



Technische  
Universität  
Braunschweig

Institut für Werkzeugmaschinen  
und Fertigungstechnik **WF**



## Vorlesung Fertigungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder, 07. Mai 2018

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik



Technische  
Universität  
Braunschweig

Institut für Werkzeugmaschinen  
und Fertigungstechnik **WF**



## Kapitel 4.2: Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide

Dr.-Ing. Anke Müller, 07. Mai 2018

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik

# Einheiten der Vorlesung Fertigungstechnik

## Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580



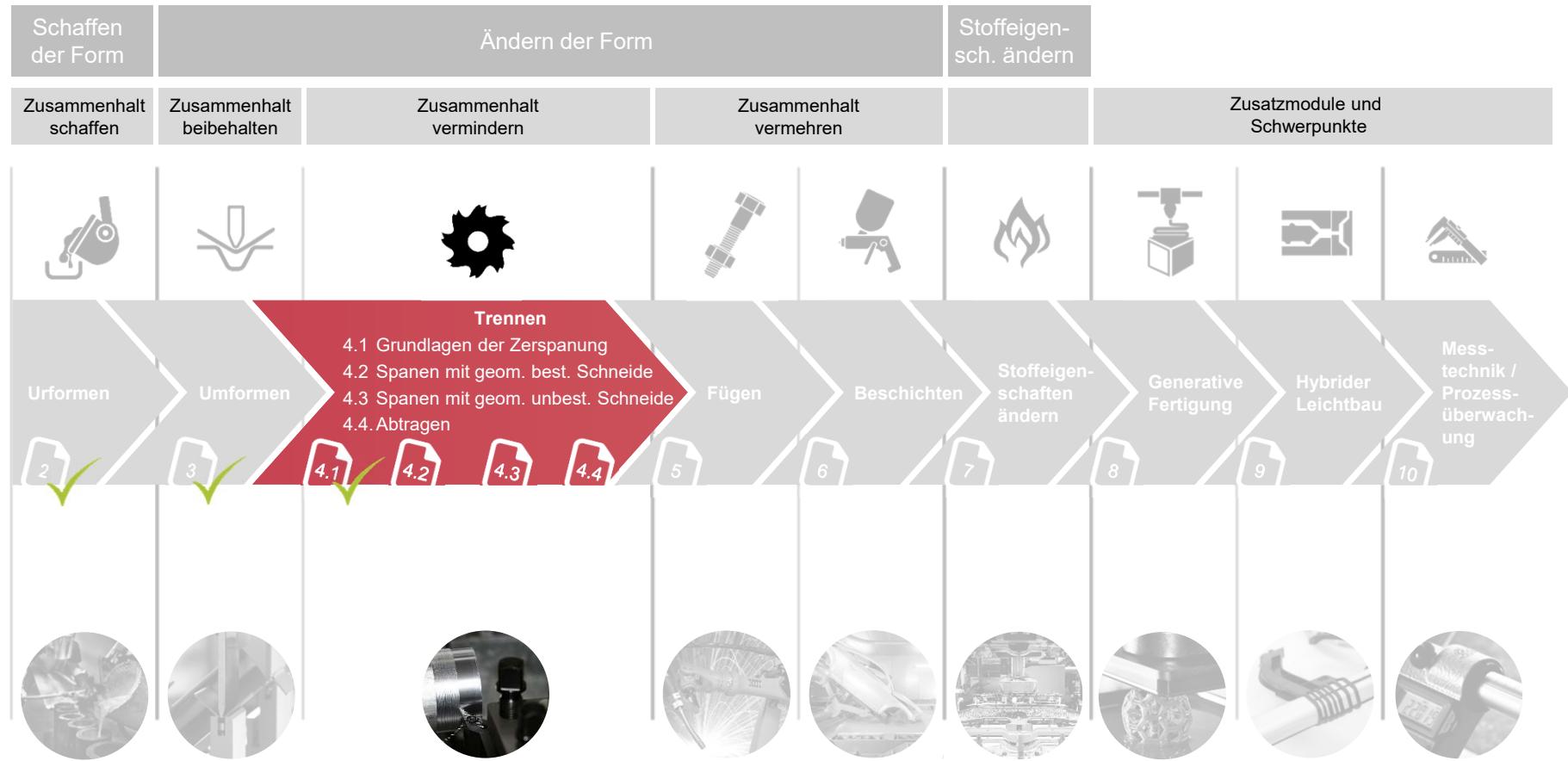
Bildquellen: Pexels



# **Einheiten der Vorlesung Fertigungstechnik**

## Trennen – Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide

## **Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580**



Bildquellen: Pexels

# Ziele der heutigen Vorlesung



# Unterteilung des Fertigungsverfahrens Trennen

## Gruppen des Trennens nach DIN 8580

### Unterteilung der Hauptgruppe Trennen nach DIN 8580

Zerteilen	Spanen mit geom. bestimmter Schneide	Spanen mit geom. unbestimmter Schneide	Abtragen	Zerlegen	Reinigen
A photograph showing a laser cutting machine in operation, with bright sparks flying from the cutting point.	A photograph of a CNC miller machining a workpiece, with a tool in contact with the metal surface.	A photograph of a drilling machine operating on a metal part.	A photograph showing a grinding or abrasive cutting process with many sparks.	A photograph of an aircraft engine being disassembled by a technician.	A photograph of a metal part being cleaned in a conveyor belt system.

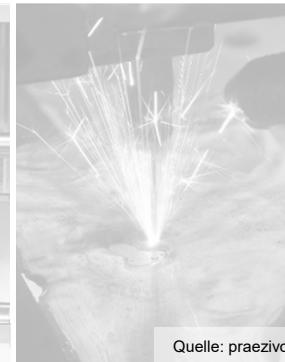
**Trennen** ist Fertigen durch Aufheben des Zusammenhaltens von Körpern,  
wobei der Zusammenhalt teilweise oder im Ganzen vermindert wird.



# Unterteilung des Fertigungsverfahrens Trennen

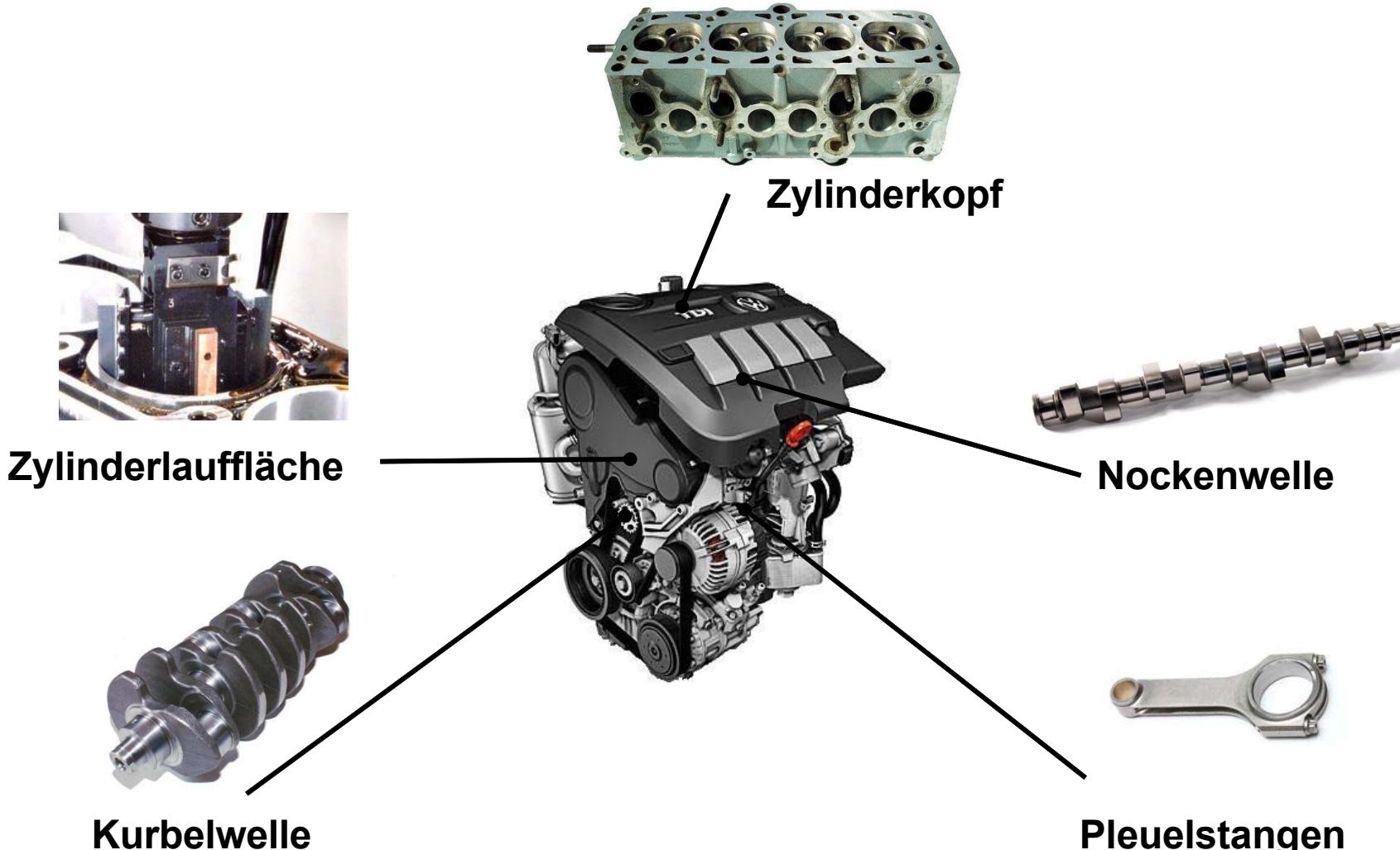
## Gruppen des Trennens nach DIN 8580

### Unterteilung der Hauptgruppe Trennen nach DIN 8580

Zerteilen	Spanen mit geom. bestimmter Schneide	Spanen mit geom. unbestimmter Schneide	Abtragen	Zerlegen	Reinigen
 Quelle: itec-online	 Quelle: sr-tech	 Quelle: ingenieur	 Quelle: praezivo	 Quelle: flugrevue	 Quelle: sonima

**Trennen** ist Fertigen durch Aufheben des Zusammenhaltens von Körpern, wobei der Zusammenhalt teilweise oder im Ganzen vermindert wird.

# Spanend hergestellte Komponenten im Verbrennungsmotor (Auswahl)



Quelle: Volkswagen

# Einflussgrößen auf den Zerspanprozess

Maschine



Quelle: mobasi

Werkzeug



Quelle: ebn24

Einstellgrößen, z.B.

- Schnittgeschwindigkeit
- Schnitttiefen
- Vorschub

Zerspan-  
prozess

Störgrößen



Prozesskenngrößen, z.B.

- Temperaturen
- Kräfte

Werkstück



Quelle: skf



Randbedingungen



Technische  
Universität  
Braunschweig

Dr.-Ing. Anke Müller | Fertigungstechnik

07. Mai 2018 | Folie 13

Institut für Werkzeugmaschinen  
und Fertigungstechnik

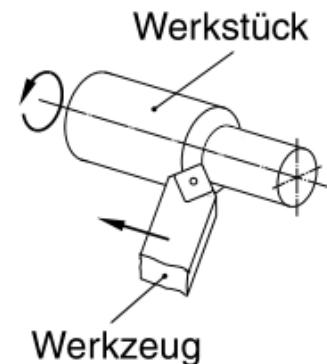


# Fertigungsverfahren

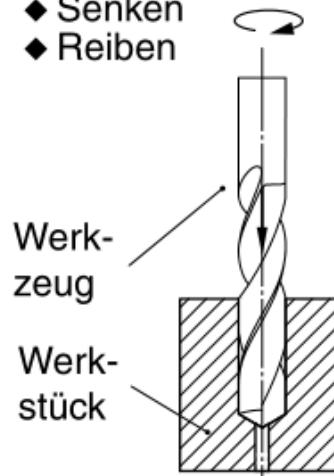
## Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide

### Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide

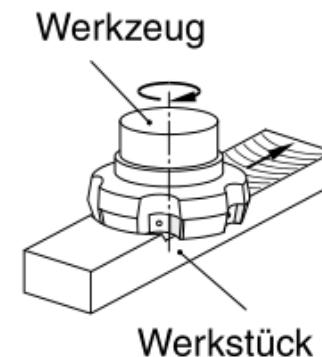
- ◆ Drehen



- ◆ Bohren
- ◆ Senken
- ◆ Reiben



- ◆ Fräsen



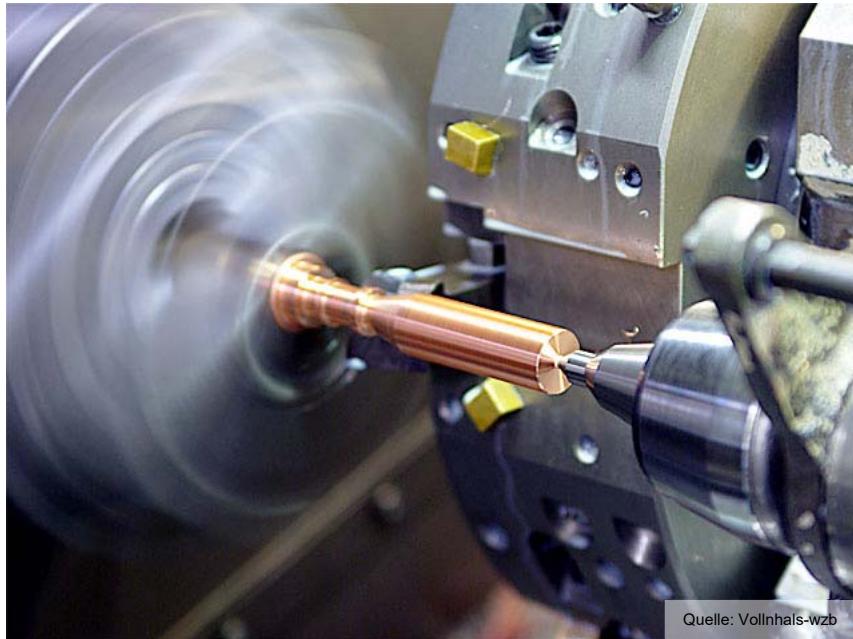
- ◆ Sonstige Verfahren:

- ◆ Hobeln, Stoßen
- ◆ Räumen
- ◆ Sägen
- ◆ Feilen, Raseln
- ◆ Bürstspanen
- ◆ Schaben, Meißen



# Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide

## Drehen



Quelle: Vollnhals-wzb



Quelle: skf

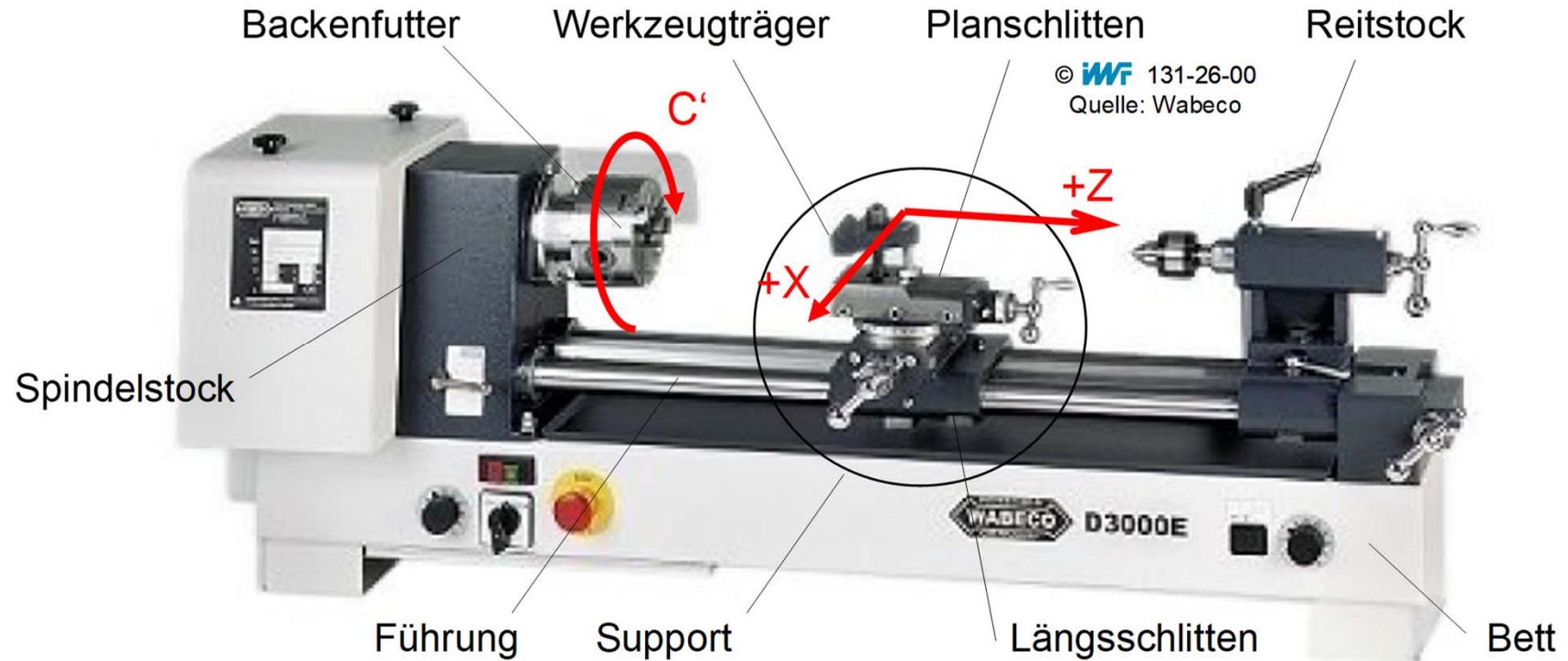
# Film

## Drehen & Bohren & Drehfräsen



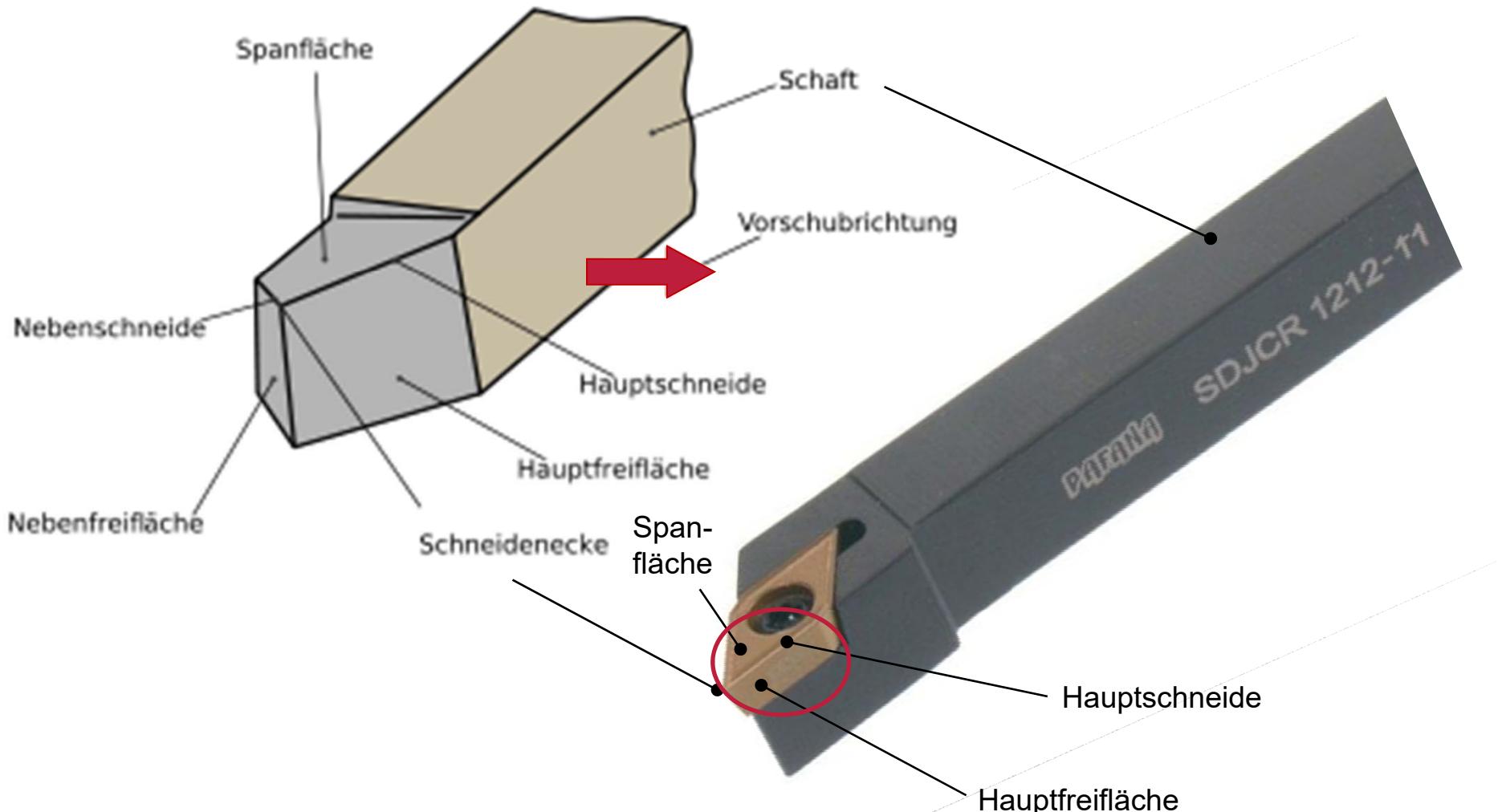
# Maschinentechnik zum Drehen

## Konventionelle Flachbett-drehmaschine



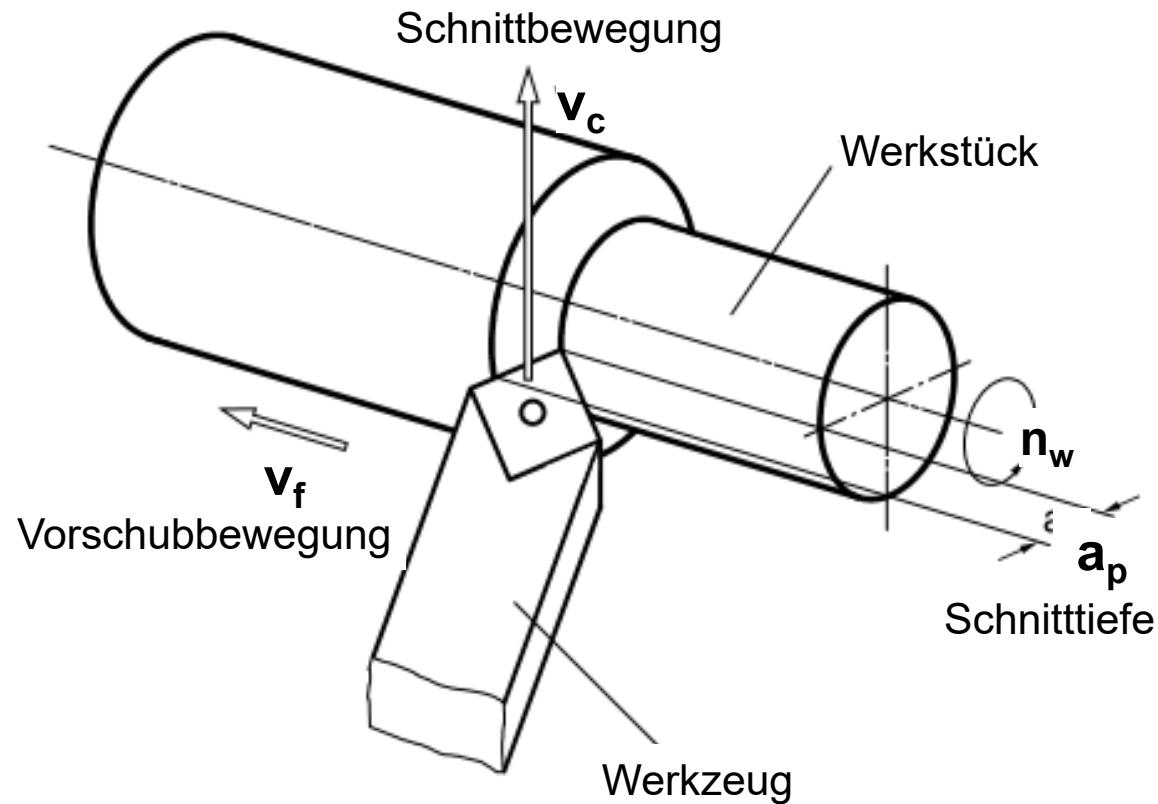
# Geometrie am Schneidkeil

## Drehen



# Drehprozess

## Bewegungskinematik

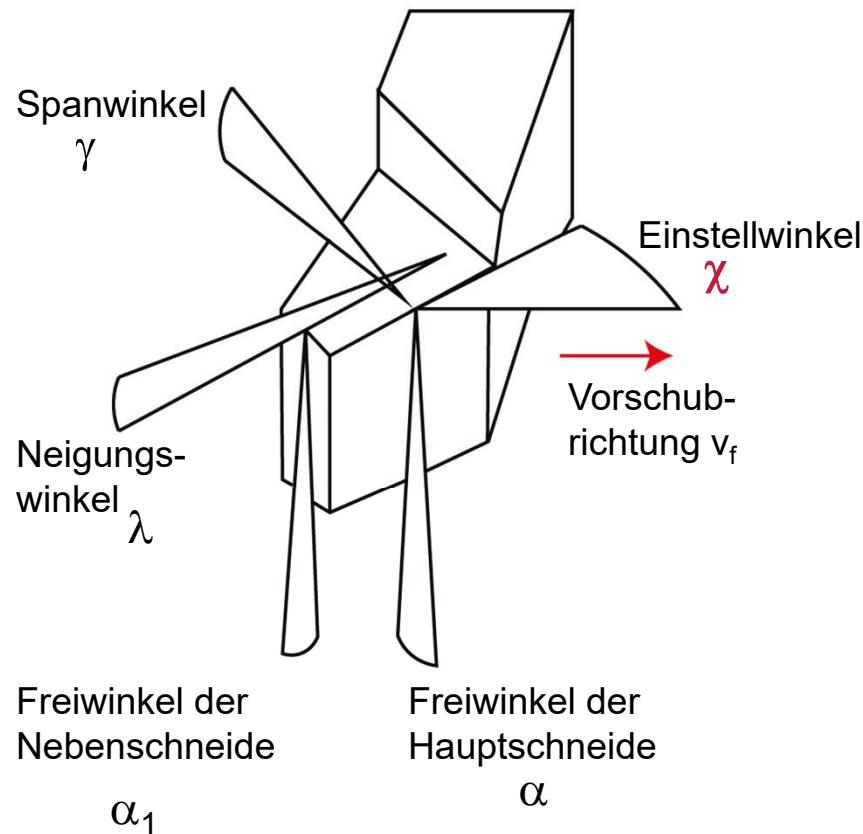


Quelle: Denkera

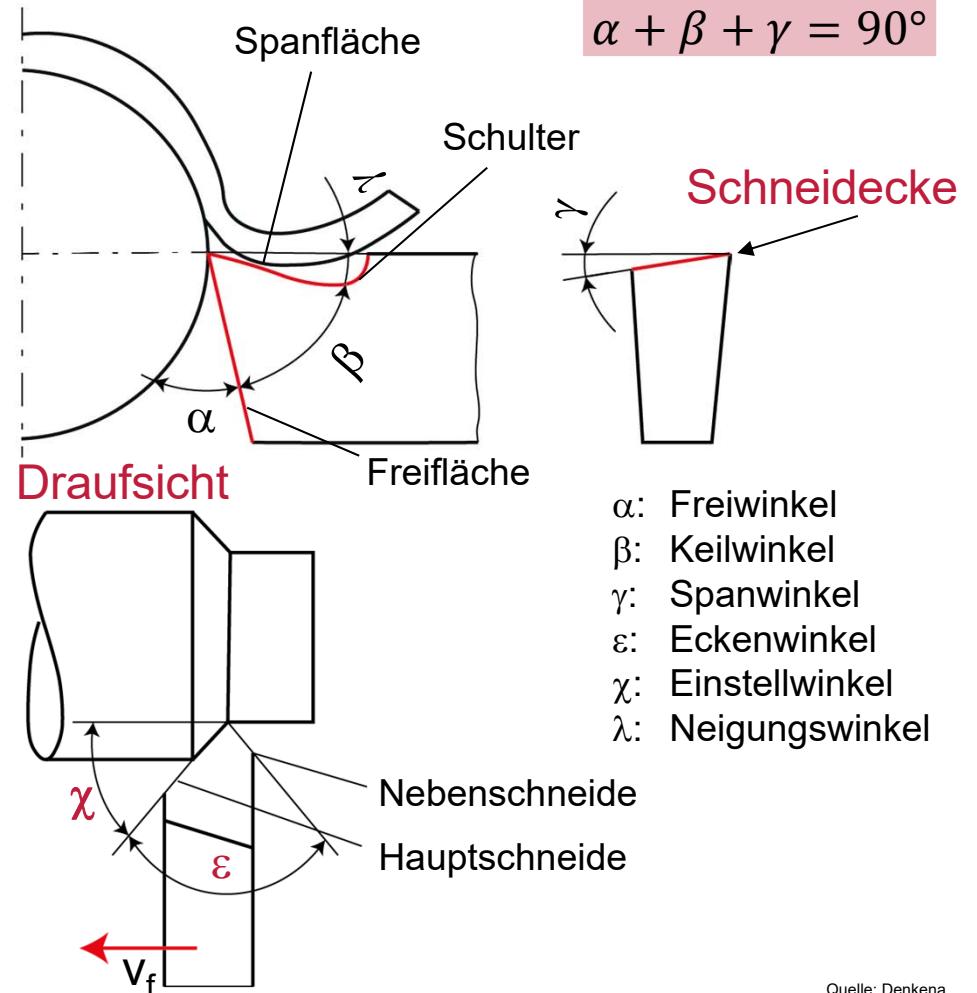
# Drehprozess

## Winkelbeziehungen am Schneidekeil

Sicht auf die Schneidenecke



Sicht auf die Stirnfläche

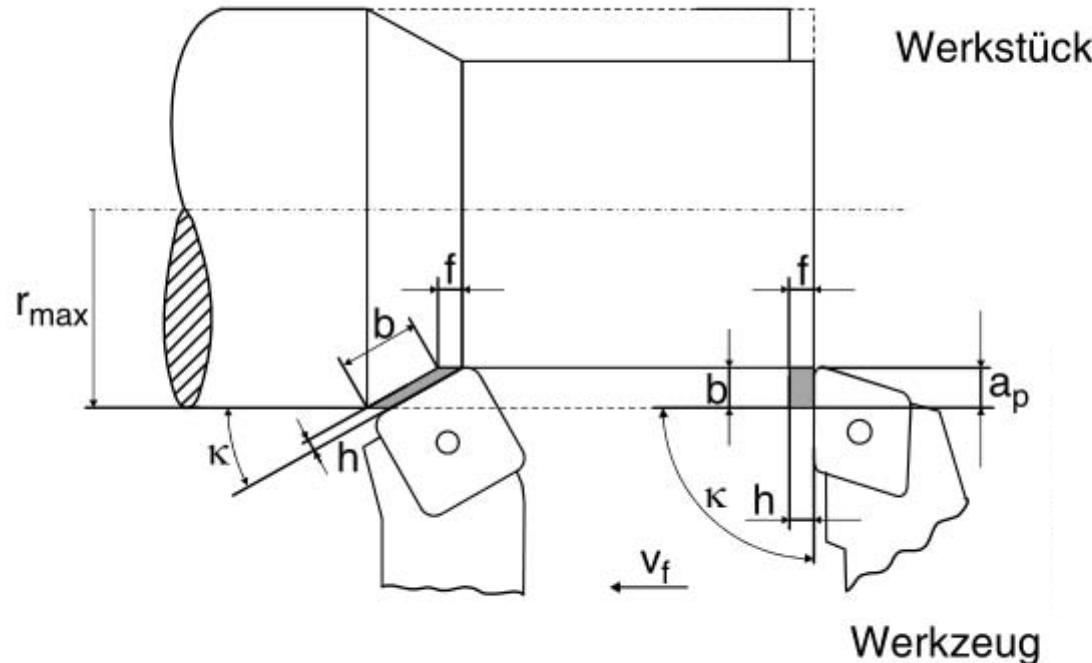


Quelle: Denkera



# Drehprozess

## Schnitt- und Spanungsgrößen



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

$$h = f \cdot \sin \kappa_r$$

$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r}$$

$\kappa$ : Einstellwinkel

$a_p$ : Schnitttiefe

$f$ : Vorschub (pro Umdrehung)

$b$ : Spanungsbreite

$h$ : Spanungsdicke

$A$ : Spanungsquerschnitt

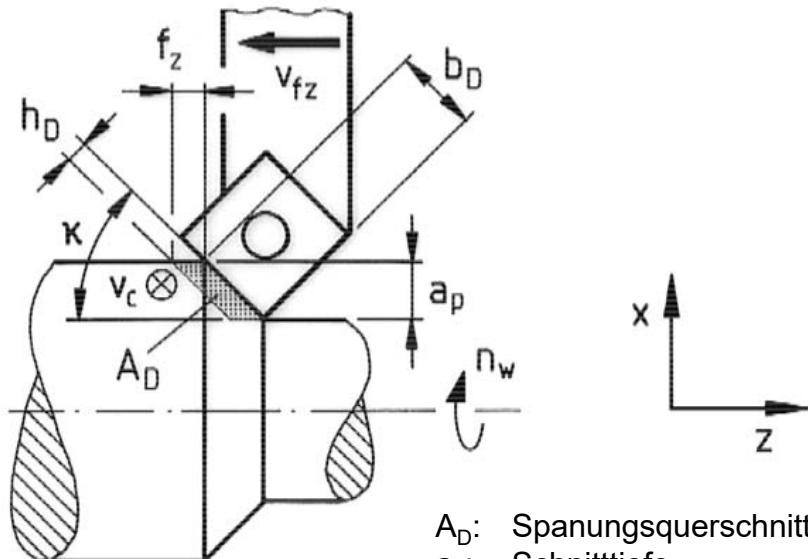
0/09020 © IFW

Quelle: Denkena



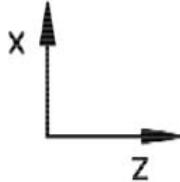
# Bewegungen und Schnittgrößen

## Drehen



Längs-Runddrehen

- $A_D$ : Spanungsquerschnitt
- $a_p$ : Schnitttiefe
- $b_d$ : Spanungsbreite
- $d_w$ : Werkstückdurchmesser
- $f$ : Vorschub
- $h_D$ : Spanungsdicke
- $n_w$ : Werkstückdrehzahl
- $v_f$ : Vorschubgeschwindigkeit
- $v_c$ : Schnittgeschwindigkeit
- $x$ : Einstellwinkel



# Drehprozess

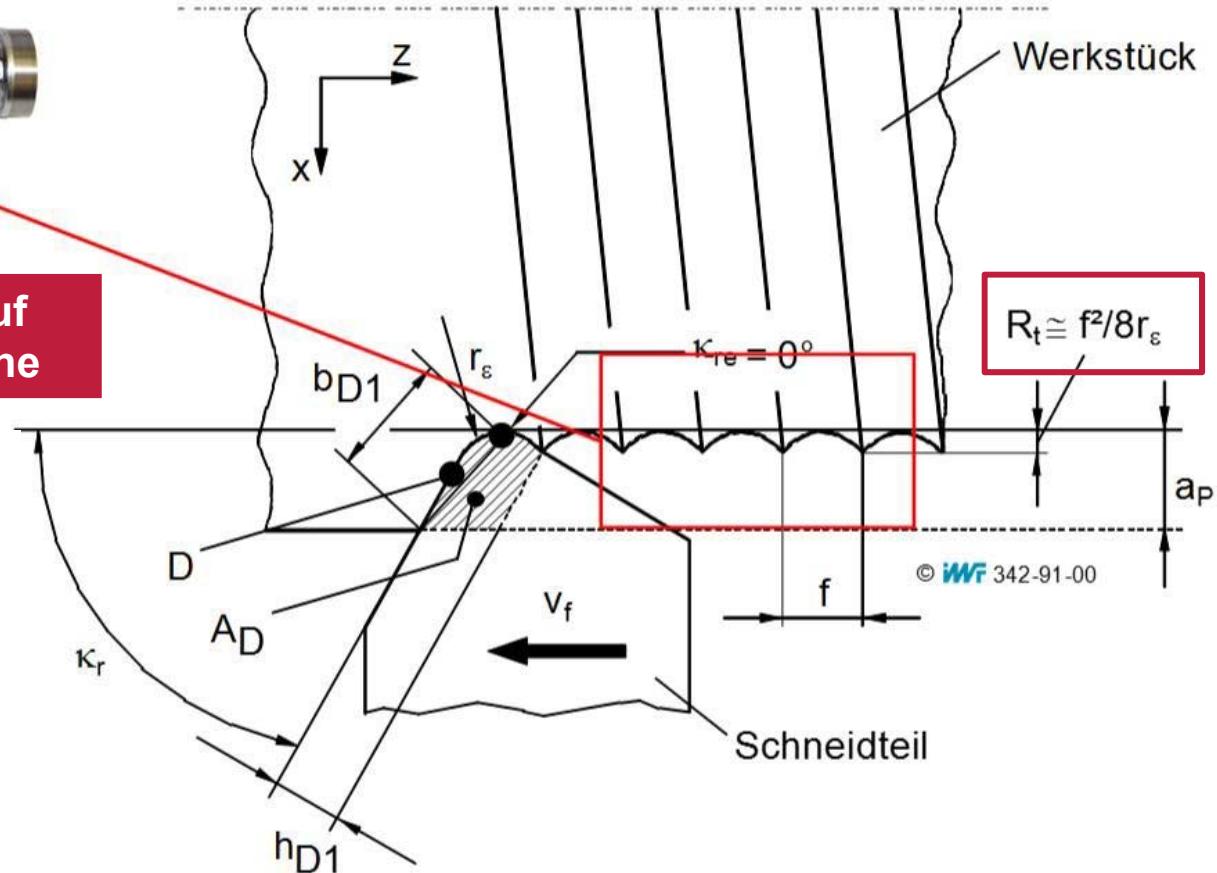
## Schnitt- und Spanungsgrößen



Quelle: Volkswagen

### Welligkeitsprofil auf gedrehter Oberfläche

- $A_D$ : Spanungsquerschnitt
- $a_p$ : Schnitttiefe
- $b_d$ : Spannungsbreite
- D: betrachteter Scheidepunkt
- f: Vorschub
- $h_D$ : Spannungsdicke
- $\kappa_r$ : Werkzeug-Einstellwinkel
- $r_\varepsilon$ : Eckenradius

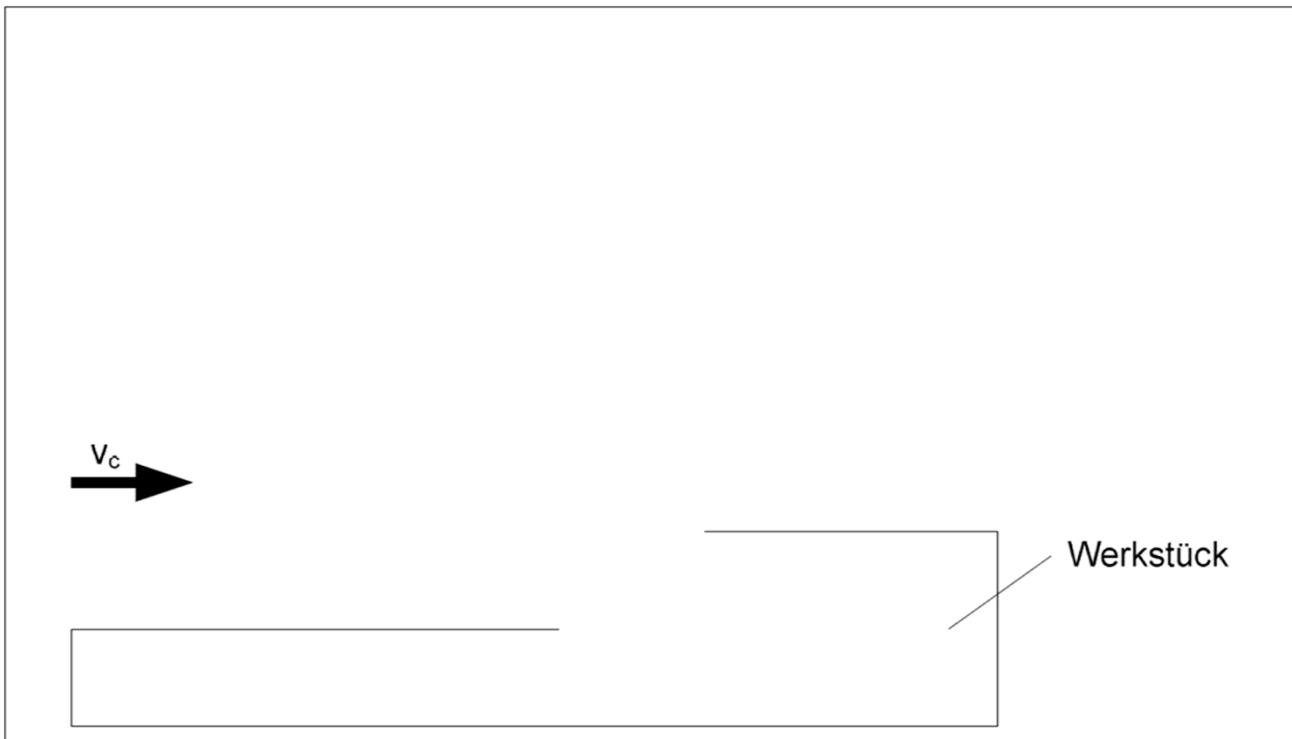


# Festigung des Lehrstoffs - Winkel am Schneidkeil

WS 2008/2009



Stellen Sie in der Abbildung einen Schneidkeil in einer zweidimensionalen Darstellung dar. Der Freiwinkel soll dabei  $30^\circ$  und der Spanwinkel  $-20^\circ$  betragen. Nennen Sie außerdem den mathematischen Zusammenhang zwischen den Schneidwinkeln!

