkstoff-Schneidstoff-Paarung 32  
 Werkstoffveränderungen 53  
 Werkstück 11f., 60  
     Länge 16  
 Werkstückoberflächen 60, 62  
 Werkstückwerkstoff 33  
 Werkzeug 11f., 40  
     einschneidig 40f.  
     mehrschneidig 40f., 56  
     mit eingesetzten Schneiden 41  
     zweischneidig 40f.  
  
 Werkzeugauslastung 67, 69  
 Werkzeugbezugssystem 43  
 Werkzeugbruch 31  
 Werkzeugbruchkosten 67  
 Werkzeuggerade 69  
 Werkzeugkörper 40  
 Werkzeugmaschine 11  
 Werkzeugschleifkosten 67  
 Werkzeugschneide 42  
 Werkzeugstahl 49f.  
 Werkzeugverschleiß 15  
 Werkzeugwerkstoff 49  
 Werkzeugwinkel 46  
 Winkel 44  
     Span- 33f.  
 Wirkbewegung 14  
 Wirkbezugssystem 43  
 Wirkgeschwindigkeit 16  
 Wirkliche Oberfläche 60  
 Wirrspan 23f.  
 Wirtschaftliches Spanen 66,  
  
 Verschleiß 52  
     Freiflächen- 53  
     Kolk- 54  
     Spanflächen 54  
 Verschleißformen 53  
 Verschleißgrößen 56  
 Verzunderung 55  
 Vorschub 16, 18, 32  
     Zahn- 16  
 Vorschubbewegung 13  
 Vorschubgeschwindigkeit 16, 26  
 Vorschubkraft 27, 30  
 Vorschubrichtung 15f., 20  
 Vorschubrichtungswinkel 15  
 Vorschubweg 16  
  
 Zahnradbearbeitung 68  
 Zahnvorschub 16  
 Zeit 15  
 Zerspanungsvorgang 12  
 Zustellbewegung 15, 17



