

# FERTIGUNGSTECHNIK



Wintersemester 2020/21

# GLIEDERUNG DER VORLESUNG

1	Einführung: Grundlagen der Fertigungstechnik		
2	Die verschiedenen Fertigungsverfahren		
2.1	Urformen (Gießen, Additiv, ...)	2.4	Fügen (Schweißen, Löten, ...)
2.2	Umformen (Massiv-, Blech-, ...)	2.5	Beschichten
2.3	Trennen (Drehen, Fräsen, ...)	2.6	Stoffeigenschaft ändern
3	Messen in der Fertigung		
4	Prüfungsvorbereitung		

# EINTEILUNG

## Trennen

Zerteilen	Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide	<b>Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide</b>	Abtragen	Zerlegen	Reinigen
DIN 8588	DIN 8589-0	<b>DIN 8589-0</b>	DIN 8590	DIN 8591	DIN 8592

# SPANEN MIT GEOMETRISCH UNBESTIMMTER SCHNEIDE

Die Bezeichnung „Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide“ soll darauf hinweisen, dass einerseits die Schneidengeometrie bei der Herstellung der Werkzeuge nicht fest vorgegeben werden kann und andererseits die Werkzeuge mehrere Schneiden gleichzeitig zum Einsatz bringen. Die Anordnung der Schneiden und die für die Zerspanung wichtigen Winkel an den einzelnen Schneiden sind also nicht bekannt.

- Schleifen mit rotierendem Werkzeug (DIN 8589 Teil 11)
- Bandschleifen (DIN 8589 Teil 12)
- Hubschleifen (DIN 8589 Teil 13)
- Honen (DIN 8589 Teil 14)
- Läppen (DIN 8589 Teil 15)
- Strahlspanen (DIN 8200)

# SCHLEIFEN

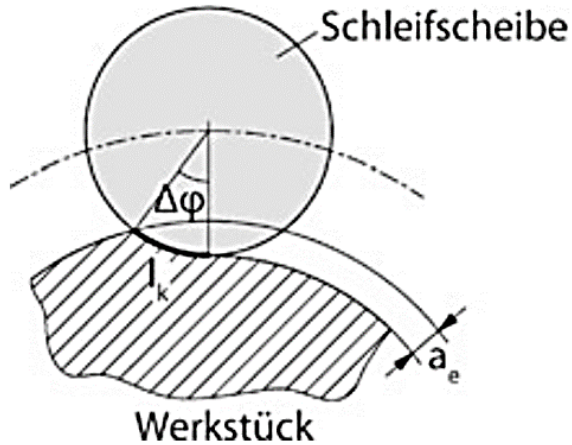
### Definition:

Schleifen mit rotierendem Werkzeug ist ein spanendes Fertigungsverfahren mit vielschneidigen Werkzeugen, deren geometrisch unbestimmte Schneiden von einer Vielzahl gebundener Schleifkörper aus natürlichen oder synthetischen Schleifmitteln gebildet werden und mit hoher Geschwindigkeit, meist unter nichtständiger Berührung zwischen Werkstück und Schleifkorn, den Werkstoff abtrennen.

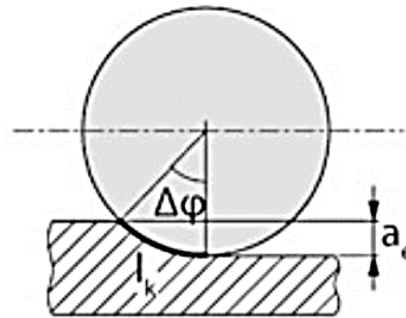
2.3 Trennen

# SCHLEIFEN

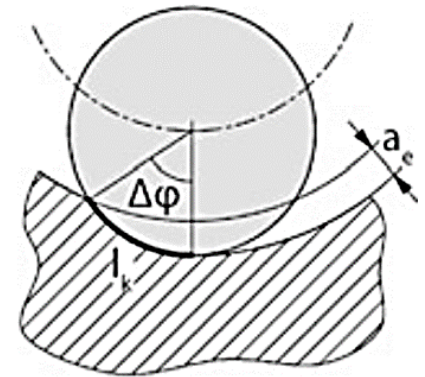
Außenrunds Schleifen



Planschleifen



Innenrunds Schleifen



$\Delta\varphi \sim l_k \dots$  Kontaktlänge

# SCHLEIFEN



## 2.3 Trennen

# SCHLEIFEN

- Die Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  ist eine Überlagerung der Schleifscheiben – Umfangsgeschwindigkeit  $v_s$  und der Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$
- Im Regelfall gilt:  $v_s \gg v_f$
- Damit wird näherungsweise die Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  wie folgt berechnet:

$$v_c = v_s = d_s \cdot \pi \cdot n_s$$

- Wichtige Kenngröße: Zeitspanvolumen  $Q_W$  → herangezogen zur Leistungsbeurteilung des jeweiligen Schleifprozesses

$$Q_W = v_f \cdot A_D$$

- Bei rechteckigem Eingriffsquerschnitt

$$Q_W = v_f \cdot a_e \cdot a_p$$

- Auf 1 mm Breite bezogen: Bezogene Zeitspanvolumen

$$Q'_W = \frac{Q_W}{a_p} = v_f \cdot a_e$$

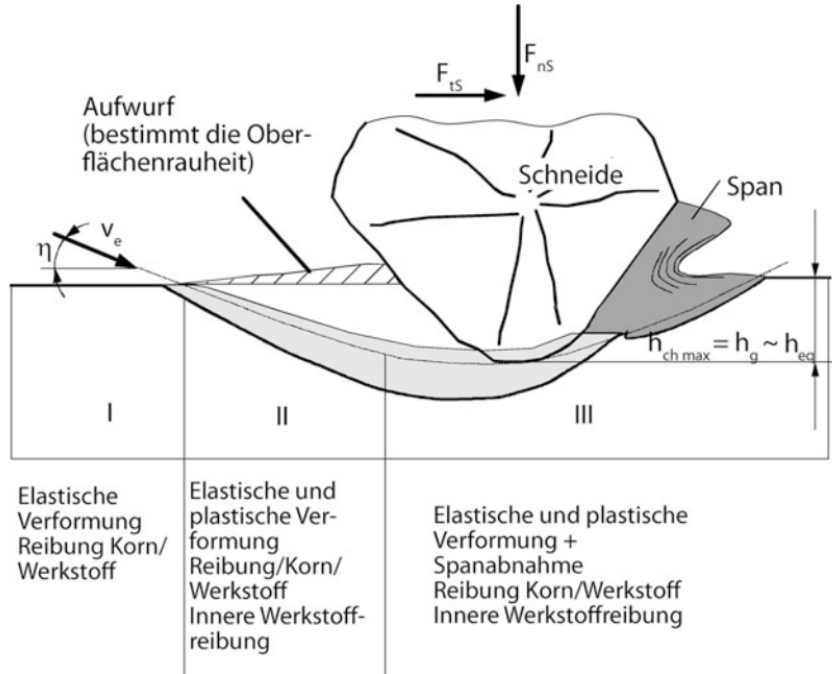
$v_f$	Vorschubgeschwindigkeit durch Tisch oder Werkstück
$a_e$	Zustelltiefe
$a_p$	Zustellbreite
$d_s$	Schleifscheibendurchmesser
$n_s$	Schleifscheibendrehzahl

# SCHLEIFEN – SCHNEIDENRAUM

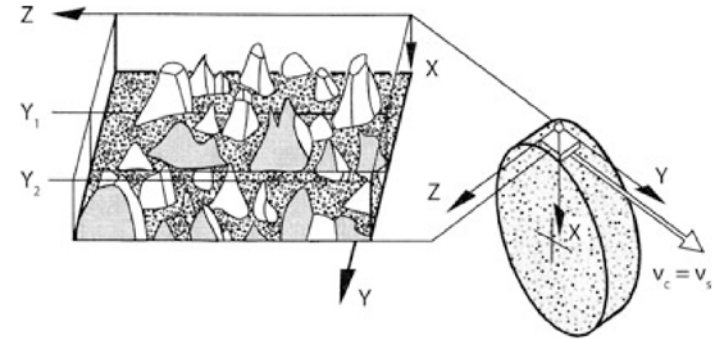
- Eindringtiefe des Schneidkorns beträgt wenige zehntel Millimeter
- Schneidkörner nehmen beliebige Position im Binder ein und stecken etwa zu 2/3 des Durchmesser im Binder → damit ergibt sich ein meist negativer Spanwinkel
- Zu Beginn des Schnittvorgangs: elastische Verformung an Werkstückoberfläche
- Weiterer Schnittverlauf: plastische Umformung mit Grataufwürfen
- Mit Erreichen der Grenzspanndicke: Überschreitung der Werkstofffestigkeitswerte → Werkstoff(ab)scherung (Spanausbildung)
- Schneidkornbindung am Werkzeug verursacht Reibung beim Schleifvorgang
- Schleifscheibentopografie (→ Beeinflussbar mittels Konditionierung) überträgt sich auf Werkstück → beeinflusst Werkstückrautiefe
- Durch Verschleiß beim Schleifen ändert sich ständig die Schleifscheibentopografie und somit die erzeugte Werkstückrautiefe  $R_z \rightarrow R_z = f(t)$

2.3 Trennen

# SCHLEIFEN – SCHNEIDENRAUM



Schleifen – Schneidkorn im Eingriff



Schleifscheibentopografie

## 2.3 Trennen

# SCHLEIFMITTEL

### Natürliche Schleifmittel:

- Ölsandstein
- Schmirgel
- Naturdiamant

### Künstliche Schleifmittel:

#### Im Block- oder Abstichverfahren erschmolzen:

- Normalkorund: Stahlguss, Temperguss, Schmiedeeisen, grobe Schleifarbeiten mit großer Zerspanleistung
- Edelkorund: hochlegierte, hitzeempfindliche Stähle, Werkzeuge, Schleifarbeiten mit großen Berührungsflächen
- Rubinroter Edelkorund: Werkzeuge, Zahnradbearbeitung, Führungsbahnen, Rund-, Flach- und Profilschleifen
- Schwarzes Siliciumcarbid: Gusseisen, Hartguss, hochlegierte C-Stähle, Al, Cu, Messing, Kunstharze, Gummi, Gestein, Glas, Porzellan
- Grünes Siliciumcarbid: Hartmetall, Hartguss, Hartglas, Hartkeramik (Schneidkeramik)

#### In Pressen unter hohem Druck und hoher Temperatur erzeugt:

- Diamant: NE-Metalle, Nichtmetalle, gleichzeitiges Schleifen von Hartmetall und Stahl
- Bornitrit (CBN): gehärtete und HSS-Stähle, Gusswerkstoffe auf Eisenbasis

## 2.3 Trennen

# WERKZEUGVERSCHLEISS

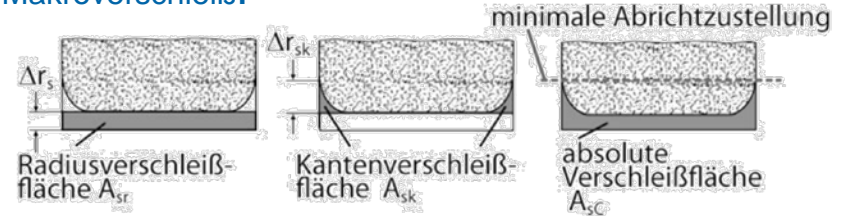
**Makroverschleiß** führt zu

- Profilfehlern
- Maßabweichungen am Werkstück
- Rundlaufabweichungen an der Schleifscheibe

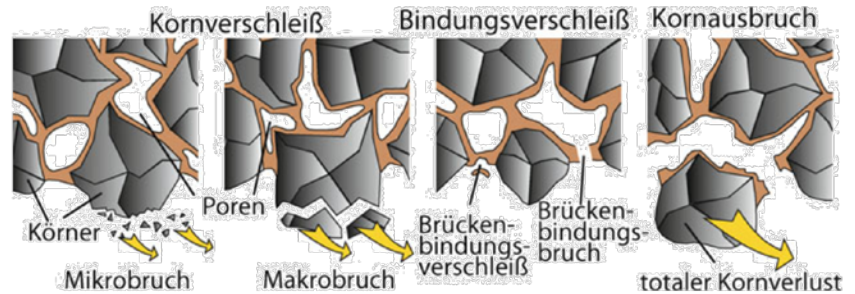
**Mikroverschleiß** wird unterschieden in

- **Kornverschleiß**  
→ Aufgrund der Reibung zw. Korn und Werkstück
- **Bindungsverschleiß**
- **Kornausbruch**  
→ Aufgrund sehr hoher Belastung  
→ Meist geht Bindungsverschleiß voraus

**Makroverschleiß:**



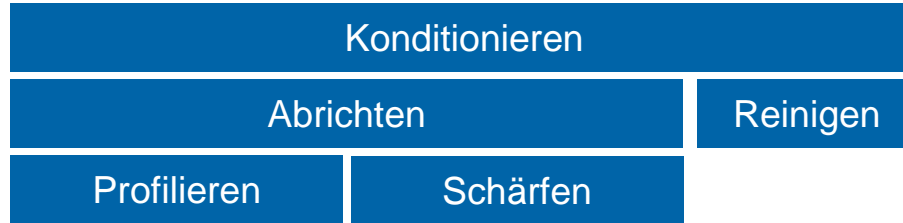
**Mikroverschleiß:**



**Alle Verschleißmechanismen treten parallel auf**

# KONDITIONIEREN DER SCHLEIFSCHEIBE

→ UNTERTEILUNG IN ABRICHTEN UND REINIGEN



### Abrichten:

Da die Werkzeuge durch das Ausbrechen der Körner einem Verschleiß unterliegen, der zu Maß- und Formabweichungen führt, ist ein Abrichten der Schleifscheiben erforderlich.

Das Abrichten muss aber auch dann erfolgen, wenn die Schleifscheibe durch ungünstig gewählte Zerspanbedingungen mit dem Werkstückwerkstoff zugesezt ist, so dass ein einwandfreier Zerspanprozess nicht mehr gewährleistet werden kann.

Das Abrichten erfolgt mit diamantbesetzten, entsprechend profilierten Werkzeugen, die ein gezieltes Absplittern und Herausbrechen von Schneidkörnern herbeiführen. Dadurch wird die Schleifscheibe wieder auf ihre Soll-Geometrie gebracht.

