

2 Grundlagen der Zerspantung am Beispiel Drehen

Die Begriffe der Zerspantung und die Geometrie am Schneidkeil der Werkzeuge sind in den DIN-Blättern 6580 und 6581 festgelegt.

Die wichtigsten Daten aus diesen DIN-Blättern werden in diesem Abschnitt in gekürzter Form am Beispiel Drehen dargestellt. Sie sind übertragbar auf die anderen Verfahren.

2.1 Flächen, Schneiden und Ecken am Schneidkeil nach DIN 6581

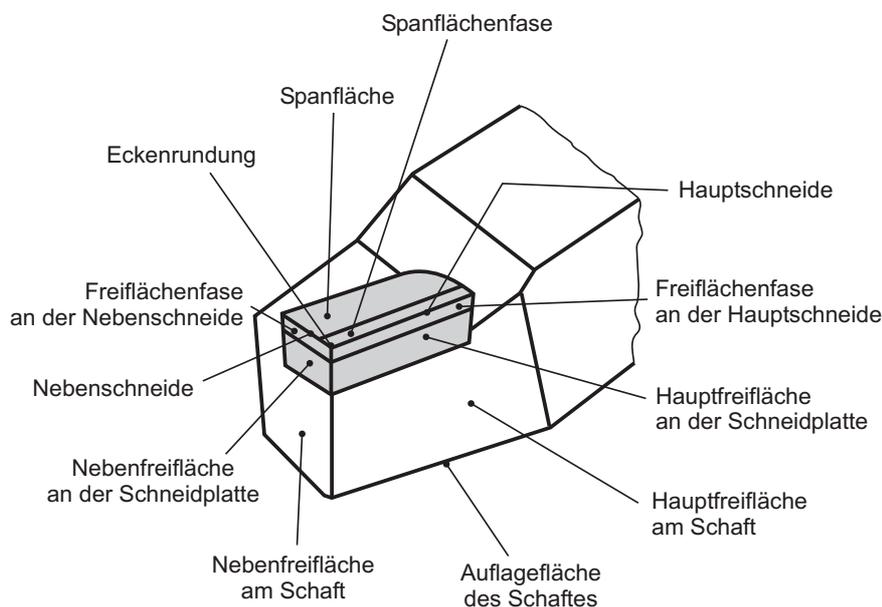


Bild 2.1
Flächen, Schneiden und Ecken am Schneidkeil.

Freiflächen

sind die Flächen am Schneidkeil, die den entstehenden Schnittflächen zugekehrt sind. Wird eine Freifläche angefast, dann bezeichnet man diese Fase als Freiflächenfase.

Spanflächen

sind die Flächen, über die der Span abläuft. Wird die Spanfläche angefast, dann bezeichnet man diese Fase als Spanflächenfase.

Schneiden

Die Hauptschneiden sind die Schneiden, deren Schneidkeil, bei Betrachtung in der Arbeitsebene, in Vorschubrichtung weist.

Die Nebenschneiden sind Schneiden, deren Schneidkeil in der Arbeitsebene nicht in Vorschubrichtung weist.

Die Schneidenecke ist die Ecke, an der Haupt- und Nebenschneide mit gemeinsamer Spanfläche zusammentreffen.

Die Eckenrundung ist die Rundung der Schneidenecke (der Rundungsradius r wird in der Werkzeugbezugsebene gemessen).

2.2 Bezugsebenen

Um die Winkel am Schneidkeil definieren zu können, geht man von einem rechtwinkligen Bezugssystem (Bild 2.2) aus.

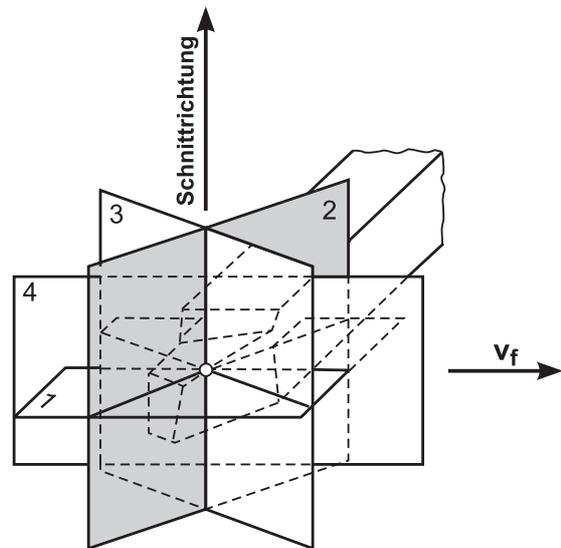


Bild 2.2
Bezugssystem zur Definition der Winkel am Schneidkeil

Es besteht aus drei Ebenen: der Werkzeugbezugsebene, der Schneidenebene und der Keilmessebene.

Die Arbeitsebene wurde als zusätzliche Hilfsebene eingeführt.

Die Werkzeugbezugsebene 1 ist eine Ebene durch den betrachteten Schneidpunkt, senkrecht zur Schnitttrichtung und parallel zur Auflageebene.

Die Schneidenebene 2 ist eine die Hauptschneide enthaltende Ebene, senkrecht zur Werkzeugbezugsebene.

Die Keilmessebene 3 ist eine Ebene, senkrecht zur Schneidenebene und senkrecht zur Werkzeugbezugsebene.

Die Arbeitsebene 4 ist eine gedachte Ebene, die die Schnitttrichtung und die Vorschubrichtung enthält. In ihr vollziehen sich die Bewegungen, die an der Spanentstehung beteiligt sind.

2.3 Winkel am Schneidkeil

2.3.1 Winkel, die in der Werkzeugbezugsebene gemessen werden (Bild 2.3)

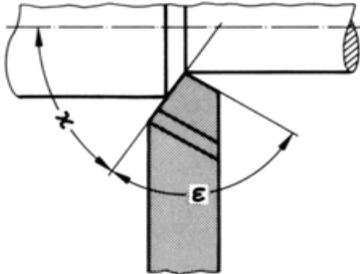


Bild 2.3
Einstellwinkel κ
Eckenwinkel ϵ

Der Einstellwinkel κ ist der Winkel zwischen Arbeitsebene und Schneidenebene.

