

# Tabellenbuch Zerspantechnik

Bearbeitet von

Thomas Apprich, Josef Brenner, Michael Dambacher, Franz Dreher, Georg Fischer, Gerd Greiner, Burkhard Heine, Armin Hochstatter, Sven Holzberger, Fabian Holzwarth, Harald Kaiser, Thomas Liesch, Alexander Pflug, Dietmar Schmid, Taghi Tawakoli, Rainer Vogel

1. Auflage 2015. Taschenbuch. ca. 472 S. Paperback

ISBN 978 3 8085 1473 3

Format (B x L): 15,2 x 21,5 cm

Gewicht: 622 g

[Weitere Fachgebiete > Technik > Technik Allgemein > Technik: Berufe & Ausbildung](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

**beck-shop.de**  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung [beck-shop.de](http://beck-shop.de) ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für Metallberufe

Thomas Apprich

Josef Brenner

Michael Dambacher

Franz Dreher

Georg Fischer

Gerd Greiner

Burkhard Heine

Armin Hochstatter

Sven Holzberger

Fabian Holzwarth

Harald Kaiser

Thomas Liesch

Alexander Pflug

Dietmar Schmid

Taghi Tawakoli

Rainer Vogel

# Tabellenbuch für Zerspantechnik

1. Auflage

**Europa-Nr.: 14733**

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL • Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsselberger Straße 23 • 42781 Haan-Gruiten

## **Autoren:**

<b>Apprich</b> , Thomas	Dipl. Ing. (FH), Studiendirektor	Aalen
<b>Brenner</b> , Josef	Dipl. Ing. (FH), Studienrat	Dorfmerkingen
<b>Dambacher</b> , Michael	Dipl. Ing., Studiendirektor	Aalen
<b>Dreher</b> , Franz	Technischer Oberlehrer i. R.	Denkingen
<b>Fischer</b> , Georg	Dipl. Ing. (FH), Studiendirektor	Neresheim
<b>Greiner</b> , Gerd	Dipl. Ing. (FH), Studienrat	Rosenberg
<b>Heine</b> , Burkhard	Dr. rer. nat., Prof.	Aalen
<b>Hochstatter</b> , Armin	Technischer Lehrer	Neresheim
<b>Holzberger</b> , Sven	Dipl. Wirt. Ing. (FH), Studienrat	Kornwestheim
<b>Holzwarth</b> , Fabian	Dr.- Ing., Prof.	Adelmannsfelden
<b>Kaiser</b> , Harald	Dr.- Ing., Prof.	Heubach
<b>Liesch</b> , Thomas	Dipl. Ing. (FH), Studienrat	Westhausen
<b>Pflug</b> , Alexander	Dipl. Ing., Oberstudienrat	Schwäbisch Gmünd
<b>Schmid</b> , Dietmar	Dr.- Ing., Prof.	Essingen
<b>Tawakoli</b> , Taghi	Dr.- Ing., Prof.	Freiburg
<b>Vogel</b> , Rainer	Oberstudienrat	Aalen

**Lektorat und Leitung des Arbeitskreises:** Michael Dambacher

**Bildbearbeitung:** Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

**Betreuung der Bildbearbeitung:** Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Die Angaben in diesem Tabellenbuch beziehen sich auf die neuesten Ausgaben der Normblätter, Regelwerke und Herstellerempfehlungen. Es sind jedoch nur auf das Wesentliche beschränkte, ausgewählte Teile der originalen Dokumentationen. Verbindlich für die Anwendung sind nur die Original-Normblätter mit dem Ausgabedatum des DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.) selbst oder entsprechende Herstellerunterlagen. DIN-Blätter können durch die Beuth Verlag GmbH bezogen werden.

Das vorliegende Tabellenbuch wurde mit aller gebotenen Sorgfalt erarbeitet. Dennoch übernehmen die Autoren, der Herausgeber und der Verlag für die Richtigkeit der Angaben sowie für eventuelle Satz- und Druckfehler keine Haftung.

1. Auflage 2015

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-1473-3

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2015 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Umschlaggestaltung: Grafische Produktionen Neumann, 97222 Rimpar, unter Verwendung eines  
Autorenfotos an der Technischen Schule Aalen

Satz: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Druck: B.O.S.S Medien GmbH, 47574 Goch

Die Zerspantechnik ist ein innovativer Produktionsbereich der einem beständigen Wandel unterliegt. Moderne Bearbeitungsstrategien, Werkzeug- und Schneidstoffentwicklungen werden in der praktischen Anwendung und in wissenschaftlichen Untersuchungen verbessert und weiterentwickelt. Die dynamische Wettbewerbssituation auf dem Markt führt zu verbesserten Produkten, Bearbeitungstechnologien und Produktionsalternativen.

**Arbeitsschutz  
und  
Umweltschutz**

**A**

Das vorliegende „Tabellenbuch Zerspantechnik“ soll die Lücke zwischen den überwiegend theorieorientierten Lehrbüchern und den mit meist geringen theoretischen Grundlagen für die Praxis geschriebenen Nachschlage- und Tabellenwerken schließen. Die Autoren haben sich zum Ziel gesetzt, die allgemeinen, physikalischen und technischen Grundlagen gemäß dem heutigen Wissensstand darzustellen. Zur intensiven Auseinandersetzung mit den Technologien sind eine große Anzahl von Schaubildern, Berechnungsgleichungen, Diagrammen und Tabellen zusammengestellt.

**Grundlagen**

**G**

Das Buch richtet sich an alle, die Werkstücke aus metallischen Werkstoffen durch spanende Fertigungsverfahren professionell herstellen. Lernende und Lehrende in Ausbildung, Beruf und Weiterbildung finden hier Größengleichungen, Formeln, Diagramme, Tabellenwerte und Bearbeitungstechnologien die zum Bearbeiten von technischen Grundlagen und angewandten Fertigungsverfahren notwendig sind. Die relevanten Themen aus Physik, Mathematik, Werkstofftechnik, Elektrotechnik, Mechanik, Festigkeitslehre, Maschinentechnik, Steuerungs- und CNC-Technik und Qualitätstechnik sind im Buch ebenso zu finden wie Hinweise auf Zeichnungsnormen, Arbeits- und Umweltschutz, Produktivität, Wirtschaftlichkeit, Betriebsstoffe und Wartung von Maschinen und Anlagen. Damit ist dieses Buch auch für Meister, Techniker und Ingenieure in der praktischen Umsetzung und Anwendung besonders geeignet, da die ausführlichen Darstellungen der Themengebiete zur Lösung einer speziellen Aufgabenstellung schnell zugeordnet werden können.

**Technische  
Kommunikation und  
Maschinenelemente**

**K**

**Werkstofftechnik**

**W**

**Zerspantechnik  
und  
Betriebstechnik**

**F**

Die angegebenen Einsatzrichtwerte sind abhängig vom verwendeten Schneidstoff, der Schneidengeometrie, der Werkstückgeometrie und von den Zerspanungsbedingungen. Von den Werkzeugherstellern werden für die verschiedenen Werkstoffgruppen und Bearbeitungsbedingungen eine Vielzahl von Wendeschneidplattensorten, Hartstoffbeschichtungen und optimierten Schneidengeometrien angeboten. Deshalb dienen die Richtwerte in den Tabellen als erste Orientierung für den jeweiligen Einsatzbereich.

**Produktions-  
management und  
Qualitätsmanagement**

**Q**

Die mechanischen Werkstoffkennwerte sind von der Erzeugnisdicke, dem Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren, vom Wärmebehandlungszustand und von der jeweiligen Legierungsgruppe abhängig. Dem zufolge sind Abweichungen von den Kennwerten möglich.

**Steuerungstechnik  
und  
Regelungstechnik**

**S**

**Inhaltsverzeichnis****A Arbeits- und Umweltschutz****5**

A1	Arbeitsschutz	6 ... 17
A2	Umweltschutz	18 ... 19

A3	Erste Hilfe	20
----	-------------	----

**G Grundlagen****21**

G1	Allgemeine Grundlagen	22 ... 24
G2	Mathematische Grundlagen	25 ... 40
G3	Physikalische Grundlagen	41 ... 52

G4	Festigkeitsberechnungen	53 ... 60
G5	Elektrotechnische Grundlagen	61 ... 68

**K Technische Kommunikation und Maschinenelemente****69**

K1	Grundlagen	70 ... 78
K2	Zeichnungsangaben	79...107

K3	Maschinenelemente	108 ... 128
----	-------------------	-------------

**W Werkstofftechnik****129**

W1	Stoffeigenschaften	130 ... 131
W2	Werkstoffprüfung	132 ... 137
W3	Wärmebehandlung	138 ... 141
W4	Halbzeuge	142 ... 147
W5	Zerspanbarkeit	148 ... 155

W6	Stahlwerkstoffe	154 ... 173
W7	Gusseisenwerkstoffe	174 ... 178
W8	Nichteisenmetalle	179 ... 192
W9	Sintermetalle	193 ... 194
W10	Kunststoffe	195 ... 198

**F Fertigungs- und Betriebstechnik****199**

F1	Grundlagen der Zerspantechnik	200 ... 216
F2	Schneidstoffe und Beschichtungen	217 ... 227
F3	Bohren und Senken	228 ... 241
F4	Reiben	242 ... 244
F5	Sägen	245 ... 247
F6	Biegen	248
F7	Frästechnik	249 ... 270
F8	Drehtechnik	271 ... 296
F9	Automatendrehtechnik	297 ... 300
F10	Gewindeherstellung	301 ... 307
F11	Räumen	308 ... 309

F12	Fertigungstechnologien	310 ... 315
F13	Schleiftechnik	316 ... 330

**Betriebstechnik**

B1	Wartung und Instandhaltung	331 ... 333
B2	Betriebstoffe	334 ... 341
B3	Werkzeugmaschinen	342 ... 352
B4	Werkzeugspanntechnik	353 ... 356
B5	Werkstückspanntechnik	357 ... 360
B6	Unwucht	361 ... 363
B7	Anschlagmittel	364 ... 368