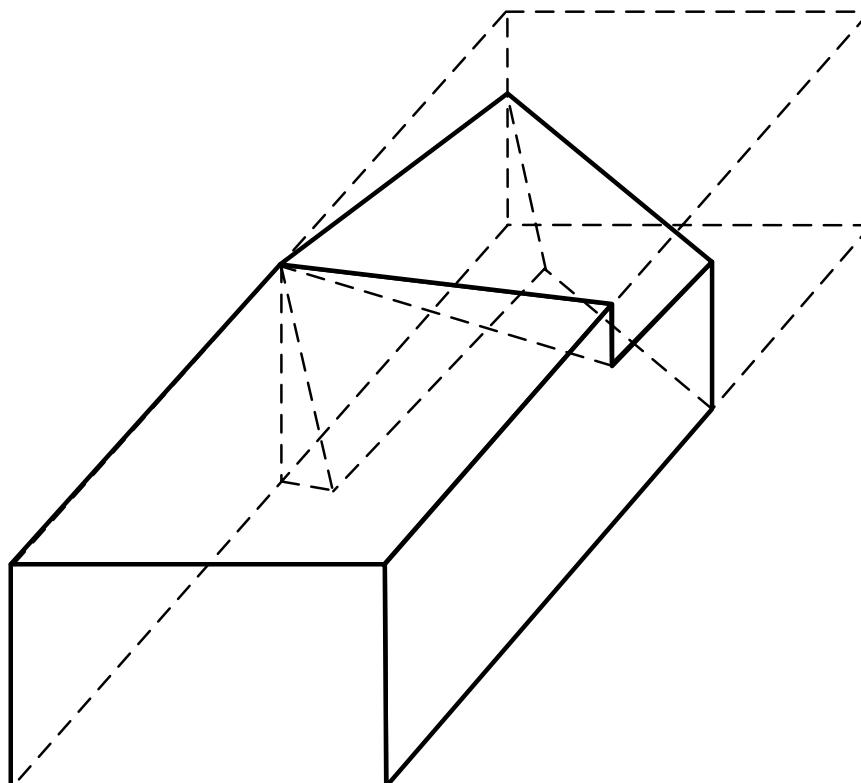


# Festigung des Lehrstoffs - Winkel am Schneidkeil

WS 2008/2009



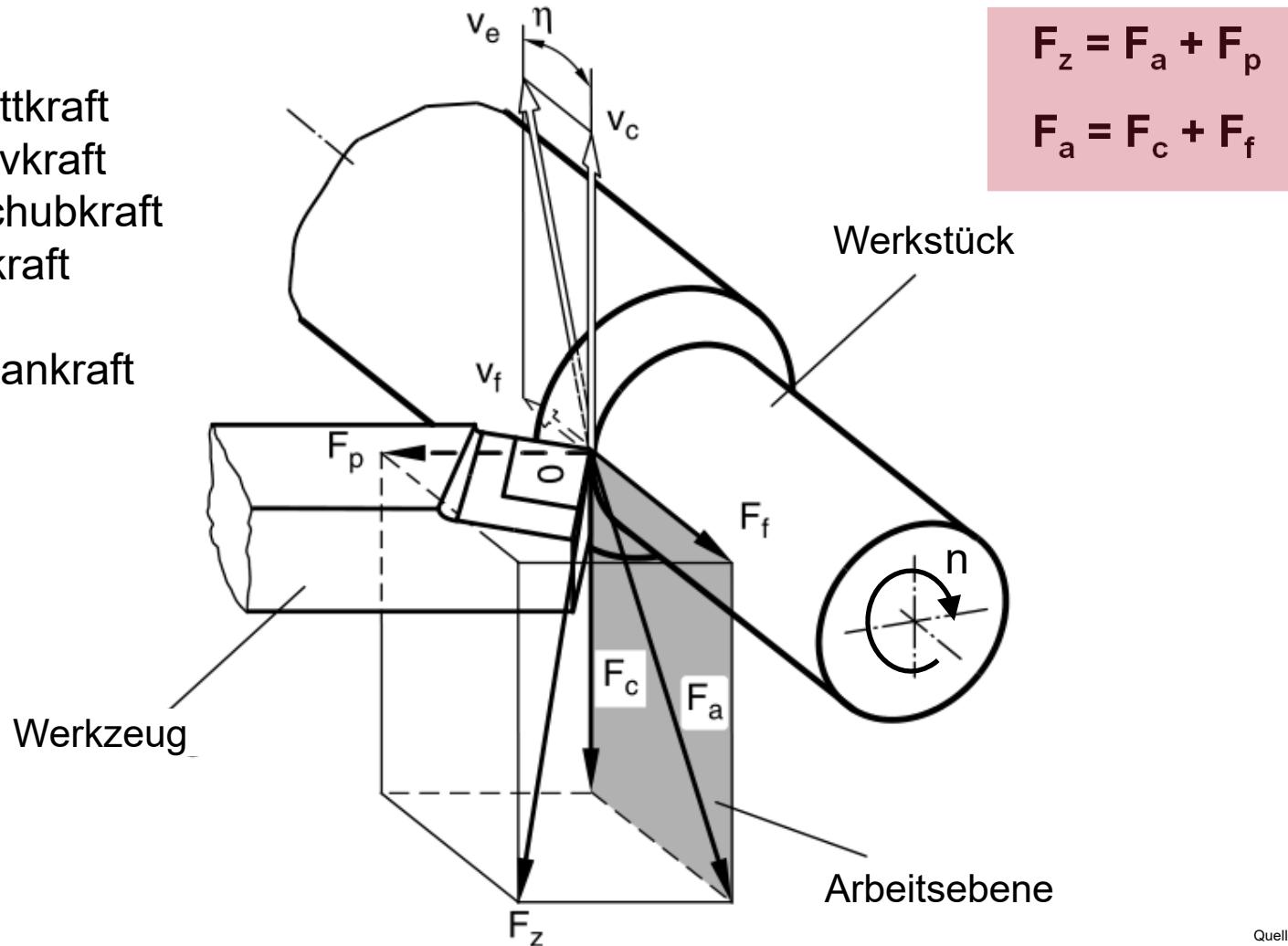
Bezeichnen Sie alle Flächen und Winkel am Schneidkeil eines Drehmeissels!



# Zerspankraftkomponenten und Arbeitsebene $P_f$

## Längs-Runddrehen

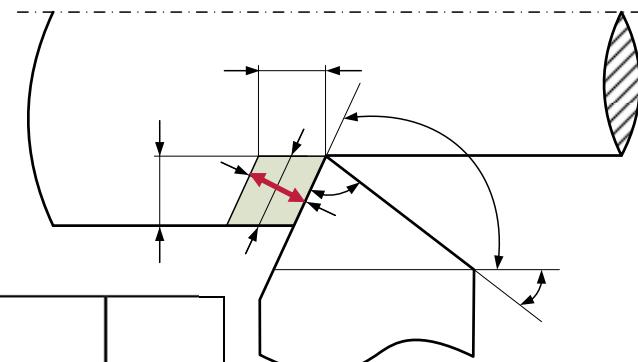
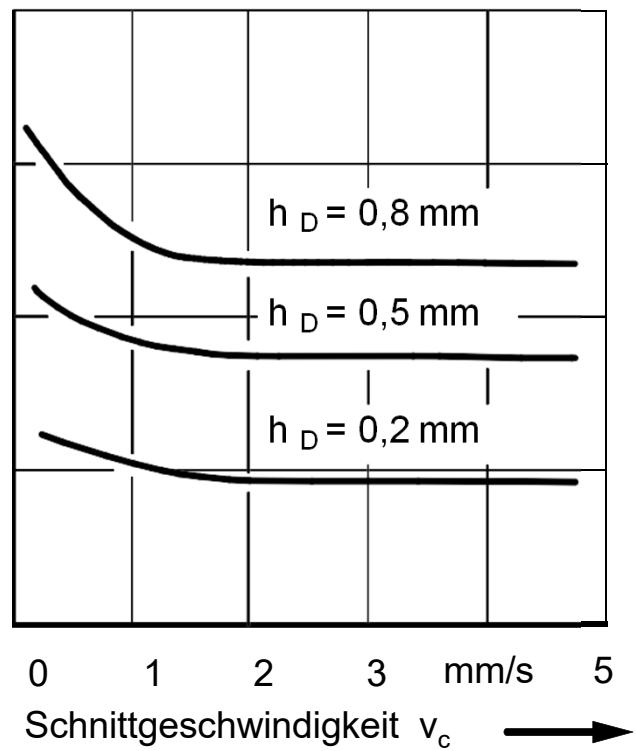
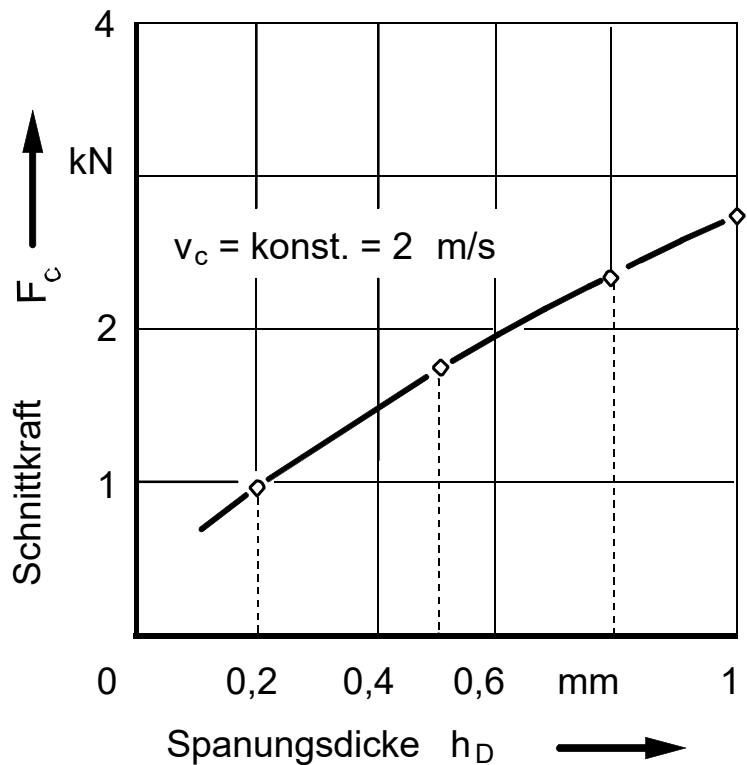
- $F_c$  ..... Schnittkraft  
 $F_p$  ..... Passivkraft  
 $F_f$  ..... Vorschubkraft  
 $F_a$  ..... Aktivkraft  
 $F_z$  ..... Zerspankraft



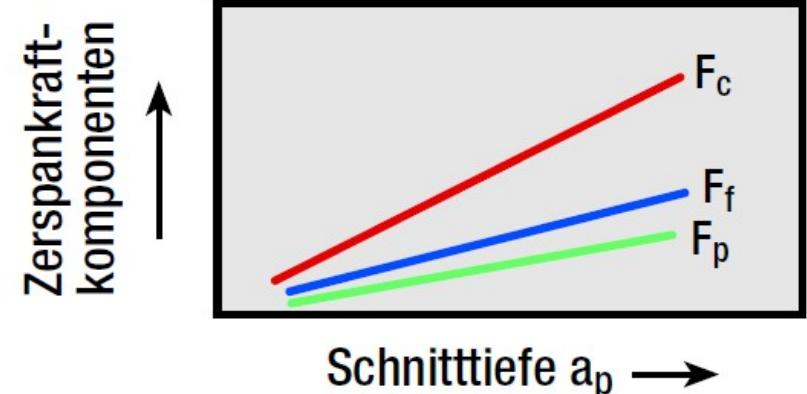
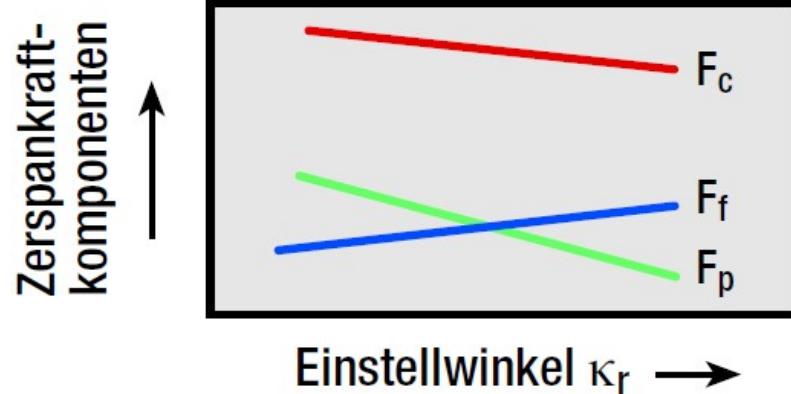
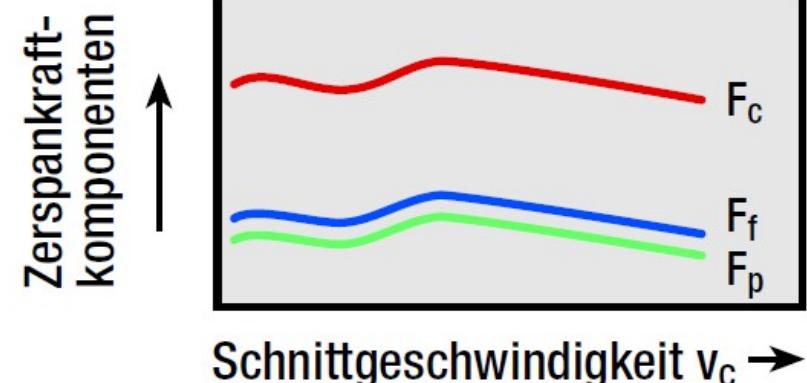
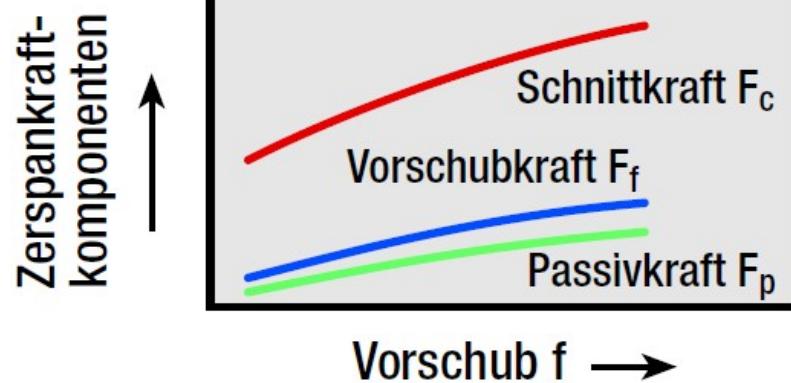
Quelle: Denkera



# Verlauf der Schnittkraft als Funktion von Spanungsdicke und Schnittgeschwindigkeit

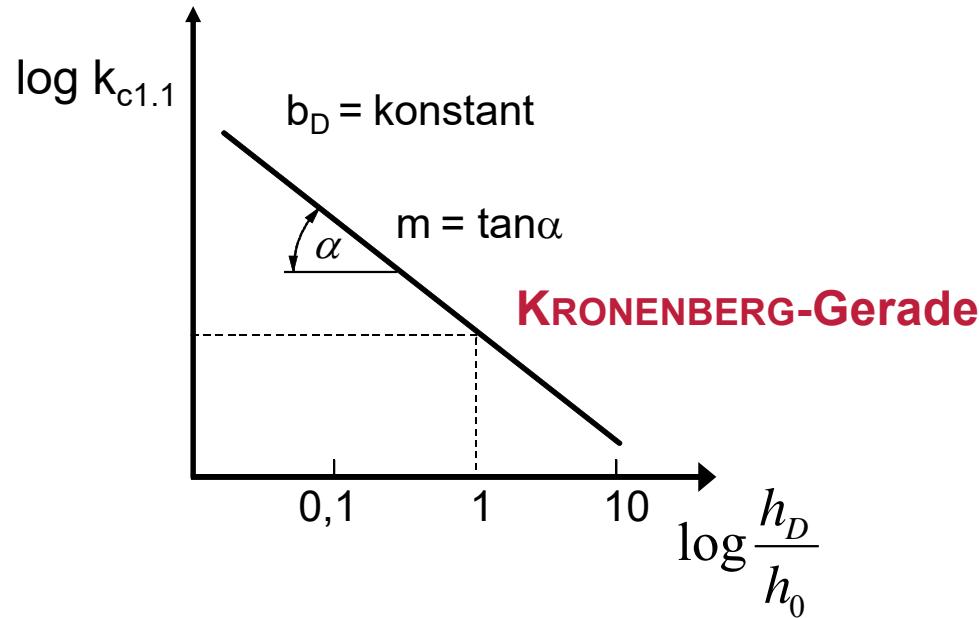


# Qualitative Abhängigkeiten der Zerspankraftkomponenten



# Schnittkraft und spezifische Schnittkraft

## Berechnung der Schnittkraft

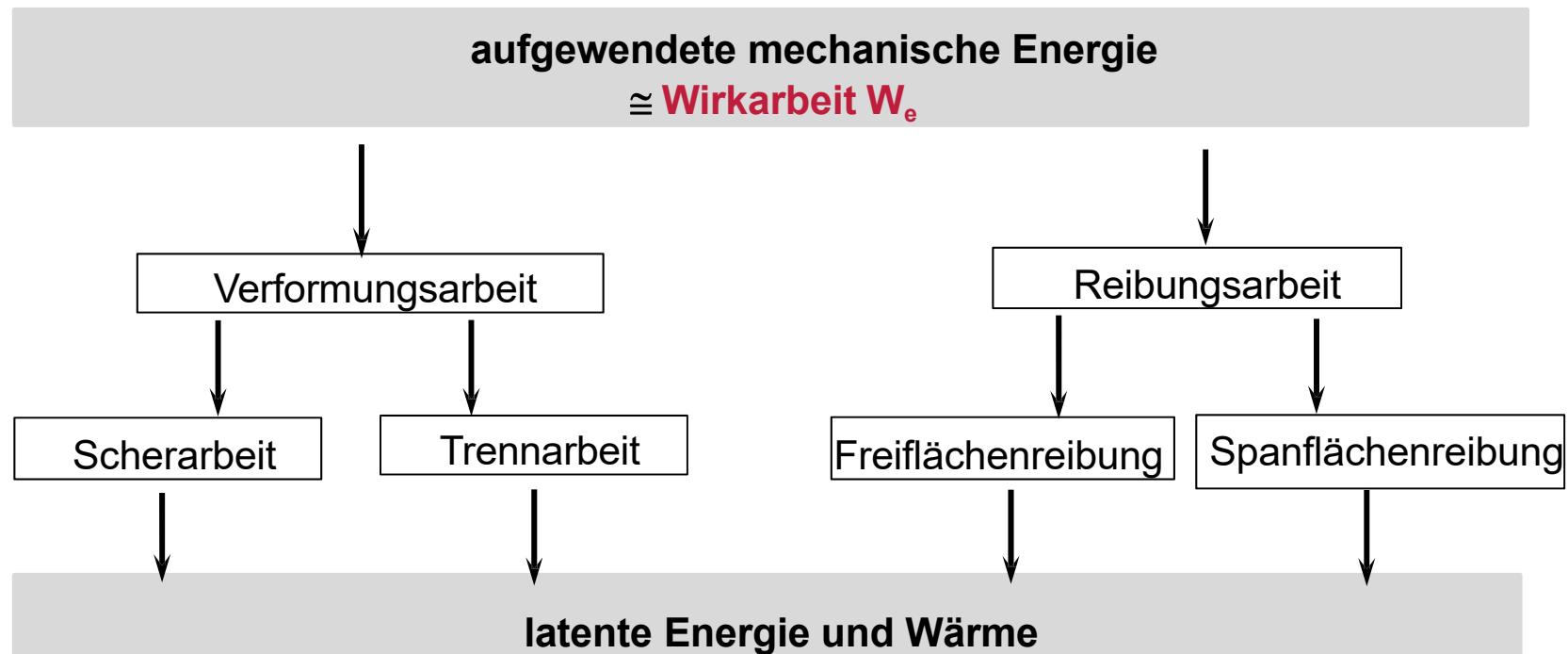


$$\log k_c = -m \cdot \log \frac{h_D}{h_0} + \log k_{c1.1}$$

$k$   
 $k_{c1.1}$

ist die spezifische Zerspankraft, bezogen auf den Spanungsquerschnitt A  
ist die spezifische Schnittkraft, bezogen auf den Spanungsquerschnitt A