2.3 Trennen

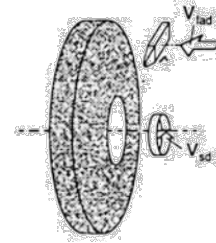
# KONDITIONIEREN DER SCHLEIFSCHEIBE

## → ABRICHTWERKZEUGE

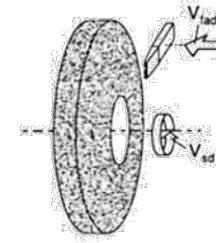


- 1. Abrichtrad
- 2. Abrichtröle
- 3. Abrichtkegel
- 4. Abrichtplatte

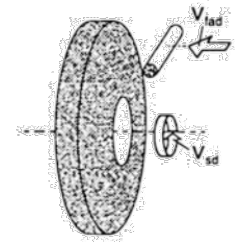
Einkornabrichter



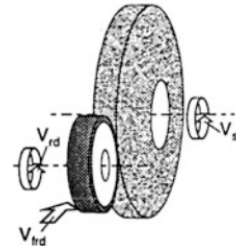
Abrichtplatte



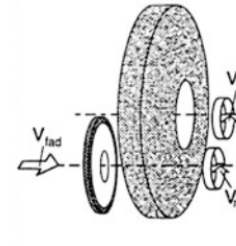
Vielkornabrichter



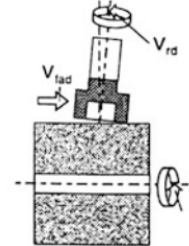
Profilrolle



Formrolle



Topscheibe



## 2.3 Trennen

# KONDITIONIEREN DER SCHLEIFSCHEIBE

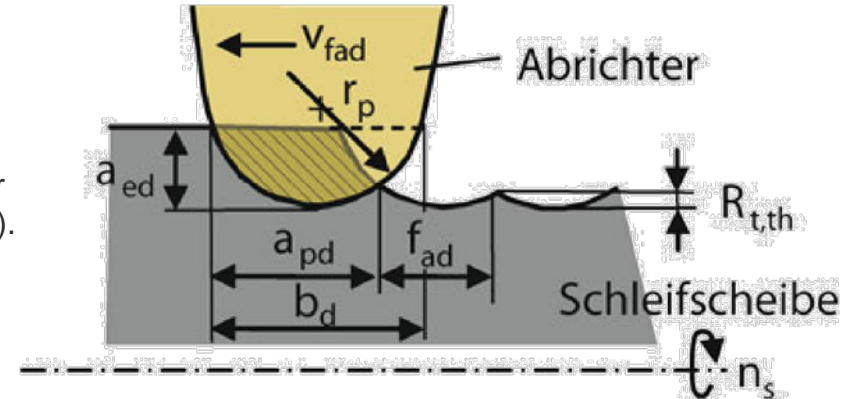
## → ABRICHTVORGANG

Abrichtprozess ist dem Drehprozess ähnlich. Schleifkörper rotiert, Abrichtwerkzeug wird an der Schleifkörperoberfläche geführt → Erzeugung eines „Gewindes“ an der Oberfläche (entspricht der Wirkrautiefe der Schleifscheibe und ist maßgebend für die Oberflächengüte bzw. -rauigkeit des Werkstückes).

$$U_d = \frac{a_{pd}}{f_{ad}} = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{2 \cdot r_p \cdot a_{ed}}}{f_{ad}}$$

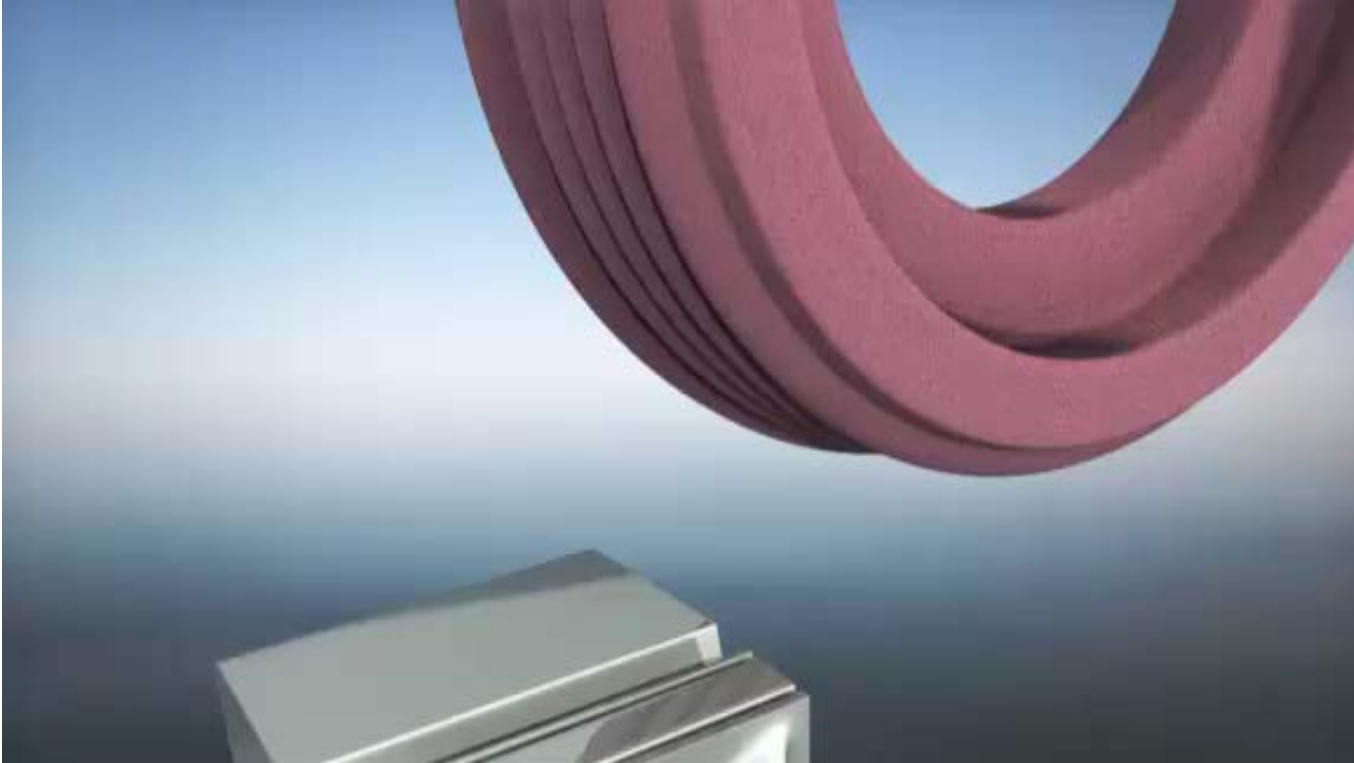
$$a_{pd} = \frac{1}{2} \cdot (b_d + f_{ad})$$

$$b_d = \sqrt{8 \cdot r_p \cdot a_{ed}}$$



- $a_{ed}$  Zustellung Abrichter
- $f_{ad}$  Vorschub Abrichter
- $b_d$  Wirkbreite Abrichter
- $a_{pd}$  aktive Zustellbreite
- $r_p$  Eckenradius Abrichter
- $U_d$  Überdeckungsgrad

## PROFILSCHLEIFEN – VIDEO



# SCHLEIFVERFAHREN

Die Schleifverfahren mit rotierendem Werkzeug werden in der DIN 8589-1 zusammengestellt.

Es kann in Rund- und Planschleifen sowie in Außen- und Innenschleifen unterschieden werden. In Kombination mit der Relativbewegung zwischen Spindelachse und Schleifscheibe ergeben sich die Verfahrensbezeichnungen.

Die Schnittgeschwindigkeit wird durch die Umfangsgeschwindigkeit der Schleifscheibe bestimmt.

Die Vorschubgeschwindigkeit wird durch Werkstück und / oder Schleifscheibe bestimmt.

Die Vorschubbewegung kann kontinuierlich oder diskontinuierlich erfolgen.

## 2.3 Trennen

# SCHLEIFVERFAHREN

Bezeichnungsfindung durch Kombination der Relativbewegung zwischen Spindelachse und Schleifscheibe

	Außenrund-	Innenrund-	Plan-	Dreh-
Umfangs-Querschleifen				
Umfangs-Längschleifen				
Seiten-Querschleifen				
Seiten-Längschleifen				

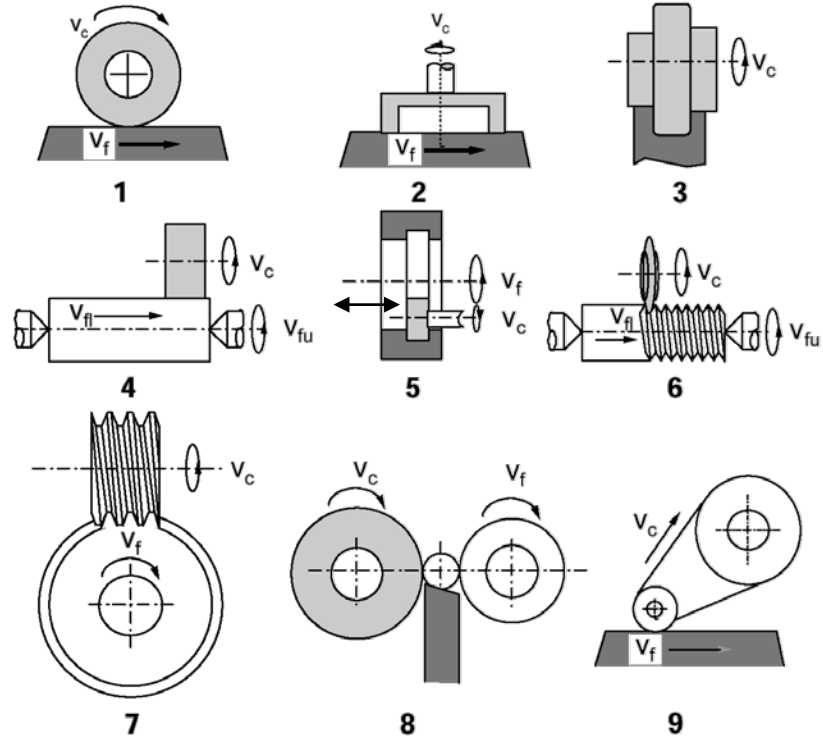
x...nicht relevant

© WfF 382-69-00

## 2.3 Trennen

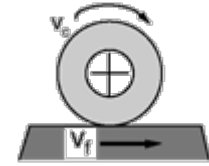
# RELEVANTE SCHLEIFVERFAHREN

- 1 Umfangsplan Schleifen
- 2 Stirnplan Schleifen
- 3 Profilschleifen
- 4 Außenrund-Längsschleifen
- 5 Innenrund-Längsschleifen
- 6 Gewindeschleifen mit Einprofilscheibe
- 7 Wälzschleifen mit Schleifschnecke
- 8 Spitzenloses Schleifen
- 9 Bandschleifen



## 2.3 Trennen

# PLANSCHLEIFEN

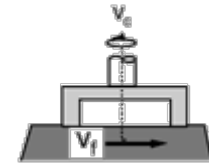


## Längs – Umfangs – Planschleifen bzw. Umfangsplanschleifen:

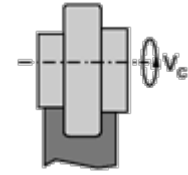
- Vorschubbewegung translatorisch, ausgeführt durch Werkzeug oder Werkstück (→ zumeist mittels Tischbewegung; entspricht Werkstück)
- Unterscheidung in **Gegenlauf-** und **Gleichlaufschleifen** (→ äquiv. Fräsen)
  - Gegenlauf:
    - Span nimmt bis zu einem Maximum zu
    - Span kommt nach Abscheren mit Werkstückoberfläche nicht in Kontakt
    - Schleifkraftvektor zeigt aus dem Tisch heraus
    - Hauptanwendung: Schruppschleifen
  - Gleichlauf:
    - bei Schnittbeginn größter Spanquerschnitt, kleiner werdend bis Abscherung
    - Kontakt zwischen Span und Werkstückoberfläche möglich
    - Schleifkraftvektor gegen Tisch gerichtet
    - Hauptanwendung: Schlichtschleifen

## Längs – Seiten – Planschleifen bzw. Stirnplanschleifen:

- Vorschubbewegung translatorisch oder rotatorisch; Ausführung maschinenseitig



# PROFILSCHLEIFEN



- Einbringen des Negativprofils in die Schleifscheibe durch Profilabrichten mittels Formdiamanten, Diamantformrollen oder Diamantprofilrollen
- Vorschubbewegung durch Schleifscheibe

### Verfahren:

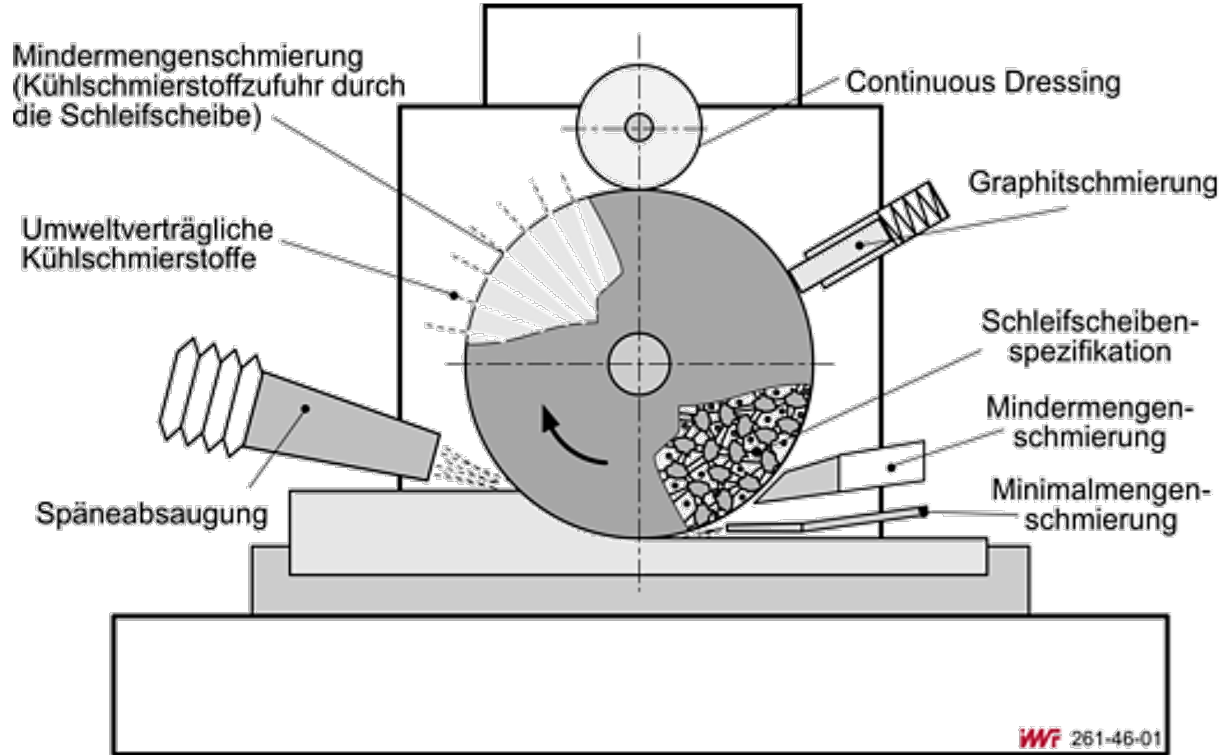
- bsp. das *Continuous Dressing* Schleifen: kontinuierliche Profilerzeugung durch Diamantprofilrolle während des Schleifens

### Begrenzung:

- Zeitspanvolumen wird durch kleinsten Profilradius begrenzt; d. h. wenn geforderte Kontur durch Schleifscheibenverschleiß verloren geht, muss neu profiliert werden

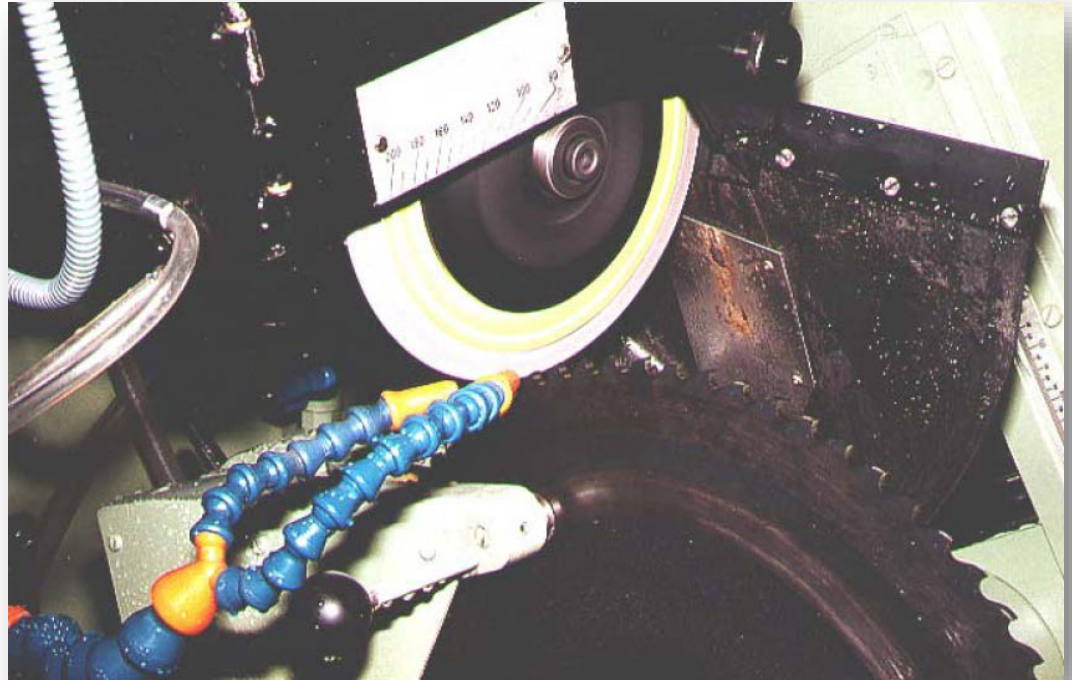
2.3 Trennen

# PROFILSCHLEIFEN



## PROFILSCHLEIFEN

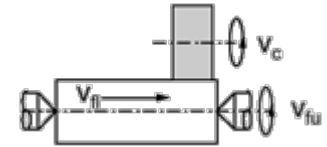
Schleifen, bei dem das Werkzeugprofil auf dem Werkstück abgebildet wird



## 2.3 Trennen

# AUSSENRUNDSCHLEIFEN

Schleifen zwischen Spitzen bzw. mit einer festen Einspannung

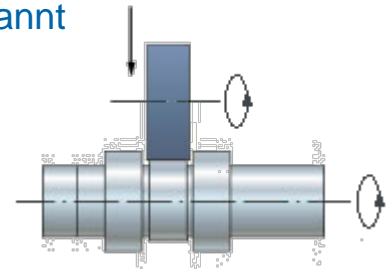


Längs – Umfangs – Außen – Rundschleifen → auch **Längsschleifen** genannt

- Parallelaxiale Anordnung Schleifscheibe – Werkstück
- Einstellung der Zustelltiefe  $a_e$ , anschließend Längsbewegung der Schleifscheibe
- Zustellung einseitig nach jedem Doppelhub, oder Doppelseitig nach jedem Hub
- Überlauf der Schleifscheibe zur Gewährleistung der Kantenformgenauigkeit
- Schleifprozessende: mehrere Leerhübe ohne Zustellung (gen. „Ausfunken“) → Rundlaufverbesserung des Werkstückes
- Anwendung: Schlichtschleifen