**Q Produktions- und Qualitätsmanagement****369**

Q1	Produktionsplanung und Produktionssteuerung	370 ... 378
Q2	Qualitätsmanagement	379 ... 399

Q3	Geometrische Messtechnik	400 ... 410
----	--------------------------	-------------

**S Steuerungs- und Regelungstechnik****411**

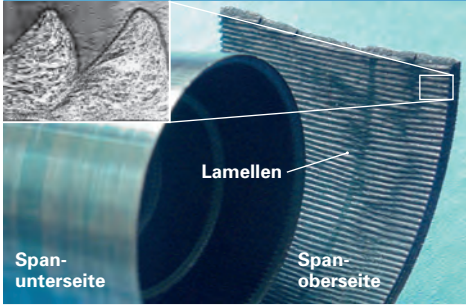
S1	Steuerungstechnik	412 ... 420
S2	Regelungstechnik	421 ... 425
S3	CNC-Antriebssysteme	426 ... 428
S4	Robotertechnik	429 ... 430

S5	Numerische Steuerungen	
	CNC-Programmiersystem-Drehen	431 ... 444
	CNC-Programmiersystem-Fräsen	445 ... 460

**Sachwortverzeichnis****461 ... 472**



**Fertigungstechnik**



- F1 Grundlagen der Zerspantechnik . . . . . 200 ... 216
- F2 Schneidstoffe und Beschichtungen . . . 217 ... 227
- F3 Bohren und Senken . . . . . 228 ... 241
- F4 Reiben . . . . . 242 ... 244
- F5 Sägen . . . . . 245 ... 247
- F6 Biegen . . . . . 248
- F7 Frästechnik . . . . . 249 ... 270
- F8 Drehtechnik . . . . . 271 ... 296
- F9 Automattendrehtechnik . . . . . 297 ... 300
- F10 Gewindeherstellung . . . . . 301 ... 307
- F11 Räumen . . . . . 308 ... 309
- F12 Fertigungstechnologien . . . . . 310 ... 315
- F13 Schleiftechnik . . . . . 316 ... 330

**Betriebstechnik**

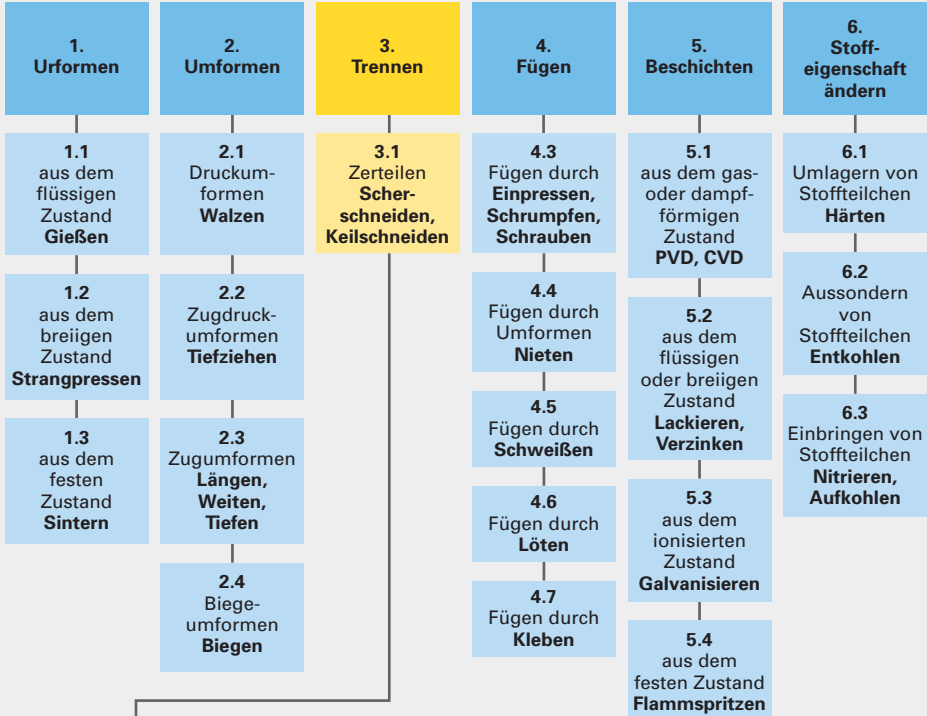


- B1 Wartung- und Instandhaltung . . . . . 331 ... 333
- B2 Betriebsstoffe . . . . . 334 ... 341
- B3 Werkzeugmaschinen . . . . . 342 ... 352
- B4 Werkzeugspanntechnik . . . . . 353 ... 356
- B5 Werkstückspanntechnik . . . . . 357 ... 360
- B6 Unwucht . . . . . 361 ... 363
- B7 Anschlagmittel . . . . . 364 ... 368

## Fertigungsverfahren

### Einteilung der Fertigungsverfahren

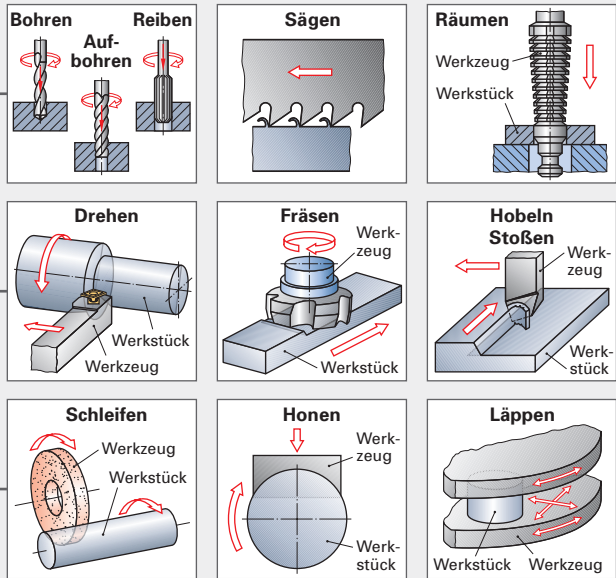
Die Fertigungsverfahren werden nach DIN 8580 in sechs Hauptgruppen eingeteilt.



### 3.2 Spanen

Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide


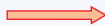
Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide

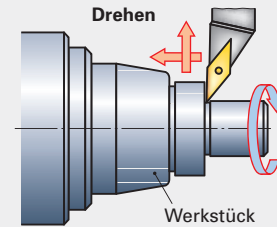
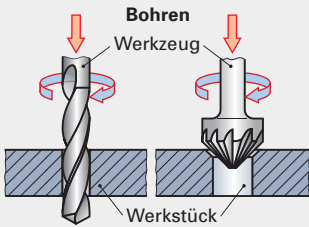




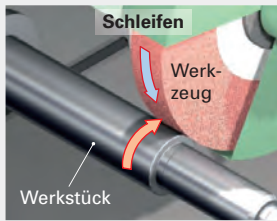
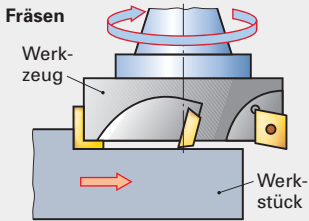
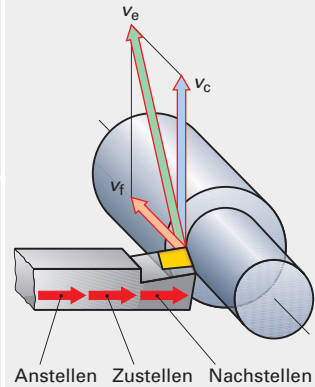
## Spannungsvorgang

### Spannungsbewegungen

Bewegung	Definition	Geschwindigkeit
<b>Schnittbewegung</b> 	Spannungsbewegung in Schnittrichtung. Sie bewirkt die Spanabnahme bei einer Werkstück- oder Werkzeugumdehrehung.	<b>Schnittgeschwindigkeit</b> Die Geschwindigkeit $v_c$ eines Schneidpunktes in Schnittrichtung.
<b>Vorschubbewegung</b> 	Spannungsbewegung in Vorschubrichtung. Sie bewirkt zusammen mit der Schnittbewegung eine kontinuierliche Spanabnahme.	<b>Vorschubgeschwindigkeit</b> Die Geschwindigkeit $v_f$ des Werkzeuges in Vorschubrichtung.
<b>Positionierbewegungen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anstellbewegung</li> <li>• Zustellbewegung</li> <li>• Nachstellbewegung</li> </ul>	Bringt das Werkzeug in Startposition. Bestimmt die Spanungsdicke $h$ bzw. die Spanungsbreite $b$ . Korrigierbewegung der Position.	<b>Positioniergeschwindigkeit</b> Die Stellgeschwindigkeit beim Positionieren (Eilganggeschwindigkeit).
<b>Wirkbewegung</b>	Aus der Schnitt- und Vorschubbewegung resultierende Spannungsbewegung in Wirkrichtung.	<b>Wirkgeschwindigkeit</b> Die Geschwindigkeit $v_e$ eines Schneidpunktes in Wirkrichtung.