Der Eckenwinkel ϵ ist der Winkel zwischen Haupt- und Nebenschneide.

2.3.2 Winkel, der in der Schneidenebene gemessen wird Neigungswinkel λ (Bild 2.4)

Der Neigungswinkel ist der Winkel zwischen Werkzeugbezugsebene und Hauptschneide. Er ist negativ, wenn die Schneide von der Spitze her ansteigt. Er bestimmt welcher Punkt der Schneide zuerst in das Werkstück eindringt.

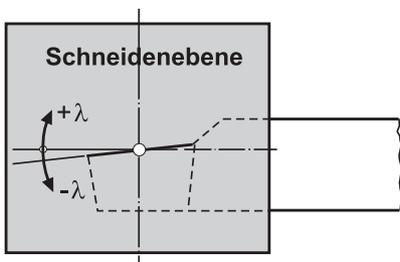


Bild 2.4
Neigungswinkel λ

2.3.3 Winkel, die in der Keilmessebene gemessen werden (Bild 2.5)

Der Freiwinkel α ist der Winkel zwischen Freifläche und Schneidenebene.

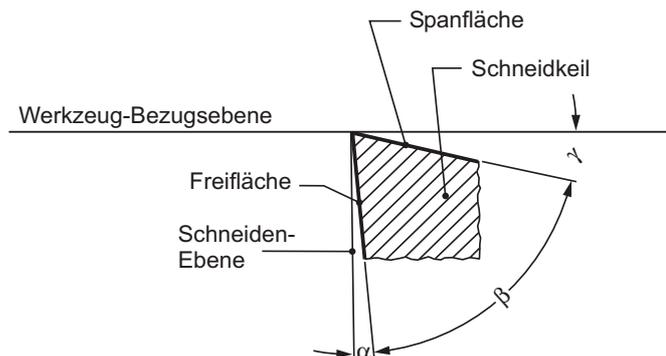


Bild 2.5
Freiwinkel α ; Keilwinkel β ; Spanwinkel γ

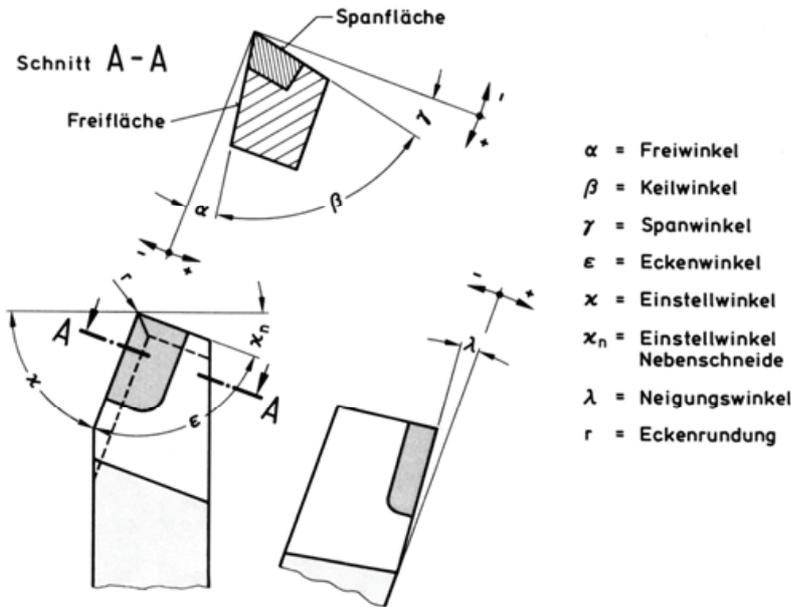


Bild 2.5a Zusammenfassung der wichtigsten Winkel am Schneidkeil

Der Keilwinkel β ist der Winkel zwischen Freifläche und Spanfläche.

Der Spanwinkel γ ist der Winkel zwischen Spanfläche und Werkzeugbezugsebene.

Für diese drei Winkel gilt immer die Beziehung:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

Sind die Flächen angefasst (Bild 2.6), dann bezeichnet man die Fasenwinkel als:

- Fasenfreiwinkel α_f
- Fasenkeilwinkel β_f
- Fasenspanwinkel γ_f

Auch hier gilt die Beziehung:

$$\alpha_f + \beta_f + \gamma_f = 90^\circ$$

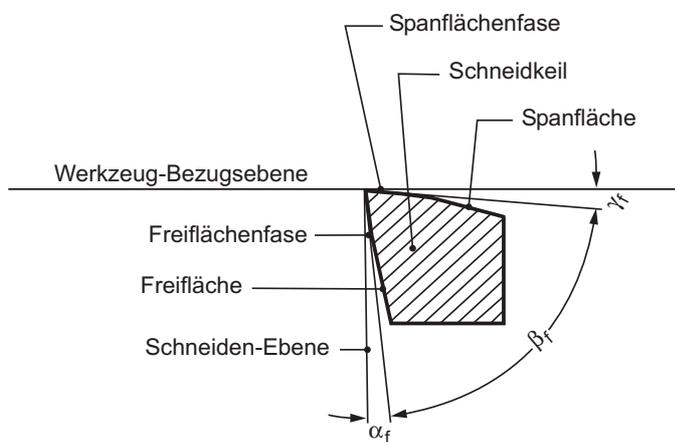


Bild 2.6
Schneidkeil mit Fasen
Fasenfreiwinkel α_f ;
Fasenkeilwinkel β_f ;
Fasenspanwinkel γ_f ;

2.4 Einfluss der Winkel auf den Zerspangvorgang

Freiwinkel α

Die normale Größenordnung des Freiwinkels liegt zwischen

$$\alpha = 6 \text{ bis } 10^\circ$$

Große Freiwinkel werden angewandt bei weichen und zähen Werkstoffen, die zum Verkleben mit den Schneiden neigen und bei zähen Hartmetallen (z. B. P 40, P 50, M 40, K 40).

Große Freiwinkel:

- führen zu Wärmestau in der Schneidenspitze
- schwächen den Schneidkeil (Ausbruchgefahr)
- ergeben bei konstanter Verschleißmarkenbreite B großen Schneidkantenversatz SKV (Bild 2.7),
großer SKV führt zu großer Maßabweichung am Werkstück (Durchmesser wird größer).