# Energiebilanz am Schneidkeil



**WF** 342-88-00

# Zusammenhang zwischen Schnittkraft, Energie und Leistung

Schnittenergie = Zerspanungsarbeit (mechanische Energie)

$$F_c = \frac{E_{\text{mech}} + E_{\text{therm}}}{\text{Schnittweg}}$$

Schnittleistung = Zerspanungsarbeit pro Zeit

$$P = \frac{E_{\text{mech}} + E_{\text{therm}}}{t}$$

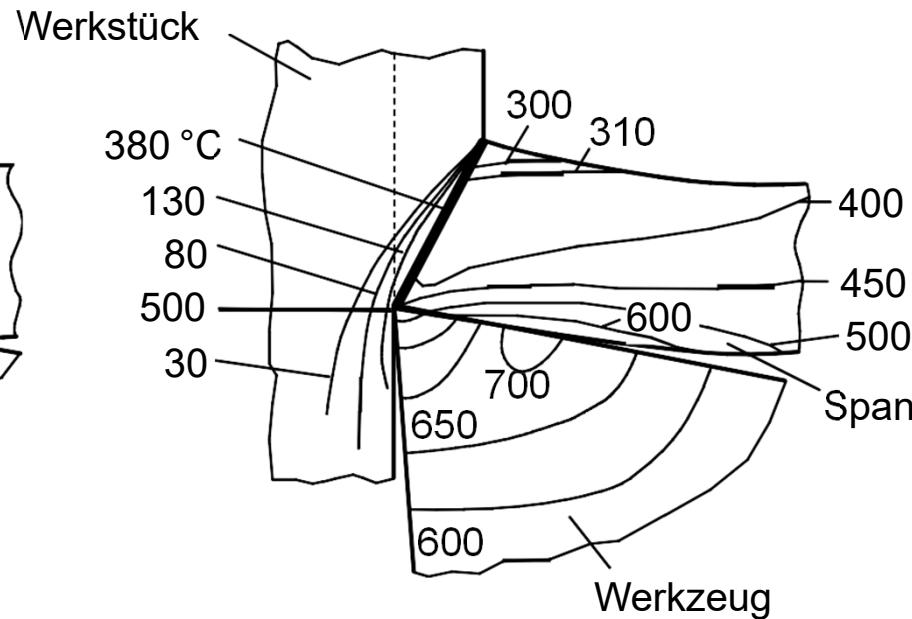
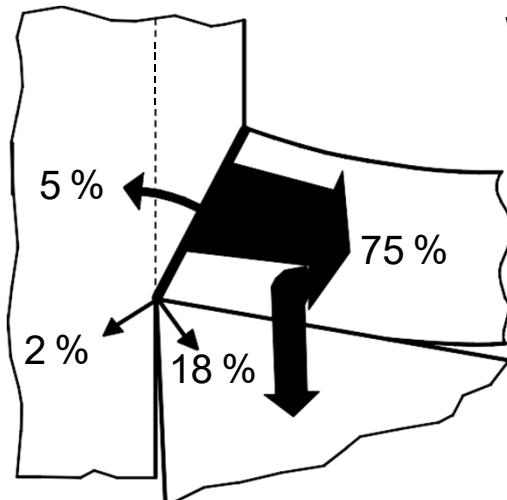
$$P = P_c + P_f$$

Gesamtleistung besteht aus  
Schnitt- und Vorschubkomponente

Gesamtleistung ist daher vereinfacht mit Schnittleistung gleichzusetzen

$$P_{\text{ges}} \cong P_c = v_c \cdot F_c$$

# Wärme- und Temperaturverteilung in Werkstück, Span und Werkzeug

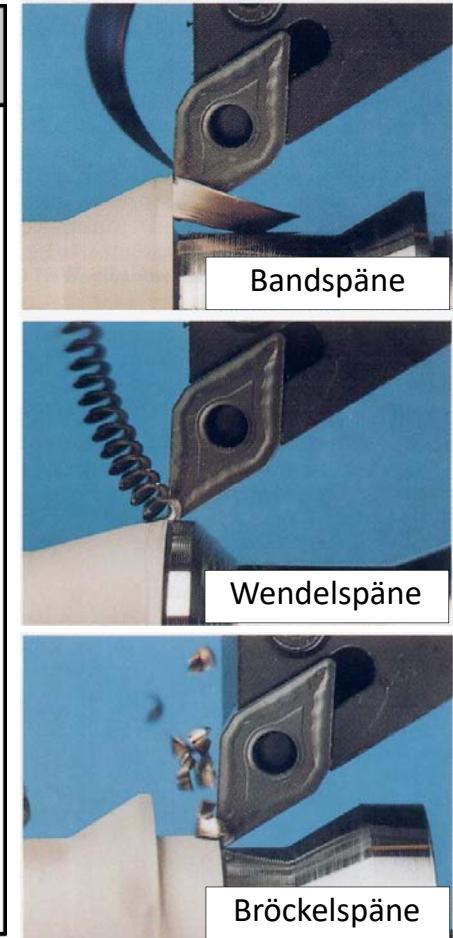


WF 339-47-00

Ein Großteil der Prozesswärme (ca. 75 %) wird über den Span abgeführt.

# Spanformen

	Spanraumzahl RZ	Spanformklasse	Beurteilung
Bandspäne		$\geq 90$	1
Wirrspäne		$\geq 90$	2
Flachwendelspäne		$\geq 50$	3
lange zylindrische Wendelspäne		$\geq 50$	4
Wendelspanstücke		$\geq 25$	5
Spiralspäne		$\geq 8$	6
Spiralspanstücke		$\geq 8$	7
Bröckelspäne		$\geq 3$	8

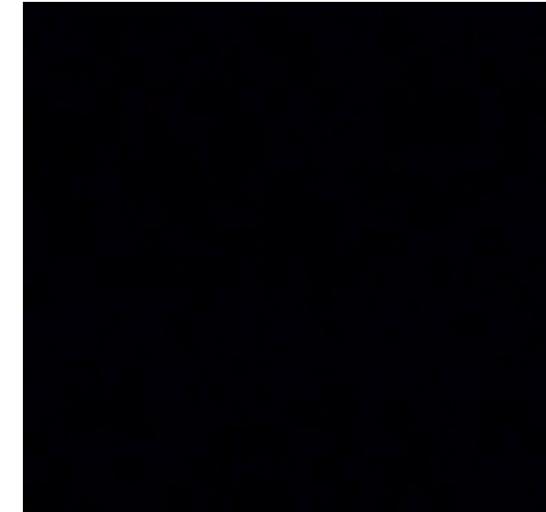
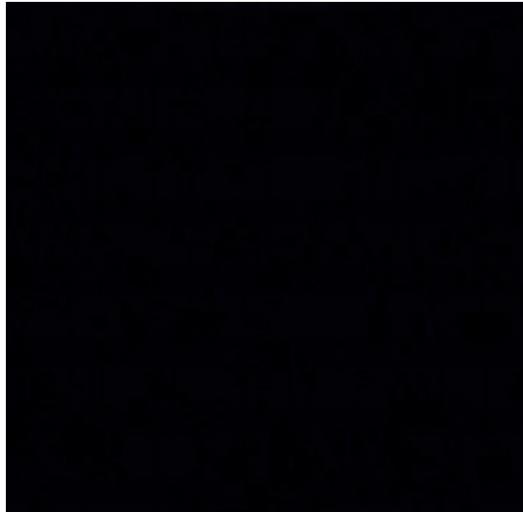


© **Wf** 422-11-00

$$RZ = V_{\text{Span}} / V_{\text{WS}}$$

# Spanbildung

## Aluminium, Messing und Gusseisen



Spiralspäne

Bröckelspäne

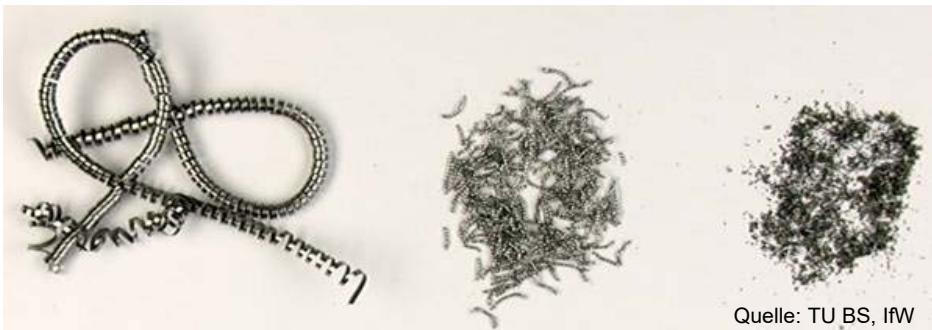
Spiralspanstücke

# Spanbildung

## Folgen ungünstiger Spanformen



Verschiedene Spanformen und ein Block aus gepressten Spänen



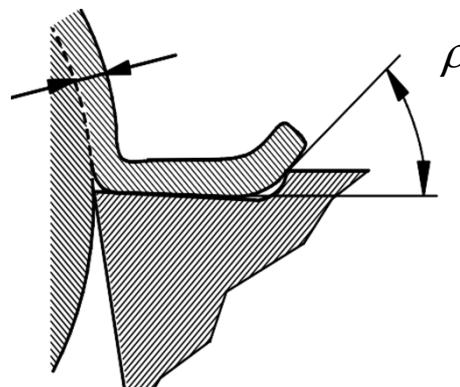
Spanformen verschiedener Titanlegierungen

TiAl6V4 (links), TiAl6V4La0,9 (Mitte),  
TiAl6V4La2,8 (rechts).

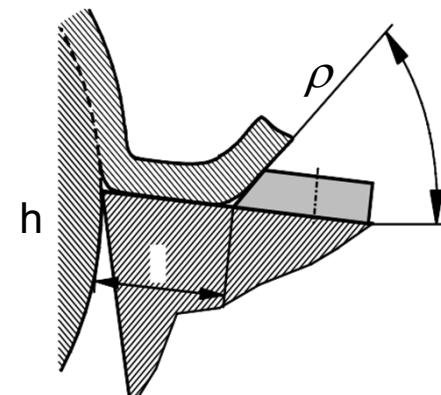
# Spanformen

## Beeinflussung durch Spanleitstufen

eingeschliffene  
Spanformstufe  
 $h_{D1}$



aufgeklemmter  
Spanbrecher



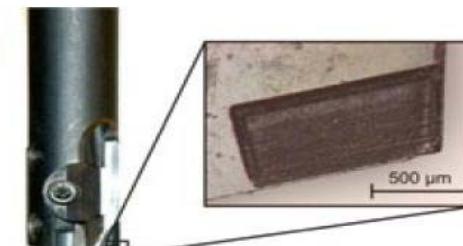
aufgeklemmter  
Spanformer



eingesinterter  
Spanformer



geschliffene  
Spanformstufe



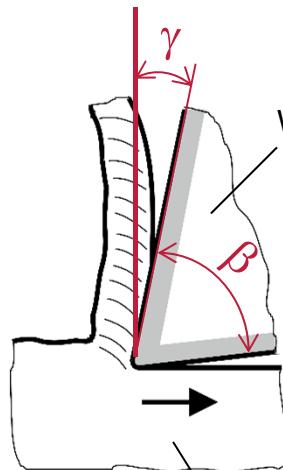
gelaserte  
Spanformstufe



# Beeinflussung der Spanform

## Am Beispiel des Span- und Keilwinkels

große Keilwinkel ( $\beta$ )  $\Rightarrow$  negative Spanwinkel ( $\gamma$ )  $\Rightarrow$  starke Spanverformung  $\Rightarrow$  Spandicke Spanbruch