### Geschwindigkeiten der Hauptbewegungen



## Geschwindigkeiten

### Schnittgeschwindigkeit

$v_c$  Schnittgeschwindigkeit in m/min     $d$  Durchmesser in mm     $n$  Drehzahl (Drehfrequenz) in  $\text{min}^{-1}$

#### Beispiel 1:

Bohrerdurchmesser  $d = 8 \text{ mm}$ ,  
Schnittgeschwindigkeit  $v_c = 40 \text{ m/min}$

**Gesucht:** Drehzahl  $n$

$$n = \frac{40 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot 1000 \frac{\text{mm}}{\text{m}}}{\pi \cdot 8 \text{ mm}} = 1591 \frac{1}{\text{min}}$$

**Schnittgeschwindigkeit bei rotatorischer Schnittbewegung**

$$v_c = \pi \cdot d \cdot n$$

**Drehzahl**

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d}$$

### Vorschubgeschwindigkeit

$v_f$  Vorschubgeschwindigkeit in mm/min  
 $n$  Drehzahl (Drehfrequenz) in  $\text{min}^{-1}$   
 $f_z$  Vorschub pro Zahn in mm  
 $f$  Vorschub in mm  
 $z$  Zähnezahl

**Vorschubgeschwindigkeit**

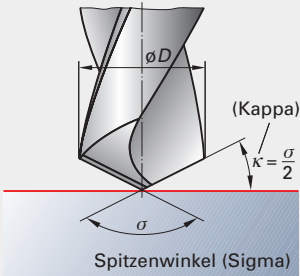
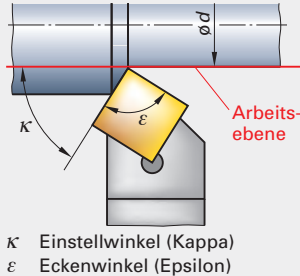
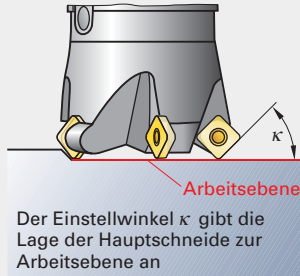
$$v_f = f_z \cdot z \cdot n$$

$$v_f = f \cdot n$$



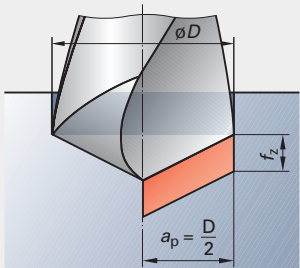
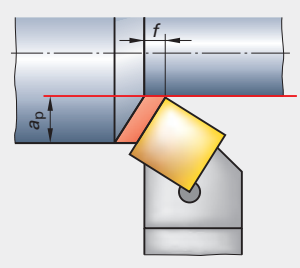
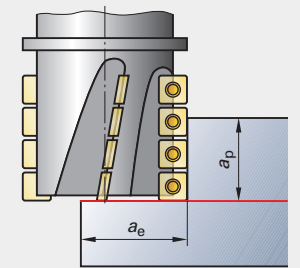
## Spanungsgeometrie

### Einstellwinkel

Bohren	Drehen	Fräsen
 <p>(Kappa) <math>\kappa = \frac{\sigma}{2}</math> Spitzenwinkel (Sigma)</p>	 <p><math>\kappa</math> Einstellwinkel (Kappa) <math>\epsilon</math> Eckenwinkel (Epsilon)</p>	 <p>Der Einstellwinkel <math>\kappa</math> gibt die Lage der Hauptschneide zur Arbeitsebene an</p>

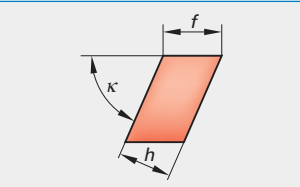
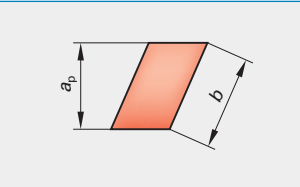
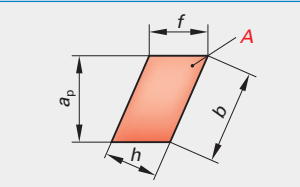
### Schnittgrößen

Schnittgrößen sind technologische Kenngrößen, die zur Spanabnahme eingestellt werden müssen.

Vorschub	Schnitttiefe	Schnittbreite
<p>Der Vorschub <math>f</math> ist der Spanungsweg in Vorschubrichtung, der bei einer Werkstück- oder Werkzeugumdrehung in Millimeter zurückgelegt wird.</p>  <p><math>a_p = \frac{D}{2}</math></p>	<p>Die Schnitttiefe <math>a_p</math> ist die Eingriffstiefe der Hauptschneide. Sie wird in axialer Werkzeugrichtung senkrecht zur <b>Arbeits-ebene</b> in Millimeter gemessen.</p> 	<p>Die Schnittbreite <math>a_e</math> (Arbeitseingriff) ist die Eingriffsbreite der Hauptschneide. Sie wird in radialer Werkzeugrichtung parallel zur <b>Arbeits-ebene</b> in Millimeter gemessen.</p> 

### Spanungsgrößen

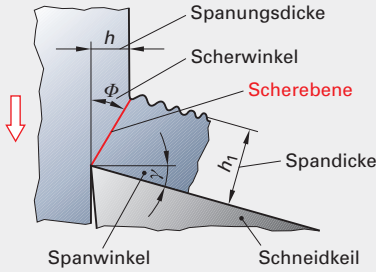
Spanungsgrößen werden aus den Schnittgrößen abgeleitet und beschreiben die Größe und die Form des abzutrennenden Spanungsquerschnitts.

Spanungsdicke	Spanungsbreite	Spanungsquerschnitt
<p>Die Spanungsdicke <math>h</math> entspricht der Dicke des Spans in Millimeter.</p> 	<p>Die Spanungsbreite <math>b</math> entspricht der Breite des Spans in Millimeter.</p> 	<p>Der Spanungsquerschnitt <math>A</math> ist der Querschnitt des abzutrennenden Spans in <math>\text{mm}^2</math>.</p> 
<p><b>Spanungsdicke</b></p> $h = f \cdot \sin \kappa$	<p><b>Spanungsbreite</b></p> $b = \frac{a_p}{\sin \kappa}$	<p><b>Spanungsquerschnitt</b></p> $A = a_p \cdot f = b \cdot h$



## Spanformen

### Spanbildung



- $\Phi$  Scherwinkel
- $\gamma$  Spanwinkel
- $\gamma_h$  Spandickenstauchung

#### Scherwinkel

$$\tan \Phi = \frac{\cos \gamma}{\lambda_h - \sin \gamma}$$

#### Spanflächenreibwert

$$\tan \Phi = e^{-\mu_{sp} \cdot \pi/2}$$

- $\mu_{sp}$  Spanflächenreibwert
- $\rho$  Reibwinkel
- $F_R$  Reibkraft
- $F_N$  Normalkraft

$$\mu_{sp} = \tan \rho = \frac{F_R}{F_N}$$

- $\lambda_h$  Spandickenstauchung
- $\lambda_h < 1$
- $h_1$  gestauchte Spandicke
- $h$  undeformierte Spandicke

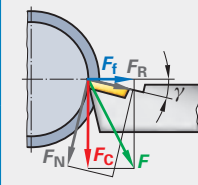
#### Spandickenstauchung

$$\lambda_h = \frac{h_1}{h}$$

#### Spangeschwindigkeit

$$v_{sp} = \frac{v_c}{\lambda_h}$$

- $v_{sp}$  Spangeschwindigkeit
- $v_c$  Schnittgeschwindigkeit
- $v_h$  Spandickenstauchung



Für  $\gamma \approx 0^\circ$  gilt:  
 $F_R \approx F_f$  und  $F_N \approx F_c$   
 $F_f$  Vorschubkraft  
 $F_c$  Schnittkraft

$$\tan \Phi = \frac{\cos \gamma}{\lambda_h - \sin \gamma}$$

## Spanformen

Ungünstige Spanformen	Brauchbare Spanformen	Günstige Spanformen
<p>Bandspäne</p>	<p>Schrägwendelspäne</p>	<p>Kurze zylindrische Wendelspäne</p>
<p>Wirrspäne</p>	<p>Lange zylindrische Wendelspäne</p>	<p>Spiralwendelspäne</p>
<p>Flachwendelspäne</p>	<p>Spanlocken, Bröckelspäne</p>	<p>Spiralspäne</p>

## Spanraumzahl

Spanform	Spanraumzahl R
Bandspäne	$\geq 90$
Wirrspäne	$\geq 90$
Flachwendelspäne	$\geq 50$
lange zyl. Wendelspäne	$\geq 50$
kurze zyl. Wendelspäne	$\geq 25$
Spiralspäne	$\geq 8$
Spanlocken	$\geq 8$
Bröckelspäne	$\geq 3$

#### Werkstoffvolumen

$$Q_w = a_p \cdot f \cdot v_c$$

- $Q_w$  zerspantes Werkstoffvolumen in  $\text{mm}^3/\text{min}$
- $a_p$  Schnitttiefe in mm
- $f$  Vorschub in mm
- $v_c$  Schnittgeschwindigkeit in m/min

- R Spanraumzahl
- $Q_{sp}$  Spanvolumen
- $Q_w$  Werkstoffvolumen

#### Spanraumzahl

$$R = \frac{Q_{sp}}{Q_w}$$

#### Spanvolumen

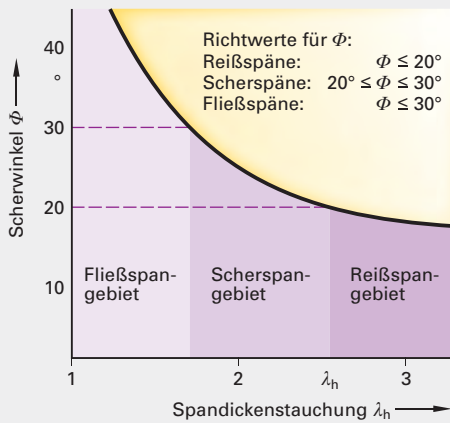
$$Q_{sp} = R \cdot Q_w$$

- $Q_{sp}$  Spanvolumen in  $\text{mm}^3/\text{min}$

## Spannungsvolumen

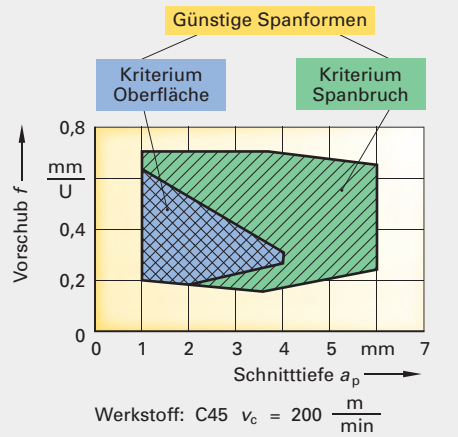
### Spanbruchdiagramm

Im Spanbruchdiagramm ist der Zusammenhang zwischen der Spandickenstauchung  $\lambda_h$  und dem Scherwinkel  $\phi$  dargestellt.