Quer – Umfangs – Außen – Rundschleifen → auch **Einstechschleifen** genannt

- Parallelaxiale Anordnung Schleifscheibe – Werkstück
- Schleifscheibe wird kontinuierlich radial zugestellt ohne Längsvorschub
- Erzeugung von Profilen auf Werkstückumfang möglich
- Anwendung: Schruppschleifen

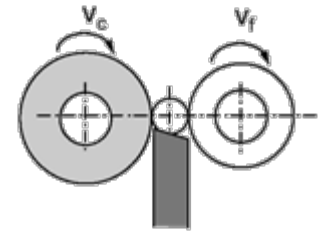


## 2.3 Trennen

# AUSSENRUNDSCHLEIFEN

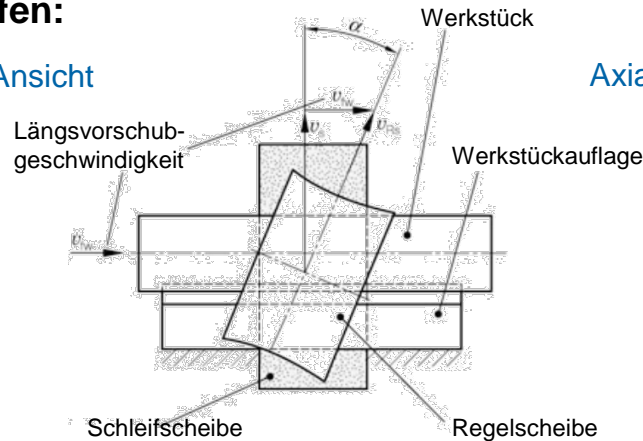
## Spitzenlosschleifen

- Werkstück liegt auf Auflageschiene, wird zwischen Schleifscheibe und Regelscheibe geführt
- Abstand zwischen Schleif- und Regelscheibe bestimmen Durchmesser des Werkstücks
- Hohe Zerspanraten
- Große Stückzahlen bei geringen Durchlaufzeiten

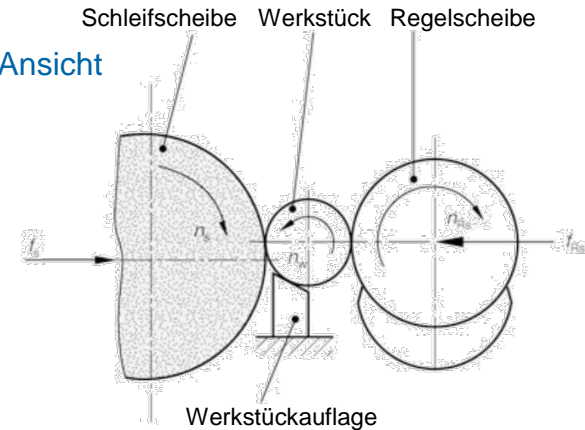


## Durchlaufschleifen:

Radiale Ansicht



Axiale Ansicht



## 2.3 Trennen

# AUSSENRUNDSCHLEIFEN

## Spitzenlosschleifen

### Durchlaufschleifen

- Parallelaxiale Anordnung Schleifscheibe – Werkstück
- Windschiefe Anordnung der Achsen von Werkstück bzw. Schleifscheibe zu Regelscheibe
- Regelscheibe weist hyperbolische Form auf
- Schräge Aufstellung der Regelscheibe verursacht Axialkraft, welche das Werkstück nach vorn führt → Winkel der Schrägstellung bestimmt Durchlaufgeschwindigkeit
- Regelscheibe rotiert langsamer als Schleifscheibe → Bremswirkung verursacht Spanabnahme

### Quer – Umfangs – Schleifen

- Parallelaxiale Anordnung von Schleifscheibe – Werkstück – Regelscheibe
- Regelscheibe ist zylindrisch ausgeführt
- Zustellung erfolgt durch Regelscheibe

# AUSSENRUNDSCHLEIFEN

## Vorteile des Spitzenlosschleifen

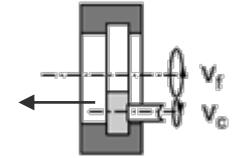
- Fertigung langer zylindrischer Bauteile ohne Einsatz von Lünetten
- Entfall der Arbeitsschritte Einspannen und Zentrieren



## 2.3 Trennen

# INNENRUNDSCHLEIFEN

Schleifen zwischen Spitzen bzw. mit einer festen Einspannung

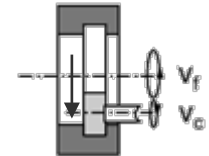


Längs – Umfangs – Innen – Rundschleifen bzw. **Innenrund – Längsschleifen**

- Parallelaxiale Anordnung Schleifscheibe – Werkstück
- Einstellung der Zustelltiefe  $a_e$ , anschließend Längsbewegung der Schleifscheibe
- Zustellung einseitig nach jedem Doppelhub, oder Doppelseitig nach jedem Hub
- Überlauf der Schleifscheibe zur Gewährleistung der Kantenformgenauigkeit
- Schleifprozessende: mehrere Leerhübe ohne Zustellung (gen. „Ausfunken“) → Rundlaufverbesserung des Werkstückes
- Anwendung: Schlichtschleifen

**Quer – Umfangs – Innen – Rundschleifen**

- Parallelaxiale Anordnung Schleifscheibe – Werkstück
- Schleifscheibe wird kontinuierlich radial zugestellt ohne Längsvorschub
- Erzeugung von Profilen auf Werkstückinnenseite möglich
- Abstützung langer Werkstücke mittels Lünetten
- Anwendung: Schruppschleifen



## 2.3 Trennen

# INNENRUNDSCHLEIFEN

Schleifen zwischen Spitzen bzw. mit einer festen Einspannung

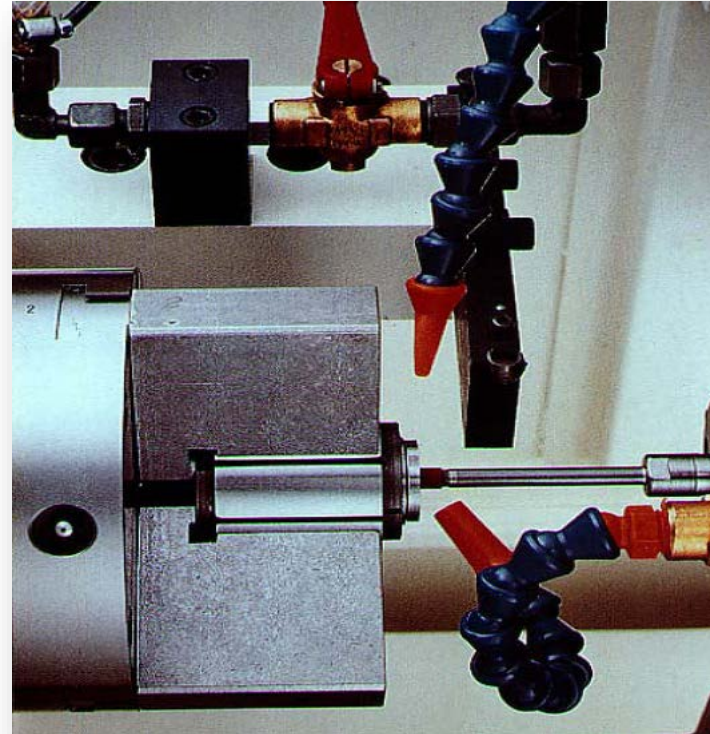
### Probleme:

- Größere Kontaktlänge zwischen Schleifscheibe und Werkstück → erhöhte Gefahr durch thermische Schädigung
- Erschwerte Zuführung des Kühlschmierstoffes
- Schleifscheibe zumeist auf Dorn befestigt, d. h. geringe Steifigkeit wegen Auskraglänge und kleinem Durchmesser
- Prozesskräfte verursachen Ausbiegung des Schleifdorns → Form- und Maßfehler
- Damit: Übliche Durchmessererhältnisse von Schleifscheibe zu Werkstück 0,65 ... 0,75

2.3 Trennen

# INNENRUND – LÄNGSSCHLEIFEN MIT ABRICHTVORRICHTUNG

Für Bohrungen, Innenflächen an Buchsen, Lager, Laufringe



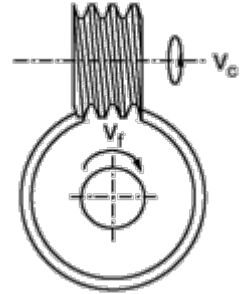
# Längs – Umfangs – Innen – Rundschleifen



## 2.3 Trennen

# GEWINDE- / WÄLZSCHLEIFEN

- Zur Erzielung von geforderten Oberflächenrauheiten und geometrischen Genauigkeiten
- Schleifscheibenprofil ist das Negativprofil des Werkstücks, dieses wälzt sich auf der Werkstückoberfläche ab
- Unterscheidung der Wälzbewegung in kontinuierlich (ohne Teilung) und diskontinuierlich (mit Teilung)

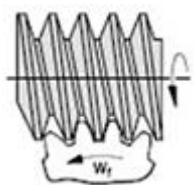
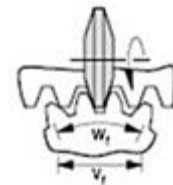

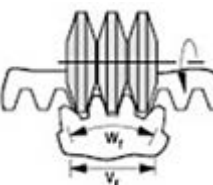
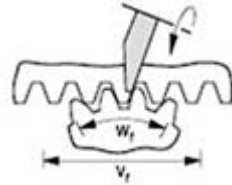
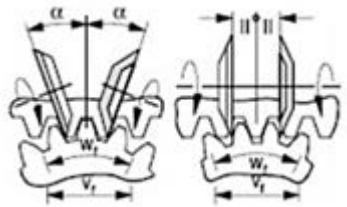


Verfahren:

- **Diskontinuierlich:** *Maag* – Schleifverfahren
  - Schleifscheiben im Winkel von  $15^\circ \dots 20^\circ$  geschwenkt
  - Schleifen mittels Umfang und der Seite des Tellerrades
  - Anwendung: Zahnprofilkorrektur
- **Kontinuierlich:** *Reishauer* – Schleifverfahren
  - ähnlich dem Wälzfräsen
  - Schleifscheibe kämmt mit dem Werkstück
  - Voraussetzung: synchronisierte Wälzbewegung

2.3 Trennen

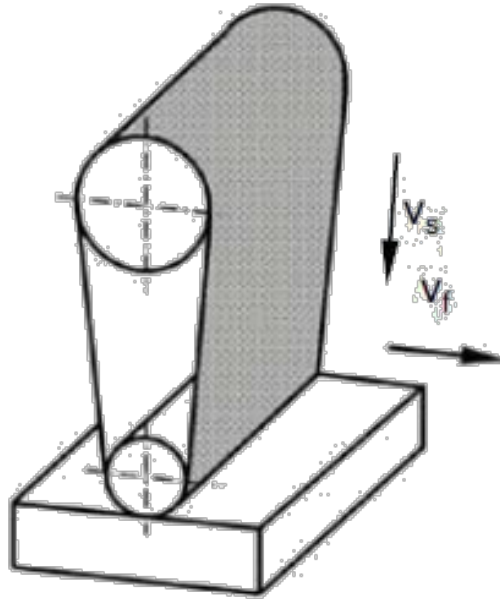
# Wälzschleifen

Kontinuierlich	Im Teilvorgang (diskontinuierlich)				
Schleifschnecke	Doppelkegel Schleifschnecke			Teller-(Plan-) Schleifscheibe	
					
mit Schleifschnecke	mit Doppelkegelscheibe	mit Kegelmantelscheiben	mit mehreren Doppelkegelscheiben	mit einer Stirnschleifscheibe	mit zwei Stirnschleifscheiben

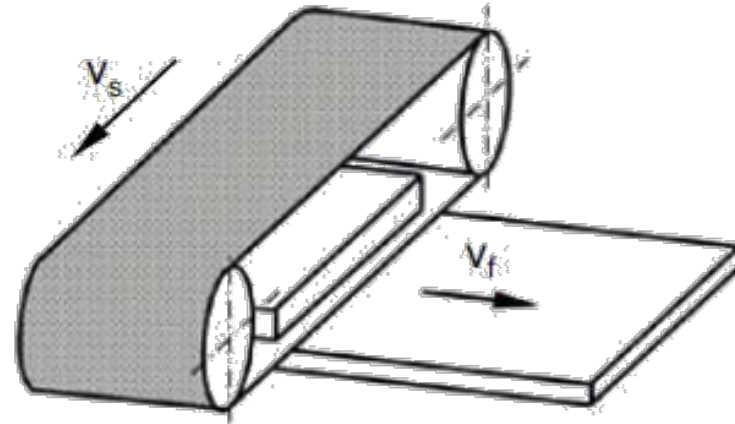
Quellen: A. H. Fritz - Fertigungstechnik

2.3 Trennen

# BANDSCHLEIFEN

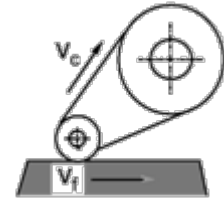


Bandschleifen mit Kontaktrolle



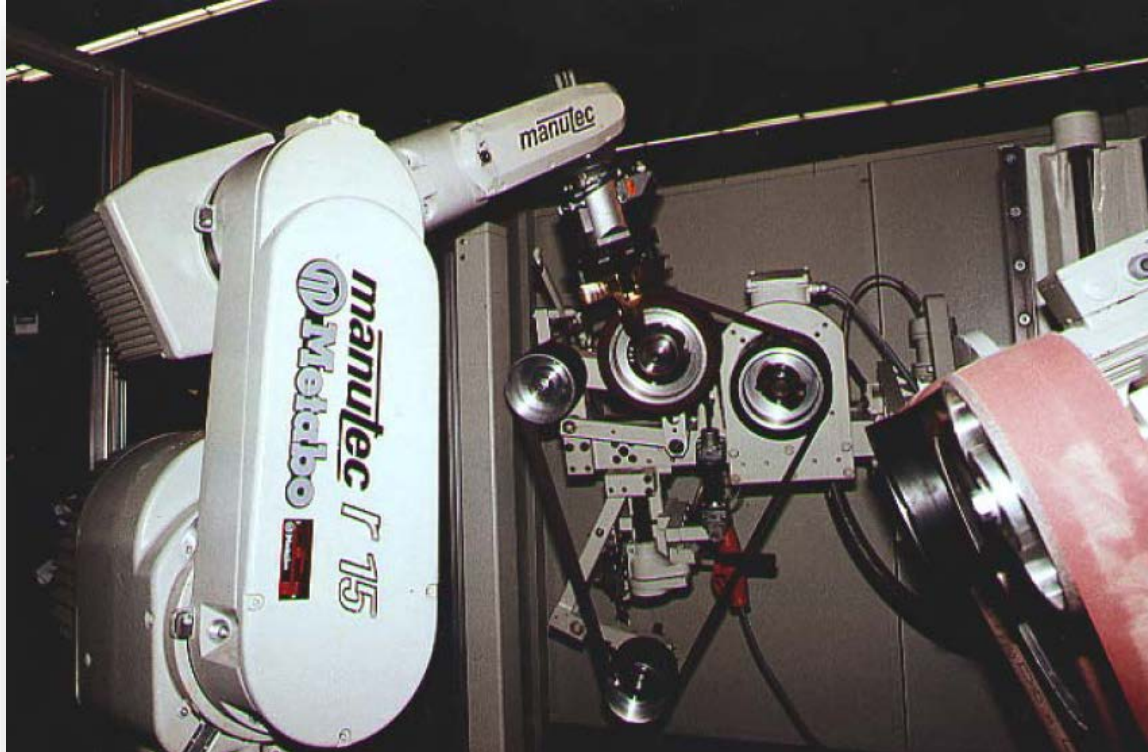
Bandschleifen mit Stützplatte

# BANDSCHLEIFEN



- Unterteilung in **Bandschleifen mit Kontaktrolle** und **Bandschleifen mit Stützplatte**.
- Einstellbare Parameter:
  - Kornart, Korngröße und Streudichte
  - Art und Flexibilität der Unterlage
  - Bindungsart der Zusatzwerkstoffe
- Kontaktflächengröße einstellbar; unabhängig von der Werkzeugwirkfläche
- Hohe Flexibilität → entsprechende Kombination mit Kontaktelementen ermöglicht definierte Konturanpassung
- Geringe Masse der Schleifbänder bedeutet geringeres Gefährdungspotenzial
- Geringe Anschaffungskosten
- Hauptanwendung: Bearbeitung von Funktionsflächen an Wellen (Autoindustrie, Anlagenbau)  
 Bearbeitung komplexer Freiformflächen (Triebwerksbau, Medizintechnik)  
 Entgraten von Guss- / Schmiederohlingen

# AUTOMATISCHES BANDSCHLEIFEN



2.3 Trennen

# ERREICHBARE OBERFLÄCHENQUALITÄTEN

Bearbeitungsverfahren	Rautiefe $R_t$ in $\mu\text{m}$
Schleifen	8,0 ... 4,0
Feinschleifen	4,0 ... 1,0
Feinstschleifen	1,0 ... 0,25
Flachschleifen	3,0 ... 8,0
Profilschleifen	2,0 ... 4,0
Außenrundscheifen	5,0 ... 10,0
Innenrundscheifen	10,0 ... 20,0
Spitzenlosschleifen	2,0 ... 4,0

# EINTEILUNG

# Trennen

Zerteilen	Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide	Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide	Schleifen mit rotierendem Werkzeug (DIN 8589 Teil 11) Bandschleifen (DIN 8589 Teil 12) Hubschleifen (DIN 8589 Teil 13) <b>Honen (DIN 8589 Teil 14)</b> Läppen (DIN 8589 Teil 15) Strahlspanen (DIN 8200)	Abtragen	Reinigen
DIN 8588	DIN 8589-0	DIN 8589-0	DIN 8590	DIN 8591	DIN 8592

# HONEN

## Definition nach DIN 8589:

Honen ist Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden, wobei die vielschneidigen Werkzeuge eine aus zwei Komponenten bestehende Schnittbewegung ausführen, von denen mindestens eine Komponente hin- und hergehend ist, sodass die bearbeitete Oberfläche definiert überkreuzende Suren aufweist.