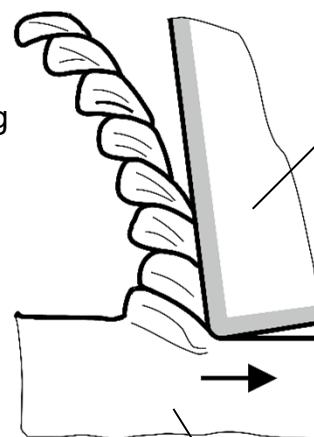
Werkstück

Fließspanbildung



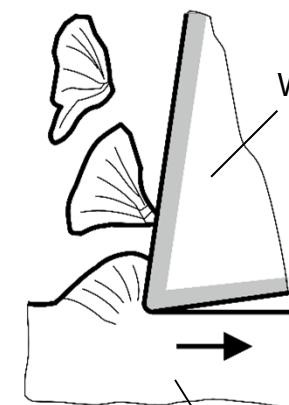
Werkstück

Lamellenspanbildung



Werkstück

Scherspanbildung



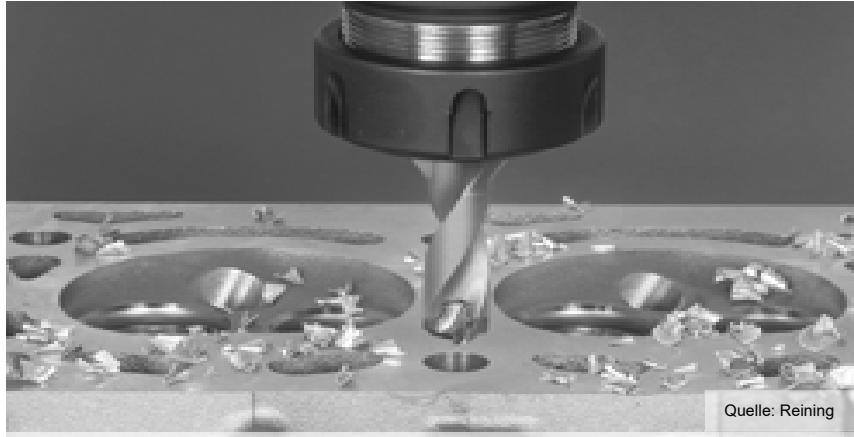
Werkstück

Reißspanbildung

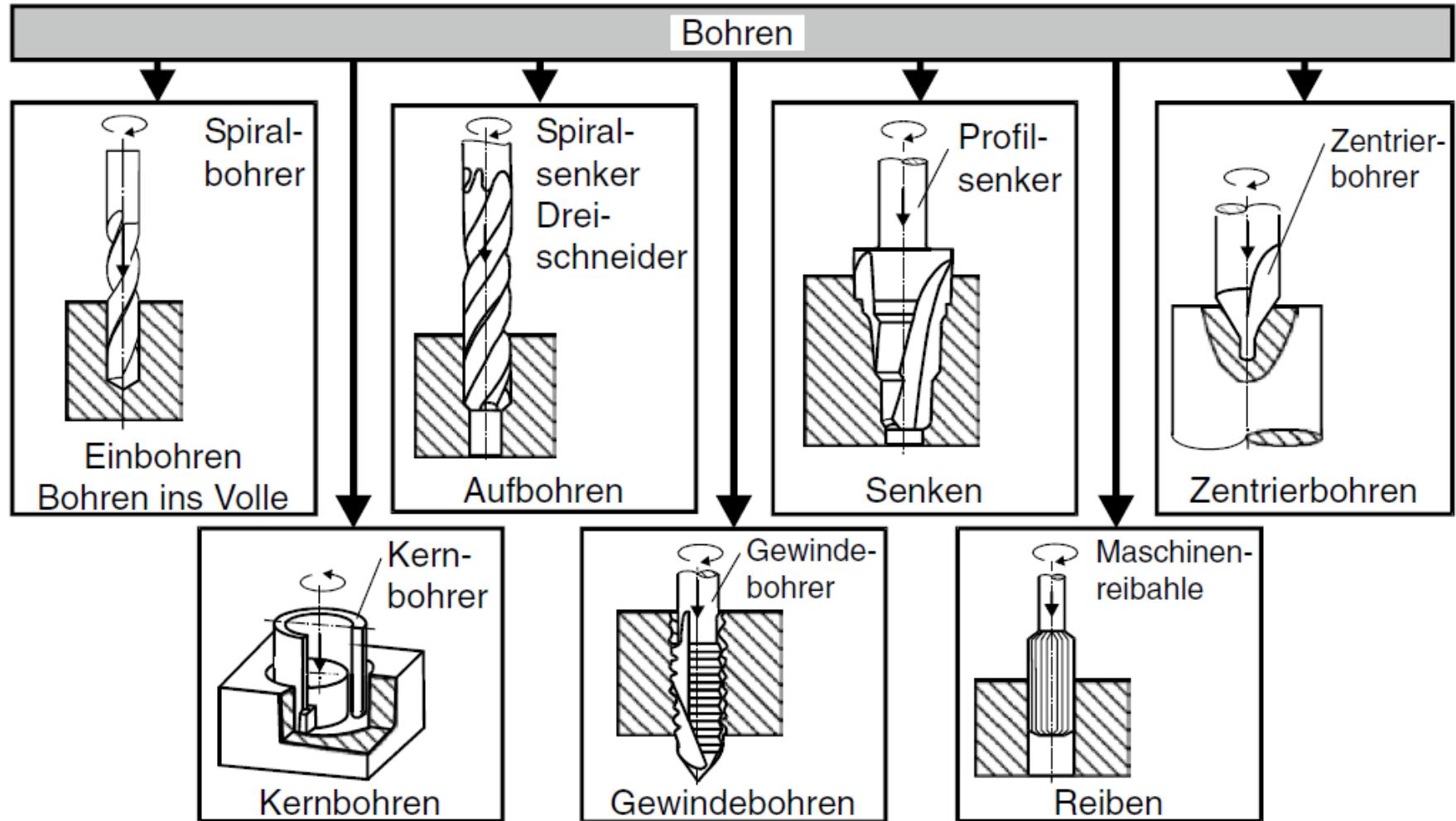
Quelle: Denkera

# Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide

## Bohren



# Verfahrensvarianten beim Bohren nach DIN 8589

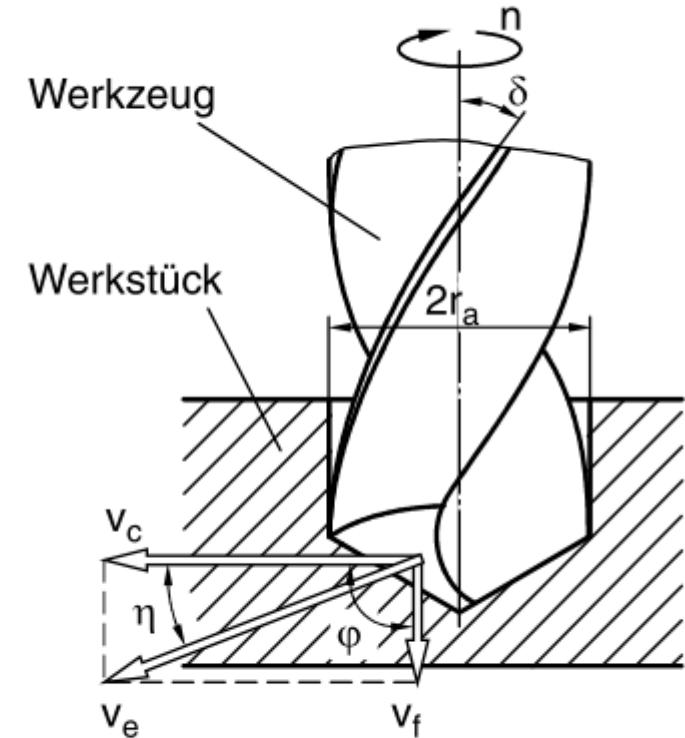
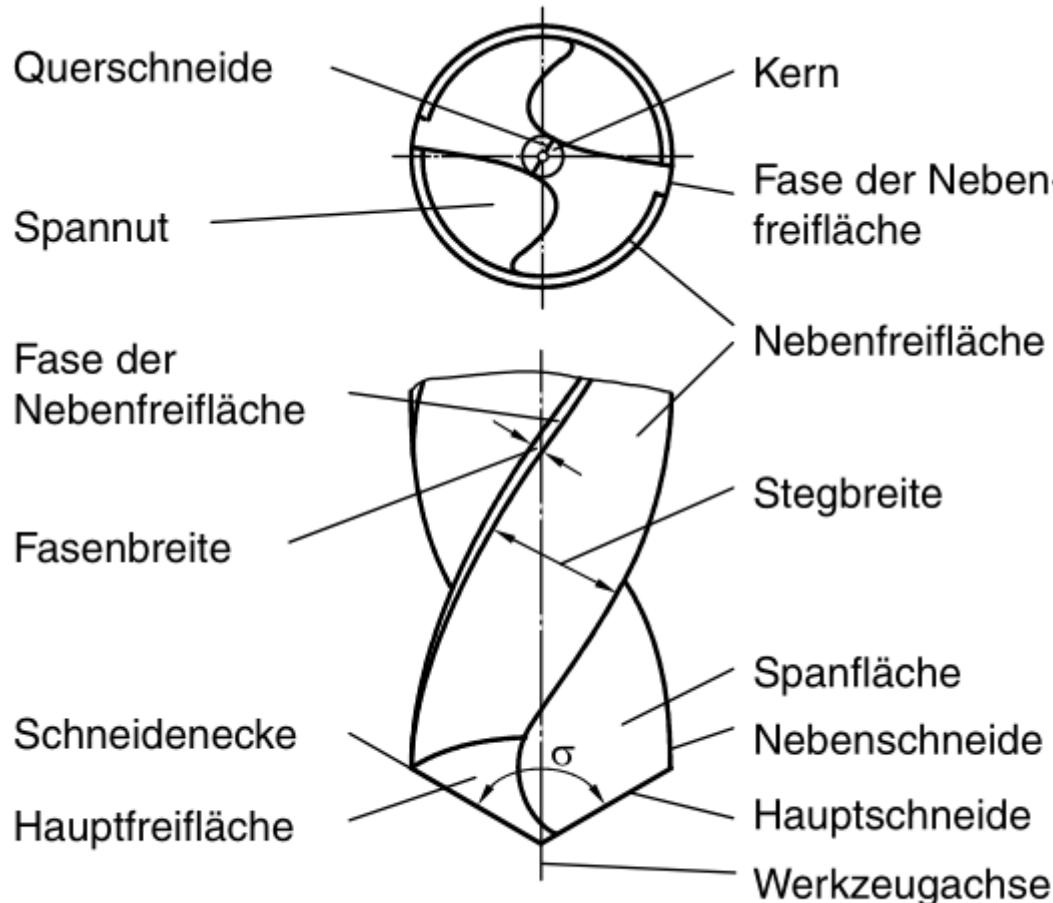


Quelle: Tönnhoff



# Bohrprozess

## Bewegungskinematik



326/10187c © IFW 8894

$\sigma$

Spitzenwinkel

$\varphi$

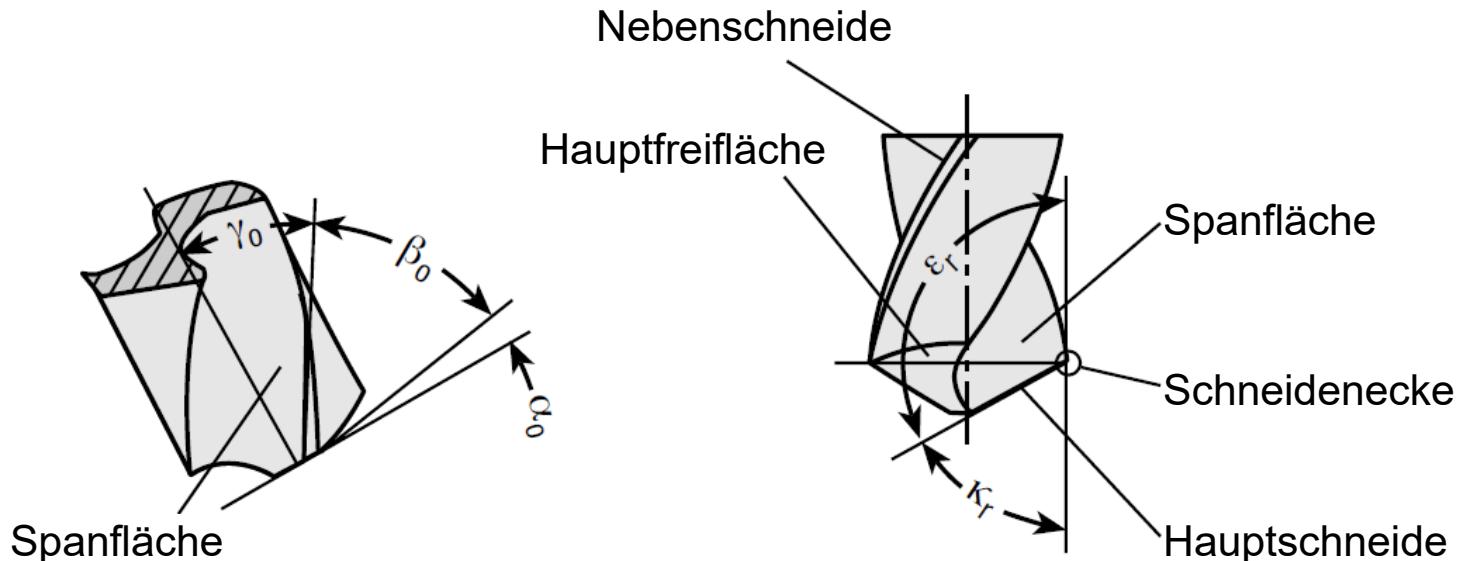
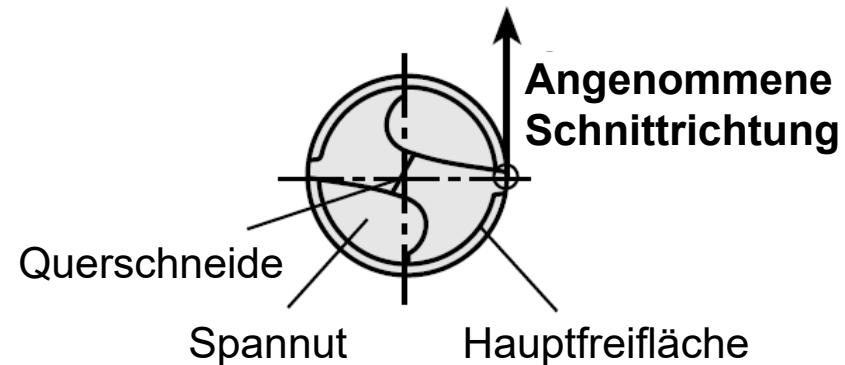
Vorschubrichtungswinkel



# Bohren

## Schneidteilgeometrie am Spiralbohrer nach DIN 6581

- $\alpha_0$ : Werkzeug-Othogonalfreiwinkel
- $\beta_0$ : Werkzeug-Othogonalkeilwinkel
- $\gamma_0$ : Werkzeug-Othogonalspanwinkel
- $\kappa_r$ : Werkzeug-Einstellwinkel
- $\varepsilon_r$ : Werkzeug-Eckenwinkel