### Spanformdiagramm

Im Spanformdiagramm ist der Zusammenhang zwischen der Schnitttiefe  $a_p$  und dem Vorschub  $f$  dargestellt.



## Zeitspanvolumen

Das Zeitspanvolumen  $Q$  entspricht dem abzuspannenden Werkstoffvolumen pro Zeiteinheit (min).

- $Q$  Zeitspanvolumen in  $\text{mm}^3/\text{min}$
- $A$  Spanungsquerschnitt in  $\text{mm}^2$
- $v_c$  Schnittgeschwindigkeit in  $\text{m}/\text{min}$
- $D$  Bohrerdurchmesser
- $a_p$  Schnitttiefe in  $\text{mm}$
- $a_e$  Schnittbreite in  $\text{mm}$
- $f$  Vorschub in  $\text{mm}$
- $h_m$  Mittlere Spanungsdicke in  $\text{mm}$
- $z_e$  Zähne im Eingriff
- $b$  Spanungsbreite in  $\text{mm}$
- $h$  Spanungsdicke in  $\text{mm}$

### Zeitspanvolumen

$$Q = A \cdot v_c$$

### Spanungsquerschnitte

#### Bohren

$$A_B = \frac{D \cdot f}{2}$$

#### Drehen

$$A_D = a_p \cdot f$$

$$A_D = b \cdot h$$

#### Fräsen

$$A_F = a_p \cdot h_m \cdot z_e$$

$$A_F = a_e \cdot h_m \cdot z_e$$

## Leistungsbezogenes Zeitspanvolumen

Das Zeitspanvolumen  $Q_p$  entspricht dem in einer Zeiteinheit (min) abzuspannende Werkstoffvolumen in  $\text{mm}^3$  bezogen auf die an der Schneide verfügbare Schnittleistung  $P_c$  in Watt.

$Q_p$  Leistungsbezogenes Zeitspanvolumen in  $\text{mm}^3/\text{min} \cdot 1/\text{W}$

### Leistungsbezogenes Zeitspanvolumen

$$Q_p = \frac{Q}{P_c} = \frac{A \cdot v_c}{P_c}$$

#### Beispiel:

Wendelplattenbohrer mit zwei Schneiden, Durchmesser  $D = 40 \text{ mm}$ , Vorschub  $f = 0,16 \text{ mm}$ , Schnittgeschwindigkeit  $v_c = 100 \text{ m}/\text{min}$ , gemessene Schnittleistung  $P_c = 8,1 \text{ kW}$ .

#### Spanungsquerschnitt Bohren

$$A_B = \frac{D \cdot f}{2} = \frac{40 \text{ mm} \cdot 0,16 \text{ mm}}{2}$$

$$A_B = 3,2 \text{ mm}^2$$

#### Leistungsbezogenes Zeitspanvolumen

$$Q_p = \frac{Q}{P_c} = \frac{A \cdot v_c \cdot 1000 \text{ mm}/\text{m}}{P_c}$$

$$= \frac{3,2 \text{ mm}^2 \cdot 100 \text{ m}/\text{min} \cdot 1000 \text{ mm}/\text{m}}{8100 \text{ W}}$$

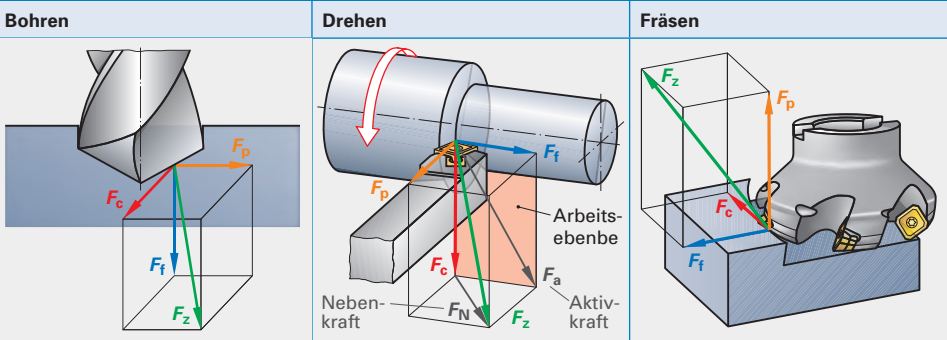
$$Q_p = 39,5 \frac{\text{mm}^3}{\text{min} \cdot \text{W}}$$



## Zerspankräfte

### Zerspankraftkomponenten

Die Zerspankräfte entstehen durch den Scherwiderstand des Werkstoffs und durch die Reibung auf der Spanfläche und an der Freifläche des Schneidkeils. In vereinfachter Form kann man die am Schneidkeil angreifenden Kräfte in Kraftvektoren darstellen.



### Vorschubkraft und Passivkraft

**Beispiel:**

Längsdrehen, Werkstoff C45E, Schnitttiefe  $a_p = 4 \text{ mm}$ , Spanwinkel  $\gamma = 6^\circ$ , Einstellwinkel  $\kappa = 75^\circ$ , Neigungswinkel  $\lambda = 0^\circ$ , Schnittgeschwindigkeit  $v_c = 120 \text{ m/min}$ , Vorschub  $f = 0,21 \text{ mm}$   
Bestimmen Sie die Zerspankraftkomponenten.

$$h = f \cdot \sin \kappa = 0,21 \text{ mm} \cdot \sin 75^\circ = \mathbf{0,2 \text{ mm}}$$

$$A = a_p \cdot f = 4 \text{ mm} \cdot 0,21 \text{ mm} = \mathbf{0,84 \text{ mm}^2}$$

$$F_c = A \cdot k_c = 0,84 \text{ mm}^2 \cdot \frac{2200}{0,2^{0,14}} = \mathbf{2756 \text{ N}}$$

$$F_p = A \cdot k_p = 0,84 \text{ mm}^2 \cdot \frac{310}{0,2^{0,43}} = \mathbf{619 \text{ N}}$$

$$F_f = A \cdot k_f = 0,84 \text{ mm}^2 \cdot \frac{370}{0,2^{0,73}} = \mathbf{1198 \text{ N}}$$

$$F_z = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} = \mathbf{3068 \text{ N}}$$

Werte für  $k_{c1,1}$ ,  $k_{p1,1}$  und  $k_{f1,1}$  auf Seite 211

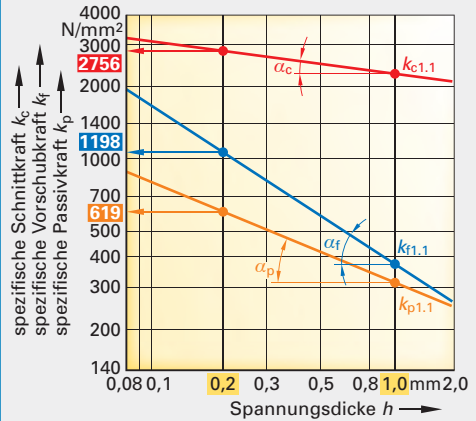
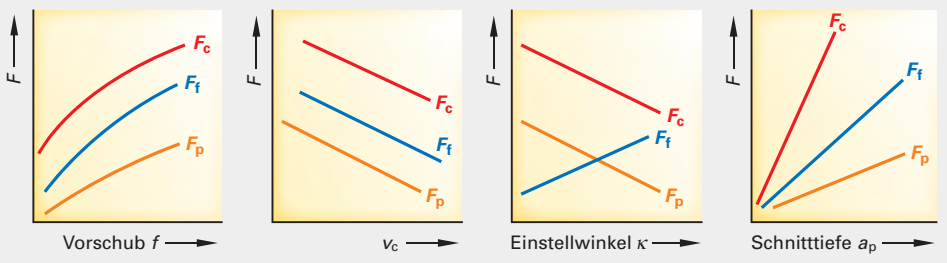


Diagramm: Spezifische Kräfte beim Zerspänen  
Ermittelt beim Drehen mit Spanwinkel  $\gamma = 6^\circ$ , Einstellwinkel  $\kappa = 75^\circ$ , Neigungswinkel  $\lambda = 0^\circ$ , Schnittgeschwindigkeit  $v_c = 120 \text{ m/min}$ , Werkstoff: C45E

### Abhängigkeit der Zerspankraftkomponenten



## Schnittkraft

### Schnittkraftberechnung

#### Hauptschnittkraft

- $F_c$  Hauptschnittkraft in N
- $A$  Spanungsquerschnitt in  $\text{mm}^2$
- $b$  Spanungsbreite in mm
- $h$  Spanungsdicke in mm
- $a_p$  Schnitttiefe in mm
- $f$  Vorschub in mm
- $k_c$  Spezifische Schnittkraft in  $\text{N}/\text{mm}^2$
- $k_{c1.1}$  Hauptwert der spez. Schnittkraft in  $\text{N}/\text{mm}^2$
- $m_c$  Werkstoffkonstante

Bestimmung von  $k_c$  siehe ab Seite 207

**Hauptschnittkraft**

$$F_c = A \cdot k_c$$

**Spezifische Schnittkraft**

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^{m_c}}$$

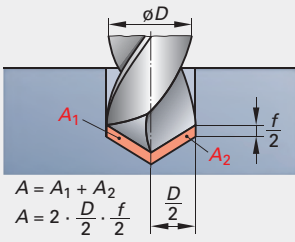
**Spanungsquerschnitt**

$$A = b \cdot h$$

$$A = a_p \cdot f$$

### Spanungsquerschnitt

#### Bohren



**Spanungsquerschnitt**

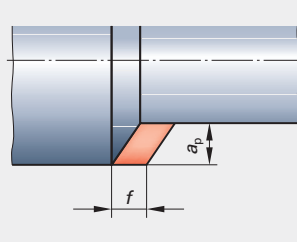
$$A_B = \frac{D \cdot f}{2}$$

Für zweischneidigen Wendelbohrer

- $a_p$  Schnitttiefe in mm
- $f$  Vorschub in mm

Weitere Bestimmungsgleichungen für Bohren siehe ab Seite 228.