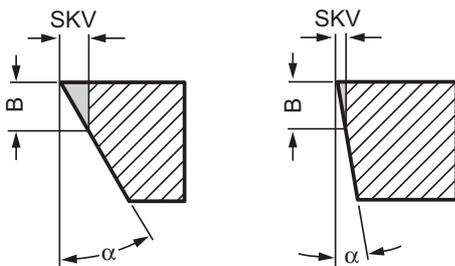


Bild 2.7
Schneidkantenversatz SKV bei großem und kleinem Freiwinkel

Kleine Freiwinkel werden angewandt bei Stählen höherer Festigkeit und abriebfesten Hartmetallen (z. B. P 10, P 20).

Kleine Freiwinkel:

- führen zur Verstärkung des Schneidkeiles,
- verbessern die Oberfläche, solange das Werkzeug nicht drückt; drückt das Werkzeug jedoch, dann kommt es zur Erwärmung des Werkzeuges und zu großem Freiflächenverschleiß,
- wirken schwingungsdämpfend z. B. gegen Ratterschwingungen.

Weil Hartmetall mit einer anderen Schleifscheibe geschliffen werden muss, als der weiche Schaft des Drehmeißels, soll bei aufgelöteten Schneiden der Freiwinkel am Schaft (Bild 2.8) um 2° größer sein, als der Freiwinkel der Hartmetallplatte.

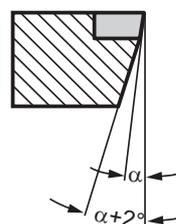


Bild 2.8
Freiwinkel am Schaft des Drehmeißels ist größer als der Freiwinkel an der Hartmetallplatte

Der wirksame Freiwinkel α_x ist abhängig von der Stellung des Werkzeuges in Bezug auf die Werkstückachse bzw. Werkstückmitte (Bild 2.9).

x = Höhenversatz in mm

ψ = Korrekturwinkel in $^\circ$

$$\sin \psi = \frac{x}{d/2} = \frac{2x}{d}$$

Steht die Werkzeugspitze über der Werkstückachse (Bild 2.10), dann verkleinert sich der Freiwinkel um den Korrekturwinkel.

Steht die Werkzeugspitze unterhalb der Werkstückachse, dann vergrößert sich der Freiwinkel um den Korrekturwinkel.

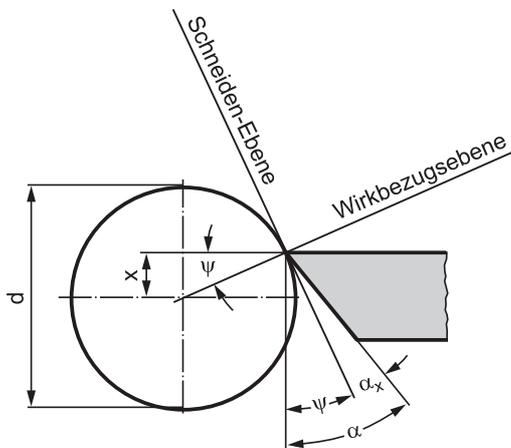


Bild 2.9
Wirksamer Freiwinkel α_x

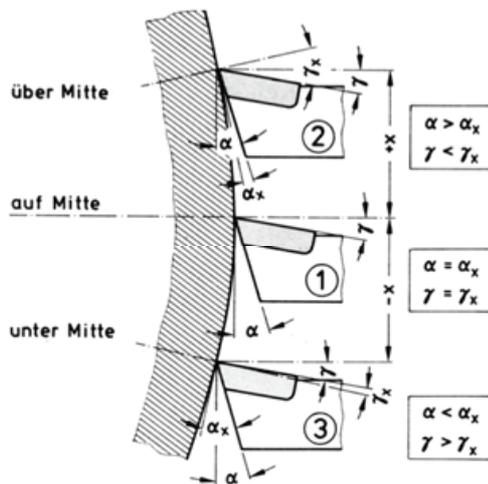


Bild 2.10
Werkzeugwinkel und Wirkwinkel bei verschiedenen Werkzeugstellungen

- α_x Wirkfreiwinkel
- γ_x Wirkspanwinkel
- ψ Korrekturwinkel

Daraus folgt:

unter Mitte:	$\alpha_x = \alpha + \psi$
in Mitte:	$\alpha_x = \alpha$
über Mitte:	$\alpha_x = \alpha - \psi$

Wie man daraus ersieht, entspricht nur in der Mittelstellung der wirksame Freiwinkel dem gemessenen Freiwinkel. Steht der Meißel unter Mitte, bewirkt die Änderung von Frei- und Spanwinkel das Einziehen des Meißels in das Werkstück.

Spanwinkel γ

Beim Drehen mit Hartmetallwerkzeugen liegen die Spanwinkel bei der Bearbeitung von Stahl mittlerer Festigkeit zwischen 0 und $+6^\circ$, in Ausnahmefällen bis $+18^\circ$. Bei Vergütungsstählen und Stählen hoher Festigkeit verwendet man Spanwinkel zwischen -6 und 6° .

Während der Fasenspanwinkel bei den erstgenannten Werkstoffen bei 0° liegt, verwendet man bei den Vergütungsstählen überwiegend negative Fasenspanwinkel.

Große Spanwinkel werden bei weichen Werkstoffen (weiche Stähle, Leichtmetall, Kupfer), die mit zähen Hartmetallen bearbeitet werden, verwendet. Je größer der Spanwinkel, um so

- besser ist der Spanfluss,
- kleiner ist die Reibung,
- geringer ist die Spanstauchung,
- besser wird die Oberfläche des Werkstückes,
- kleiner werden die Schnittkräfte.

Große Spanwinkel haben aber auch Nachteile. Sie:

- schwächen den Schneidkeil,
- verschlechtern die Wärmeabfuhr,
- erhöhen die Gefahr des Schneidenausbruches.

Kurz: Sie verkleinern damit die Standzeit des Werkzeuges.