Beim Honen wird, ähnlich wie beim Schleifen, ein Werkzeug aus gebundenem Schleifmittel verwendet, das die Werkstückoberfläche unter ständiger Berührung der Flächen bearbeitet. Der Werkstoffabtrag ist relativ gering, daher soll die Zugabe nur 0,05 ... 0,1 mm betragen. Bearbeitbar sind u.a. Stahl, (weich und gehärtet), Gusseisen, Bronze, Messing, Glas, Graphit.

Das Verfahren wird angewandt zur Verbesserung der Maß- und Formgenauigkeit der Oberflächen von z.B. Bohrungen, Zylinderlaufbuchsen und Zapfenlagern.

## 2.3 Trennen

# KINEMATIK BEIM HONEN

Unterscheidung in drei kinematische Komponenten:

- **axial-** oszillierend; Werkzeug führt gleichmäßige Hub-/ Senkbewegungen aus
- **radial-** kraft- oder weggebundene Zustellung des Werkzeugs aufs Werkstück
- **tangential-** resultiert aus gleichmäßiger Werkzeugrotation

Daraus resultierende Unterteilungen:

- **Außenrundhonen**
- **Innenrundhonen**
- **Planhonen (= Flachhonen)**

Nach der Länge der Hubbewegung wird auch in

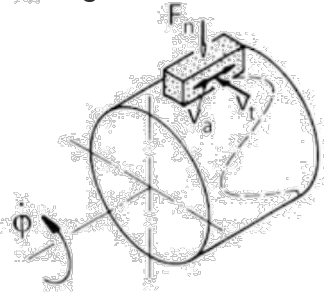
- **Langhubhonen** sowie
- **Kurzhubhonen** unterschieden

## 2.3 Trennen

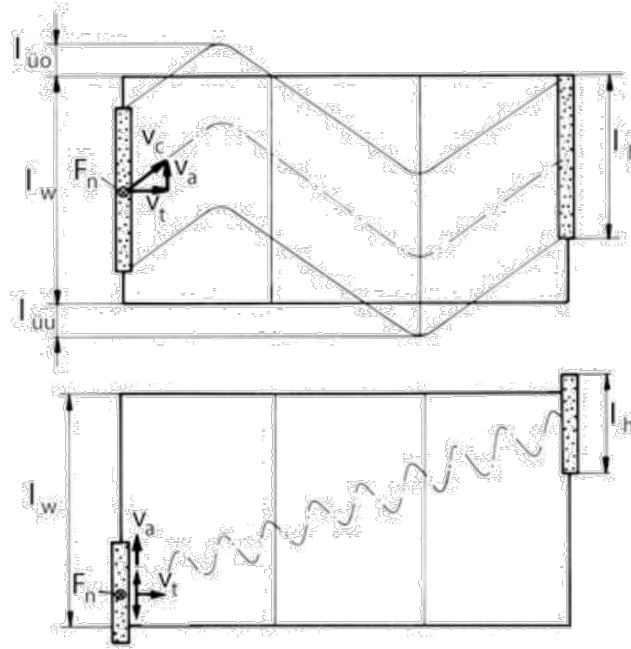
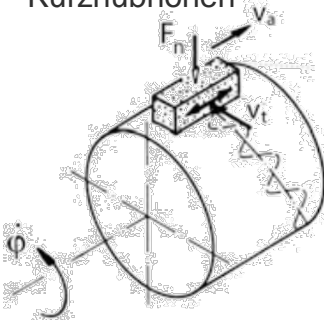
# VERFAHREN

## Außenrundhonen

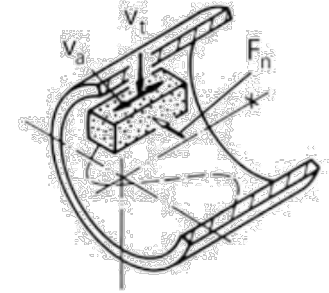
Langhubhonen



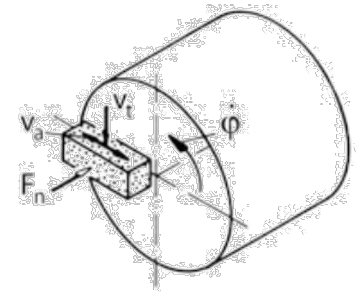
Kurzhubhonen



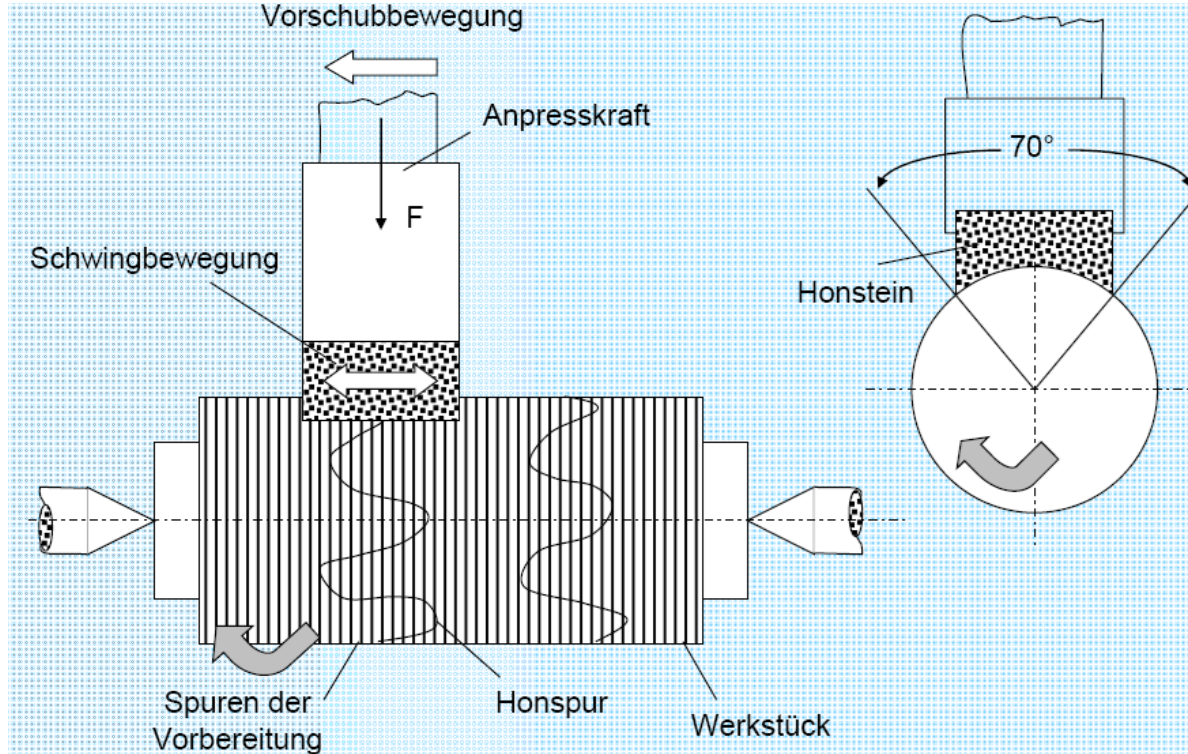
## Innenrundhonen



## Planhonen

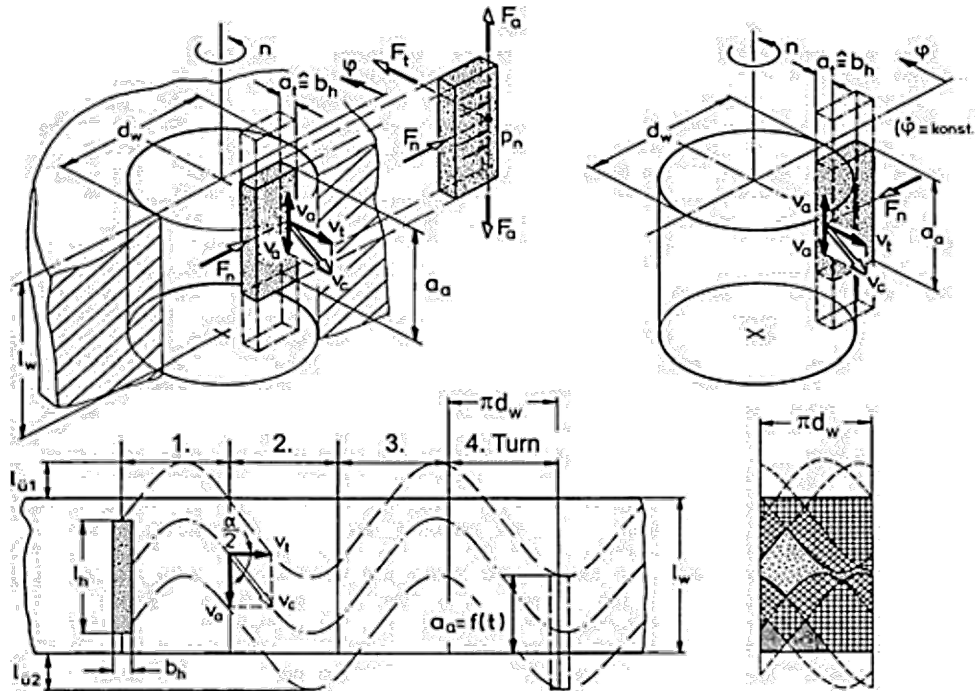


# BEWEGUNG BEIM KURZHUBHONEN



2.3 Trennen

# LANGHUBHONEN – GESCHWINDIGKEITEN UND KRÄFTE



$$v_c = \sqrt{v_a^2 + v_t^2}$$

$$\alpha = 2 \arctan \frac{v_a}{v_t}$$

$$F_c = \sqrt{F_a^2 + F_t^2 + F_n^2}$$

- $\alpha$  Honwinkel
- $v_c$  Schnittgeschwindigkeit
- $v_a$  Axiale Hubgeschwindigkeit
- $v_t$  Tangentiale Geschwindigkeit  
~ Drehzahl

- 1 x gehont
- 2 x gehont
- 3 x gehont
- 4 x gehont

Der mittlere Bereich wird bei einer vorgegebenen Anzahl von Umdrehungen öfter übergehont, als der obere und der untere Bereich

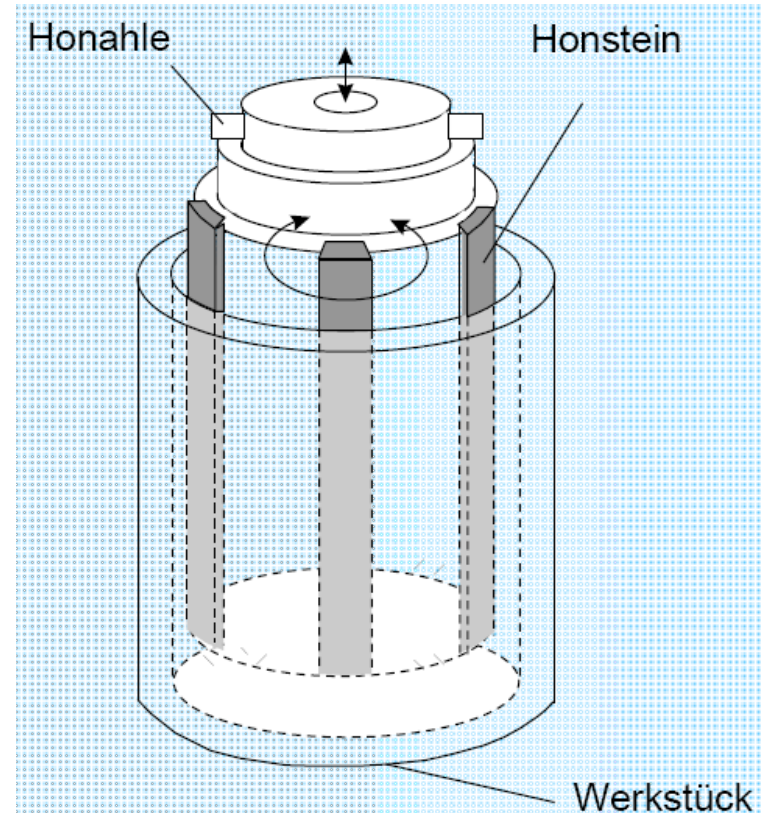
## 2.3 Trennen

# INNENHONEN

### Innen – Honahle mit formschlüssig gelagerten Honsteinen:

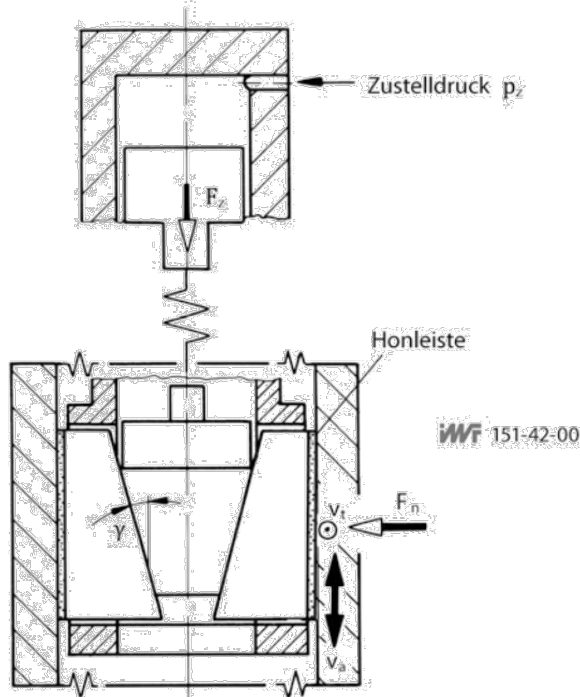
Zur Maß- und Oberflächenverbesserung wird das Honen mit **formschlüssig** in das Honwerkzeug eingelegten Honsteinen durchgeführt.

Mit **kraftschlüssig** eingelegten Honsteinen kann nur eine Oberflächenverbesserung erzielt werden.

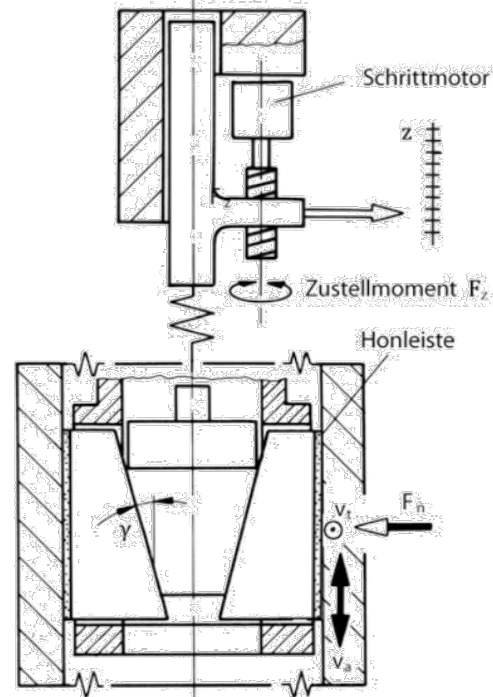


# ZUSTELLUNG

## Kraftschlüssig



## Formschlüssig

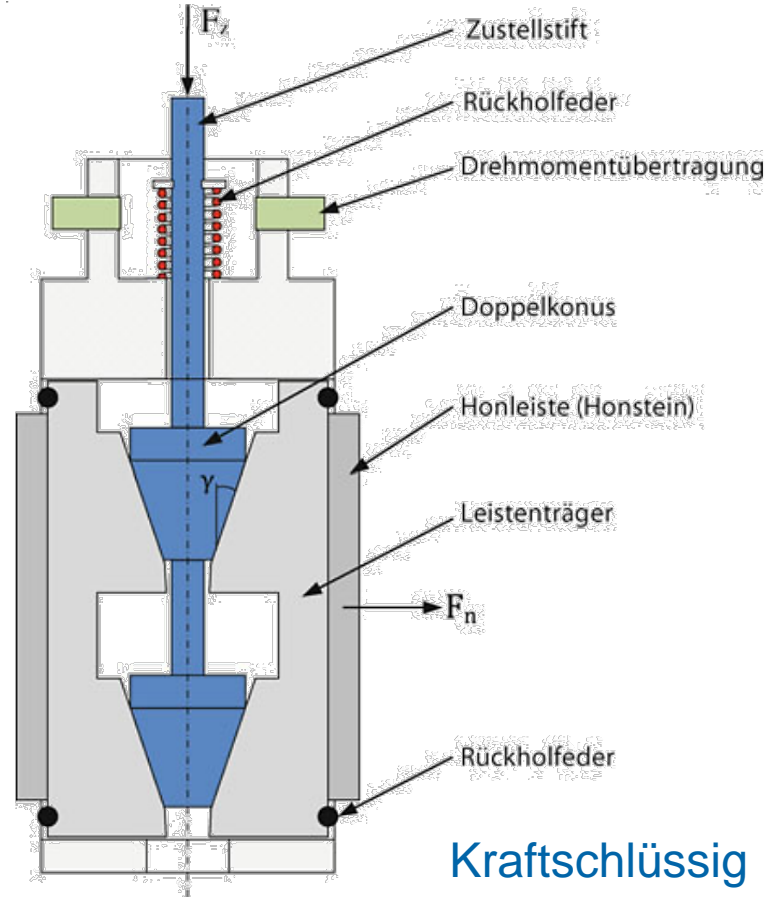


2.3 Trennen

# INNENHONWERKZEUG

$$p_N = \frac{F_Z}{m \cdot l_h \cdot b_h \cdot \tan \gamma}$$

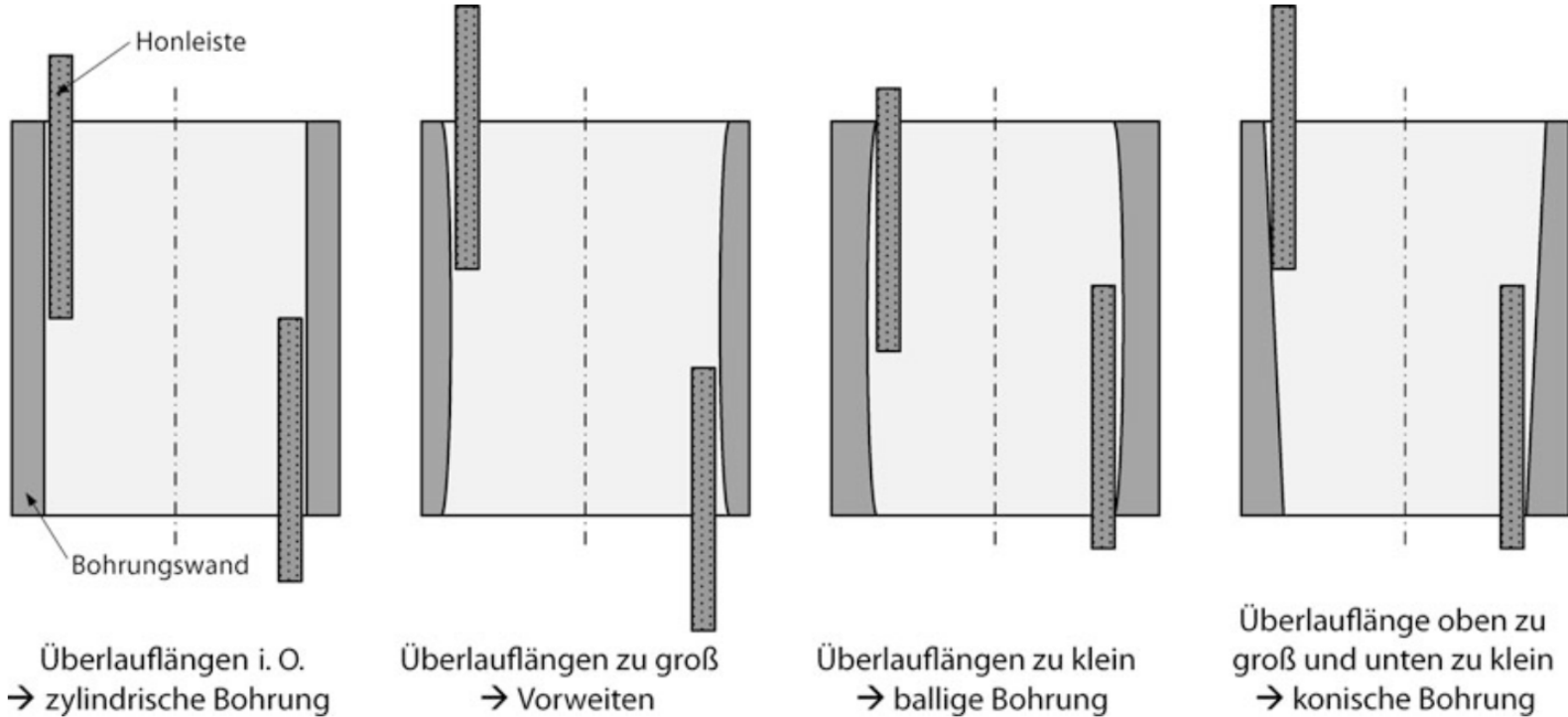
- $m$**  Honleistenanzahl
- $l_h$**  Honleistenlänge
- $b_h$**  Honleistenbreite



**Kraftschlüssig**

2.3 Trennen

# EINFLUSS – HOHNLEISTENÜBERLAUF



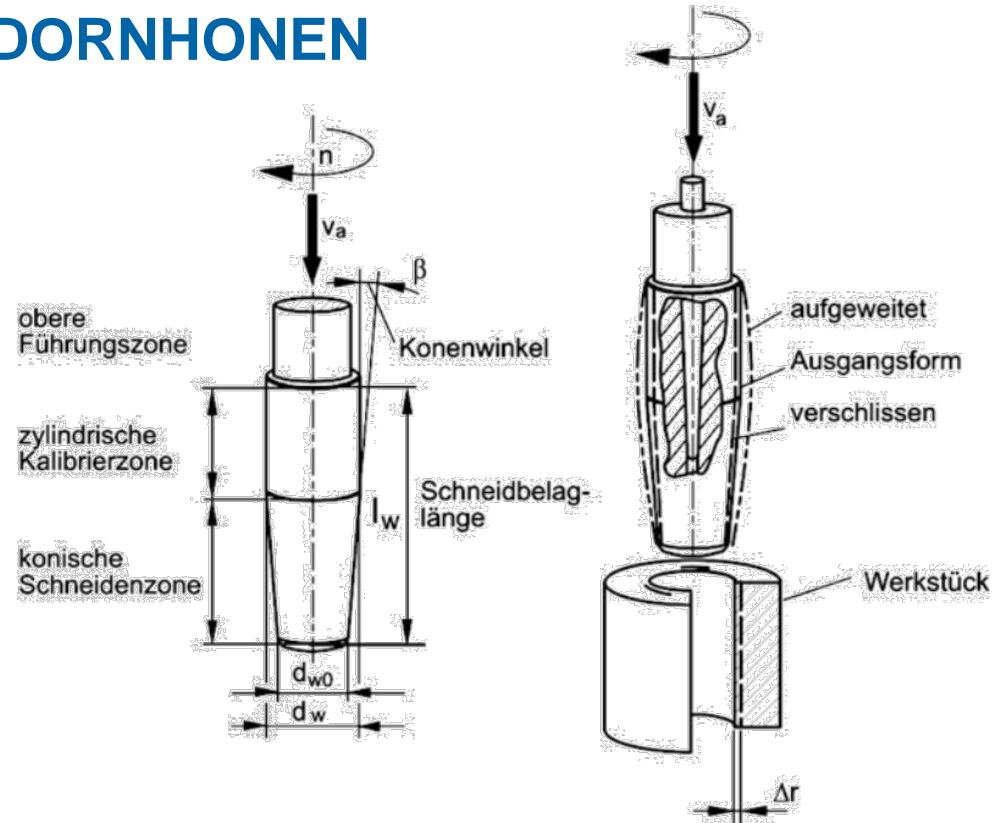
## 2.3 Trennen

# KLEINE BOHRUNGEN: DORNHONEN

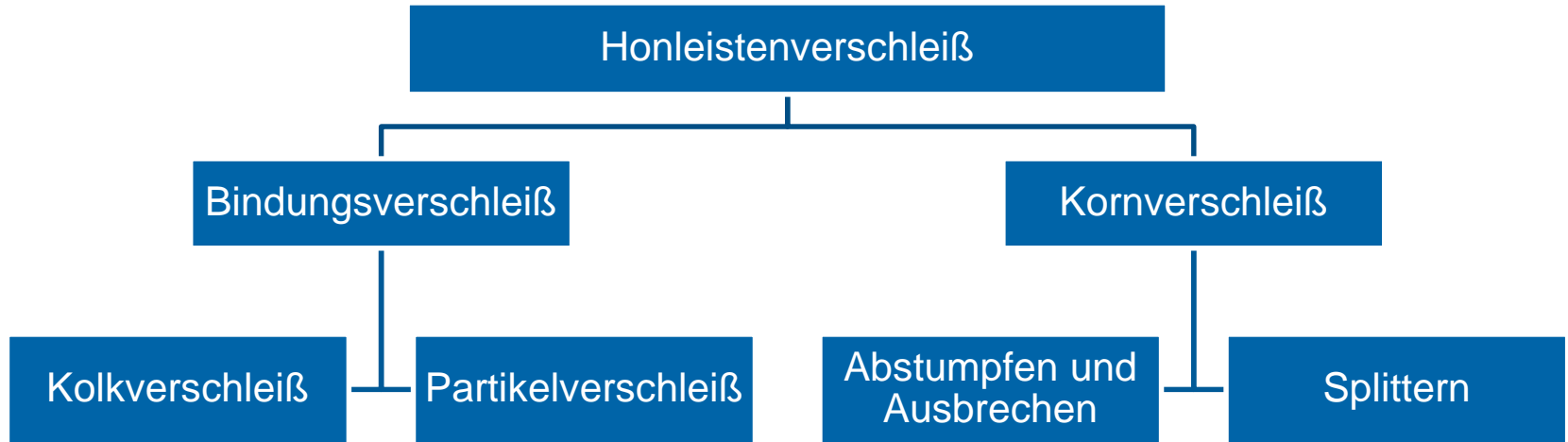
Aufbau eines Dornhonwerkzeuges mit konischer Schneidzone.

### Merkmale:

- Konische Schneidzone
- Zylindrische Kalibrierzone mit Solldurchmesser
- i. d. R. mit Aufweitmechanismus zur Verschleißkompensation



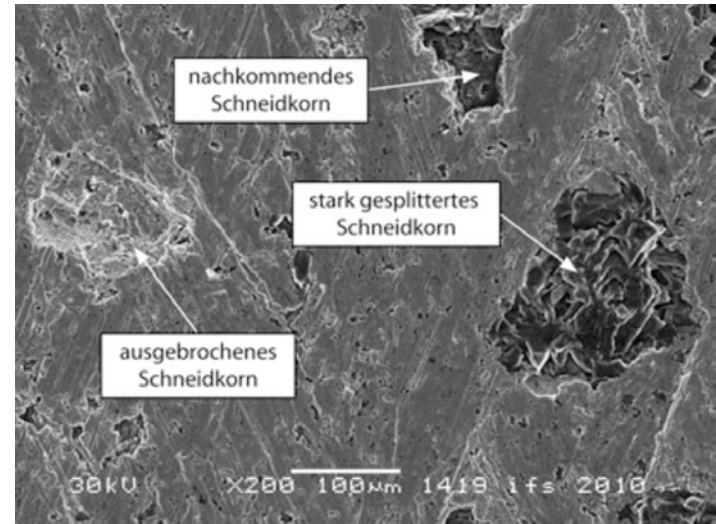
# VERSCHLEISSMECHANISMEN



## 2.3 Trennen

# SELBSTSCHÄRFEFFEKT

- mittels richtiger Abstimmung von Schneidstoff und Bindungshärte
- Schneidkorn verbleibt bis zum abstumpfen in der Bindung
  - Korn bricht durch steigende Schnittkraft aus Bindung
  - Neue Schneidkörner kommen dadurch zum Einsatz
  - Schruppbearbeitung: Einsatz von Schneidkörnern mit starker Splitterneigung; durch Kornsplitterung entstehen viele neue scharfe Schneidkanten → Hohes Zeitspanvolumen
- Schneideigenschaften über gesamte Standzeit konstant



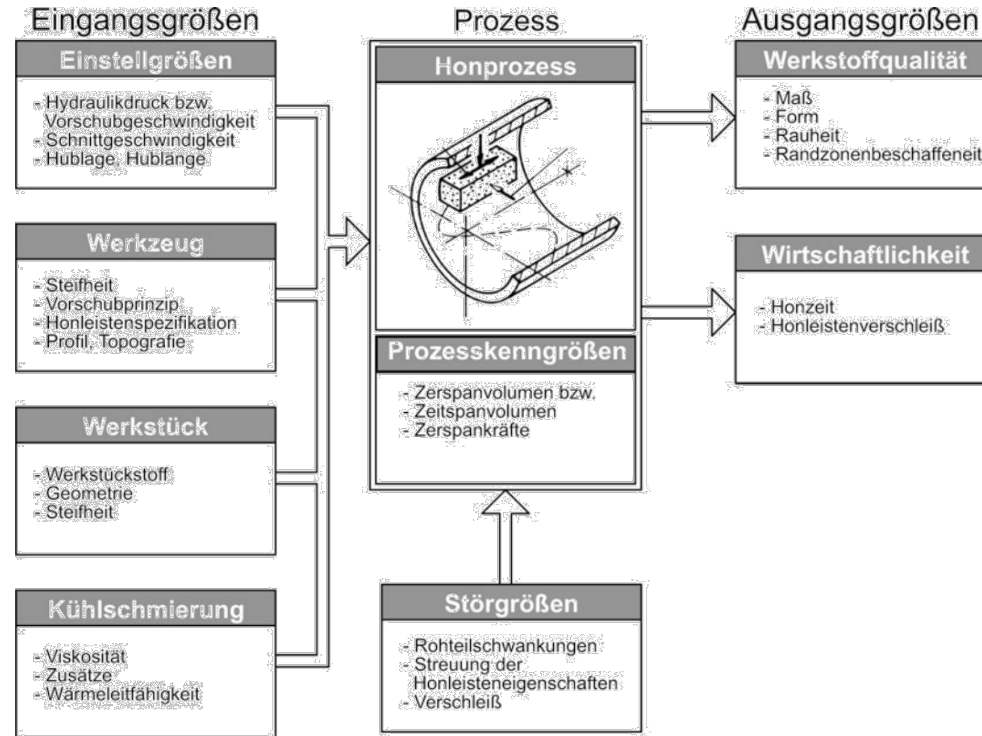
# ANFORDERUNGEN

Dem Honen sind hohe Anforderungen gestellt

- Honprozess am Ende der Wertschöpfungskette
- Fertigungsteile bereits „wertvoll“ bzw. „teuer“
- Zu honende Fertigungsteile besitzen meist Funktionsoberflächen mit großen Ansprüchen an Genauigkeit (beispielsweise Zylinderlaufbahn beim Verbrennungsmotor → Fehler können zu Motorschäden führen)
- Kenntnis über Auswirkungen der einzelnen Eingangsgrößen essentiell
  - Einstellgrößen (Zustelldruck, -geschwindigkeit, Position der Hubumkehrpunkte etc.)
  - Werkzeugeigenschaften
  - Werkstückeigenschaften
  - Kühlschmierung

## 2.3 Trennen

# ANFORDERUNGEN



# ANWENDUNG – ZYLINDERHONEN



# EINTEILUNG

# Trennen

Zerteilen	Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide	Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide	Schleifen mit rotierendem Werkzeug (DIN 8589 Teil 11) Bandschleifen (DIN 8589 Teil 12) Hubschleifen (DIN 8589 Teil 13) Honen (DIN 8589 Teil 14) <b>Läppen (DIN 8589 Teil 15)</b> Strahlspanen (DIN 8200)	Abstreifen	Reinigen
DIN 8588	DIN 8589-0	DIN 8589-0	DIN 8590	DIN 8591	DIN 8592

# LÄPPEN – VIDEO



## 2.3 Trennen

# LÄPPEN

### Grundlagen (Din 8589):

- Verfahren mit ungebundenen Schleifkorn
- Bearbeitbar sind nahezu alle Materialien (Metall, Keramik, Kunststoff, Glas, Halbleiter, Graphit, Naturstoffe etc.)
- Erreichbare Mittenrauwerte (Ra) von **0,5 bis 0,005  $\mu\text{m}$  (Tippfehler in altem Skript!)**
- Einspannungsfreie Werkstückbearbeitung
- Werkstücke mit einer Dicke unter 0,1 mm bearbeitbar (z. B . Wafer)
- Einbringen einer Flüssigkeit / Paste zwischen Werkstück und Werkzeug welche mit Läppkörnern (i.d.R. SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>C, Diamant) beaufschlagt wird → einige Körner werden somit temporär im Werkzeug eingebettet (ähnlich dem Schleifen mit eingebundenen Körnern)
- Uneingebettete Körner rollen zwischen Werkstück und Werkzeug ab → Drücken sich in Werkstückoberfläche ein, es entstehen neben einer Kraterstruktur ständig plastische Verformungen → Verfestigung der Werkstückrandzone in einer Tiefe von 4 bis 24  $\mu\text{m}$
- Durch die damit hervorgerufene Versprödung des Werkstoffes platzen bei Überschreitung der Werkstofftrennfestigkeit kleine Partikel ab

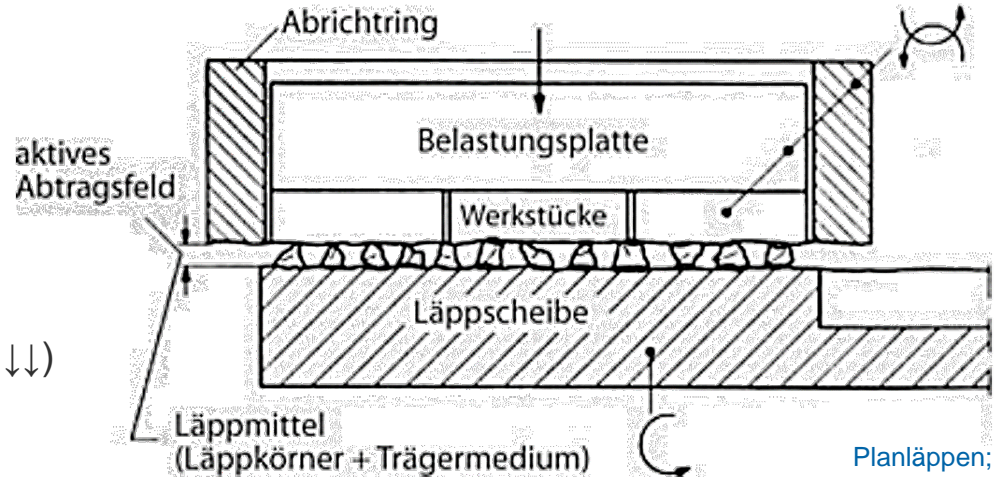
## 2.3 Trennen

# VERFAHREN

- Planläppen
- Rundläppen (Außenrund- und Innenrundläppen)
- Schraubläppen
- Profilläppen
- Wälzläppen
- Sonderform: **Polieren** (Korngröße ↓↓)

### Werkzeuge:

- Läppscheiben (rotierend)
  - Geglühte für weiche Werkstoffe
  - Ungeglühte für Grauguss und weichem Stahl
  - Gehärtete für gehärtete Stähle und Keramiken

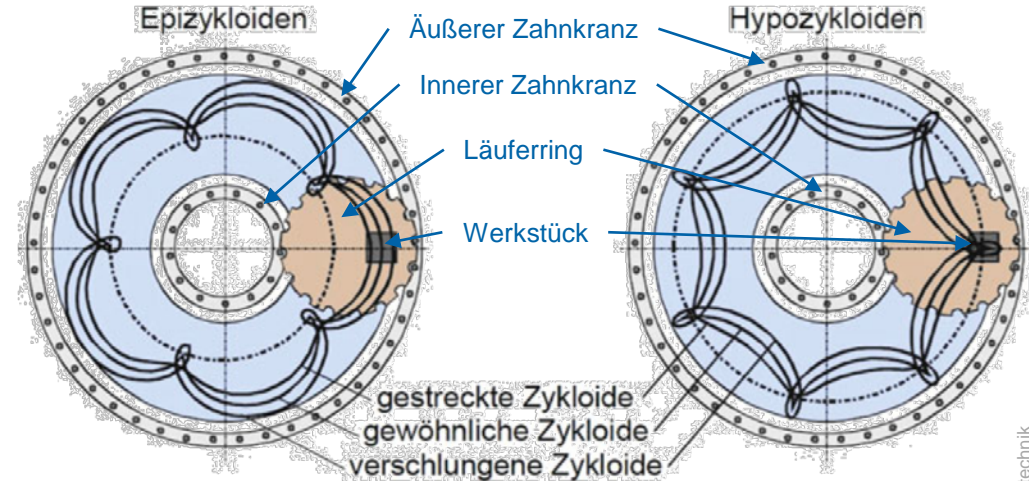


Planläppen;  
Einscheibensystem  
Nach:Stähli

## 2.3 Trennen

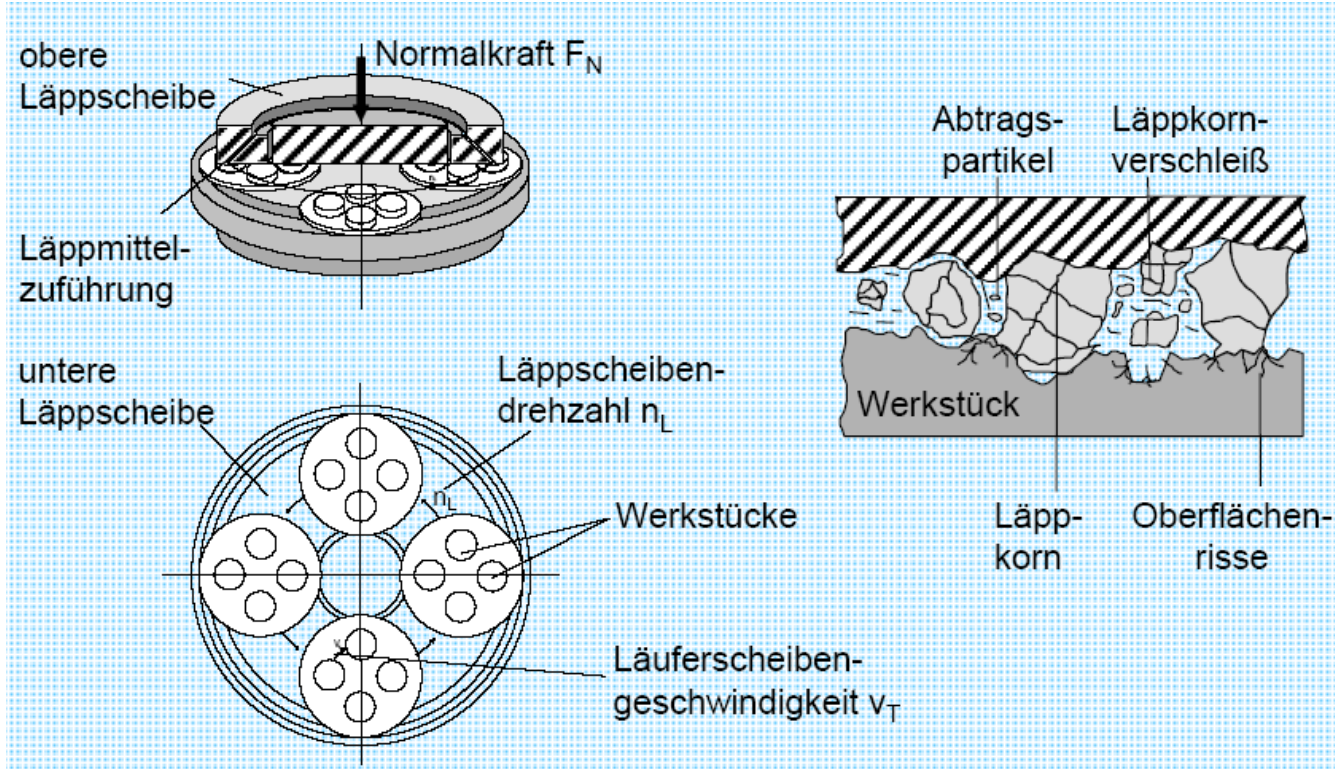
# PLANLÄPPEN

- Häufigstes Verfahren
- Einscheibenmaschine
- Zweiseibenmaschine (parallele Bearbeitung beider Werkstückseiten möglich)
- Werkstücke liegen in von Lauf- ringen gehaltenen Käfigen
- Rollen äquivalent einem Planeten- getriebe um das Zentrum der Läppscheibe ab
- Mittels Gewichte oder Belastungseinheit wird erforderlicher Läppdruck erreicht
- Läuferinge rollen am äußeren Zahnkranz ab und werden vom inneren Zahnkranz angetrieben
- Sicherstellung des gleichmäßigen Läppscheibenverschleißes durch Anpassung der Drehrichtung und Rotationsgeschwindigkeit der Läuferinge
- Zykloidischer Bewegungsablauf der Werkstücke



2.3 Trennen

# PLANLÄPPEN



Quellen: Universität Duisburg – Essen

# EINTEILUNG

# Trennen

Zerteilen	Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide	Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide	Schleifen mit rotierendem Werkzeug (DIN 8589 Teil 11) Bandschleifen (DIN 8589 Teil 12) Hubschleifen (DIN 8589 Teil 13) Honon (DIN 8589 Teil 14) Läppen (DIN 8589 Teil 15) <b>Strahlspanen (DIN 8200)</b>	Abtragen	Reinigen
DIN 8588	DIN 8589-0	DIN 8589-0	DIN 8590	DIN 8591	DIN 8592

# WASSERSTRAHL - SCHNEIDSYSTEM



## 2.3 Trennen

# PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

Kinetische Energie des Schneidstrahls wird beim Auftreffen auf die Werkstückoberfläche in potenzielle Energie umgewandelt → stoßartige Beanspruchung → Initiiert Spannung an der Oberfläche, welche folglich elastische bzw. plastische Verformungen verursachen. Diese Verformungen führen zu örtlich begrenzten Zerstörungen an der Werkstückoberfläche.

Der Stahl reißt anschließend mikroskopisch kleine Werkstoffteilchen aus dem Material und arbeitet sich dabei immer tiefer in das Werkstück hinein.

Der abrasiv wirkende Strahl schiebt auf seinen Weg im Werkstück Abraumpolster vor sich her und verliert aufgrund der großen Reibungsverluste an den Schnittstellen mit wachsender Schnitttiefe ständig an Energie, wodurch die Schnittgüte (Rauigkeit) mit der Schnittdicke kontinuierlich abnimmt.

Zur Beschreibung der Strahlleistung  $P$  wird angenommen, dass die Flüssigkeitsströmung inkompressibel und innerhalb der Düse reibungsfrei ist. Weiter wird vorausgesetzt, dass die Strömung rotationssymmetrisch ist und eine konstante Geschwindigkeit über den Querschnitt aufweist.

Damit:  $P = \rho \cdot A \cdot \frac{v^3}{2}$       mit:  $A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$       und  $p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$

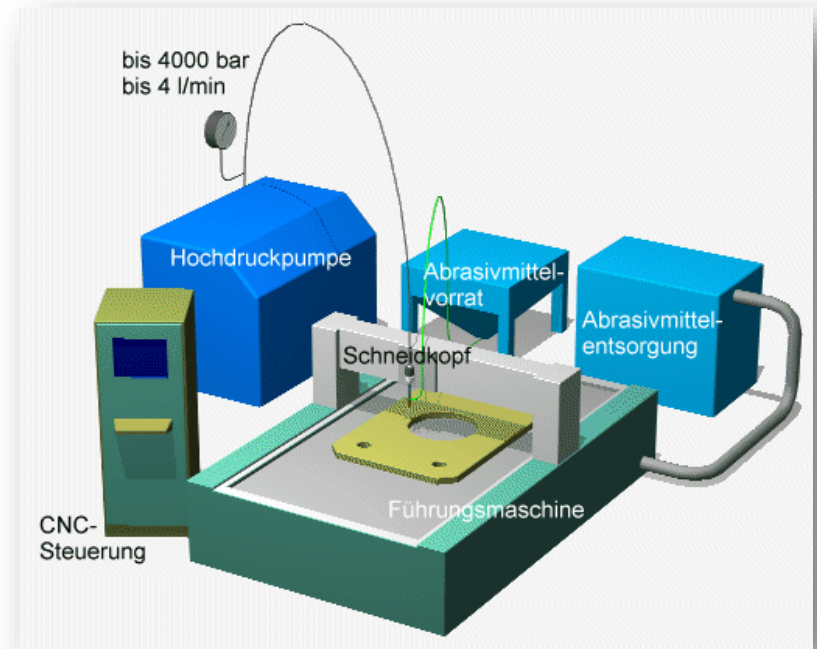
Ergibt:  $P = \sqrt{\frac{p^3}{8\rho}} \cdot \pi d^2$

## 2.3 Trennen

# SCHEMA EINER WASSERSTRAHL-SCHNEIDANLAGE

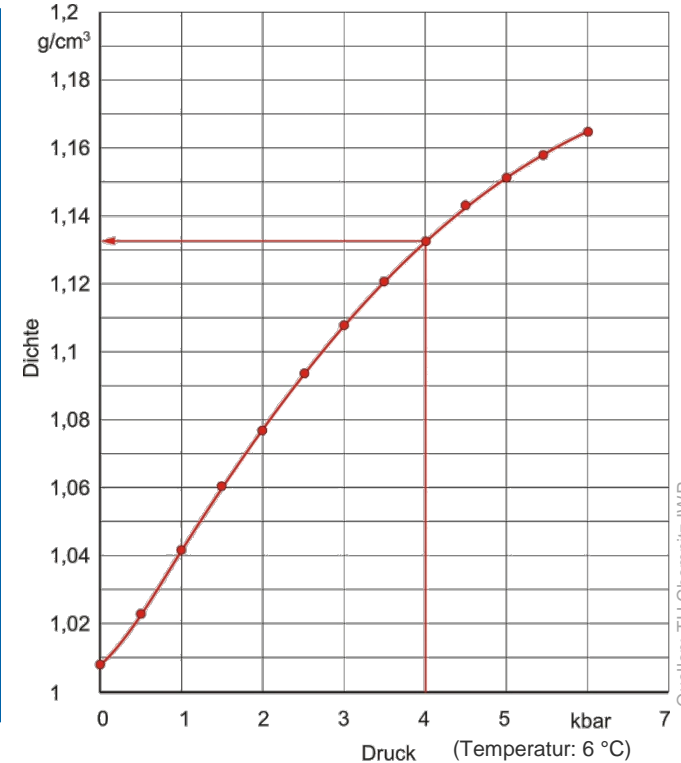
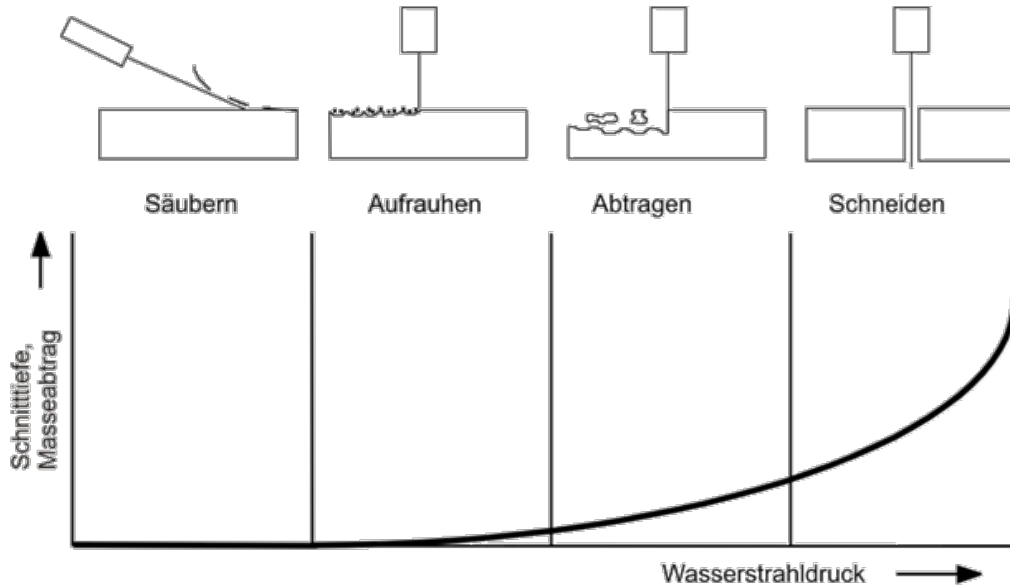
### Hauptkomponenten

- Hochdruckpumpe (Druck regelbar für Anschnitt im Vollmaterial bzw. Bohren)
- Schneidkopf (Einzel- oder Mehrkopfsysteme, fest oder schwenkbar)
- Abrasivmittelvorrat, Abrasivförderung zum Schneidkopf
- Führungsmaschine (X,Y,Z-Achse) mit Strahlfänger
- CNC-Steuerung (2D-Schneiden)
- Abrasivmittelentsorgung (Trennung von Wasser und Abrasivmittel)



2.3 Trennen

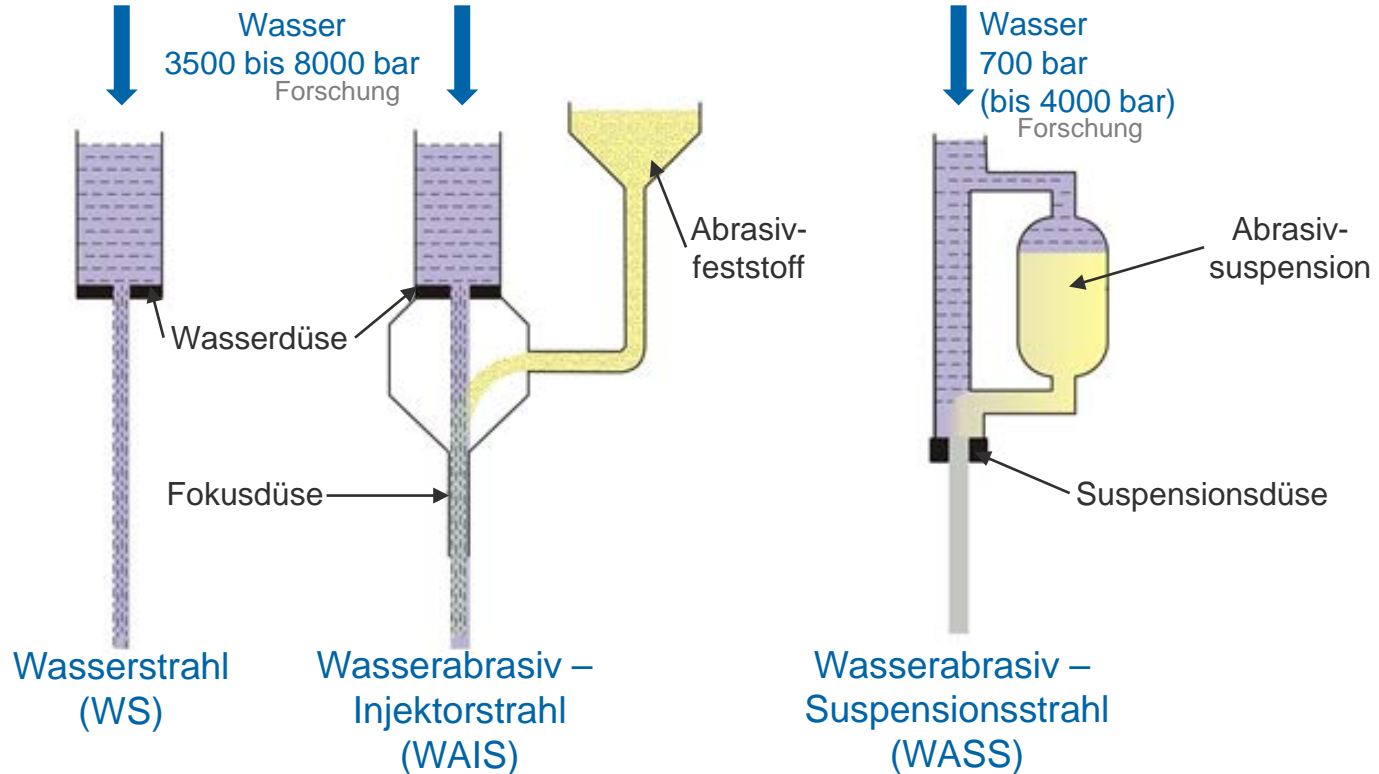
# WIRKUNGEN DES WASSERSTRAHLS



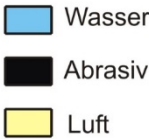
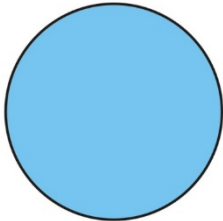
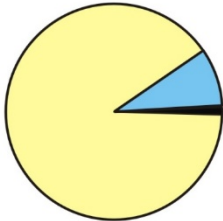
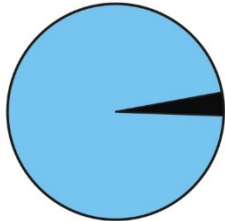
Quellen: TU Chemnitz IWP

2.3 Trennen

# STRAHLARTEN

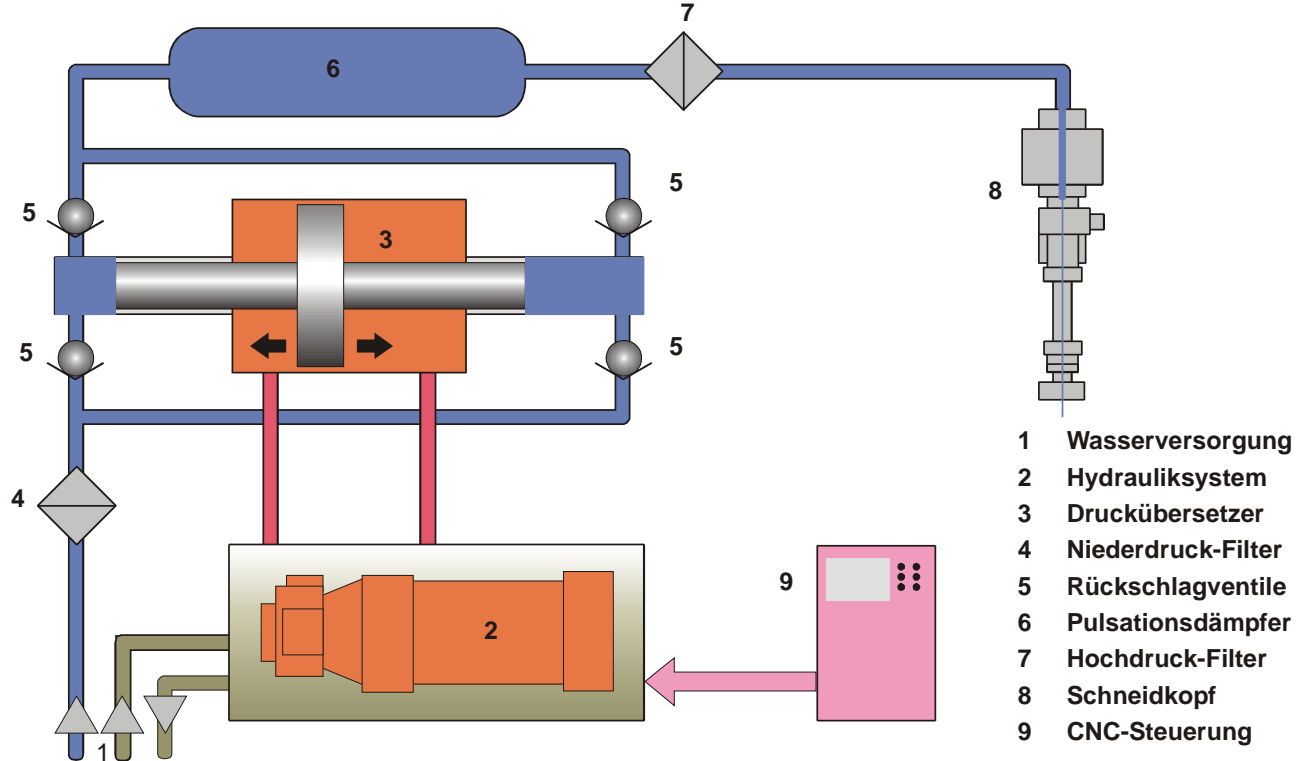


# STRAHLZUSAMMENSETZUNG

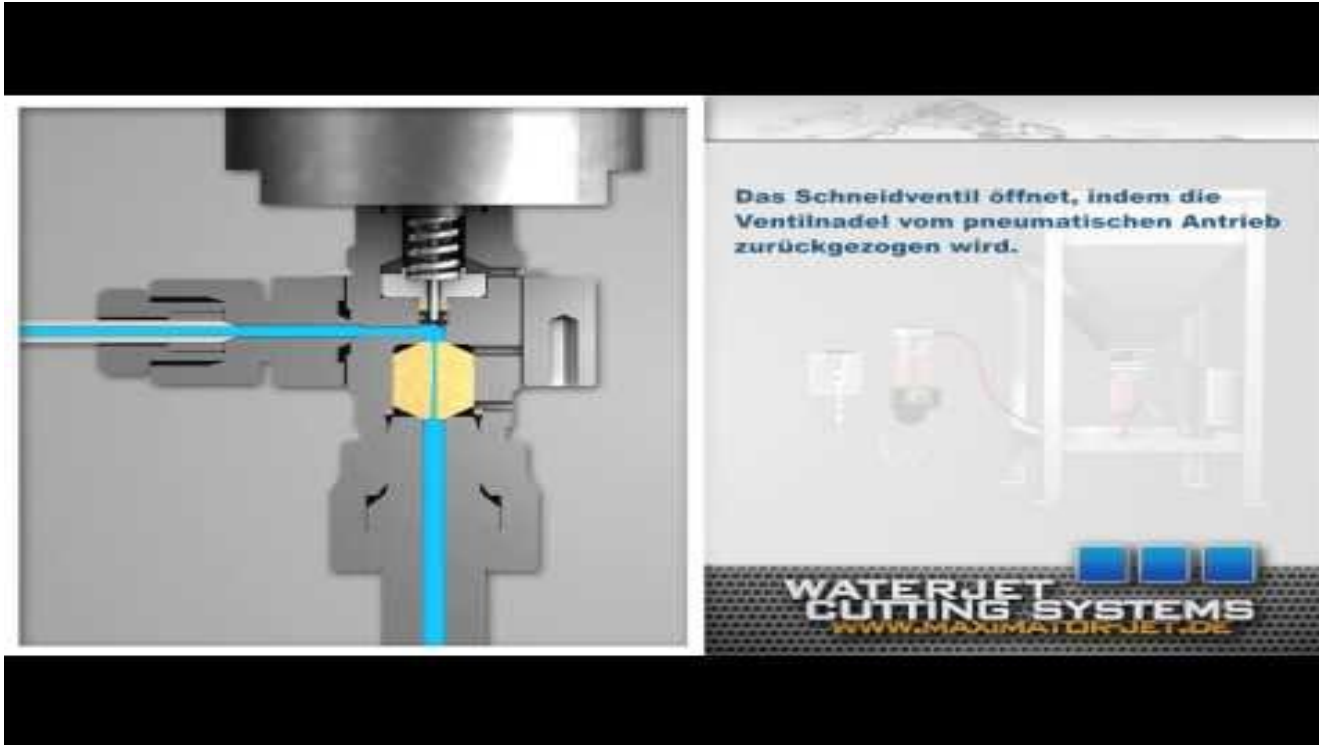
Strahl-bezeichnung	Wasserstrahl (WS)	Wasserabrasiv-injektorstrahl (WAIS)	Wasserabrasiv-suspensionsstrahl (WASS)
<b>Zusammen- setzung</b>  (Vol. %)  			
<b>Anwendungen</b>	Reinigen Abtragen Trennen	Trennen Reinigen Abtragen	Trennen
<b>Druck- erzeugung</b>	Plungerpumpen Druckverstärker	Druckverstärker Plungerpumpen	Plungerpumpen

2.3 Trennen

# FUNKTIONSSSCHEMA EINER HOCHDRUCKPUMPE



# WASSERSTRAHL MIT ABRASIV



## 2.3 Trennen

# PRINZIP

### Rein – Wasserstrahl

Schneidkopf  
Saphirwasserdüse

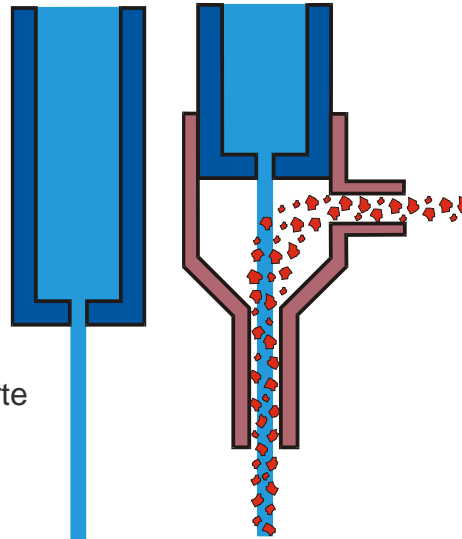
Strahldurchmesser  
typisch: 0,1mm

Schneidprinzip:  
Gefügezerstörung durch die kinetische Energie des „Hochgeschwindigkeits-Wasserstrahls“

Materialien  
nichtmetallische Werkstoffe geringer Härte

Materialdicken  
Schaumstoff: 100mm  
PVC: 10mm  
Sperrholz: 4mm

3000 - 3500 bar



$V_{\text{Wasser}} = 800 \text{ m/s}$

$V_{\text{Abrasive}} = 400 \text{ m/s}$

### Wasserabrasivstrahl

Schneidkopf  
Saphirwasserdüse,  
Mischkammer, Fokussdüse

Strahldurchmesser  
typisch: 1mm

Abrasivmittel  
Granatsand

Schneidprinzip:  
Mikrozerspanung durch Partikeleinwirkung  
„Hochgeschwindigkeits-Wasserstrahl“ dient als Beschleunigungsmedium

Materialien  
nahezu alle Werkstoffe und  
Werkstoffverbunde

Materialdicken  
Glas: 150mm  
Stein: 100mm  
Metalle: 80mm

## 2.3 Trennen

# WASSERABRASIVSTRAHLSCHNEIDEN MIT ABRASIVMITTEL

**Grundsatz:** Härte der Abrasivpartikel > Härte des zu bearbeitenden Materials



Hochfeste Materialien wie Hartmetall und Hochleistungs-Keramiken benötigen härtere Abrasivmittel als den konventionellen Granatsand



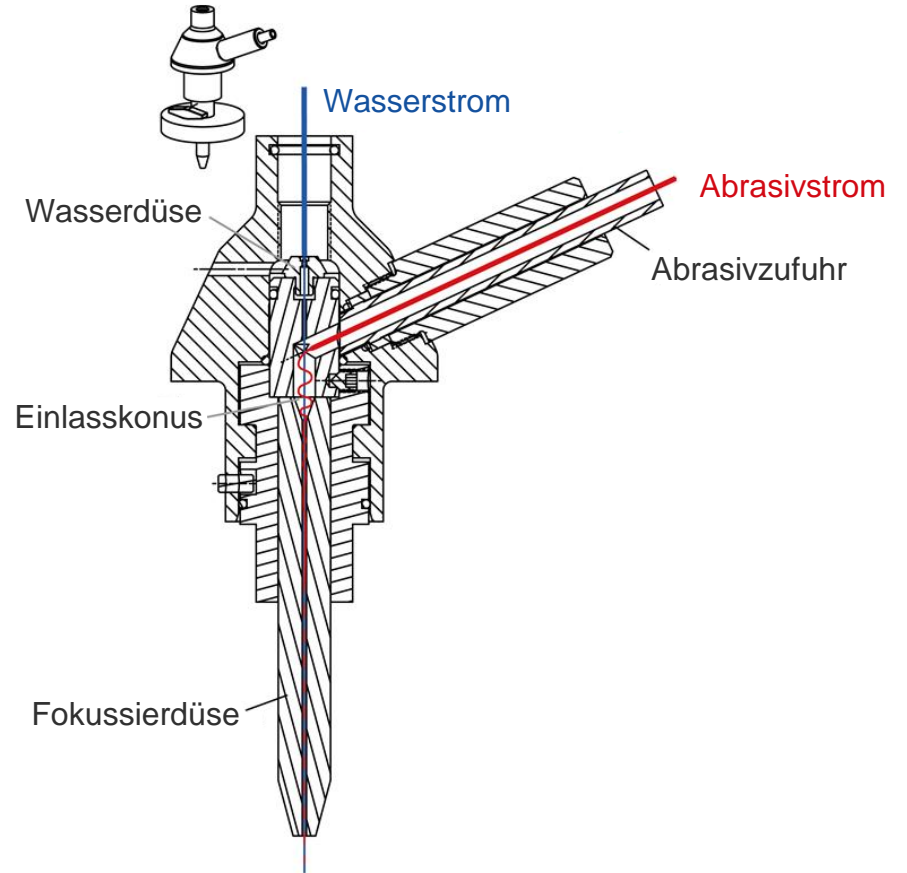
Einsatz von Abrasivmittel **Borkarbid**, **Siliziumkarbid** und **Korund** am Beispiel einer 8 mm starken **hochfesten Zirkonoxid – Keramik**

**Ergebnis:** **mehrfache** Schneidleistungssteigerung im Vergleich zu Granatsand

**Nachteil:** Extremer Fokusedüsenverschleiß → Verbesserungspotenzial

2.3 Trennen

# ABRASIV – SCHNEIDKOPF



## 2.3 Trennen

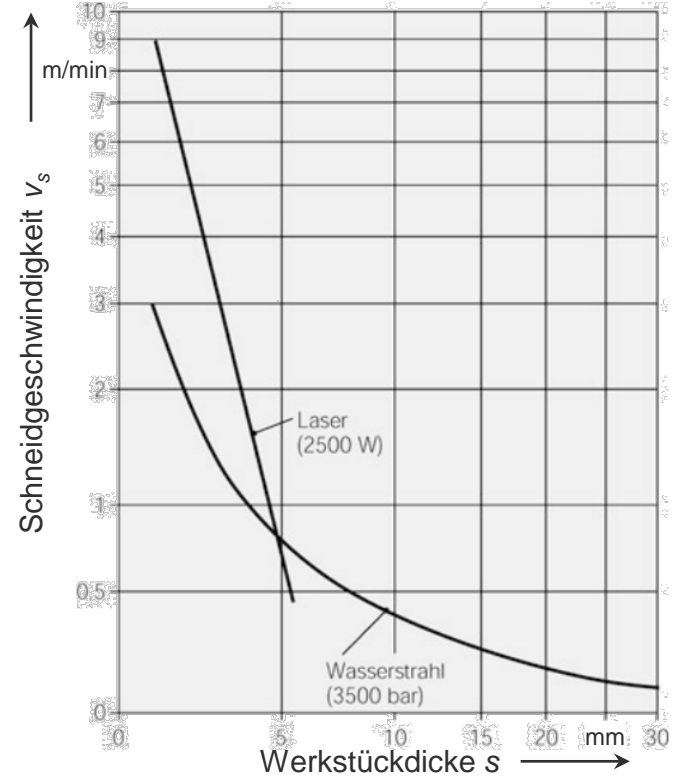
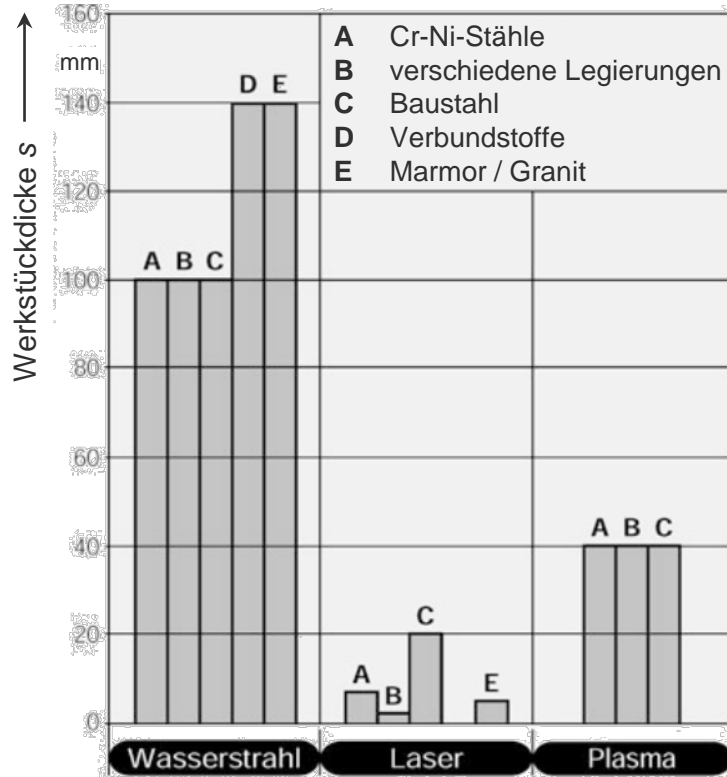
# SCHNEIDVERFAHREN IM VERGLEICH

Verfahren	Materialdicke	Genauigkeit	Kosten	Einschränkungen
Konturfräsen	o	+	-	Werkzeugverschleiß, keine engen Konturen möglich
Brennschneiden / Plasmaschneiden	+	-	++	Nur für einige schmelzbare Wst. Wärmebeeinflusste Randzone
Schneiderodieren	+	++	--	Nur für elektrisch leitfähige Werkstoffe
Laserschneiden	-	+	+	Nur für einige schmelzbare Werkstoffe
Wasserabrasiv- strahlschneiden	o	o	o	keine

Quellen: TU Chemnitz IWP

## 2.3 Trennen

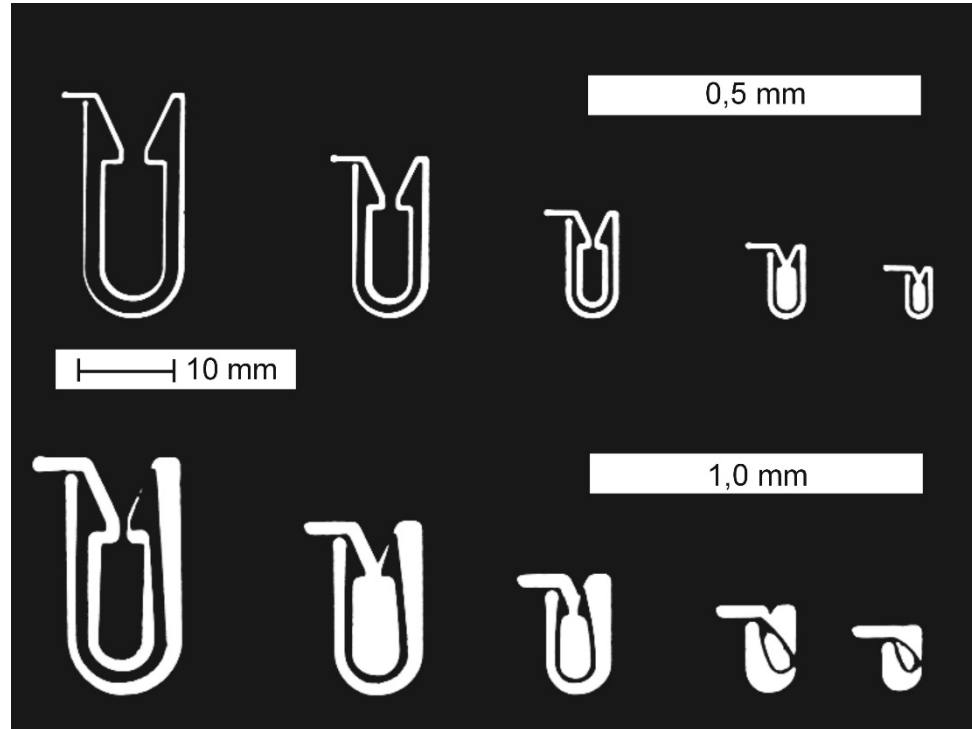
# SCHNEIDVERFAHREN IM VERGLEICH



2.3 Trennen

# WASSERABRASIVSTRAHL – FEINSCHNEIDEN

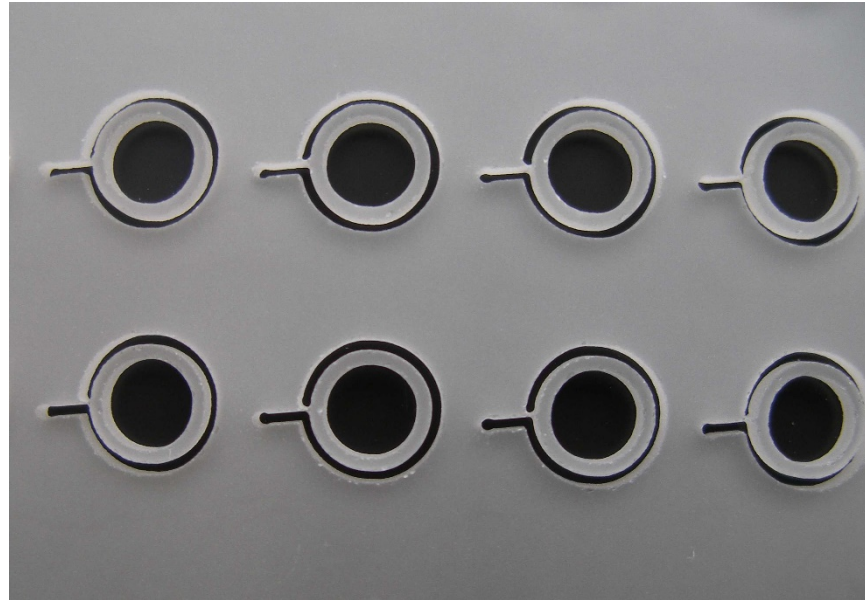
Vergleich von  
 $\varnothing = 0,5 \text{ mm}$  und  
 $\varnothing = 1,0 \text{ mm}$



## 2.3 Trennen

# BEISPIEL

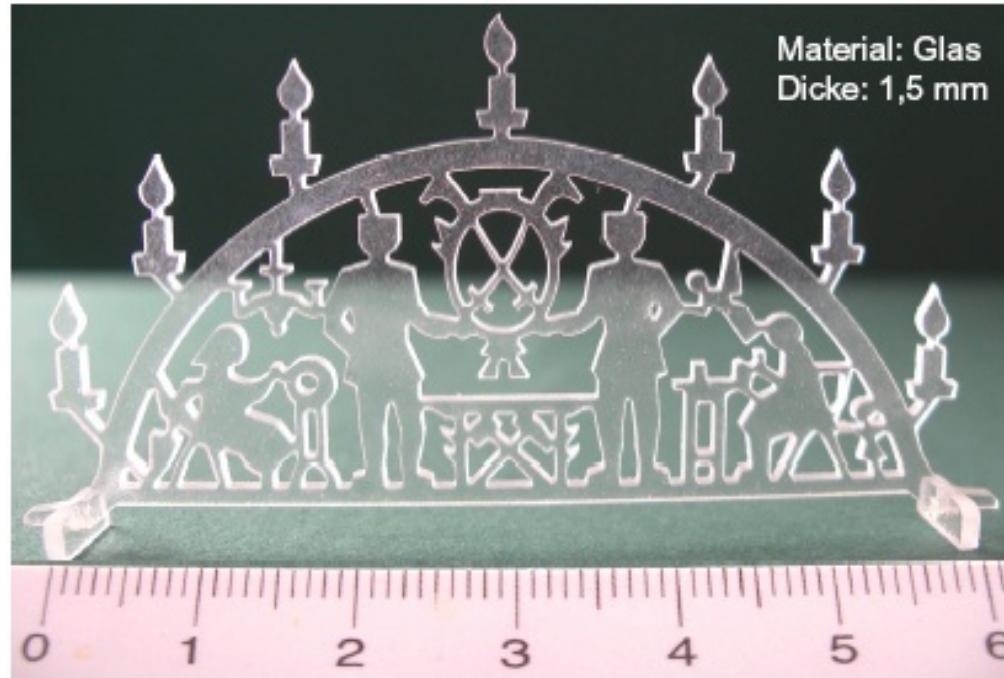
Herstellung von Ringen aus 0,8 mm dickem Quarzglas durch Wasserabrasivstrahl-Feinschneiden ( $p = 3000$  bar, Granatsand  $\dot{m} = 15$  g/min)



## 2.3 Trennen

# BEISPIEL

## Herstellung eines Miniatur – Schwibbogens



## VORTEILE I

- Durch den feinen Strahl ergibt sich eine hohe Schnittqualität. Es können filigrane und komplizierte Konturen geschnitten werden.
- Es lassen sich beliebige Konturen schneiden und der Schnitt kann an jeder beliebigen Stelle der Werkstückoberfläche beginnen und enden.
- Wegen der geringen Schnitt- und Reaktionskräfte sind (auch bei dünnwandigen Werkstoffen!) nahezu gratfreie Schnittflächen möglich.
- Es wird ohne Anpressdruck auf den Werkstoff gearbeitet. So wird trotz hoher kinetischer Energie eine Deformation des Materials vermieden und eine hohe Schnittpräzision ohne Ausfransung oder Grat erzielt. Die Materialoberfläche wird nicht verletzt.
- Kohle- oder glasfaserverstärkte Kunststoffe, reflektierende Werkstoffe (problematisch z. B. bei der Lasertechnologie) lassen sich ebenso einfach trennen, wie aus mehreren Lagen unterschiedlicher Werkstoffe aufgebaute Materialien (Lamine).

## 2.3 Trennen

# VORTEILE II

- Der Wasserstrahl ist ein sich selbst freischneidendes „Werkzeug“, ein Verklemmen im Schnittspalt ist daher nicht möglich.
- Aufgrund der geringen Temperaturen im Bereich der Schnittflächen entstehen beim Kunststoffschneiden keine toxischen Bestandteile.
- Mit dem Wasserstrahl-Abrasiv-Schneidverfahren lassen sich Werkstoffe trennen, die mit keinem anderen Verfahren geschnitten werden können.
- Die Umweltverträglichkeit wird in besonderem Maße gesichert, da der Schneidprozess sauber ist, kein Schneid- oder Schleifstaub, keine Späne und keine Luftverschmutzung erzeugt wird.
- Kostengünstige Programmerstellung durch den direkten Import der erforderlichen Dateien [z. B. „dxf“ der Firma AutoDesk (Autocad)]
- Entfall von Stillstandzeiten wegen Werkzeugwechsel (Schneidenwechsel)
- Entfall peripherer Anlagen zur Aufbereitung von Staub oder toxischen Rückständen

## 2.3 Trennen

# NACHTEILE I

- Schnittflächenqualität im Bereich des Strahleneintritts besser als auf Unterseite
- Schnittqualität stark abhängig von
  - Schnittgeschwindigkeit
  - Schnittweg
  - Werkstoff
  - Werkstückdicke
- Neueinstellung bei Änderung von Werkstoff- bzw. Werkstückdicke erforderlich
- Gute Regeleinrichtungen erforderlich (wegen der **typischen Fehler**: mehrere 100 mal pro Zentimeter Schnittlänge werden Erfordernisse und Vorgaben überprüft und angepasst)

### Typische Fehler

- Rillennachlauf („Schleppfehler“)  
→ unbrauchbare untere Ränder
  - Zunahme mit Schneidgeschwindigkeit
  - Vernachlässigbar bei geraden Schnitten
  - Zunahme mit abnehmender Krümmung des Schnittpfades

## 2.3 Trennen

# NACHTEILE II

## Typische Fehler

- V – förmige Schnittfläche
  - unterschiedliche Schnittspaltbreiten auf Werkstückober- und –unterseite.
    - Sehr große Schnittgeschwindigkeiten → Spalt der Werkstückoberseite > Werkstückunterseite
    - Sehr kleine Schnittgeschwindigkeiten → Spalt der Werkstückoberseite < Werkstückunterseite
    - Dieser Winkelfehler nimmt ab,
      - Je kleiner der Düsenabstand ist
      - Je härter der Werkstückwerkstoff ist
      - Je gleichmäßiger das Abrasiv ist (entspricht steigender Qualität)
      - Je geringer die Werkstückdicke ist
      - Je besser der Fokussierfähigkeit der Schneiddüse ist
    - Nur eine geometrisch exakte Form der „Düsenbohrung“ erzeugt einen kohärenten, zylindrischen Flüssigkeitsstrahl
    - **Somit:** Diamant-Düse sehr robust **aber:** exakte Bohrung wegen kristalliner Struktur sehr aufwändig (teuer) (**Daher:** Rubin oder Saphir)



Additive Fertigung

# FERTIGUNGSTECHNIK 20/21 - 12

Technische Universität Bergakademie Freiberg  
IMKF - Additive Fertigung  
Agricolastraße 1, 09599 Freiberg, Germany

Prof. Dr.-Ing. Henning Zeidler  
Tel: +49 3731 39 30 66  
henning.zeidler@imkf.tu-freiberg.de