Quelle: Stahl Merkblatt 137

# Bauformen von Werkstattbohrmaschinen



Quelle: Esska

Säulenbohrmaschine  
Gesamthöhe: 1625 mm



Quelle: SWM

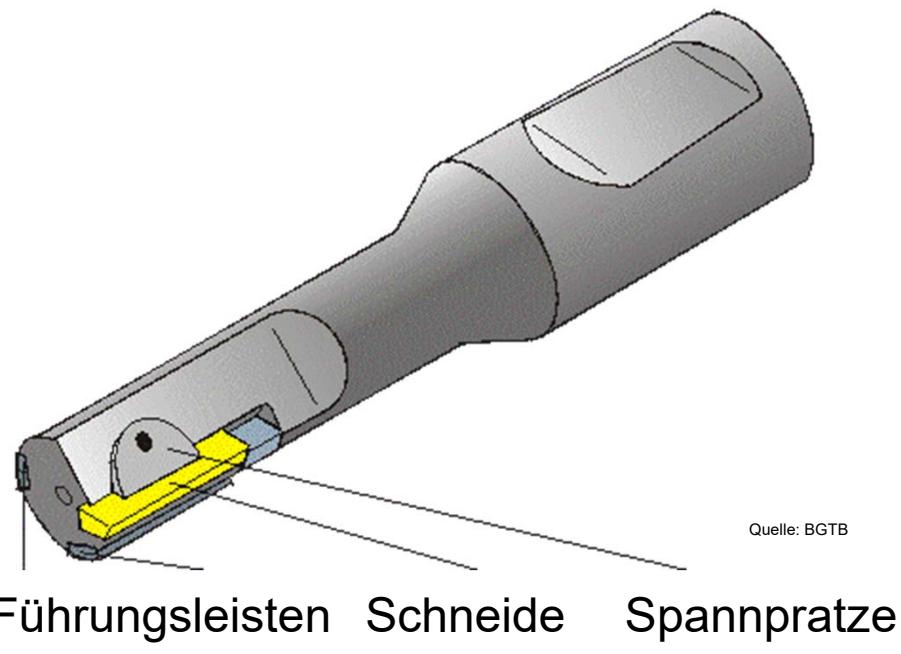
Ständerbohrmaschine  
Gesamthöhe: 910mm



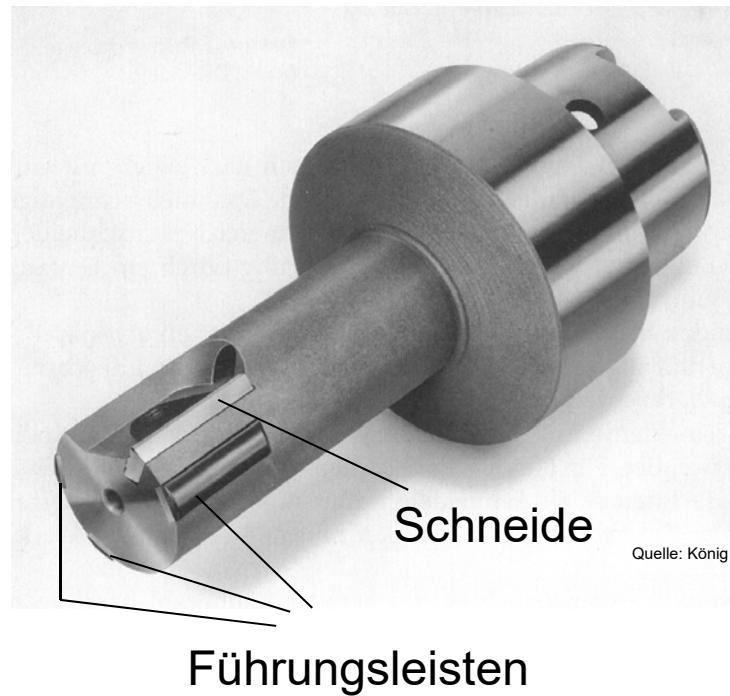
Quelle: Metallbau Guke

Radialbohrmaschine  
Gesamtgröße: 4660x1630x4525 mm

# Einmesserreibahle mit Führungsleisten am Umfang



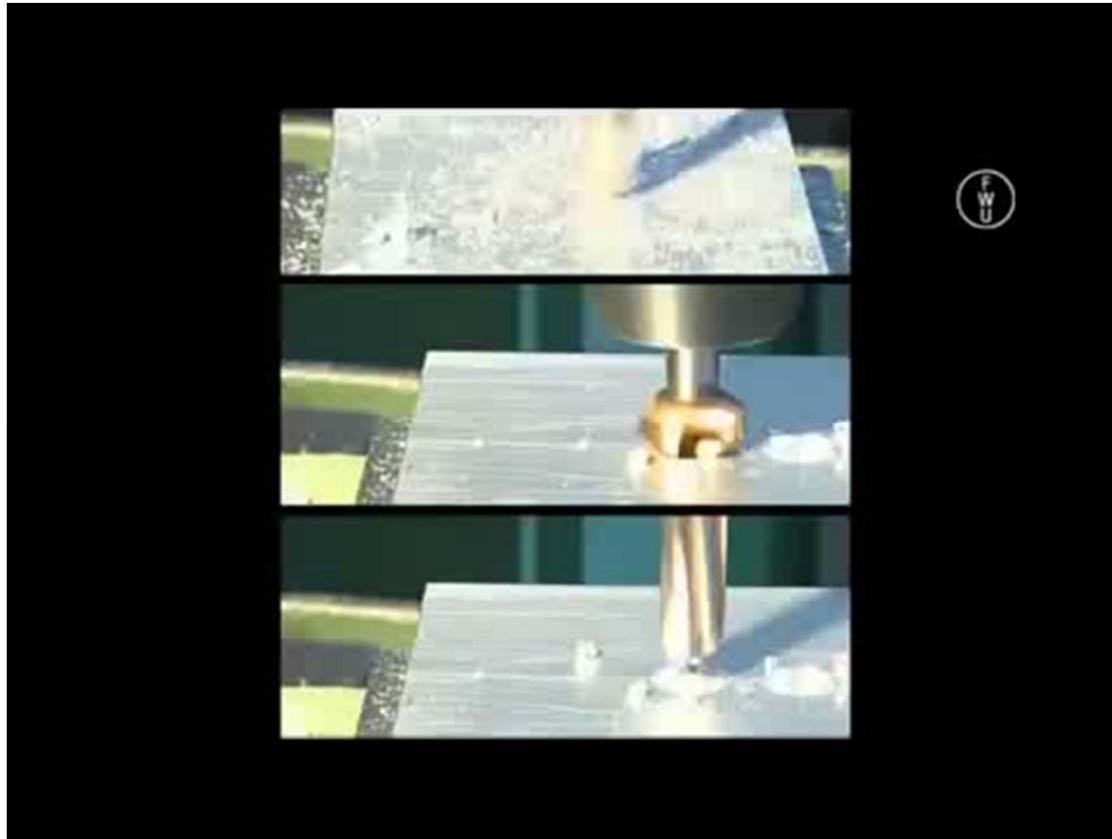
Quelle: BGTB



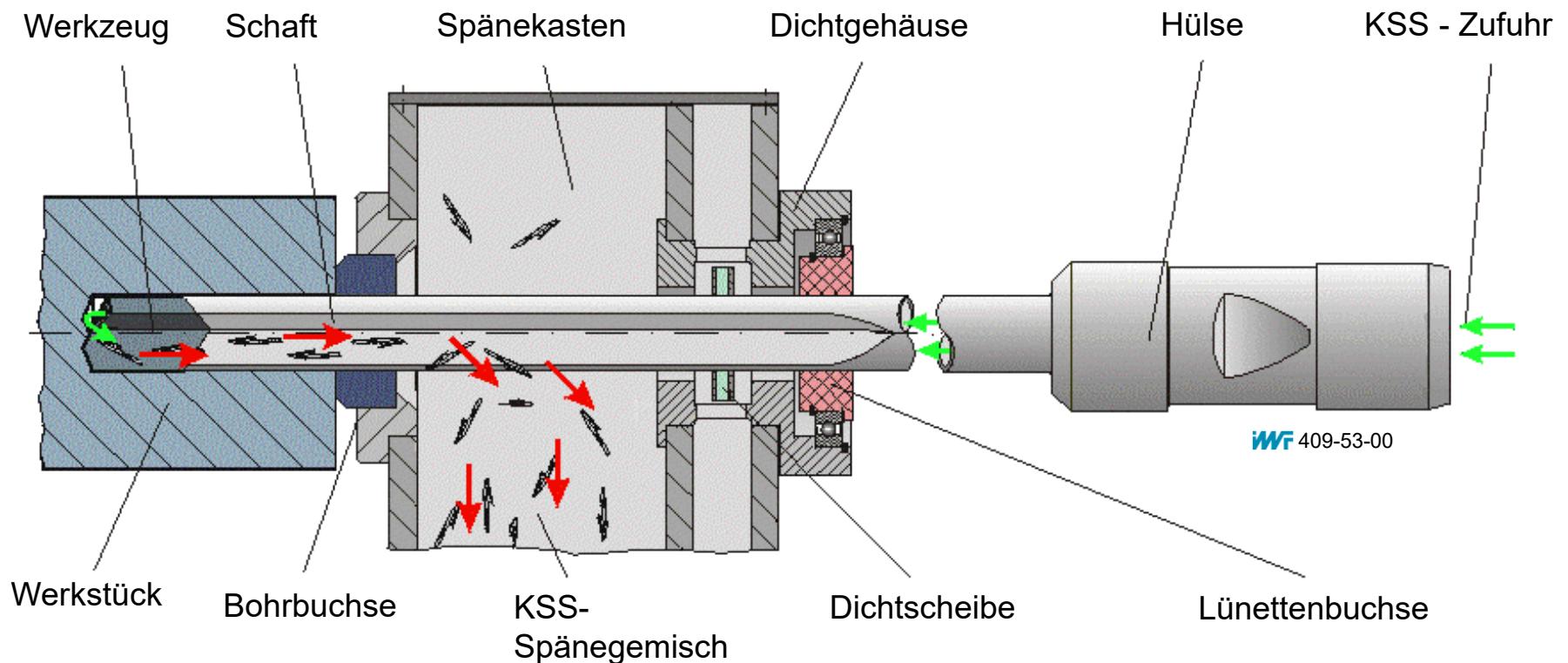
Quelle: König

# Video

## Bohren, Senken, Reiben



# Einlippen-Tiefbohrvorgang



# Schaustück

## Einlippentieflochbohrer



# Video

## Tieflochbohren



Quelle: Güring TV



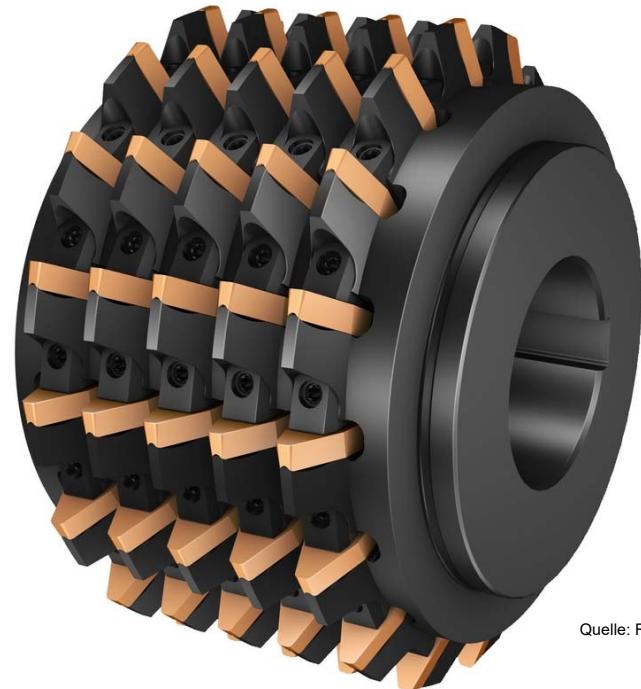
Technische  
Universität  
Braunschweig

Dr.-Ing. Anke Müller | Fertigungstechnik  
07. Mai 2018 | Folie 52

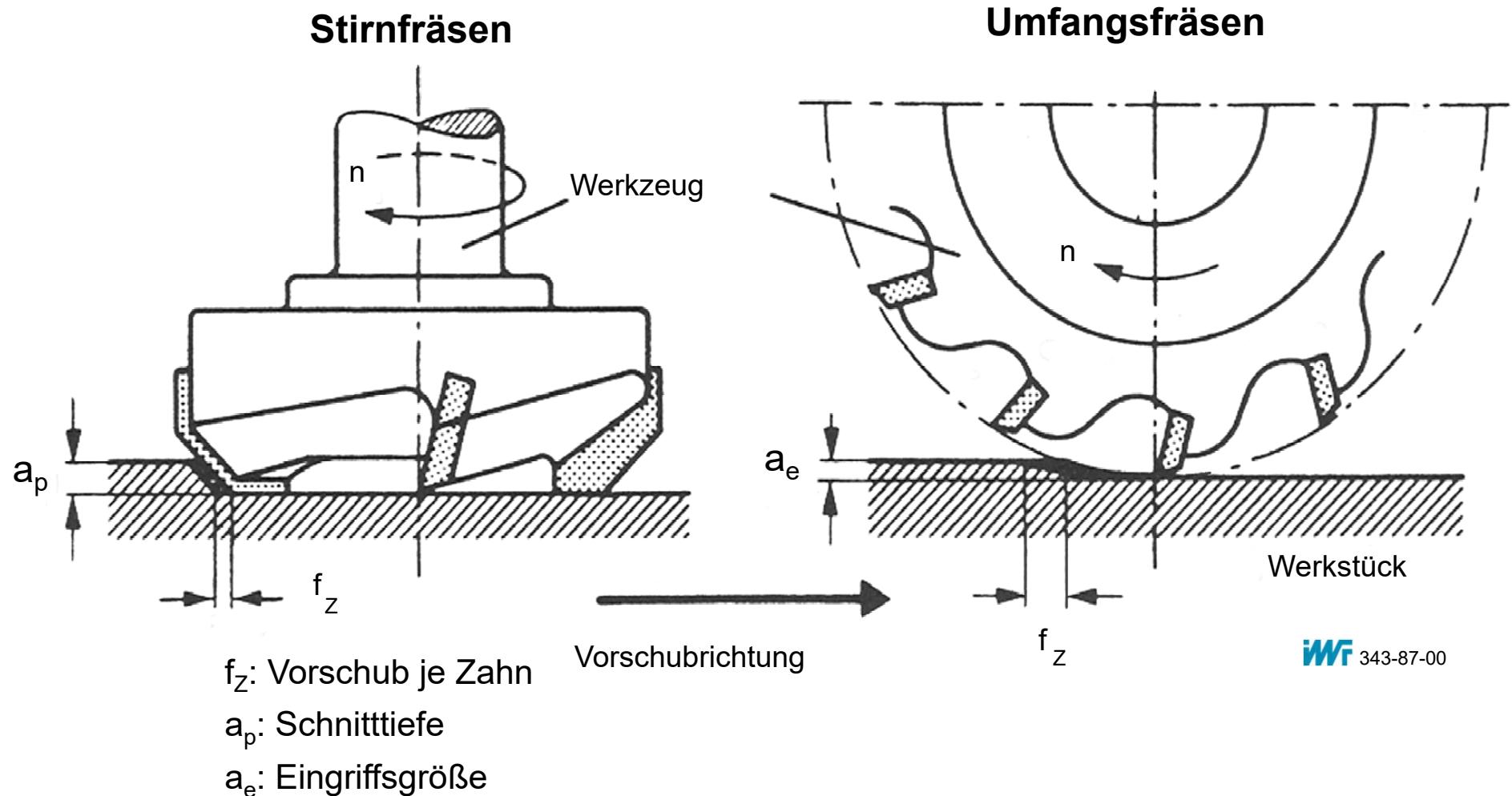
Institut für Werkzeugmaschinen  
und Fertigungstechnik **IWF**

# Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide

## Fräsen

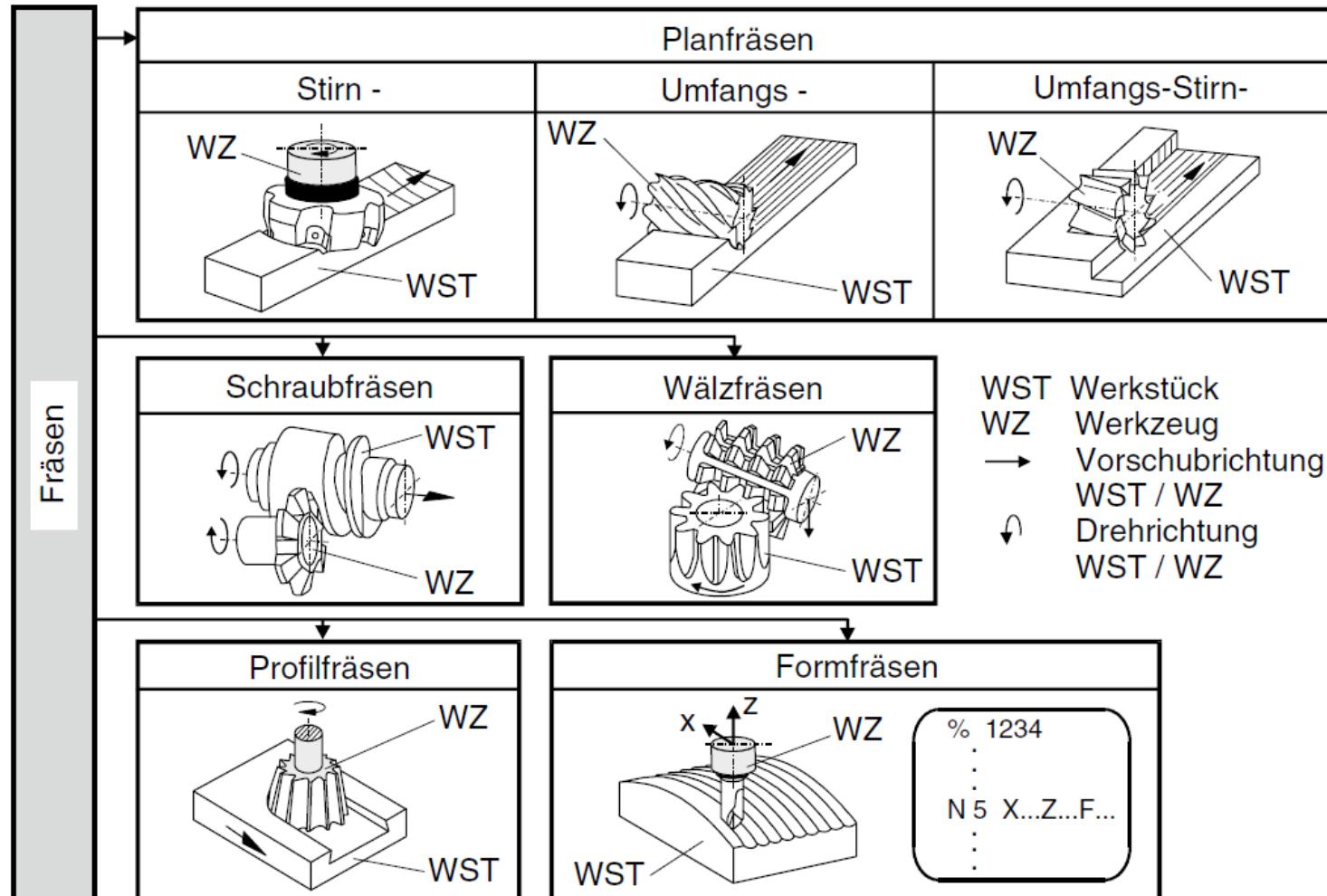


# Eingriffsgrößen beim Stirn- und Umfangsfräsen



Quelle: König

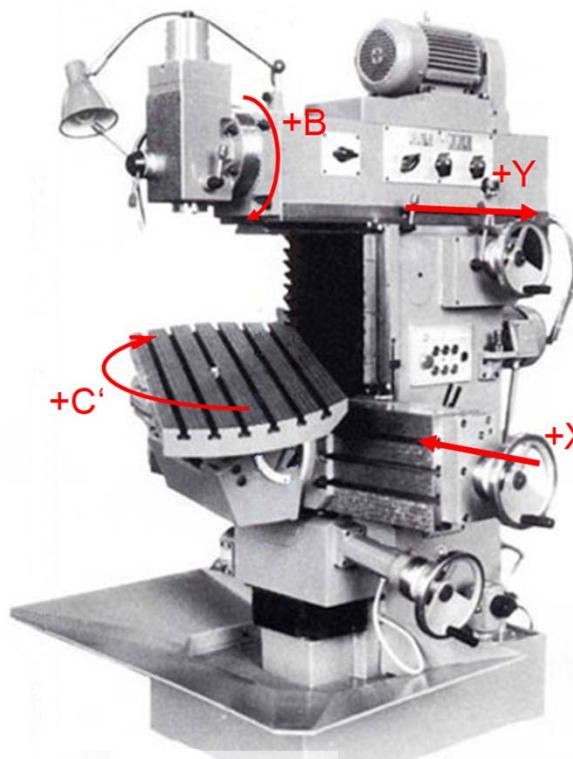
# Eingriffsgrößen und Verfahren beim Planfräsen



Quelle: Tönnhoff



# Universal-Fräsmaschine und Fräszentrum



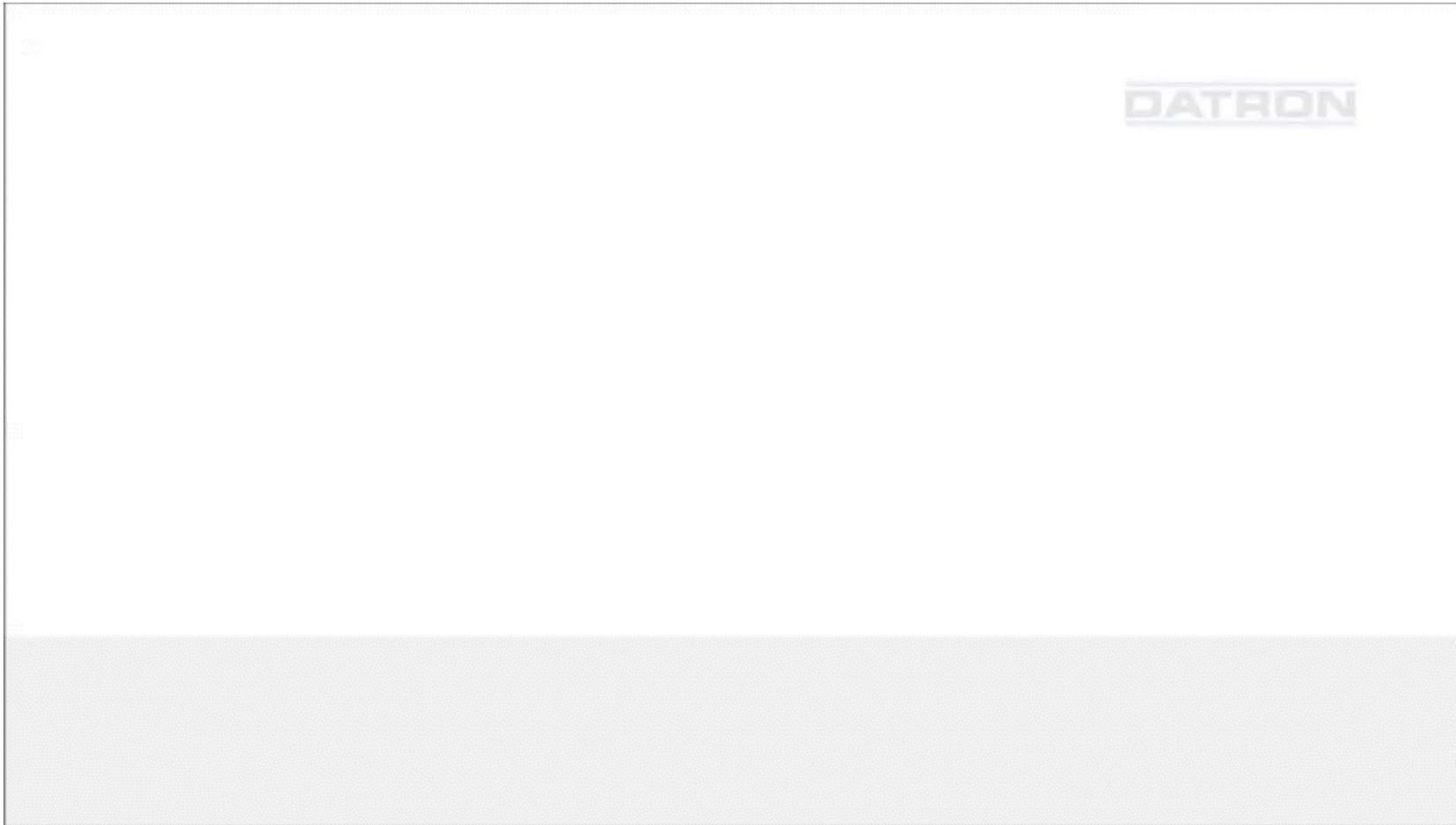
© WF 409-25-00  
Quelle: Geldmacher



Quelle: Ording-Werkzeugbau

# Video

## Fräsen eines Aluminium Notebookgehäuses



Quelle: DATRON



Technische  
Universität  
Braunschweig

Dr.-Ing. Anke Müller | Fertigungstechnik

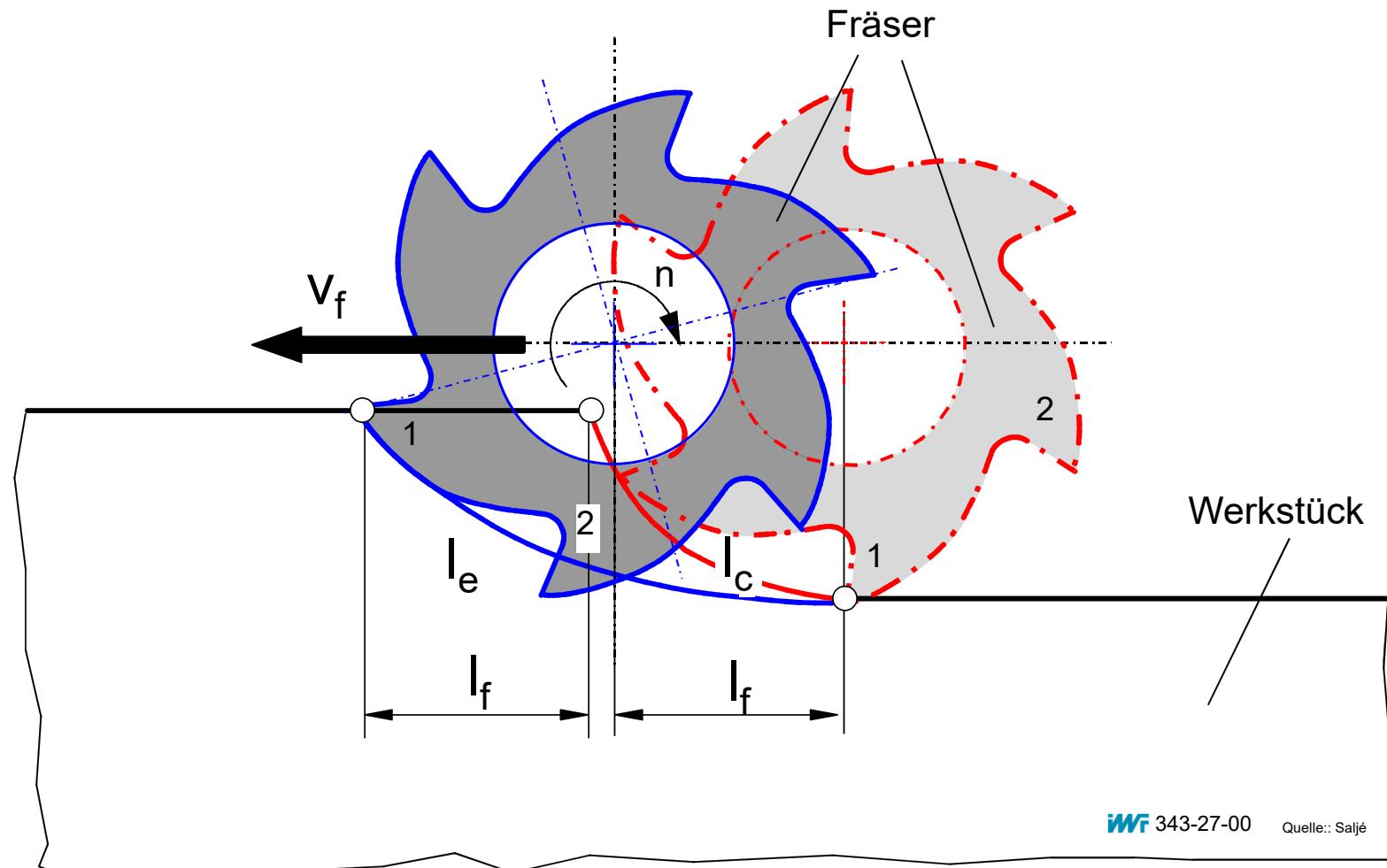
07. Mai 2018 | Folie 58

Institut für Werkzeugmaschinen  
und Fertigungstechnik



# Schnittweg $I_c$ , Vorschubweg $I_f$ und Wirkweg $I_e$ beim Gegenlauffräsen

→ vgl. Übung



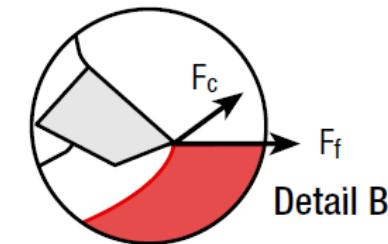
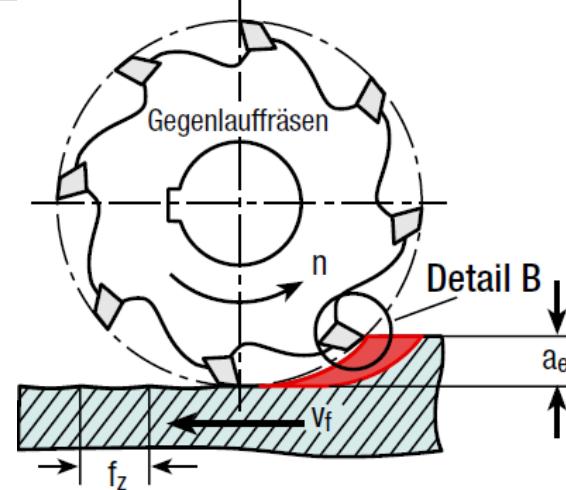
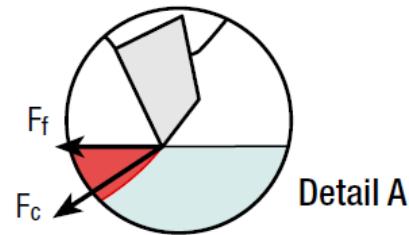
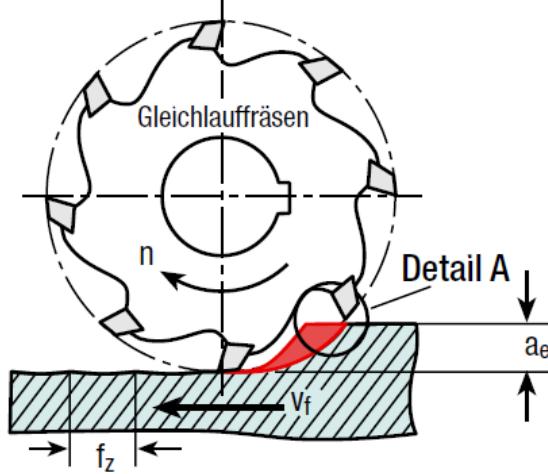
WF 343-27-00