#### Drehen



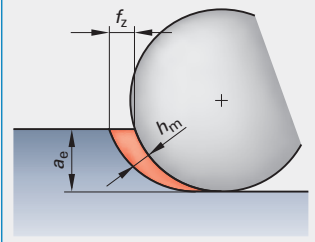
**Spanungsquerschnitt**

$$A_D = a_p \cdot f$$

- $a_p$  Schnitttiefe in mm
- $f$  Vorschub in mm

Weitere Bestimmungsgleichungen für Drehen siehe ab Seite 271.

#### Fräsen



**Spanungsquerschnitt**

$$A_F = a_e \cdot h_m \cdot z_e$$

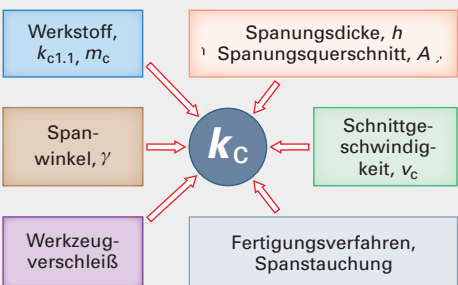
- $a_e$  Fräsbreite in mm
- $h_m$  Mittlere Spanungsdicke in mm
- $z_e$  Zähne im Eingriff

Weitere Bestimmungsgleichungen für Fräsen siehe ab Seite 249.

### Spezifische Schnittkraft

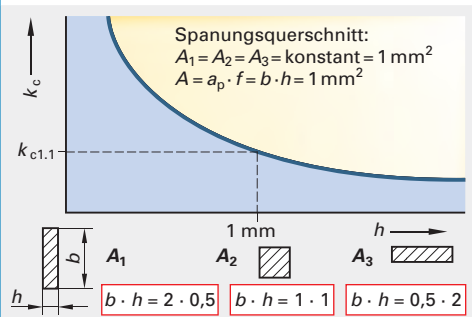
#### Einflüsse auf die spezifische Schnittkraft

Die spezifische Schnittkraft  $k_c$  ist erforderlich, um den Spanungsquerschnitt  $A = 1 \text{ mm}^2$  eines Werkstoffs zu zerspanen.



#### Form des Spanungsquerschnitts

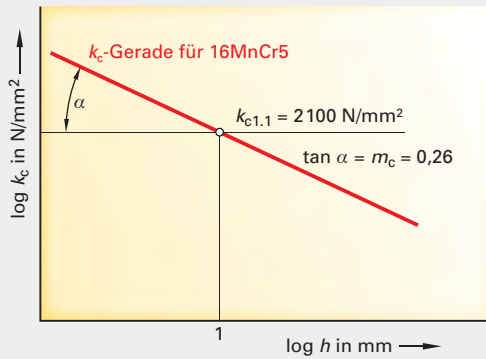
Die geometrische Form des Spanungsquerschnitts ( $A = b \cdot h$ ) beeinflusst die spezifische Schnittkraft  $k_c$ .





## Spezifische Schnittkraft

### Bestimmung der spezifischen Schnittkraft mit der $k_c$ -Geraden



**Spezifische Schnittkraft**

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^{m_c}} = k_{c1.1} \cdot h^{(1-m_c)}$$

**Werkstoffkonstante**

$$\tan \alpha = \frac{\Delta k_c}{\Delta h} = m_c$$

$k_c$  Spezifische Schnittkraft in  $N/mm^2$

$k_{c1.1}$  Hauptwert der spezifischen Schnittkraft gültig für einen Spanungsquerschnitt  $A = b \cdot h = 1 \text{ mm} \cdot 1 \text{ mm} = 1 \text{ mm}^2$

$m_c$  Werkstoffkonstante

$h$  Spanungsdicke in mm

Der Steigungswinkel  $\tan \alpha$  der Geraden ist werkstoffabhängig und wird als **Werkstoffkonstante**  $m_c$  bezeichnet.

### Näherungsformel für Stahlwerkstoffe

Faktor 4 für größere Spanungsdicken  $h$   
 Faktor 6 für kleinere Spanungsdicken  $h$   
 $R_m$  Zugfestigkeit in  $N/mm^2$

**Näherungsformel für Stahlwerkstoffe**

$$k_c \approx (4 \text{ bis } 6) \cdot R_m$$

### Näherungswerte für die spezifischen Schnittkräfte der Zerspanspannungshauptgruppen

		$R_m$ in $N/mm^2$	$k_{c1.1}$ in $N/mm^2$	$m_c$	
Zerspanspannungshauptgruppe	<b>Stahl</b>				
	<b>P</b>	Unlegierte, weiche Baustähle mit niedrigem Kohlenstoffgehalt	< 450	1800	0,2
		Unlegierte Stähle mit geringem bis mittlerem Kohlenstoffgehalt, C < 0,5 % Einsatzstähle, Vergütungsstähle, Automatenstähle	< 550	2000	0,2
		Niedrig legierte Stähle mit geringem bis mittlerem Kohlenstoffgehalt, Einsatzstähle, Vergütungsstähle, Stahlguss, ferritische rostfreie Stähle, Nitrierstahl	< 700	2200	0,24
		Normalharte Werkzeugstähle, Kaltarbeitsstähle, härtere Vergütungsstähle, martensitische rostfreie Stähle	< 900	2500	0,27
		Schwer zerspanbare Werkzeugstähle, hochlegierte Stähle, harter Stahlguss	< 1200	2750	0,25
		Hochfeste Stähle, gehärtete Stähle, schwer zerspanbare Stähle	> 1200	2850	0,23
	<b>M</b>	<b>Nichtrostende Stähle</b>			
		Gut bearbeitbare rostfreie Stähle		1800	0,24
		Austenitische rostfreie Stähle		2000	0,2
	<b>K</b>	<b>Gusseisen</b>			
		Grauguss, GJL		1050	0,23
		Kugelgraphitguss, GJS, Temperguss, Niedrig legierter Guss		1150	0,25
		Gusseisen mittlerer Härte, Temperguss, Niedrig legierter Guss		1500	0,28
		Höher legierter Guss, Temperguss, schwer zerspanbar		1900	0,19
	<b>N</b>	<b>NE-Metalle</b>			
		Gut zerspanbare NE-Legierungen, Aluminium, Magnesium, Messing		470	0,27
		Aluminiumlegierungen mit hohem Si-Anteil (> 16 % Si)		680	0,27
<b>S</b>	<b>Super-Legierungen und Titanlegierungen</b>				
	Nickel-, Kobalt-Eisenlegierungen, Warmfeste Stähle, Härte < 30 HRC		2500	0,22	
	Nickel-, Kobalt-Eisenlegierungen, Warmfeste Stähle, Härte > 30 HRC		3200	0,24	
	Titanlegierungen		1400	0,22	

## Spezifische Schnittkraft

### Bestimmung der spezifischen Schnittkraft unter Berücksichtigung von Einflussgrößen

Unter Berücksichtigung der Zerspanungsbedingungen lässt sich die spezifische Schnittkraft  $k_c$  durch Korrekturfaktoren  $K$  an die jeweilige Bearbeitungssituation anpassen.

#### K Korrekturfaktoren

- $K_\gamma$  für den Spanwinkel
- $K_{vc}$  für die Schnittgeschwindigkeit
- $K_{ver}$  für den Werkzeugverschleiß
- $K_{sp}$  für die Spanstauchung

#### Korrekturfaktor Schnittgeschwindigkeit

Schneidstoff	$v_c$ -Bereich	$K_{vc}$
HSS	30 bis 60 m/min	1,2
HM	60 bis 300 m/min	1,0
Keramik	180 bis 500 m/min	0,85

#### Spezifische Schnittkraft

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^{m_c}} \cdot K_\gamma \cdot K_{vc} \cdot K_{sp} \cdot K_{ver}$$

#### Korrekturfaktor Werkzeugverschleiß

$$K_{ver} = 1,2 \text{ bis } 1,5$$

#### Korrekturfaktor Spanwinkel

$$K_\gamma = 1 - \frac{\gamma - \gamma_0}{100}$$

#### Korrekturfaktor Spantauchung

Fertigungsverfahren	$K_{sp}$
Außenrunddrehen	1,0
Räumen, Hobeln Stoßen	1,1
Bohren, Fräsen, Innendrehen	1,2
Abstechdrehen, Einstechdrehen	1,3

- $\gamma_0$  Basisspanwinkel: + 6° für Stahl, + 2° für Gusseisen
- $\gamma$  tatsächlich vorhandener Spanwinkel

Werte für  $k_{c1.1}$  und  $m_c$  siehe **Seite 209, 210**

#### Beispiel:

Außendrehen, Werkstoff 42CrMo4, Werkstoffkonstante  $m_c = 0,26$ ,  $k_{c1.1} = 2500 \text{ N/mm}^2$ ,  $v_c = 180 \text{ m/min}$ , Vorschub  $f = 0,2 \text{ mm}$ , HM-Schneidplatte, Spanwinkel  $\gamma = 18^\circ$ , Einstellwinkel  $\kappa = 90^\circ$  geringer Verschleiß

$$h = f \cdot \sin \kappa = 0,2 \text{ mm} \cdot \sin 90^\circ = 0,2 \text{ mm}$$

$$K_\gamma = 1 - \frac{\gamma - \gamma_0}{100} = 1 - \frac{18^\circ - 6^\circ}{100} = 0,88, K_{vc} = 1,0, K_{ver} = 1,2, K_{sp} = 1,0$$

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^{m_c}} \cdot K_\gamma \cdot K_{vc} \cdot K_{ver} \cdot K_{sp} = \frac{2500}{0,2^{0,26}} \cdot 0,88 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 4\,011 \text{ N/mm}^2$$

### Tabellenwert der spezifischen Schnittkraft

Der Tabellenwert  $k$  der spezifischen Schnittkraft (Werte siehe **Seite 209, 210**) kann durch Korrekturfaktoren  $K$  ( $K_\gamma$ ,  $K_{vc}$ ,  $K_{ver}$ ,  $K_{sp}$ ) an die jeweilige Bearbeitungssituation angepasst werden.