Kleine Spanwinkel, bis zu negativen Spanwinkeln, wendet man bei der Schruppbearbeitung und Werkstoffen mit hohen Festigkeiten an. Als Werkzeugwerkstoff werden hierfür abriebfeste Hartmetalle (z. B. P 10; M 10; K 10) eingesetzt. Kleine Spanwinkel

- stabilisieren den Schneidkeil,
- erhöhen die Standzeit der Werkzeuge,
- ermöglichen das Drehen mit großen Schnittgeschwindigkeiten,
- verringern deshalb die Bearbeitungszeit.

Bei kleinem Spanwinkel wird der Querschnitt am Schneidkeil größer, die geringere Biegefestigkeit abriebfester Hartmetalle also ausgeglichen.

Weil die Schnittkräfte aber mit kleiner werdendem Spanwinkel steigen, haben kleine Spanwinkel zur Folge

- Anstieg der Schnittkräfte

Als Überschlagswert kann man sagen: Die Hauptschnittkraft steigt um 1% bei einer Winkelverkleinerung um 1° .

- Anstieg der erforderlichen Antriebsleistung

Optimaler Spanwinkel

Bei einem Drehmeißel mit großem positiven Spanwinkel und negativem Fasenspanwinkel (Bild 2.11) können die Vorteile von positiven und negativen Spanwinkeln vereinigt werden.

Er stellt die optimale Lösung dar, weil

- durch den positiven Spanwinkel der Spanablauf gut und die Reibung auf der Spanfläche gering ist,
- der Querschnitt des Schneidkeils durch den negativen Fasenspanwinkel vergrößert wird,
- der Kraftanstieg verringert wird (Bild 2.12).

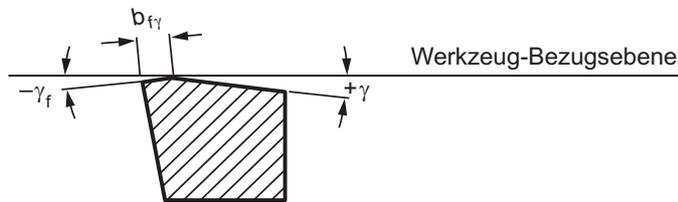


Bild 2.11

Positiver Spanwinkel mit negativem Fasenspanwinkel, $b_{f,\gamma}$ Fasenbreite

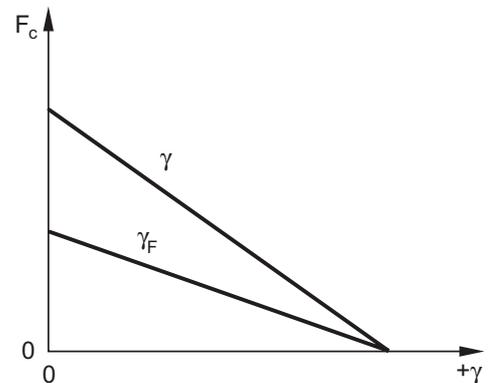


Bild 2.12

Ein negativer Fasenspanwinkel hat einen geringeren Kraftanstieg zur Folge als ein negativer Spanwinkel ohne Fase.

Bezüglich des beim Zerspanungsprozess wirksamen Spanwinkels gilt im Prinzip das gleiche wie beim Freiwinkel. Auch hier wird der Werkzeugwinkel durch den Korrekturwinkel ψ (Bild 2.10) wie folgt verändert.

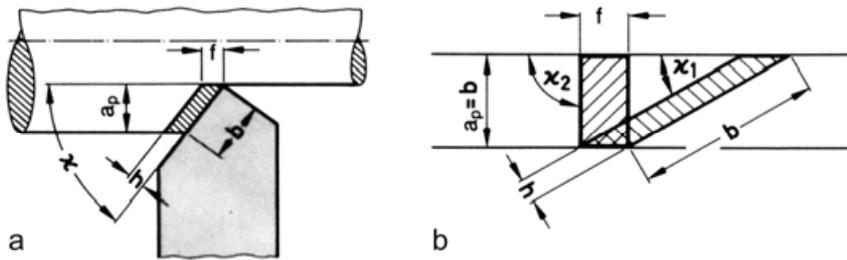
unter	Mitte:	$\gamma_x = \gamma - \psi$
in	Mitte:	$\gamma_x = \gamma$
über	Mitte:	$\gamma_x = \gamma + \psi$

Der Keilwinkel β soll für harte und spröde Werkstoffe groß und für weiche Werkstoffe klein sein.

Der Einstellwinkel κ bestimmt die Lage der Hauptschneide zum Werkstück (Bild 2.13). Vom Einstellwinkel ist bei gegebener Schnitttiefe a_p die Eingriffslänge b der Hauptschneide (Bild 2.13b) abhängig.

Je kleiner der Einstellwinkel, um so größer die Eingriffslänge der Hauptschneide. Der Einstellwinkel beeinflusst aber auch die Kräfte beim Zerspanen.

Je größer der Einstellwinkel, um so größer die Vorschubkraft und um so kleiner die Passivkraft. Deshalb erfordern labile Werkstücke immer einen großen Einstellwinkel.

**Bild 2.13**

Eingriffslänge b ist bei gegebener Schnitttiefe a_p abhängig vom Einstellwinkel α .

Je kleiner α (im Bild $\alpha_1 = 30^\circ$), um so größer die Eingriffslänge b . Bei $\alpha = 90^\circ$ (im Bild α_2) wird $a_p = b$

Kleine Einstellwinkel α (ca. 10°) ergeben große Passivkräfte F_p , die das Werkstück, durchbiegen wollen. Deshalb werden kleine Einstellwinkel nur bei sehr steifen Werkstücken (z. B. Kalanderswalzen) angewandt.

Mittlere Einstellwinkel (45 bis 70°) werden für stabile Werkstücke eingesetzt. Ein Werkstück gilt als stabil, wenn:

$$l < 6 \cdot d$$

l = Länge des Werkstückes in mm

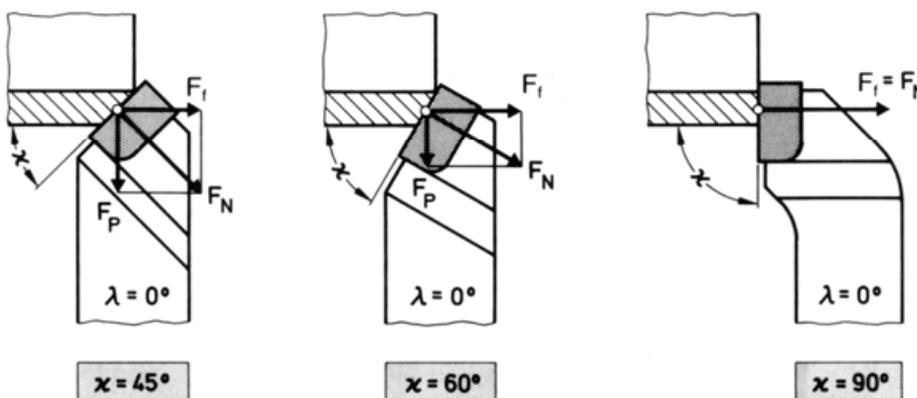
d = Durchmesser des Werkstückes in mm

Große Einstellwinkel α (70 bis 90°) verwendet man bei langen labilen Werkstücken. Darunter versteht man Werkstücke bei denen

$$l > 6 \cdot d$$

ist.

Bei $\alpha = 90^\circ$ ist die Passivkraftkomponente (Bild 2.14) gleich Null. Dadurch ist beim Zerspaltungsvorgang keine Kraft mehr vorhanden, die das Werkstück durchbiegen kann.

**Bild 2.14**

Einfluss des Einstellwinkels α auf die Vorschubkraft F_f und die Passivkraft F_p

Der Eckenwinkel ε ist meistens 90° . Nur bei der Bearbeitung scharfer Ecken wird ε kleiner als 90° gewählt.

Beim Kopierdrehen verwendet man Eckenwinkel zwischen 50 und 58° . Bei schwerer Zerspannung kann ε bei Schruppdrehmeißeln bis 130° sein.

Der Neigungswinkel λ bestimmt die Neigung der Hauptschneide und beeinflusst die Ablaufrichtung des Spans.

Ein negativer Neigungswinkel verschlechtert den Spanablauf, aber er entlastet die Schneidenspitze, weil bei negativem Neigungswinkel nicht die Spitze, sondern die Schneidenbrust zuerst in das Werkstück eindringt. Deshalb wird der negative Neigungswinkel für Schruppwerkzeuge und Werkzeuge für unterbrochenen Schnitt eingesetzt. Man arbeitet dort mit $\lambda = -3$ bis -8° .

Ein positiver Neigungswinkel verbessert den Spanablauf. Deshalb wird er angewandt bei Werkstoffen, die zum Kleben neigen und bei Werkstoffen, die zur Kaltverfestigung neigen.

Bisher wurden die Winkel gegen die Werkzeugbezugsebene gemessen. Ihre Auswirkung auf die Spanentstehung und den Spanablauf ist damit meist ausreichend erfassbar. Aus Bild 2.15 ist erkennbar, dass bei kleinem Verhältnis Umfangsgeschwindigkeit zu Vorschubgeschwindigkeit, der Wirkrichtungswinkel η groß wird, seine Auswirkung auf Span- und Freiwinkel also beachtet werden muss. Eine Vergrößerung des Wirkrichtungswinkels η wirkt wie eine Vergrößerung des Spanwinkels und eine Verkleinerung des Freiwinkels.

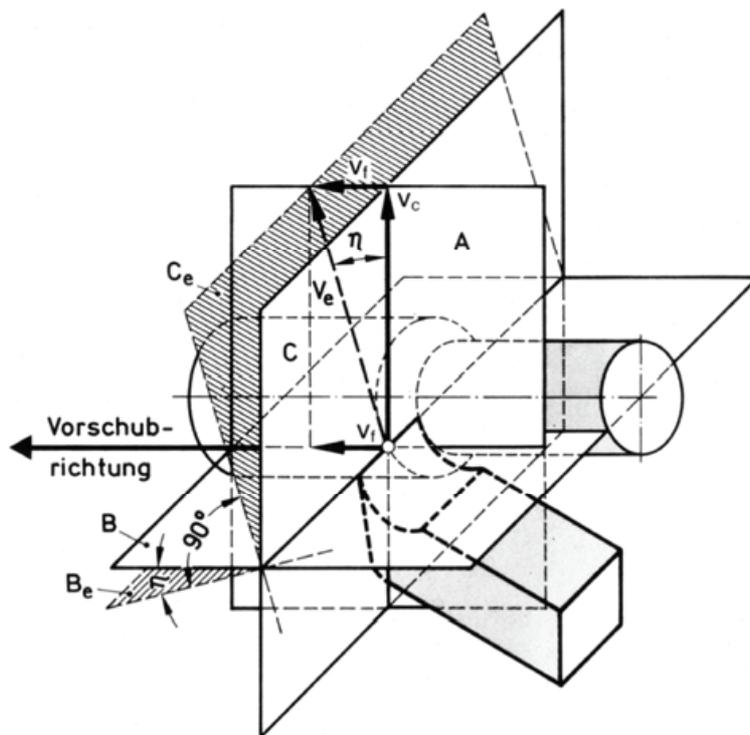


Bild 2.15

Bezugsebenen am Drehmeißel:

A Arbeitsebene,

B Werkzeugbezugsebene,

B_e Wirkbezugsebene,

C Werkzeugschneidenebene,

C_e Schnittebene,

v_c Schnittgeschwindigkeit in Schnittrichtung,

v_e Schnittgeschwindigkeit in Wirkebene,

η Wirkrichtungswinkel,

v_f Vorschubgeschwindigkeit in Vorschubrichtung

2.5 Spanungsgrößen

Spanungsgrößen sind die aus den Schnittgrößen (Schnitttiefe a_p und Vorschub f) abgeleiteten Größen (Bild 2.16).

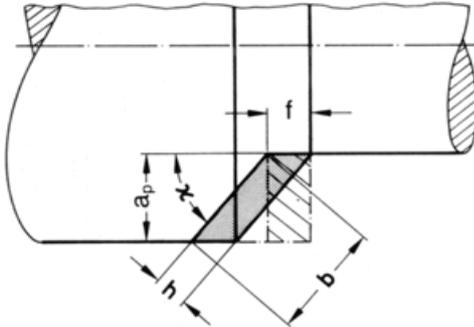


Bild 2.16

Spanungsgrößen:
Schnitttiefe a_p ,
Vorschub pro Umdrehung f ,
Spanungsbreite b ,
Spanungsdicke h

Für das Längsdrehen gilt:

2.5.1 Spanungsbreite b

ist die Breite des abzunehmenden Spanes senkrecht zur Schnittrichtung, gemessen in der Schnittfläche.

$b = \frac{a_p}{\sin \kappa}$	b in mm	Spanungsbreite
	a_p in mm	Schnitttiefe (Zustellung)
	κ in °	Einstellwinkel

2.5.2 Spanungsdicke h

ist die Dicke des abzunehmenden Spanes senkrecht zur Schnittrichtung, gemessen senkrecht zur Schnittfläche.

$h = f \cdot \sin \kappa$

h in mm Spanungsdicke

f in mm Vorschub (bezogen auf 1 Umdrehung)

2.5.3 Spanungsquerschnitt A

ist der Querschnitt des abzunehmenden Spanes, senkrecht zur Schnittrichtung.

$A = a_p \cdot f = b \cdot h$

A in mm² Spanungsquerschnitt

2.6 Zerspanungskräfte und ihre Entstehung

2.6.1 Entstehung der Kräfte

Die Zerspanungskräfte entstehen durch den Scherwiderstand, der beim Zerspanen der Werkstoffe überwunden werden muss und die Reibungskräfte, die zwischen Werkstück und Werkzeug auftreten. Sie entstehen beim Ablauf des Spanes über die Spanfläche und treten an der Freifläche beim Eindringen des Werkzeuges in das Werkstück auf.

In stark vereinfachter Form kann man die am Schneidkeil angreifenden Kräfte in vier Kraftvektoren darstellen (Bild 2.17a).

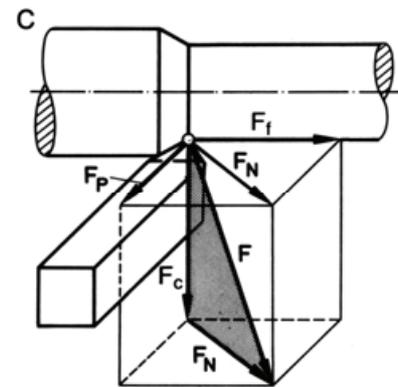
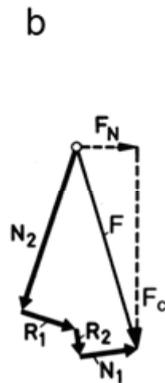
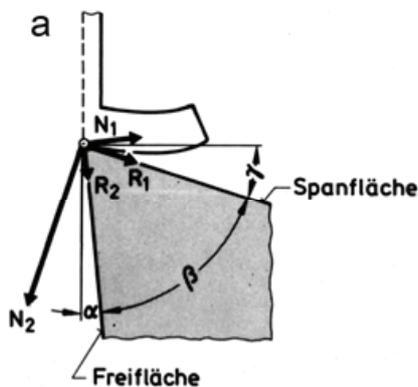


Bild 2.17a + b

Wirksame Kräfte am Schneidkeil. N_1 Normalkraft auf der Freifläche; N_2 Normalkraft auf der Spanfläche; R_1 Reibkraft an der Spanfläche; R_2 Reibkraft an der Freifläche; F resultierende Zerspankraft

Bild 2.17c

Zerlegung der resultierenden Zerspankraft F in Hauptschnittkraft F_c und Nebenkraft F_N und Zerlegung der Nebenkraft F_N in Vorschubkraft F_f und Passivkraft F_p

Die vier Kräfte, N_1 und N_2 als Normalkräfte und R_1 und R_2 als Reibkräfte, die jeweils auf die Span- und die Freifläche wirken, ergeben in einem Kräftepolygon die resultierende Zerspankraft F .

Die resultierende Zerspankraft zerlegt man (Bild 2.17b) in eine vertikale Komponente, die man als Hauptschnittkraft F_c und eine horizontale Komponente, die man als Nebenkraft F_N bezeichnet. Diese Nebenkraft F_N lässt sich noch einmal (Bild 2.17c) in zwei Komponenten, in die Vorschubkraft F_f und die Passivkraft F_p zerlegen.

Die wichtigsten Kräfte, die Hauptschnittkraft F_c und die Vorschubkraft F_f , liegen in der Arbeitsebene.

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2}$$

Übersicht der Kräfte:

F = resultierende Zerspankraft

F_c = Hauptschnittkraft

F_N = Nebenkraft

F_f = Vorschubkraft

F_p = Passivkraft

2.6.2 Spezifische Schnittkraft k_c und ihre Einflussgrößen

Die spezifische Schnittkraft $k_{c1.1}$ wird experimentell unter folgenden Bedingungen ermittelt:

$$A = 1 \text{ mm}^2 \quad h = 1 \text{ mm} \quad b = 1 \text{ mm}$$

Werkzeugwerkstoff: Hartmetall,

Spanwinkel $\gamma = +6^\circ$, Einstellwinkel $\alpha = 45^\circ$, Schnittgeschwindigkeit $v_c = 100 \text{ m/min}$

Die spezifische Schnittkraft unter Berücksichtigung der Einflussgrößen lässt sich nach folgender Gleichung rechnerisch bestimmen:

$$k_c = \frac{(1 \text{ mm})^z}{h^z} \cdot k_{c1.1} \cdot K_\gamma \cdot K_v \cdot K_{st} \cdot K_{ver}$$

k_c = spez. Schnittkraft in N/mm^2

$k_{c1.1}$ = spez. Schnittkraft in N/mm^2 (für $h = 1 \text{ mm}$, $b = 1 \text{ mm}$) (Grundschnittkraft)

h = Spanungsdicke in mm

z = Werkstoffkonstante

K = Korrekturfaktoren

K_γ = Korrekturfaktor für den Spanwinkel

K_v = Korrekturfaktor für die Schnittgeschwindigkeit

K_{ver} = Korrekturfaktor für den Verschleiß

K_{st} = Korrekturfaktor für Spanstauchung

Die spezifischen Schnittkräfte werden aus Tabellen entnommen. Die Abhängigkeit der k_c -Werte vom Werkstoff und von der Spanungsdicke h zeigt Tabelle 1.1.

Tabelle 1.1 Spezifische Schnittkräfte (k_{ch} = spez. Schnittkraft als Funktion der Spanungsdicke in N/mm^2)

Werkstoff	$k_{c1.1}$ in N/mm^2	z	spezifische Schnittkraft k_{ch} in N/mm^2 für h in mm						
			0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6
S 275 JR	1780	0,17	2630	2430	2250	2080	1930	1780	1640
E 295	1990	0,26	3620	3210	2850	2530	2250	1990	1760
E 335	2110	0,17	3120	2880	2670	2470	2280	2110	1950
E 360	2260	0,30	4510	3920	3430	2980	2600	2260	1960
C 15	1820	0,22	3020	2720	2470	2230	2020	1820	1640
C 35	1860	0,20	2950	2680	2450	2230	2040	1860	1690
C 45, Ck 45	2220	0,14	3070	2870	2700	2520	2370	2220	2080
Ck 60	2130	0,18	3220	2960	2730	2510	2320	2130	1960
16 MnCr5	2100	0,26	3820	3380	3010	2660	2370	2100	1860
18 CrNi6	2260	0,30	4510	3920	3430	2980	2600	2260	1960
34 CrMo4	2240	0,21	3630	3290	3000	2720	2470	2240	2030
GJL 200	1020	0,25	1810	1610	1440	1280	1150	1020	910
GJL 250	1160	0,26	2110	1870	1660	1470	1310	1160	1030
GE 260	1780	0,17	2630	2430	2250	2080	1930	1780	1640
Hartguss	2060	0,19	3190	2920	2680	2450	2250	2060	1880
Messing	780	0,18	1180	1090	1000	920	850	780	720

Die Größe der spezifischen Schnittkraft ist abhängig von dem zu zerspanenden Werkstoff. Bei Stahl steigt $k_{c1.1}$ mit zunehmendem C-Gehalt und zunehmenden Legierungsanteilen. Die Kennwerte $k_{c1.1}$ und z werden als Werkstoffkonstanten angesehen. Sie lassen sich aus der doppelt-logarithmisch dargestellten Funktion $k_{ch} = f(h)$ bestimmen (vgl. Bild 2.18):

$k_{c1.1}$ wird bei $h = 1$ abgelesen, z errechnet sich

$$z = \tan \alpha = \frac{\log \frac{k_{ch1}}{k_{ch2}}}{\log \frac{h_2}{h_1}}$$

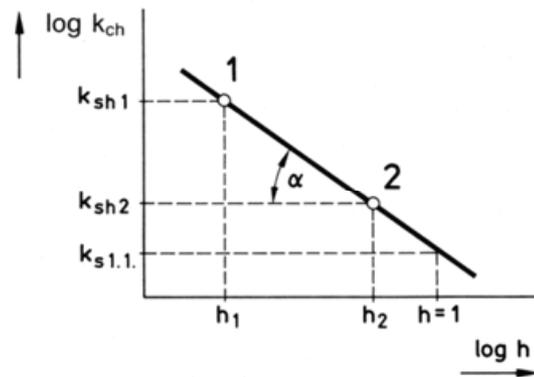


Bild 2.18

Werkstoffkonstante z und spezifische Schnittkraft

Spanungsdicke h

Die Spanungsdicke hat den größten Einfluss auf k_c . Je größer h , um so kleiner k_c . Weil diese Kurve hyperbolisch verläuft, ist der Einfluss der Spanungsdicke auf die spezifische Schnittkraft im Bereich der kleinen und mittleren Spandicken am größten (Bild 2.19).

$$k_{ch} = \frac{(1 \text{ mm})^z}{h^z} \cdot k_{c1.1}$$

z Spandickenexponent (Werkstoffkonstante)

k_{ch} in N/mm^2 spez. Schnittkraft (Einfluss von h berücksichtigt)

$k_{c1.1}$ in N/mm^2 spez. Schnittkraft für $h = 1 \text{ mm}$ und $b = 1 \text{ mm}$

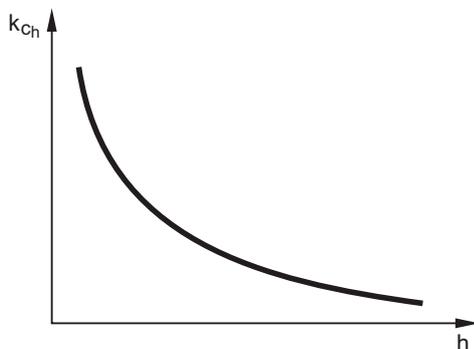


Bild 2.19

Die spezifische Schnittkraft k_{ch} in Abhängigkeit von der Spanungsdicke h

Spanwinkel γ

Der Spanwinkel γ wird in der Berechnung durch den Korrekturfaktor K_γ berücksichtigt.

Korrekturfaktor:
$$K_\gamma = 1 - \frac{\gamma_{\text{tat}} - \gamma_0}{100}$$

γ_0 = Basiswinkel = + 6° für Stahl und + 2° für Gussbearbeitung

γ_{tat} = der tatsächlich vorhandene Spanwinkel

Schnittgeschwindigkeit v_c

Der Einfluss von v_c ist im Hartmetallbereich gering. Deshalb kann bei $v_c > 80$ m/min die Korrektur praktisch vernachlässigt werden.

Will man den Einfluss von v_c dennoch berücksichtigen, dann lässt sich der Korrekturfaktor für den Bereich von

$$v_c \text{ in m/min} = 80 - 250 \text{ m/min}$$

wie folgt bestimmen:

Korrekturfaktor:
$$K_v = 1,03 - \frac{3 \cdot v_c}{10^4} \quad v_c \text{ in m/min}$$

Für den Schnellstahlbereich $v_c = 30 - 50$ m/min ist:

$$K_v = 1,15$$

Spanstauchung

Der Span wird vor dem Abscheren gestaucht. Die unterschiedliche Spanstauchung wird berücksichtigt durch K_{st}

Außendrehen $K_{\text{st}} = 1,0$

Innendrehen }
Bohren } $K_{\text{st}} = 1,2$
Fräsen }

Einstecken }
Abstechen } $K_{\text{st}} = 1,3$

Hobeln }
Stoßen } $K_{\text{st}} = 1,1$
Räumen }

Verschleiß an der Schneide

Der Verschleiß an der Werkzeugschneide wird durch den Korrekturfaktor K_{ver} berücksichtigt. Er vergleicht den Kraftanstieg eines stumpfwerdenden Werkzeuges zum arbeitsscharfen Werkzeug.

Korrekturfaktor: $K_{\text{ver}} = 1,3 - 1,5$

Schnitttiefe a_p

Die Schnitttiefe a_p hat praktisch keinen Einfluss auf die spezifische Schnittkraft (Bild 2.20).

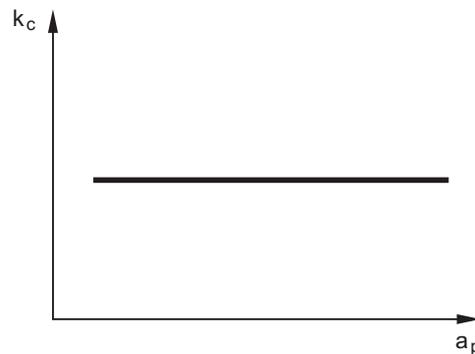


Bild 2.20

Spezifische Schnittkraft in Abhängigkeit von der Schnitttiefe a_p

2.6.3 Hauptschnittkraft F_c

Die Hauptschnittkraft F_c lässt sich aus dem Spanungsquerschnitt und der spez. Schnittkraft berechnen.

$$F_c = A \cdot k_c = a_p \cdot f \cdot k_c = b \cdot h \cdot k_c$$

F_c in N	Hauptschnittkraft
A in mm^2	Spanungsquerschnitt
k_c in N/mm^2	spez. Schnittkraft
a_p in mm	Schnitttiefe
f in mm	Vorschub (bezogen auf 1 Umdrehung)

2.7 Leistungsberechnung

Hier unterscheidet man zwischen der reinen Zerspanungsleistung, die beim Zerspanungsprozess erforderlich wird und der Maschinenantriebsleistung. Bei der Maschinenantriebsleistung ist der Maschinenwirkungsgrad zusätzlich noch zu berücksichtigen.

2.7.1 Zerspanungsleistung P_c aus der Hauptschnittkraft

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \text{ s/min} \cdot 10^3 \text{ W/kW}}$$

$$v_c = d \cdot \pi \cdot n_c$$

P_c in kW	Zerspanungsleistung
F_c in N	Hauptschnittkraft
v_c in m/min	Schnittgeschwindigkeit
d in m	Durchmesser des Werkstückes
n_c in min^{-1}	Drehzahl

Die Vorschubleistung ist die Leistung, die sich beim Zerspanungsvorgang aus Vorschubkraft F_f und Vorschubgeschwindigkeit v_f ergibt.

$$P_f = \frac{F_f \cdot v_f}{60 \text{ s/min} \cdot 10^3 \text{ W/kW}}$$

P_f in kW	Vorschubleistung
F_f in N	Vorschubkraft
v_f in m/min	Vorschubgeschwindigkeit

Die Vorschubgeschwindigkeit v_f lässt sich aus der nachfolgenden Gleichung berechnen.

$$v_f = \frac{f \cdot n_c}{10^3 \text{ mm/m}}$$

n_c in min^{-1}	Drehzahl
v_f in m/min	Vorschubgeschwindigkeit
f in mm	Vorschub (für 1 Umdrehung)

Die Vorschubgeschwindigkeit v_f ist im Vergleich zur Schnittgeschwindigkeit v_c sehr klein, wie folgendes Beispiel zeigt:

Werkstück \varnothing :	100 mm
Vorschub f :	0,5 mm/U
Schnittgeschwindigkeit v_c :	100 m/min

Aus diesen Daten folgt:

$$\text{Drehzahl: } n_c = \frac{v_c \cdot 10^3}{d \cdot \pi} = \frac{100 \text{ m/min} \cdot 10^3 \text{ mm/m}}{100 \text{ mm} \cdot \pi} = \underline{\underline{317 \text{ min}^{-1}}}$$

$$\text{Vorschubgeschwindigkeit } v_f: v_f = \frac{f \cdot n_c}{10^3} = \frac{0,5 \text{ mm} \cdot 317}{10^3 \text{ mm/m} \cdot \text{min}} = \underline{\underline{0,158 \text{ m/min}}}$$

Nach Kregel verhalten sich die Kräfte bei einem Einstellwinkel von $\alpha = 45^\circ$ ungefähr wie

$$F_c : F_f : F_p = 5 : 1 : 2$$

d. h. die Vorschubkraft F_f ist etwa $1/5$ von F_c .

Vergleicht man die Werte F_f und v_f mit F_c und v_c , dann stellt man fest, dass die Vorschubleistung nur etwa den 3000sten Teil von der Zerspanungsleistung ausmacht. Bei Produktions-

maschinen wird rasches Beschleunigen auf Eilganggeschwindigkeit verlangt. Die Leistung der bei solchen Maschinen getrennten Hilfsantriebe ergibt sich aus den Massen und den Beschleunigungszeiten.

Die gesamte Zerspanungsleistung (Wirkleistung P_e) ergibt sich aus der Summe der beiden Einzelleistungen.

$$P_e = P_c + P_f$$

Weil aber die Vorschubleistung im Vergleich zur Zerspanungsleistung aus der Hauptschnittkraft sehr klein ist, wird sie bei der Berechnung der Maschinenantriebsleistung vernachlässigt. Daraus folgt:

2.7.2 Maschinen-Antriebsleistung P

$$P = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \text{ s/min} \cdot 10^3 \text{ W/kW} \cdot \eta_M}$$

P	in kW	Maschinen-Antriebsleistung
v_c	in m/min	Schnittgeschwindigkeit
F_c	in N	Hauptschnittkraft
η_M		Maschinenwirkungsgrad