Quelle: Salje



# Fräsen

## Gleich- und Gegenlauf



Quelle: Stahl Merkblatt 137

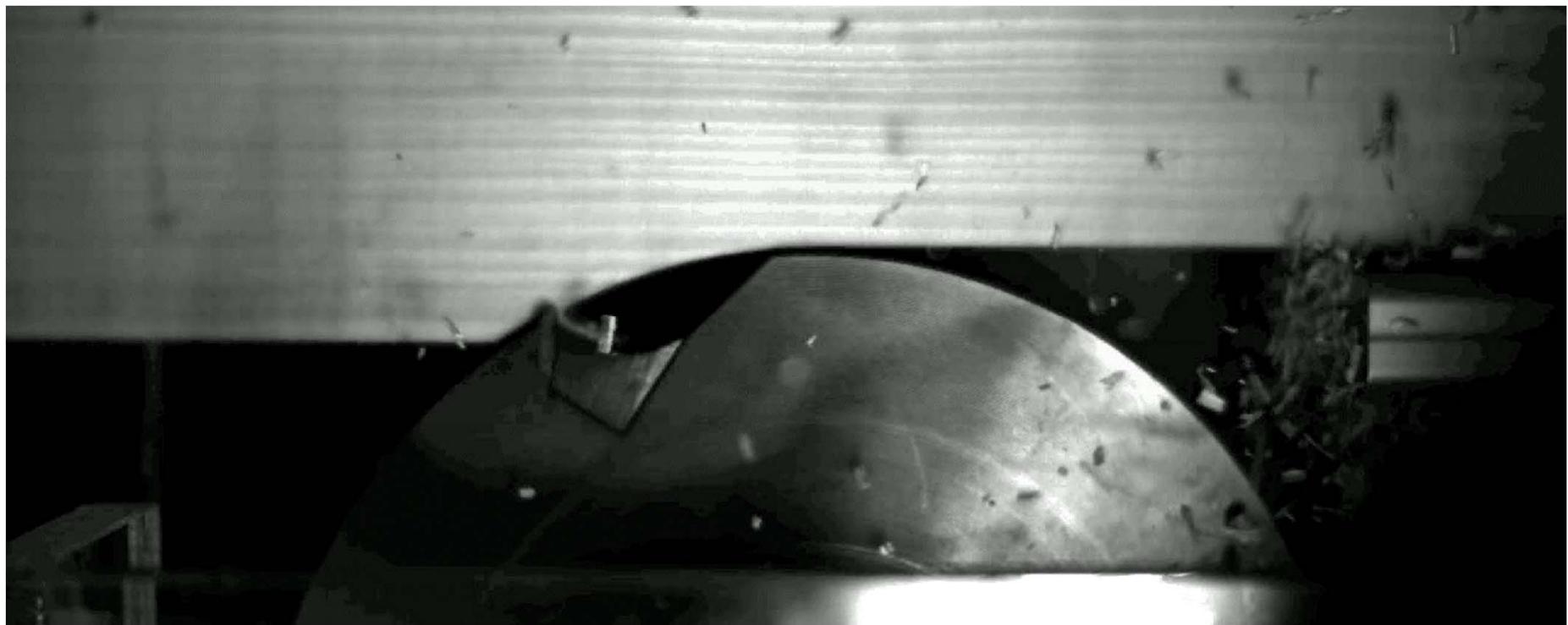
- Schlagartiger Eingriff der Schneide
- Maximale Schnittkräfte beim Schneideneingriff
- bessere Oberflächenqualität
- Stöße und Schwingungen durch Systemsteifigkeit vermeiden

- Drehrichtung des Fräzers entgegen der Vorschubrichtung
- Verfestigung des Werkstoffs durch Gleiten der Schneide vor der Spanabhebung
- erhöhter Verschleiß an der Freifläche
- Mögliches Abheben der Werkstücks



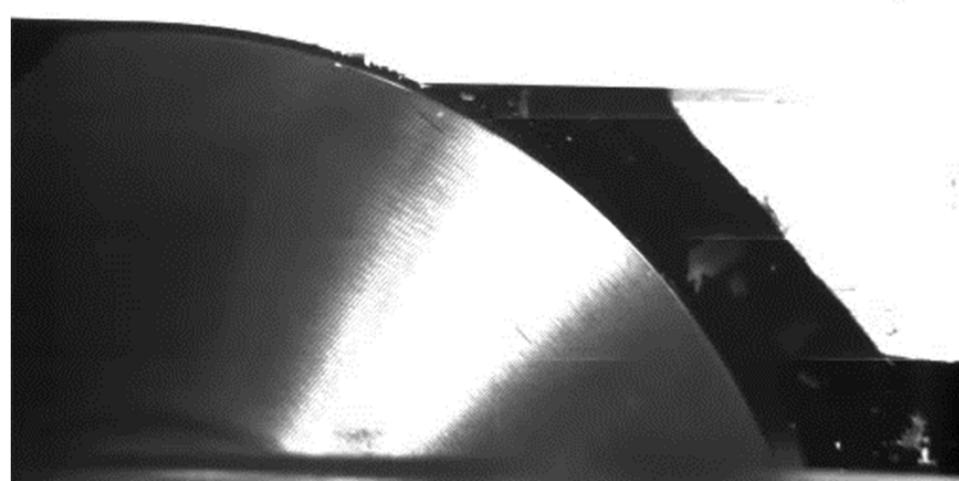
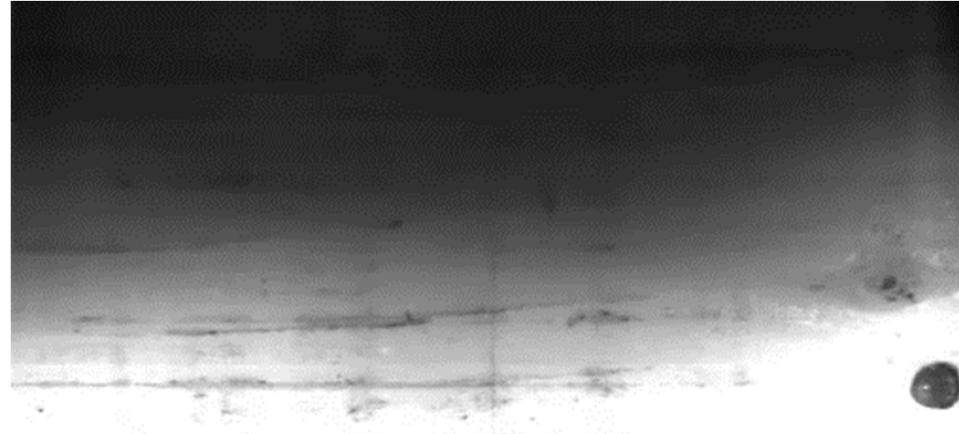
# Video

## Gleichlauffräsen bei der Holzzer spanung

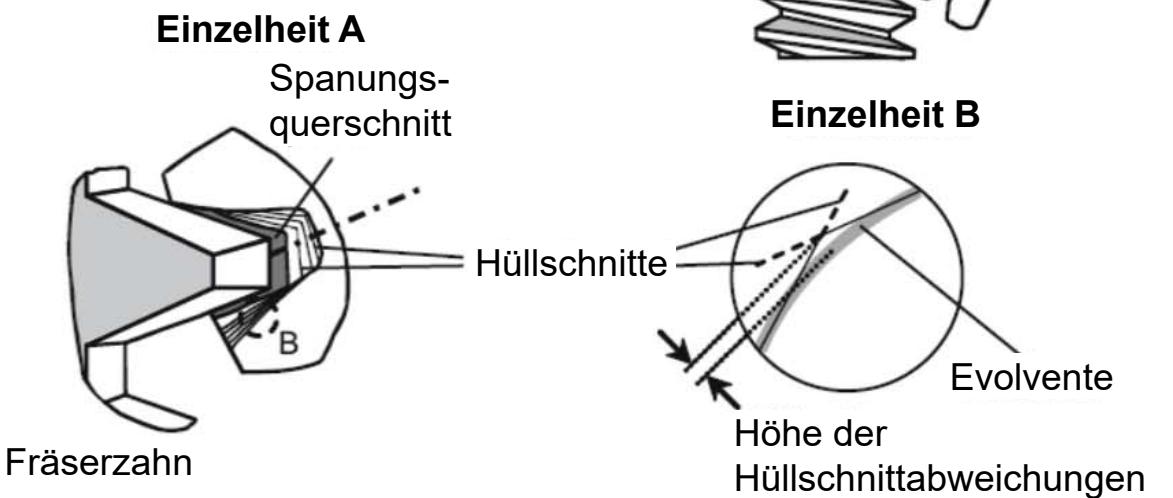
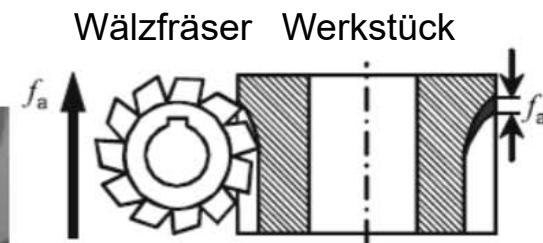
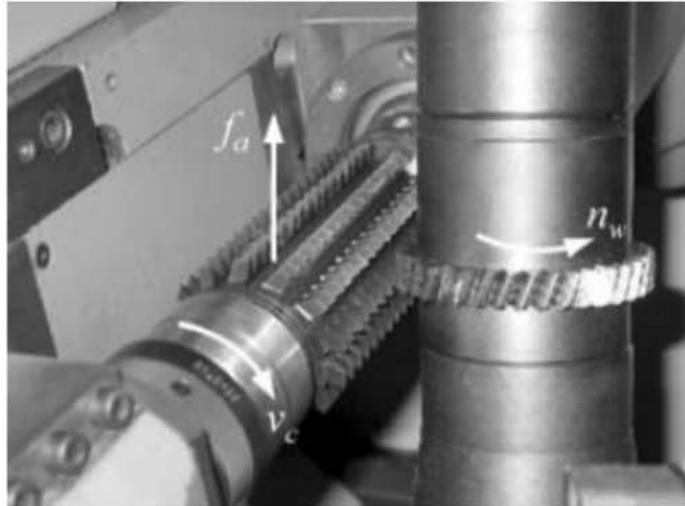


# Video

## Gegenlauffräsen mit Vorspaltung



# Wälzfräsen



# Bearbeitung eines Tellerrades mit einem Kegelradwälzfräser



WF 416-47-00

Quelle: Klingelnberg GmbH



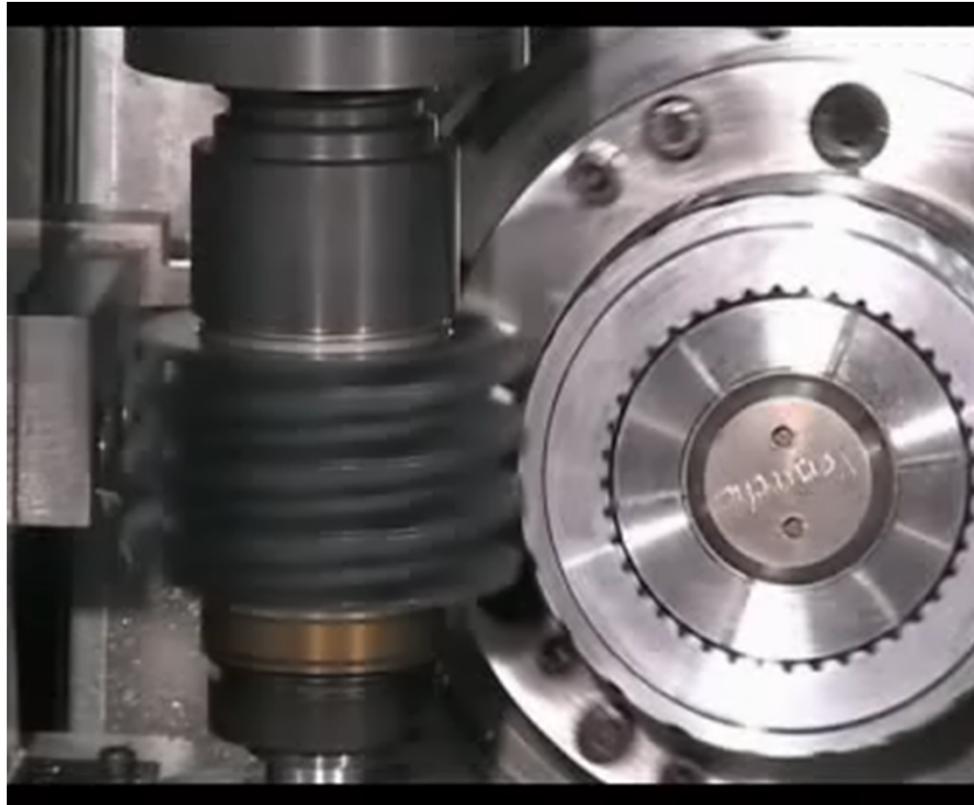
Technische  
Universität  
Braunschweig

Dr.-Ing. Anke Müller | Fertigungstechnik  
07. Mai 2018 | Folie 64

Institut für Werkzeugmaschinen  
und Fertigungstechnik **WF**

# Video

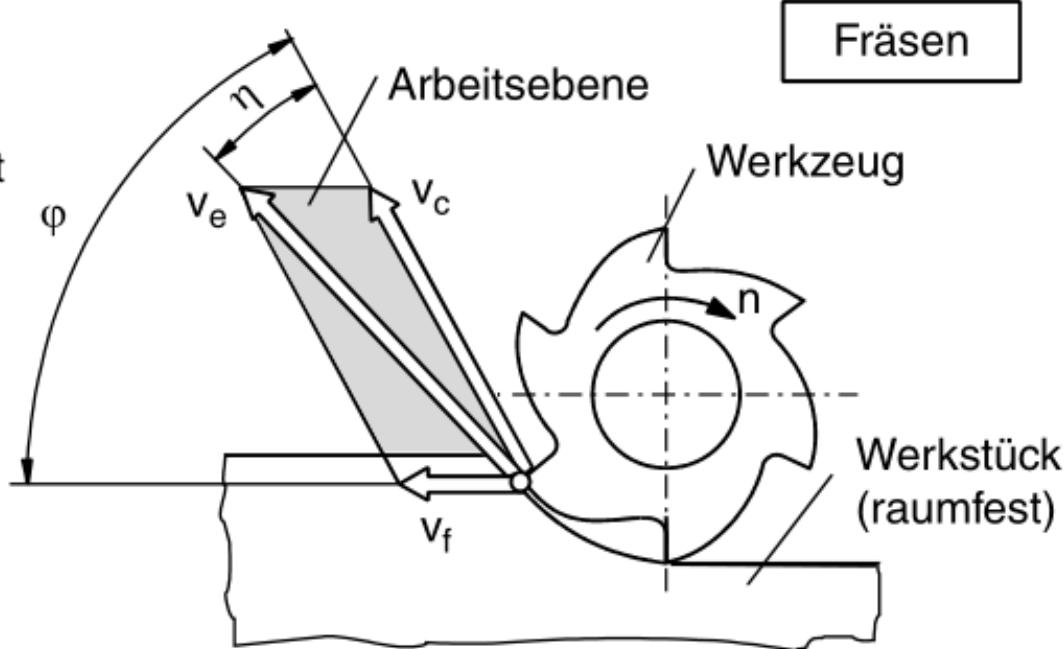
## Wälzfräsen



# Fräsen

## Bewegungskinematik

$v_c$  = Schnittgeschwindigkeit  
 $v_e$  = Wirkgeschwindigkeit  
 $v_f$  = Vorschudgeschwindigkeit



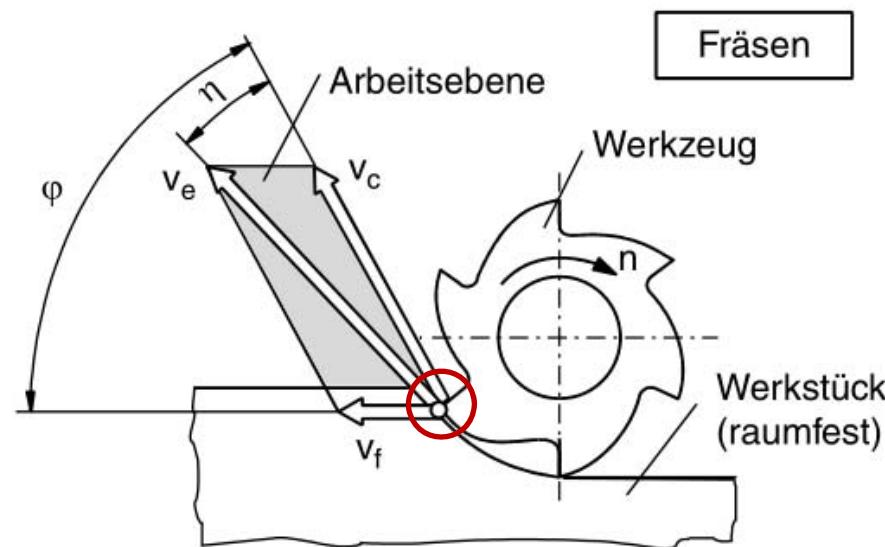
$$\eta = \frac{\sin \varphi}{\left( \frac{v_c}{v_f} \right) + \cos \varphi}$$

$\eta$  = Wirkungswinkel  
 $\varphi$  = Vorschubrichtungswinkel



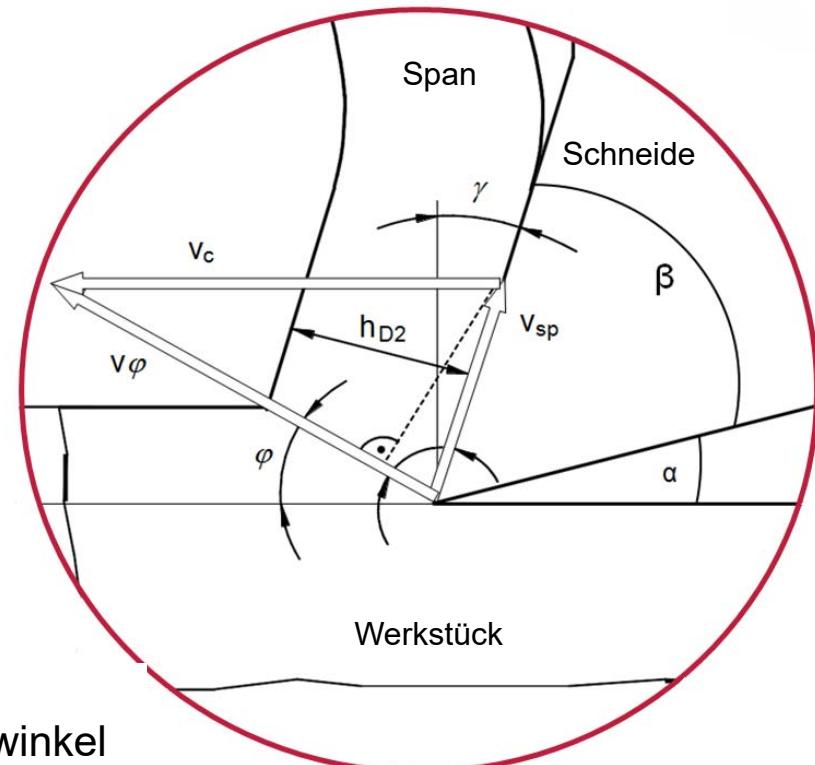
# Spanen

## Winkelbeziehungen beim Fräsen



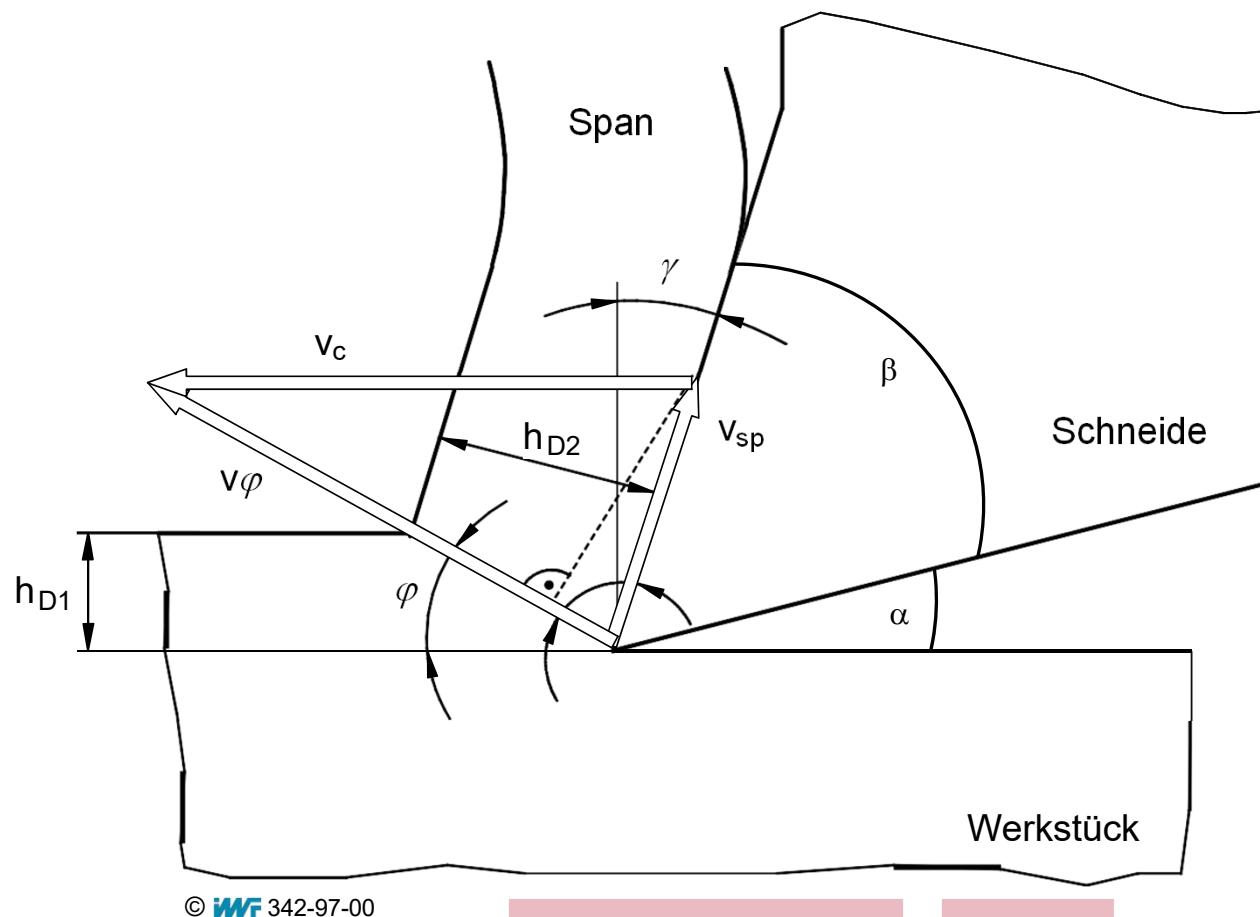
$$\eta = \frac{\sin \varphi}{\left( \frac{v_c}{v_f} \right) + \cos \varphi}$$