#### Spezifische Schnittkraft

$$k_c = k \cdot K_\gamma \cdot K_{vc} \cdot K_{ver} \cdot K_{sp}$$

#### Beispiel:

Außendrehen, Werkstoff 42CrMo4, Schnittgeschwindigkeit  $v_c = 180 \text{ m/min}$ , Spanungsdicke  $h = 0,2 \text{ mm}$ , HM-Schneidplatte, Spanwinkel  $\gamma = 18^\circ$ , geringer Verschleiß.

$$k_c = 3799 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,88 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0$$

$$k_c = 4011 \text{ N/mm}^2$$

#### K Korrekturfaktoren

- $K_\gamma$  für den Spanwinkel
- $K_{vc}$  für die Schnittgeschwindigkeit
- $K_{ver}$  für den Werkzeugverschleiß
- $K_{sp}$  für die Spanstauchung

Korrekturfaktoren siehe oben.

## Spezifische Schnittkraft

### Richtwerte für die spezifische Schnittkraft, Tabelle 1

Die für das Drehen ermittelten  $k_c$ -Richtwerte (nach *Kienzle* und *König*), die zur Berechnung der Schnittkraft zum Einsatz kommen sind mit Korrekturfaktoren  $K$  auch für andere spanende Verfahren anwendbar.

Werkstoff- bezeichnung	$k_{c1.1}$ in N/mm <sup>2</sup>	$m_c$	Tabellenwert $k$ in N/mm <sup>2</sup> für Spanungsdicke $h$ in mm									
			0,06	0,08	0,10	0,20	0,25	0,40	0,60	0,80	1,00	1,60
<b>Unlegierter Stahl</b>												
S235JR	1780	0,17	2872	2735	2633	2340	2253	2080	1941	1849	1780	1643
S275JR	1820	0,25	3677	3422	3236	2722	2574	2289	2068	1924	1820	1618
E295	1950	0,26	4052	3760	3548	2963	2796	2475	2227	2066	1950	1726
E355	2070	0,17	3340	3180	3062	2721	2620	2419	2258	2150	2070	1911
<b>Einsatzstahl</b>												
C15E	1820	0,22	3380	3172	3020	2593	2469	2226	2036	1912	1820	1641
15CrNi6	1380	0,3	3209	2944	2753	2237	2092	1817	1609	1476	1380	1199
16MnCr5	2100	0,26	4364	4050	3821	3191	3011	2665	2398	2225	2100	1858
20MnCr5	2140	0,25	4324	4024	3806	3200	3026	2691	2432	2263	2140	1903
18CrNi6	2260	0,3	5256	4821	4509	3663	3426	2975	2634	2416	2260	1963
15CrMo5	2290	0,17	3694	3518	3387	3011	2899	2676	2498	2379	2290	2114
<b>Vergütungsstahl</b>												
C35	1516	0,27	3240	2998	2823	2341	2204	1942	1740	1610	1516	1335
C45	1680	0,26	3491	3240	3057	2553	2409	2132	1919	1780	1680	1487
C22	1800	0,16	2823	2696	2602	2329	2247	2084	1953	1865	1800	1670
C45E	1850	0,14	2743	2635	2554	2318	2246	2103	1987	1909	1850	1732
C60E	2130	0,18	3534	3356	3224	2846	2734	2512	2335	2217	2130	1957
37CrS4	1810	0,26	3761	3490	3294	2750	2595	2297	2067	1918	1810	1602
25CrMo4	2070	0,25	4182	3892	3681	3095	2927	2603	2352	2189	2070	1841
41Cr4	2070	0,25	4182	3892	3681	3095	2927	2603	2352	2189	2070	1841
50CrV4	2220	0,26	4614	4281	4040	3374	3183	2817	2535	2353	2220	1965
34CrMo4	2240	0,21	4044	3807	3633	3141	2997	2715	2494	2347	2240	2029
37MnSi5	2260	0,2	3967	3745	3582	3118	2982	2715	2503	2363	2260	2057
42CrMo4	2500	0,26	5195	4821	4549	3799	3585	3173	2855	2649	2500	2212
30CrNiMo8	2600	0,2	4564	4309	4121	3587	3431	3123	2880	2719	2600	2367
<b>Automatenstahl</b>												
9SMnPb28	1200	0,18	1991	1891	1816	1603	1540	1415	1316	1249	1200	1103
<b>Nitrierstahl</b>												
34CrAlMo5	1740	0,26	3616	3355	3166	2644	2495	2208	1987	1844	1740	1540
<b>Werkzeugstahl</b>												
100Cr6	1410	0,39	4224	3776	3461	2641	2421	2016	1721	1538	1410	1174
C45W	1680	0,26	3491	3240	3057	2553	2409	2132	1919	1780	1680	1487
40CrMnMoS8-6	1800	0,27	3847	3560	3352	2780	2617	2305	2066	1912	1800	1585
X210Cr12	1820	0,26	3782	3510	3312	2766	2610	2310	2079	1929	1820	1611
90MnCrV	2300	0,21	4153	3909	3730	3225	3077	2788	2560	2410	2300	2084



## Spezifische Schnittkraft

### Richtwerte für die spezifische Schnittkraft, Tabelle 2

Werkstoff- bezeichnung	$k_{c1,1}$ in N/mm <sup>2</sup>	$m_c$	Tabellenwert $k$ in N/mm <sup>2</sup> für Spannungsdicke $h$ in mm									
			0,06	0,08	0,10	0,20	0,25	0,40	0,60	0,80	1,00	1,60
<b>Rostfreier Stahl</b>												
X46Cr13	1820	0,26	3782	3510	3312	2766	2610	2310	2079	1929	1820	1611
X30Cr13	1820	0,26	3782	3510	3312	2766	2610	2310	2079	1929	1820	1611
NiCr20TiAl	2088	0,29	4721	4343	4071	3330	3121	2724	2421	2228	2088	1822
X5CrNi18-10	2350	0,21	4243	3994	3811	3295	3144	2849	2616	2463	2350	2129
X10CrNiMo18-10	2550	0,18	4231	4018	3860	3407	3273	3007	2796	2655	2550	2343
X5CrNiMo17-12-2	2600	0,19	4437	4201	4027	3530	3383	3094	2865	2713	2600	2378
<b>Gusseisen</b>												
GJS-350	1000	0,25	2021	1880	1778	1495	1414	1257	1136	1057	1000	889
GJS-400	1080	0,23	2063	1931	1834	1564	1486	1333	1215	1137	1080	969
GJS-500	1135	0,21	2049	1929	1841	1591	1519	1376	1264	1189	1135	1028
GJS-600	1480	0,17	2388	2274	2189	1946	1873	1729	1614	1537	1480	1366
GJL-250	1160	0,26	2411	2237	2111	1763	1663	1472	1325	1229	1160	1027
GJL-400	1470	0,26	3055	2835	2675	2234	2108	1865	1679	1558	1470	1301
<b>Stahlguss</b>												
GE200	1600	0,17	2581	2458	2367	2104	2025	1870	1745	1662	1600	1477
GE300	1780	0,17	2872	2735	2633	2340	2253	2080	1941	1849	1780	1643
<b>Temperguss</b>												
GJMW-400	2060	0,19	3516	3329	3191	2797	2681	2452	2270	2149	2060	1884
GJMB-650	1180	0,24	2318	2163	2051	1736	1646	1470	1334	1245	1180	1054
<b>Aluminiumgusslegierung</b>												
AlSi17Cu4FeMg	402	0,27	859	795	749	621	584	515	461	427	402	354
AlSi10Mg	440	0,27	940	870	819	679	640	564	505	467	440	388
AlSi12	454	0,28	998	921	865	712	669	587	524	483	454	398
AlSi9Cu3	456	0,27	975	902	849	704	663	584	523	484	456	402
<b>Aluminiumknetlegierung</b>												
AlMg4,5Mn0,4	487	0,23	930	871	827	705	670	601	548	513	487	437
AlMg4	509	0,27	1088	1007	948	786	740	652	584	541	509	448
AlCu4Mg1	510	0,28	1121	1034	972	800	752	659	588	543	510	447
AlZn5,5MgCu	540	0,26	1122	1041	983	821	774	685	617	572	540	478
<b>Magnesiumlegierung</b>												
MgAl7Mn	280	0,19	478	452	434	380	364	333	309	292	280	256
<b>Titanlegierung</b>												
TiAl6V4	1370	0,21	2473	2328	2222	1921	1833	1661	1525	1436	1370	1241
<b>Messing</b>												
CuZn39Pb2	780	0,18	1294	1229	1181	1042	1001	920	855	812	780	717



## Spezifische Schnittkraft

### Richtwerte für die spezifische Vorschubkraft und die spezifische Passivkraft

Bei Stahlwerkstoffen mit mittlerer Festigkeit beträgt die spezifische Vorschubkraft  $k_{f1,1}$  etwa 1/5 und die spezifische Passivkraft  $k_{p1,1}$  etwa 1/6 der  $k_{c1,1}$  - Werte. Die Werte für  $k_{f1,1}$  und  $k_{p1,1}$  können wegen der großen Anzahl von Einflussfaktoren **nur für Näherungslösungen** zur Bestimmung der Vorschubkraft und der Passivkraft verwendet werden.

Werkstoffbezeichnung	$k_{c1,1}$ in N/mm <sup>2</sup>	$m_c$	$k_{f1,1}$ in N/mm <sup>2</sup>	$m_f$	$k_{p1,1}$ in N/mm <sup>2</sup>	$m_p$
E295 (St50)	1990	0,26	350	0,7	275	0,5
E360 (St70)	2260	0,3	365	0,62	310	0,5
C15	1820	0,22	340	0,8	260	0,54
C35	1516	0,27	320	0,8	260	0,54
C45	1680	0,26	340	0,68	280	0,48
C45E	2200	0,14	370	0,73	310	0,43
15CrMo5	2290	0,17	290	0,75	230	0,56
16MnCr5	2100	0,26	390	0,7	325	0,46
18CrNi6	2260	0,3	325	0,73	250	0,47
20MnCr5	2140	0,25	340	0,68	250	0,53
30CrNiMo8	2600	0,2	355	0,62	255	0,44
34CrMo4	2240	0,21	340	0,68	240	0,63
37MnSi5	2260	0,2	260	0,64	280	0,26
42CrMo4	2500	0,26	340	0,67	270	0,48
50CrV4	2220	0,26	320	0,77	315	0,39
X10CrNiMo 18-10	2550	0,18	200	0,75	180	0,6
GJL-250	1160	0,26	250	0,7	190	0,46
GJS-600	1480	0,17	290	0,76	240	0,44
AlMg4SiMn	487	0,2	20	1,08	32	0,75
NiCr20TiAl	2088	0,29	340	0,7	560	0,4

- A Spannungsquerschnitt in mm<sup>2</sup>
- $k_f$  Spezifische Vorschubkraft in N/mm<sup>2</sup>
- $k_{f1,1}$  Hauptwert der spez. Vorschubkraft in N/mm<sup>2</sup>
- $m_f$  Werkstoffkonstante
- $m_p$  Werkstoffkonstante
- $k_p$  Spezifische Passivkraft in N/mm<sup>2</sup>
- $k_{p1,1}$  Hauptwert der spez. Passivkraft in N/mm<sup>2</sup>
- h Spannsdicke in mm

#### Vorschubkraft

$$F_f = A \cdot k_f$$

#### Passivkraft

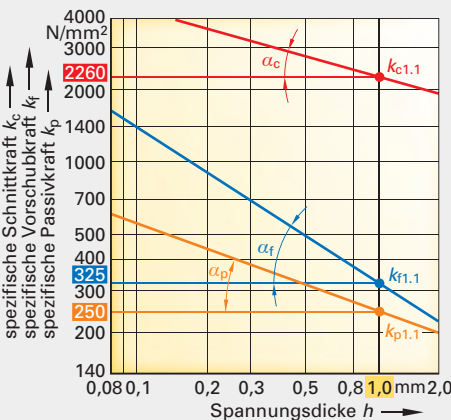
$$F_p = A \cdot k_p$$

#### Spezifische Vorschubkraft

$$k_f = \frac{k_{f1,1}}{h^{m_f}}$$

#### Spezifische Passivkraft

$$k_p = \frac{k_{p1,1}}{h^{m_p}}$$



#### Beispiel:

Drehen mit Spanwinkel  $\gamma = 6^\circ$ , Einstellwinkel  $\kappa = 70^\circ$ , Neigungswinkel  $\lambda = 4^\circ$ , Schnittgeschwindigkeit  $v_c = 120$  m/min, HC-P10, **Werkstoff: 18CrNi6**

#### Spezifische Schnittkraft

$k_{c1,1} = 2260$  N/mm<sup>2</sup>  
 $m_c = 0,30$  → Steigungswinkel  $\alpha_c = 16,69^\circ$

#### Spezifische Vorschubkraft

$k_{f1,1} = 325$  N/mm<sup>2</sup>,  
 $m_f = 0,73$  → Steigungswinkel  $\alpha_f = 36,12^\circ$

#### Spezifische Passivkraft

$k_{p1,1} = 250$  N/mm<sup>2</sup>  
 $m_p = 0,47$  → Steigungswinkel  $\alpha_p = 25,17^\circ$

## Maschinen-Antriebsleistung

### Zerspanungsleistung

#### Zerspanungsleistung aus der Vorschubkraft

$P_f$  Vorschubleistung in W

$F_f$  Vorschubkraft in N

$v_f$  Schnittgeschwindigkeit in m/min

$n$  Drehzahl in  $\text{min}^{-1}$

$f$  Vorschub in mm

#### Vorschubleistung

$$P_f = F_f \cdot v_f$$

$$P_f = F_f \cdot f \cdot n$$

#### Beispiel:

$$P_f = F_f \cdot f \cdot n = \frac{680 \text{ N} \cdot 0,1 \text{ mm} \cdot 1200 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s/min}}$$

$$P_f = 1360 \text{ W}$$

#### Zerspanungsleistung aus der Hauptschnittkraft

$P_c$  Schnittleistung in W

$F_c$  Hauptschnittkraft in N

$v_c$  Schnittgeschwindigkeit in m/min

$d$  Durchmesser in mm

$n$  Drehzahl in  $\text{min}^{-1}$

#### Schnittleistung

$$P_c = F_c \cdot v_c$$

$$P_c = F_c \cdot d \cdot \pi \cdot n$$

#### Beispiel:

$$P_c = F_c \cdot v_c = \frac{2800 \text{ N} \cdot 180 \text{ m/min}}{60 \text{ s/min}}$$

$$P_c = 8400 \text{ W}$$

### Gesamte Zerspanungsleistung

Da die Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$  im Vergleich zur Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  klein ist, kann die Vorschubleistung  $P_f$  zur Bestimmung der Gesamtzerspanungsleistung  $P_e$  vernachlässigt werden.

#### Wirkleistung

$$P_e = P_c + P_f$$

$$P_e \approx P_c$$

## Maschinen-Antriebsleistung

$P_M$  Maschinen-Antriebsleistung in kW

$P_c$  Schnittleistung in kW

$\eta_M$  Maschinenwirkungsgrad

Bei Werkzeugmaschinen liegt der Wirkungsgrad  $\eta_M = 0,7$  bis  $0,85$ .

#### Maschinen-Antriebsleistung

$$P = \frac{P_c}{\eta_M}$$

$$P_M = \frac{F_c \cdot v_c}{\eta_M}$$

## Richtwerte für Maschinen-Antriebsleistung bei Stahlwerkstoffen mit mittlerer Festigkeit

Bohren				Außenrunddrehen				Planfräsen				
$\varnothing D$	$f$	$F_c$	$P$	$\varnothing d$	$f$	$F_c$	$P$	$\varnothing D$	$z$	$f_z$	$F_c$	$P$
mm	mm	N	kW	mm	mm	N	kW	mm		mm	N	kW
2	0,1	144	0,2	20	0,1	720	2,64	50	6	0,08	842,9	3,1
4	0,1	480	0,6	30	0,2	1080	3,96	63	7	0,12	1475,1	5,4
6	0,1	864	1,2	40	0,2	1440	5,28	80	8	0,17	2388,2	8,8
8	0,1	1344	1,8	50	0,3	1800	6,6	100	10	0,2	3512,1	12,9
10	0,2	2160	2,9	60	0,3	2160	7,92	125	12	0,21	4425,2	16,2
12	0,2	2880	3,8	70	0,4	2520	9,24	160	14	0,23	5654,4	20,7
14	0,2	3696	4,9	80	0,4	2880	10,56	200	16	0,25	7024,1	25,8
16	0,2	4608	6,1	90	0,5	3240	11,88	250	20	0,28	9833,8	36,1
18	0,3	5616	7,5	100	0,5	3600	13,2					
20	0,3	7200	9,6									

Vollhartmetallbohrer, Bohrer-  
durchmesser  $D$ , Spitzwinkel  
 $\sigma = 118^\circ$ , Schnittgeschwin-  
digkeit  $v_c = 80 \text{ m/min}$

Werkstückdurchmesser  $d$ ,  
Hartmetall-Wendeschneid-  
platte, Einstellwinkel  $\kappa = 45^\circ$ ,  
Spanwinkel  $\gamma = 18^\circ$ ,  $v_c = 220 \text{ m/}$   
min, Schnitttiefe  $a_p = 3 \text{ mm}$

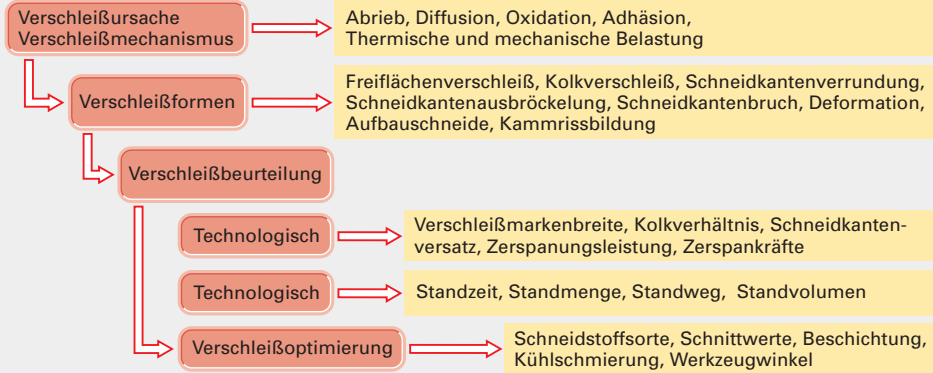
Hartmetall-Wendeschneidplatten ( $z$ )  
Einstellwinkel  $\kappa = 45^\circ$ , Spanwinkel  $\gamma = 12^\circ$ ,  
 $v_c = 220 \text{ m/min}$ , Fräsbreite  $a_e = 2/3 \cdot D$   
(Fräsdurchmesser),  
Fräser außermittig,  
über Werkstück,  
Schnitttiefe  $a_p = 3,5 \text{ mm}$





## Werkzeugverschleiß

### Gesamtbetrachtung Werkzeugverschleiß

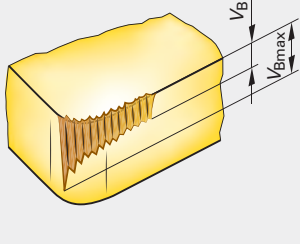
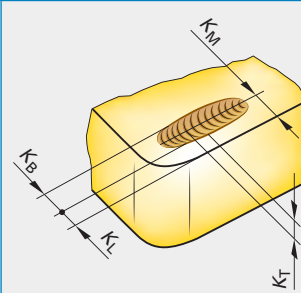
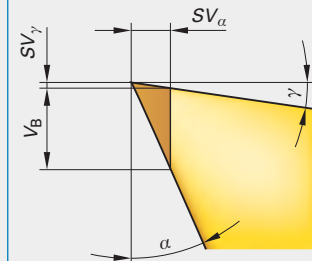


### Verschleißmechanismus

Verschleißursache	Verschleißform	
<b>Abrieb (Abrasion)</b> Der Abriebverschleiß ist die am häufigsten auftretende Verschleißursache. Durch abrasive Hartstoffpartikel im Werkstückwerkstoff wird durch Reibung die Schneide an der Freifläche, der Spanfläche und an der Schneidkante abgetragen.	<b>Freiflächenverschleiß</b> <b>Spanflächenverschleiß</b> <b>Schneidkantenverrundung</b>	
<b>Diffusion</b> Die Diffusion entsteht durch unterschiedliche Konzentrationen zwischen Werkstoff- und Schneidstoffbestandteilen (Kohlenstoff) bei höheren Temperaturen. Der Diffusionsverschleiß ist von der Schneidstoffhärte unabhängig.	<b>Kolkverschleiß</b>	
<b>Oxidation</b> Der Oxidationsverschleiß (Verzunderung) entsteht auf metallischen Oberflächen bei hohen Temperaturen zusammen mit Luftsauerstoff. Besonders anfällig sind das Wolframkarbid und das Kobalt im Hartmetall, da die die poröse Oxidschicht vom ablaufenden Span auf der Spanfläche leicht abgetragen werden kann.	<b>Kerbverschleiß</b> <b>Kolkverschleiß</b>	
<b>Adhäsion</b> Bei der Adhäsion verschweißen bei hohen Temperaturen und großer Spanpression zwischen der Spanunterseite, der Schneidkante und der Spanfläche Werkstoffpartikel schichtweise aufeinander.	<b>Aufbauschneide</b> <b>Pressschweißverschleiß</b>	
<b>Thermische und mechanische Belastungen</b> Durch hohe Zerspankräfte, schlagartige Beanspruchungen, hohe Zerspannungstemperaturen und starke Temperaturwechsel wird der Schneidstoff überlastet.	<b>Kammrisbildung</b> <b>Ermüdungsbruch</b> <b>Ausbrückelung</b> <b>Werkzeugbruch</b> <b>Plastische Verformung</b>	

## Verschleißbeurteilung

### Technologische Verschleißbeurteilung

Freiflächenverschleiß	Kolkverschleiß	Schneidkantenversatz
		
$V_B$ Verschleißmarkenbreite $V_{Bmax}$ maximale Verschleißmarkenbreite in mm $V_{Bzul}$ zulässige $V_B$ in mm $V_{Bzul}$ 0,2 bis 0,8 mm	$K_T$ Kolkhöhe in mm $K_M$ Kolkmitteabstand in mm $K_L$ Kolkklippenbreite in mm $K_B$ Kolkbreite  <b>Kolkverhältnis</b> $K = \frac{K_T}{K_M}$ $K_{zul}$ 0,1 bis 0,3	$SV_\alpha$ Schneidkantenversatz der Freifläche in mm $SV_\gamma$ Schneidkantenversatz der Spanfläche in mm $\alpha$ Freiwinkel $\gamma$ Spanwinkel

### Wirtschaftliche Verschleißbeurteilung

#### Standzeit

Die **Standzeit  $T$**  ist die maximale Eingriffszeit einer Werkzeugschneide bis ein vorgegebenes Verschleißkriterium (z. B. Verschleißmarkenbreite, Kolkverhältnis, Schneidkantenverrundung) erreicht wird, ein gefordertes Qualitätskriterium (Oberflächengüte, Maß- oder Formgenauigkeit) am Werkstück nicht mehr eingehalten werden kann oder der Spannungsvorgang (Spanbildung, Temperatur) sich unerwünscht verändert. Es wird häufig mit dem Standweg  $L_f$ , der Standmenge  $N$  oder dem Standvolumen  $V_T$  gearbeitet.

#### Standweg

Der **Standweg  $L_f$**  ist der gesamte Vorschubweg, den eine Schneide oder bei mehrschneidigen Werkzeugen alle Schneiden zusammen mit Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$  innerhalb der Standzeit  $T$  zurücklegen.

$L_f$  Standweg in m  
 $T$  Standzeit in min  
 $n$  Drehzahl in  $\text{min}^{-1}$   
 $f_z$  Vorschub/Zahn in mm  
 $z$  Zähnezahl

#### Standweg

$$L_f = T \cdot v_f$$

$$L_f = T \cdot n \cdot f_z \cdot z$$

#### Standmenge

Die **Standmenge  $N$**  ist die Anzahl der Werkstücke, die innerhalb der Standzeit  $T$  bearbeitet werden können.

$N$  Standmenge in Stück  
 $T$  Standzeit in min  
 $t_h$  Hauptnutzungszeit in min

#### Standmenge

$$N = \frac{T}{t_h}$$

#### Standvolumen

Das **Standvolumen  $V_T$**  ist das Werkstoffvolumen, das eine Schneide oder bei mehrschneidigen Werkzeugen alle Schneiden zusammen mit Vorschubgeschwindigkeit  $v_c$  innerhalb der Standzeit  $T$  zerspanen.

$V_T$  Standvolumen in  $\text{mm}^3$   
 $v_c$  Schnittgeschwindigkeit in m/min  
 $T$  Standzeit in min  
 $A$  Spanungsquerschnitt in  $\text{mm}^2$

#### Standvolumen

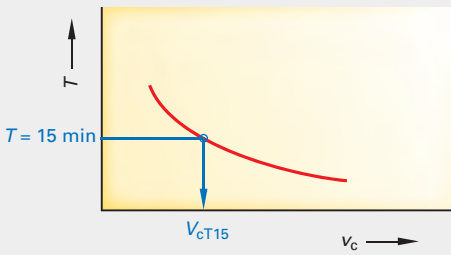
$$V_T = A \cdot v_c \cdot T$$



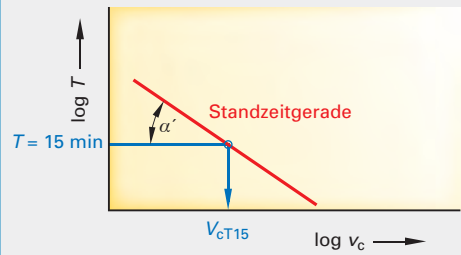
## Standzeitdiagramm

### Standzeitgerade

Die Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  hat auf die Standzeit  $T$  den größten Einfluss. Die Abhängigkeit der Standzeit von der Schnittgeschwindigkeit wird in einem Standzeitdiagramm ( $T$ - $v_c$ -Diagramm) dargestellt.



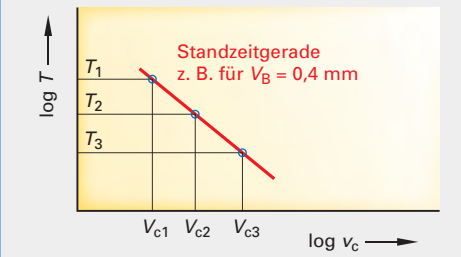
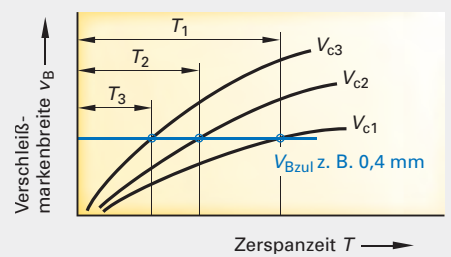
$T$ - $v_c$ -Kurve in linearer Achsenteilung



$T$ - $v_c$ -Gerade in logarithmischer Achsenteilung

### Ermittlung der Standzeitgeraden

In Zerspanversuchen werden für verschiedene Schnittgeschwindigkeiten  $v_c$  und Eingriffszeiten die jeweiligen Verschleißmarkenbreiten  $VB$  an der Schneide gemessen. Die  $T$ - $v_c$ -Geraden werden in ein doppellogarithmisches Diagramm übertragen,  $\log T$  bzw.  $\log v_c$  bedeutet, dass die Standzeit und die Schnittgeschwindigkeit in logarithmischer Achsenteilung in das Diagramm übertragen werden.



### Bestimmung der Standzeit

#### Taylorgleichung

- $T$  gesuchte Standzeit in min
- $T_1$  bekannte Standzeit in min
- $v_c$  neue Schnittgeschwindigkeit in m/min
- $v_{c1}$  Schnittgeschwindigkeit für Standzeit  $T_1$

$v_{c1}$  wird auch als  $v_{c1T1}$  bezeichnet, z. B.  $v_{c1} = v_{c1T15}$  für  $T_1 = 15$  min  
 $v_{c1} = v_{c1T30}$  für  $T_1 = 30$  min,  $v_{c1} = v_{c1T60}$  für  $T_1 = 60$  min

Der Steigungswert  $k$  der Standzeitgeraden ist abhängig von der Kombination aus Schneidstoff und Werkstoff. Aufgrund der Steigung der Geraden im Diagramm ist der Steigungswert  $k$  negativ.

#### Standzeit

$$T = T_1 \cdot \left(\frac{v_{c1}}{v_c}\right)^{-k}$$

#### Steigungswert

$$\tan \alpha' = -k$$

#### Richtwerte für den Steigungswert $k$

Werkstoff	Schneidstoff	Steigungswert $k$
Stahl	Schnellarbeitsstahl	-7
	Hartmetall	-4
	Schneidkeramik	-2
Gusseisen	Hartmetall	-3,5
Aluminiumlegierungen	Hartmetall	-2,5