$\eta$  = Wirkungswinkel  
 $\varphi$  = Vorschubrichtungswinkel



# Schneidengeometrie

## Kräfte am Schneidekeil



© iWF 342-97-00

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

$$\lambda = \frac{h_{D2}}{h_{D1}}$$

- $\alpha$ : Freiwinkel
- $\beta$ : Keilwinkel
- $\gamma$ : Spanwinkel
- $\lambda$ : Stauchungsfaktor
- $\varphi$ : Scherwinkel  $\rightarrow$  Winkel der Scherebene

$h_{D1}$  = Spanungsdicke

$h_{D2}$  = Spandicke

$V_c$  = Schnittgeschwindigkeit

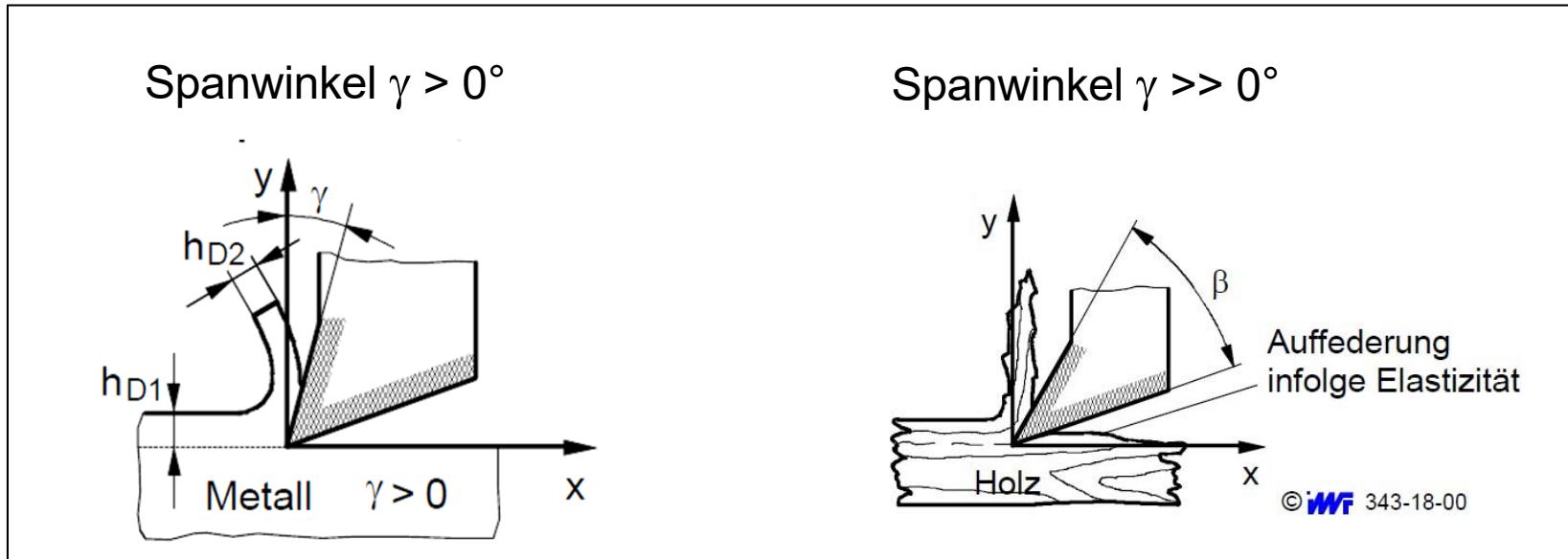
$v_{sp}$  = Spangeschwindigkeit

$V_\varphi$  = Schergeschwindigkeit

Quelle: Saljé

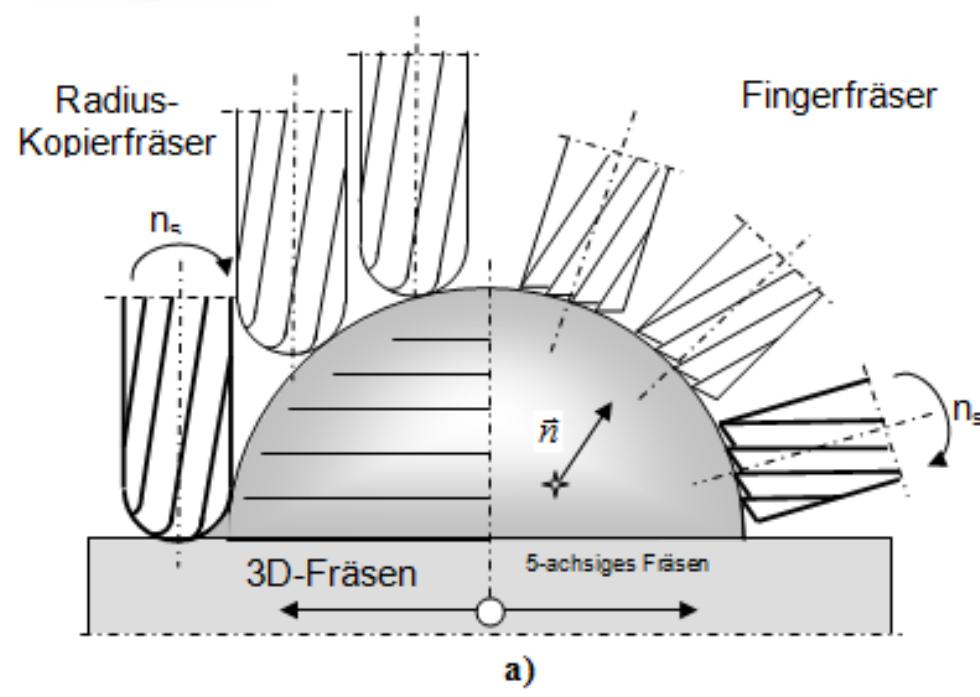


# Spanen im Orthogonalprozess



- geringe Zerspankräfte
- bessere Oberflächen
- längere Späne höhere Temperaturbelastung
- Schwächerer Schneidkeil

# Wie werden hochkomplex geformte Bauteile gefräst?



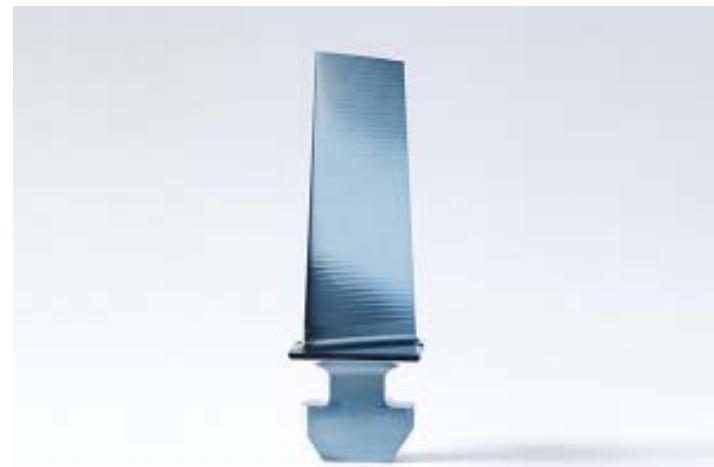
a)



b)

Quelle: [www.tankonyvtar.hu](http://www.tankonyvtar.hu)

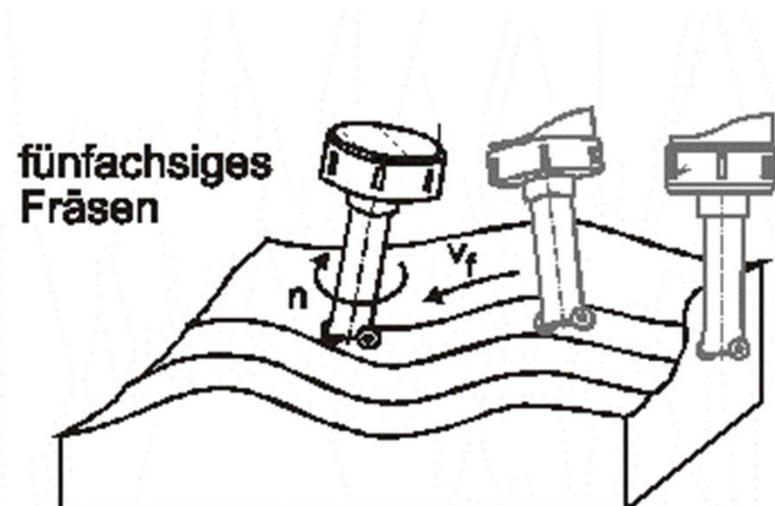
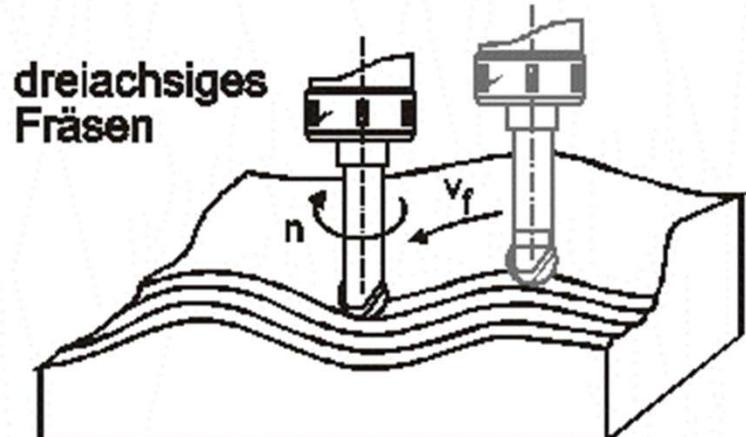
# Wie werden hochkomplexe geformte Bauteile gefräst?



Quelle: Naumann, Bbraun, AITech, Richter 3DTechnik, LfWW TU München

# Freiformflächenbearbeitung

## Unterschiede bei der Mehrachsbearbeitung



### Vorteile / Nachteile des fünfachsigen FräSENS

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>+ Mehrseitenbearbeitung in einer Aufspannung</li><li>+ Zugänglichkeit im Formraum</li><li>+ Günstige Eingriffsbedingungen</li><li>+ Stützwirkung der Werkzeuge</li><li>+ Stilm- und Torusfräser</li><li>+ Vermeidung der Schnittgeschwindigkeit Null</li><li>+ Verbesserung der Oberflächenqualität</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Komplexe (teure) Betriebsmittel</li><li>- Hohe Bedienerqualifikation</li><li>- NC-Programmierung aufwendig</li><li>- Kollisionen, Hinterschnedungen</li><li>- Fehlerquellen durch zwei weitere Achsen</li><li>- Verifikation der NC-Programme schwierig</li><li>- Ungleichmäßige Welligkeit, <math>b_f \neq \text{const.}</math></li></ul> |
|---|--|

312/21211 © IFW

Quelle: Tönshoff, Schmidt, Urban, 1999



# Freiformflächenbearbeitung

## Fertigfräsen von Freiformoberflächen | 1. Schritt

Mögliche Bearbeitungsabfolge beim Fertigfräsen von Freiformoberflächen:



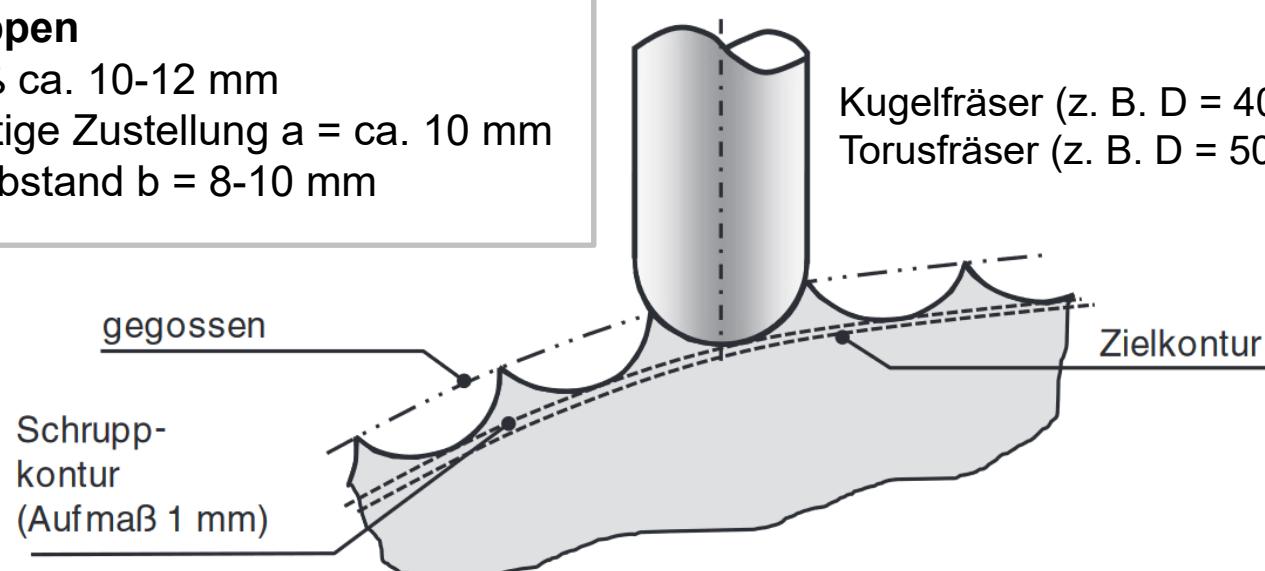
### Schruppen

Aufmaß ca. 10-12 mm

stirnseitige Zustellung  $a = \text{ca. } 10 \text{ mm}$

Zeilenabstand  $b = 8-10 \text{ mm}$

Kugelfräser (z. B.  $D = 40 \text{ mm}$ ) oder  
Torusfräser (z. B.  $D = 50 \text{ mm}$ , Eckenradius R8)



# Freiformflächenbearbeitung

## Fertigfräsen von Freiformoberflächen | 2. Schritt

Mögliche Bearbeitungsabfolge beim Fertigfräsen von Freiformoberflächen:

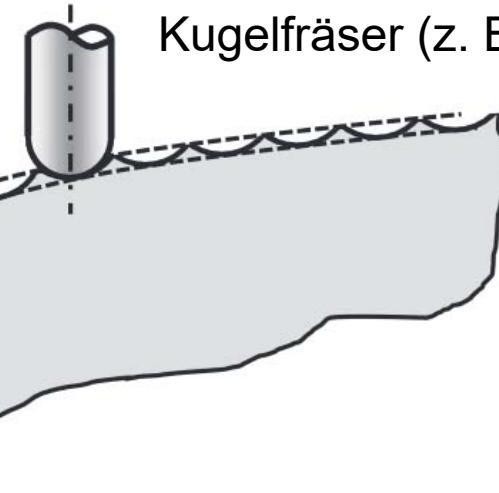


### Vorschlichten

Aufmaß ca. 0,1 mm

stirnseitige Zustellung  $a = \text{ca. } 1 \text{ mm}$

Zeilenabstand  $b = 1-1,2 \text{ mm}$



Kugelfräser (z. B. D = 20 mm)

# Freiformflächenbearbeitung

## Fertigfräsen von Freiformoberflächen | 3. Schritt

Mögliche Bearbeitungsabfolge beim Fertigfräsen von Freiformoberflächen:



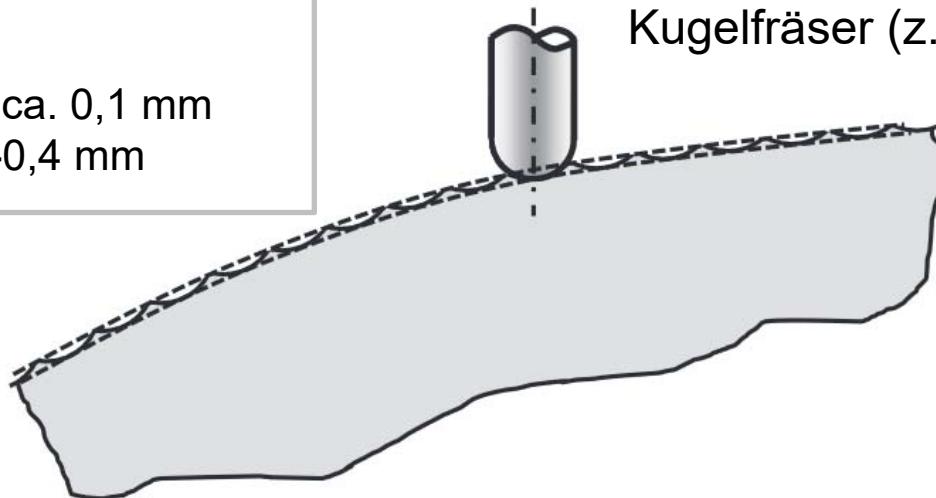
### Feinfertigschlichten

Aufmaß 0 mm

stirnseitige Zustellung ca. 0,1 mm

Zeilenabstand b = 0,3-0,4 mm

Kugelfräser (z. B. D = 20 mm)



$$\text{theoretische Rautiefe: } R_{t,th} = \frac{d}{2} - \sqrt{\frac{d^2 - b^2}{4}} = \frac{20}{2} - \sqrt{\frac{20^2 - 0,4^2}{4}} = 0,002 \text{ mm} = 2 \mu\text{m}$$

# Freiformflächenbearbeitung

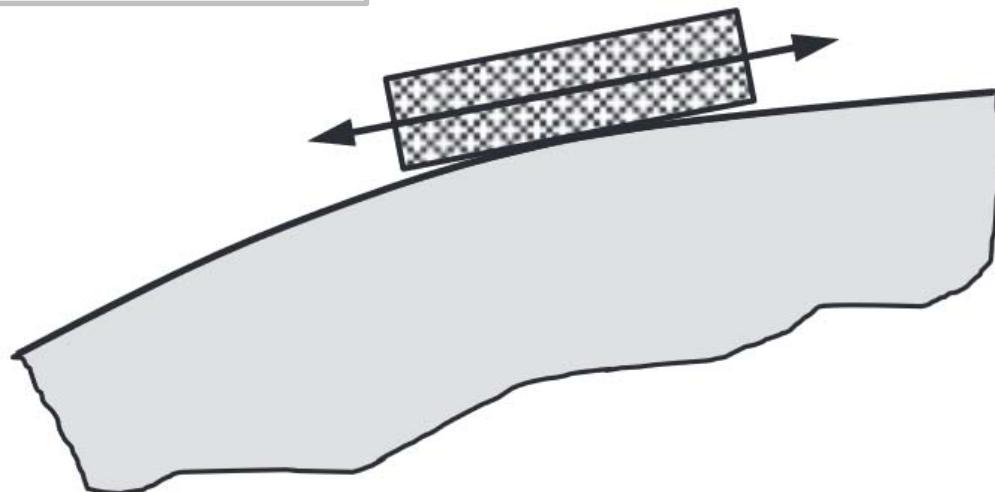
## Fertigfräsen von Freiformoberflächen | 4. Schritt

Mögliche Bearbeitungsabfolge beim Fertigfräsen von Freiformoberflächen:



**Verschleifen und ggf. Polieren**

Abziehstein (z. B. 180er Körnung)



Quelle: Birkert





Technische  
Universität  
Braunschweig

Institut für Werkzeugmaschinen  
und Fertigungstechnik **WF**



## Vorlesung Fertigungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder, 22. Mai 2017

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik