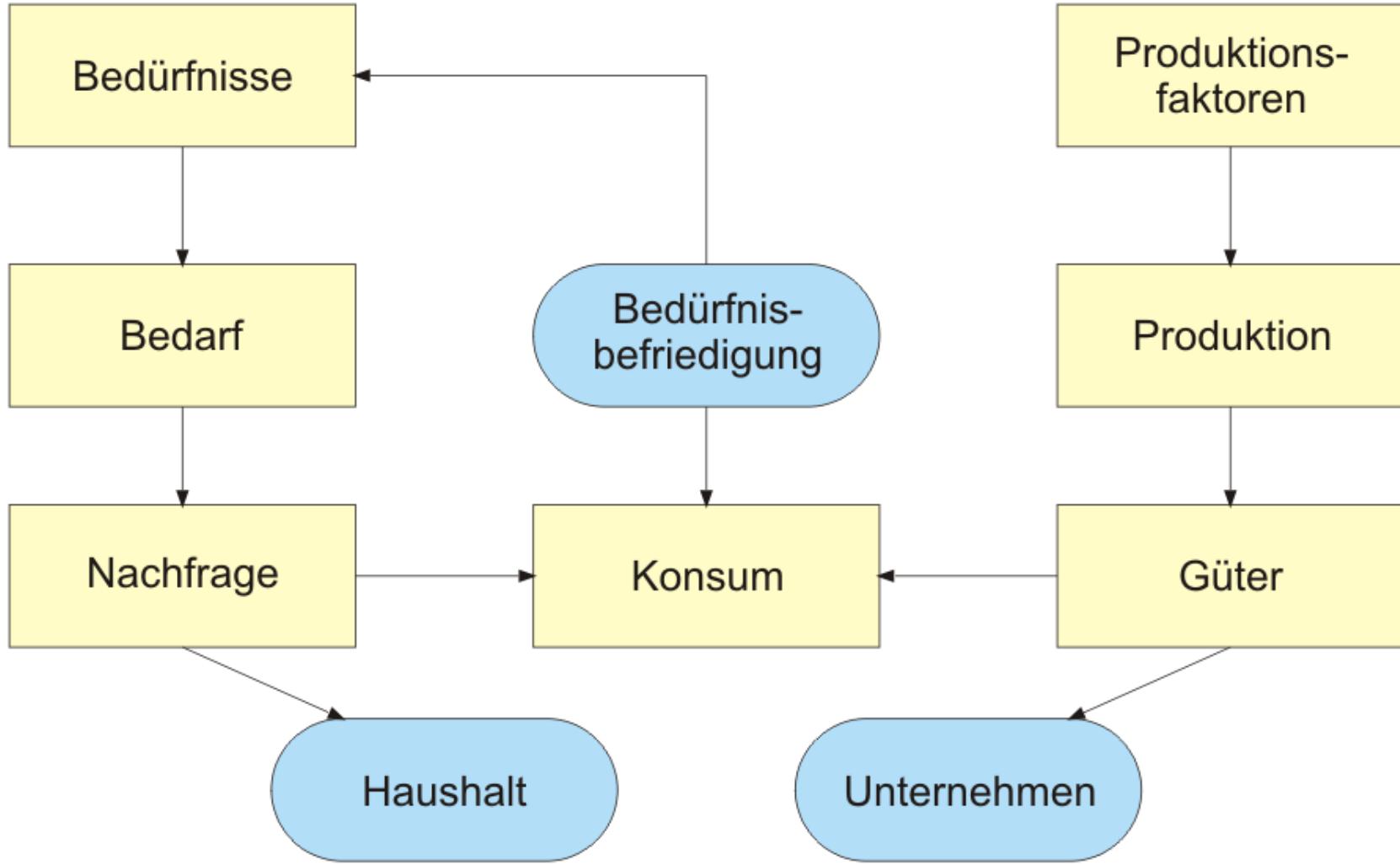


# Grundlagen der Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

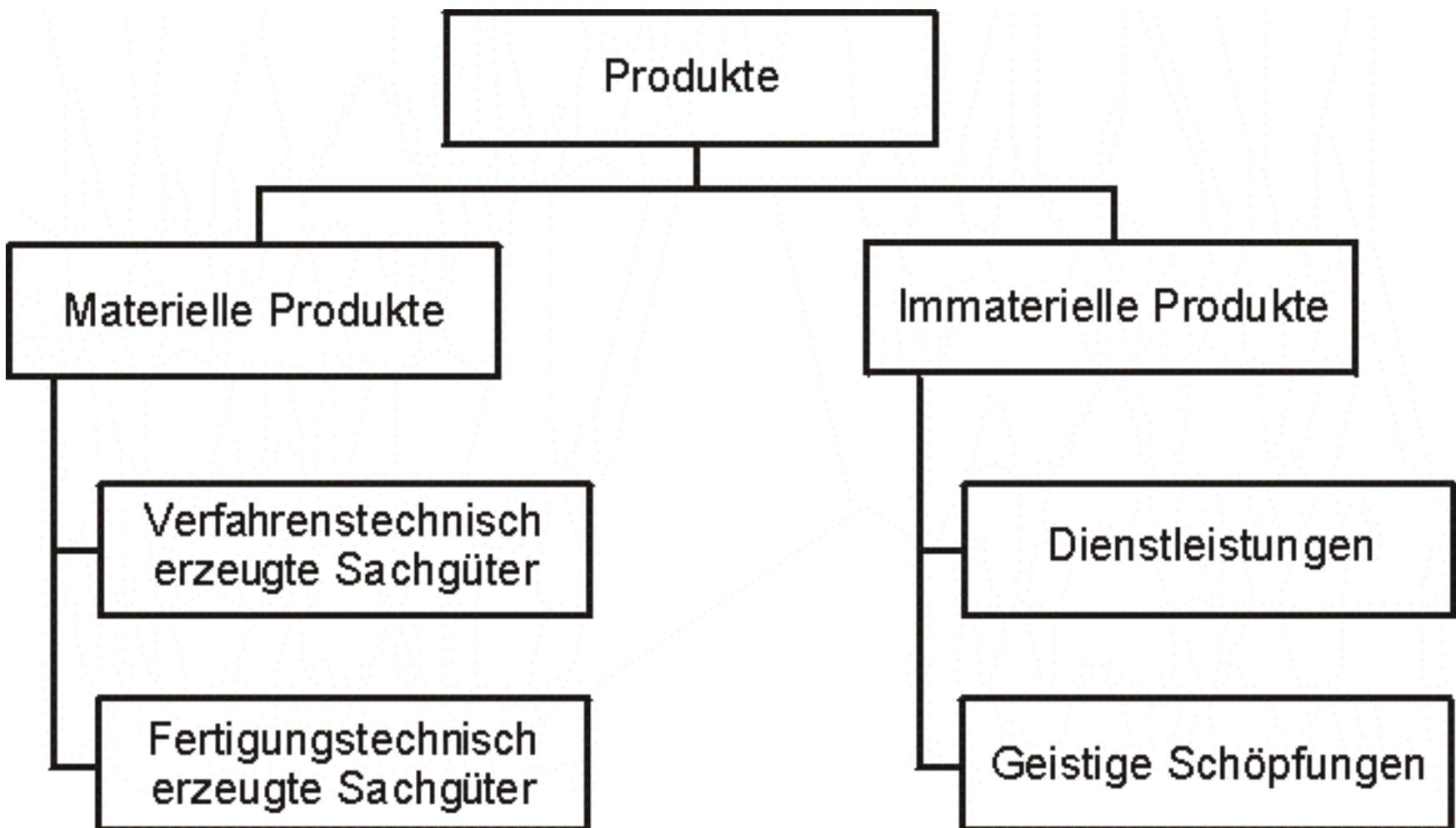
Kapitel 1: Einleitung





Quelle: Spur





Quelle: Spur



Unter **Produktionstechnik** versteht man  
alle *technischen* und *organisatorischen*  
*Maßnahmen*, *Hilfsmittel* und *Methoden*,  
die zur *industriellen Erzeugung* von  
*Produkten* erforderlich sind.

---

Quelle: Spur

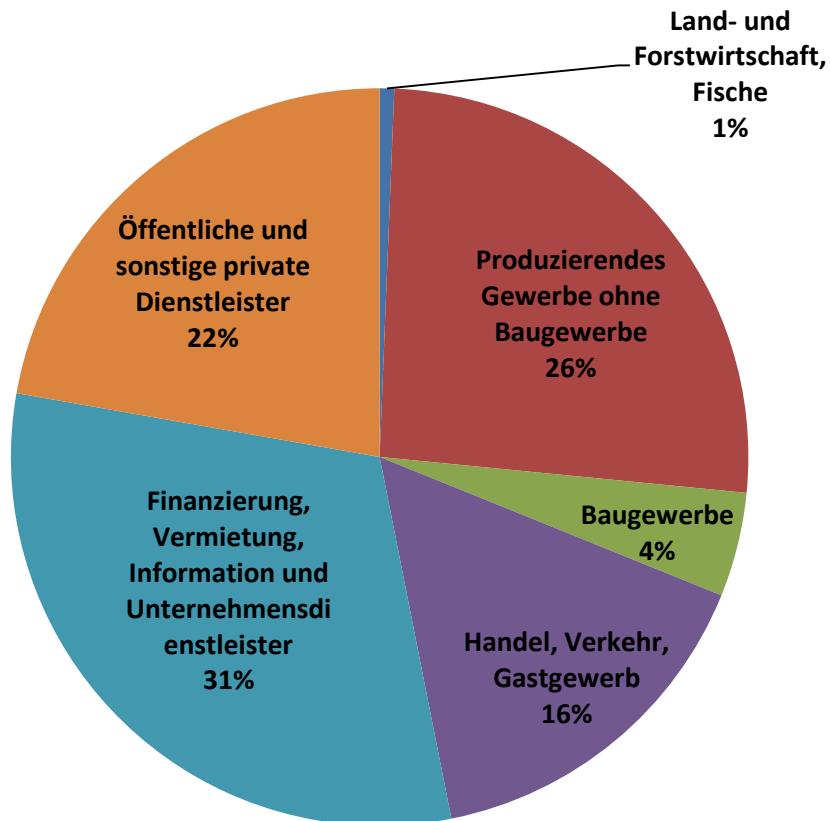


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

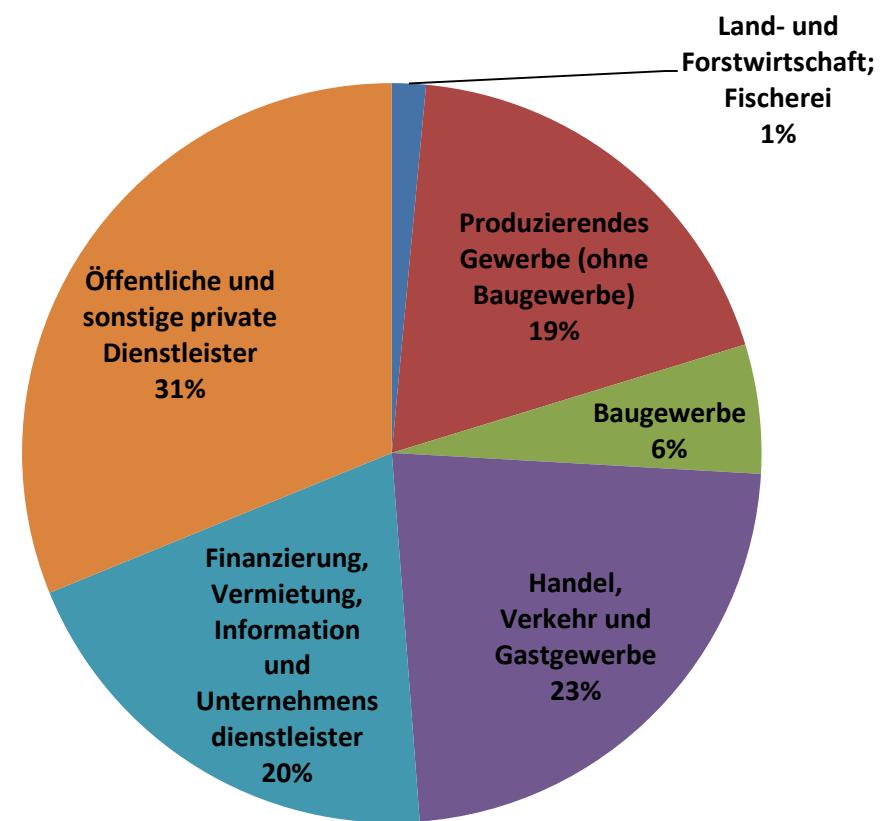
Ges 0118

Produktionstechnik

## Anteil Wertschöpfung am BIP 2015



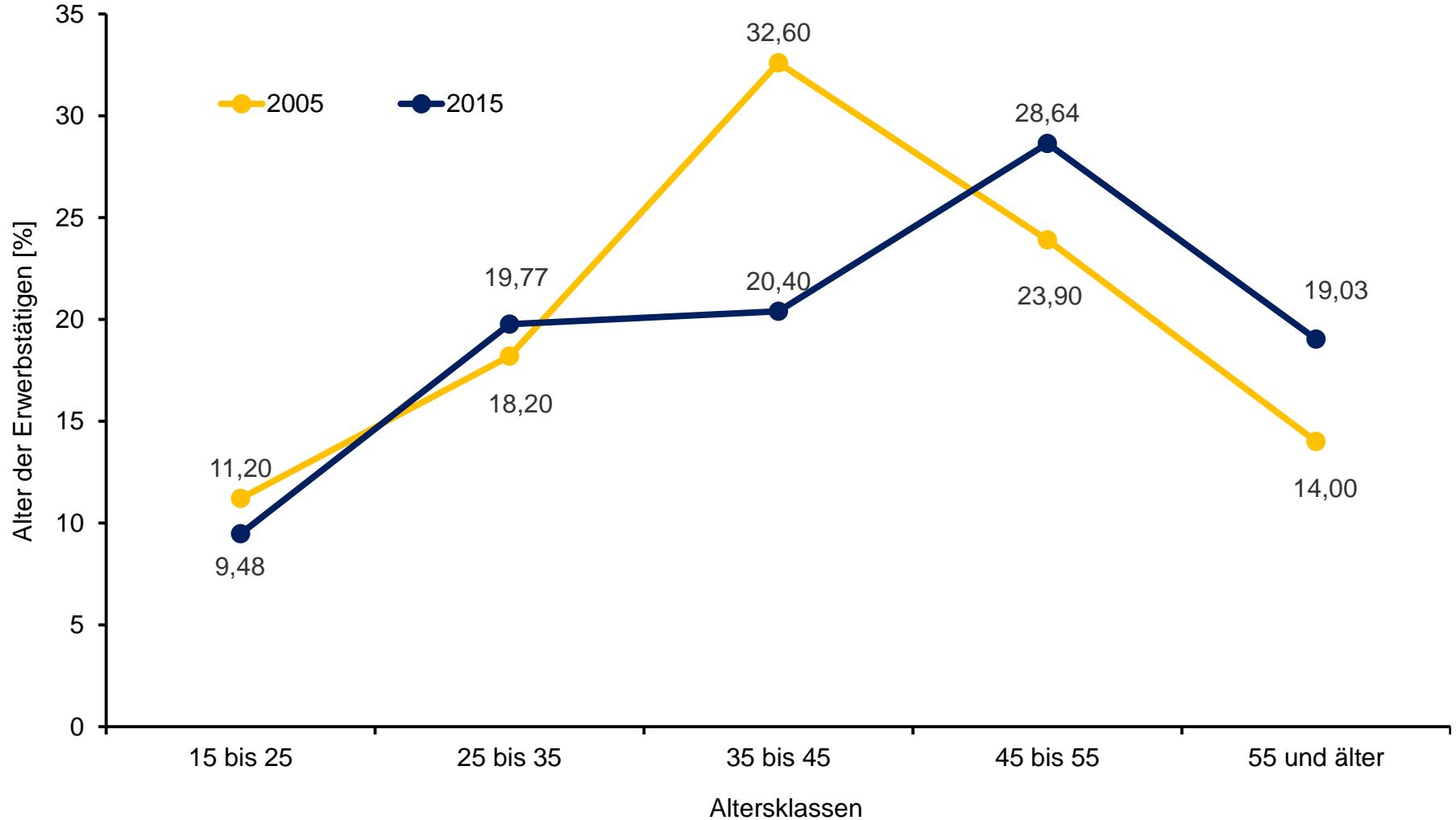
## Anteil der Erwerbstätigen 2015



Quelle: Statistisches Bundesamt, 2016

Dör 0104





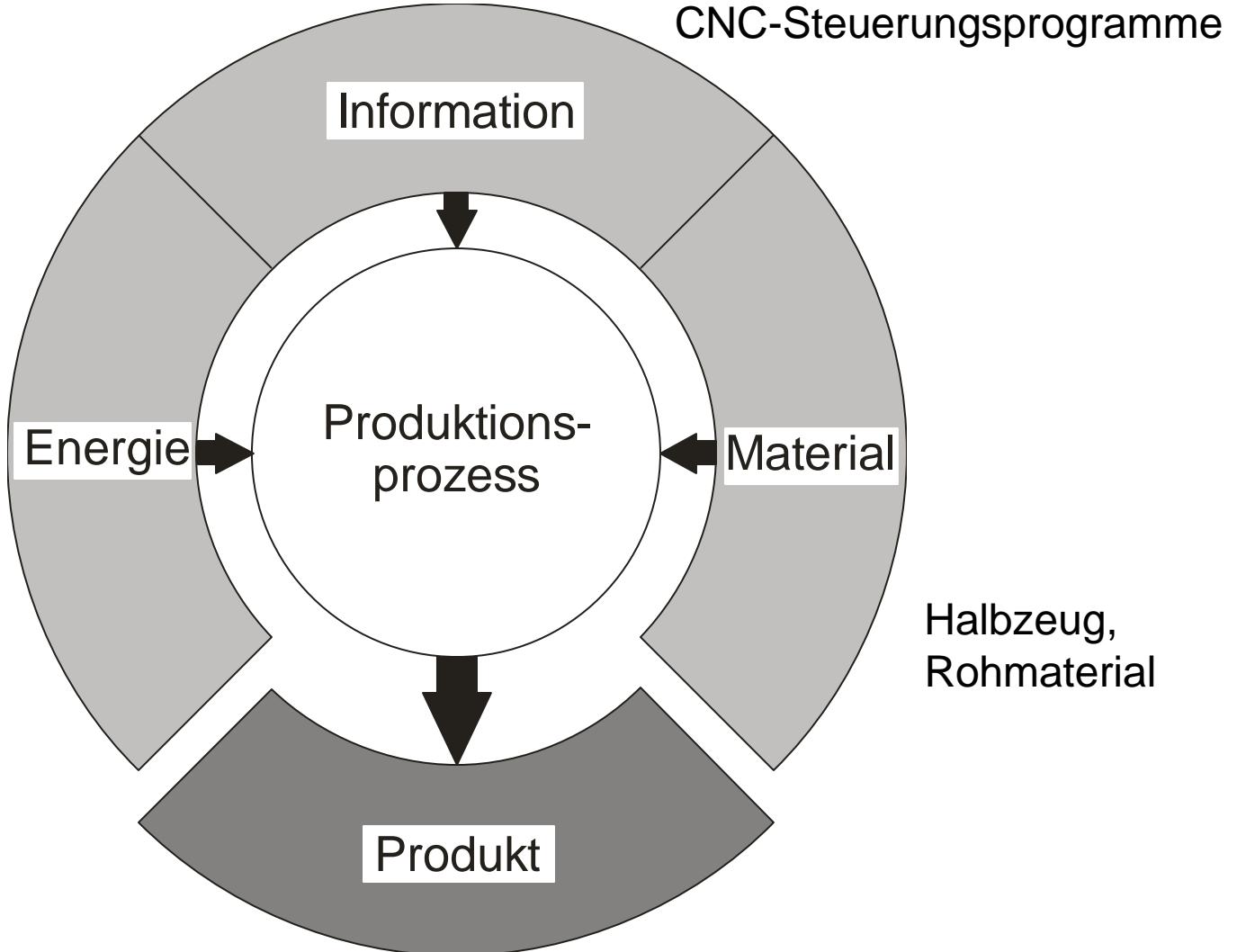
Quelle: Statistisches Bundesamt, 2016

Dör 0105



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Altersstruktur der Erwerbstätigen im Maschinenbau in  
Deutschland im Jahresvergleich 2005 und 2016



Quelle: Spur



**Produktionsmittel:** Maschinen, Vorrichtungen, Werkzeuge, etc.

**Produktionsmaterial:** Hauptmaterialien (z.B. Stahl)

**Arbeitspotenzial:** Einflussgrößen sind Standort, Arbeitskräfte, Tarif- und Sozialpolitik

**Produktionsinformation:** „Know-how“ zur Herstellung von Produkten

Quelle: Spur

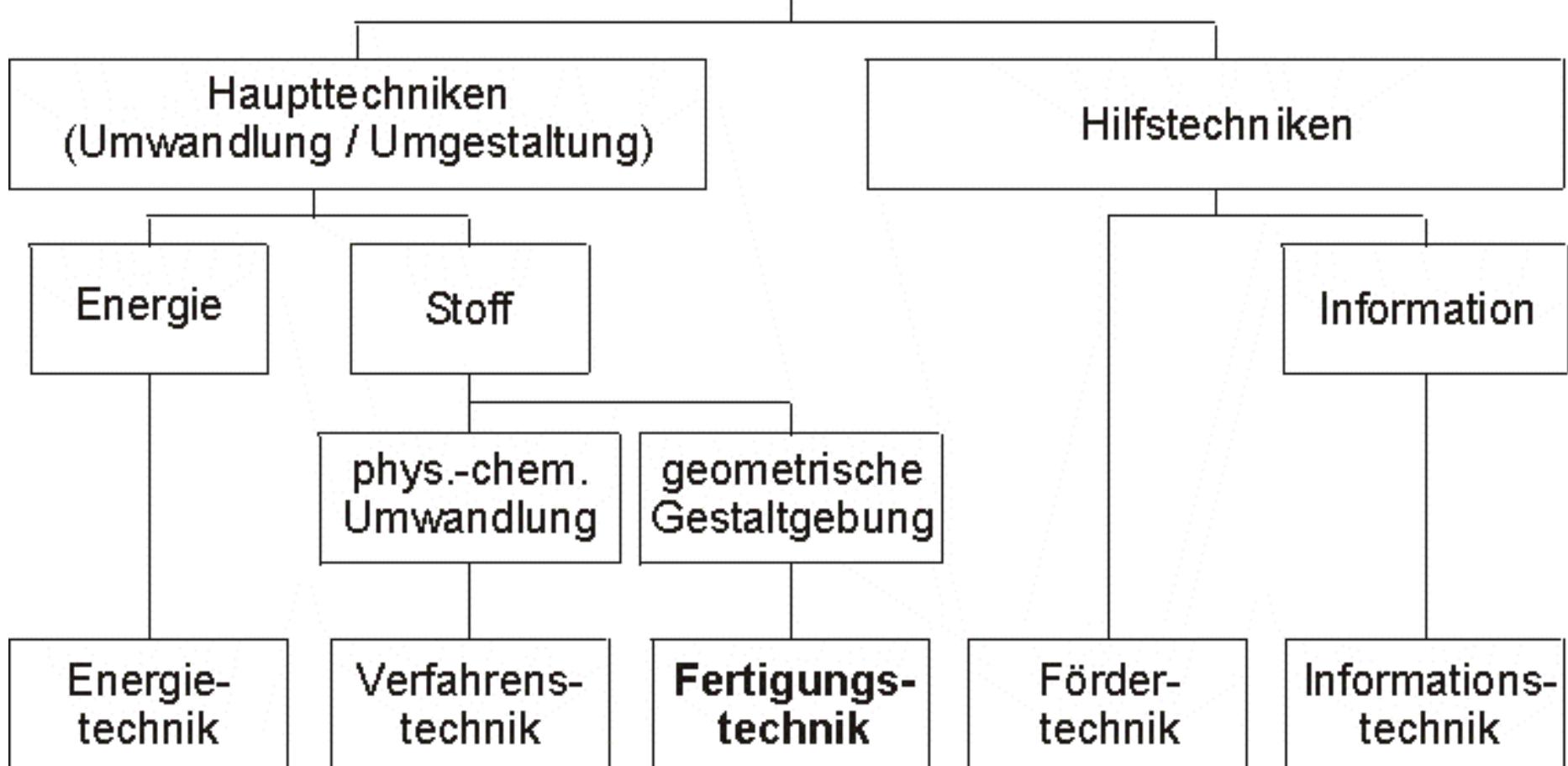
Br 0419



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Produktionsfaktoren

# Industrielle Produktionstechnik (Produktion verkäuflicher Güter)



Quelle: Spur

Ges 0197



# Industrielle Produktionstechnik

## Energietechnik

- Umwandlung der Energie als Energieproduktion
- direkte Nutzung physikalischer Energie
- Umwandlung der Energiearten ineinander
- Transport und Speicherung von Energie

## Verfahrenstechnik

- Herstellung von Stoffen als Materialproduktion
- Erzeugung von Stoffen definierter chemischer und physikalischer Eigenschaften
- Chemische Umsetzungen, Vereinigen und Trennen von Stoffen, Stoff- und Wärmeaustausch

## Fertigungstechnik

- Formgebung und Eigenschaftsänderung von Stoffen
- Teileproduktion und Zusammenbau
- Unterscheidung in kinematische, fügende, beschichtende Formgebung und Änderung von Stoffeigenschaften

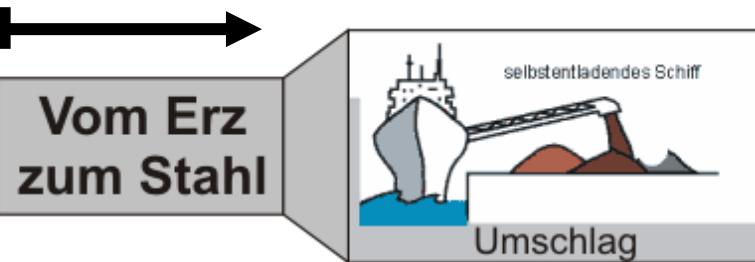
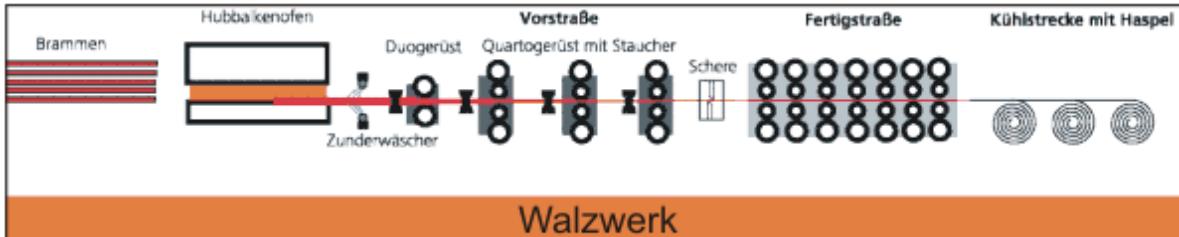
Quelle: Spur



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ges 0119

Produktionstechnik



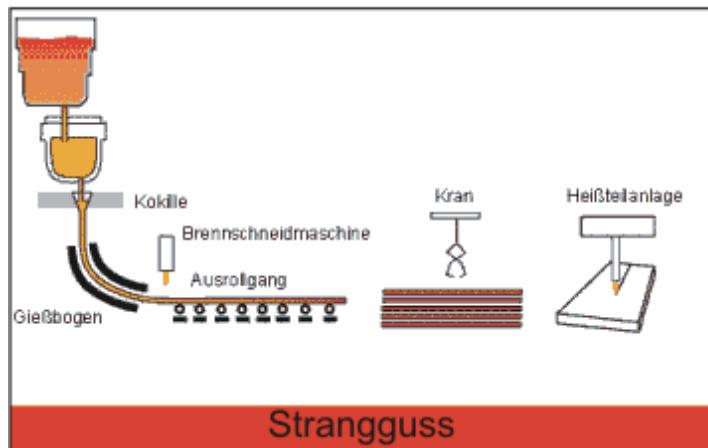
Fertigungstechnik

Produktionstechnik

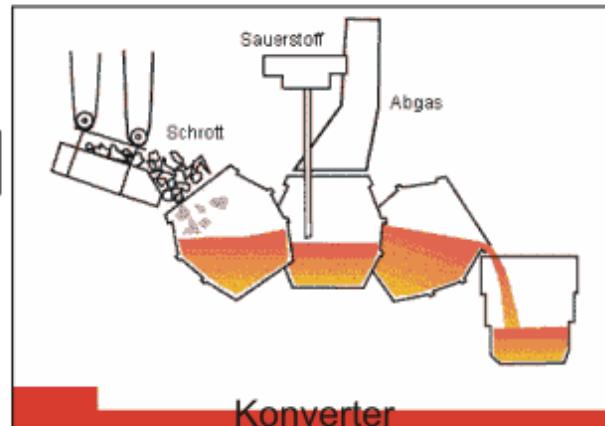
Förder- / Transporttechnik



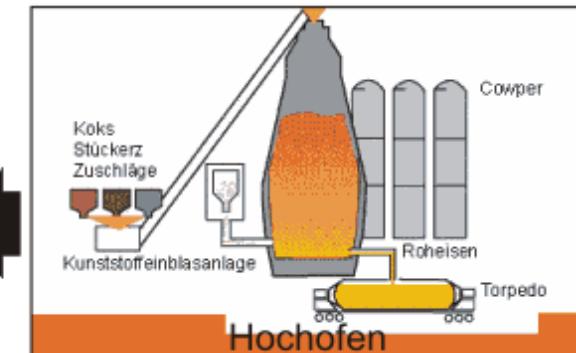
Energietechnik



Verfahrenstechnik



Informationstechnik

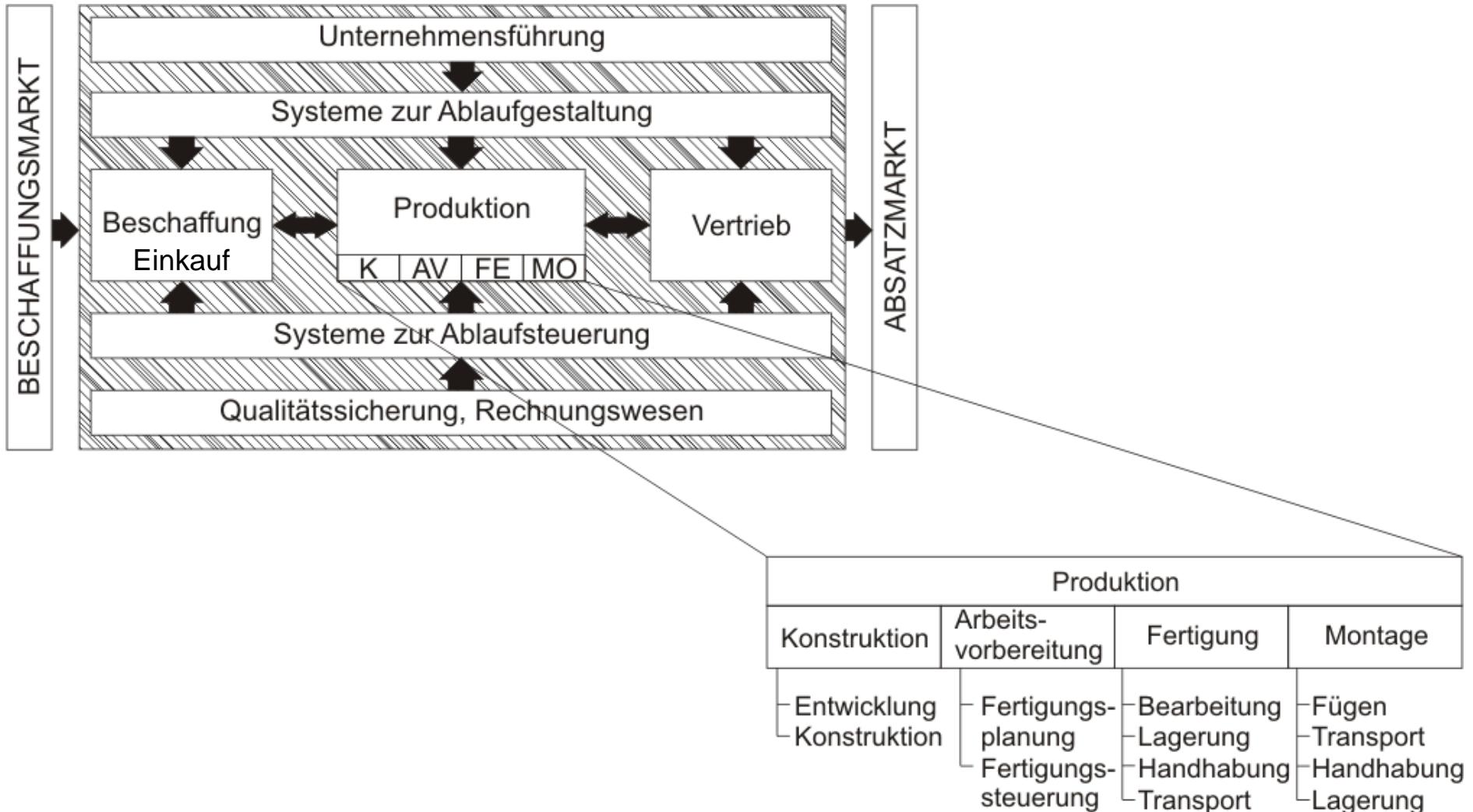


Quelle: Stahlwerke Bremen

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Pal 0125

Produktionstechnik am Beispiel der Stahlerzeugung



Quelle: Wiendahl



**Fertigungstechnik** ist die *Herstellung* von  
*Bauteilen* aus vorgegebenen  
*Werkstoffeigenschaften* und *geometrischen*  
*Bestimmungsgrößen*, sowie das *Fügen*  
dieser *Bauteile* zu *funktionsfähigen*  
*Erzeugnissen*.

---

Quelle: Spur



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Br 1661

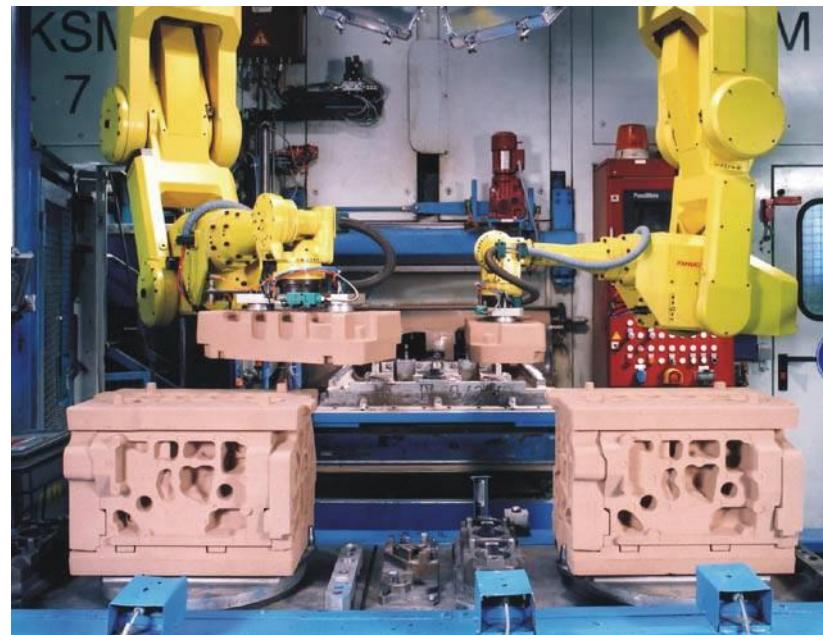
Deutung der Fertigungstechnik

Schaffen der Form	Zusammenhalt schaffen	<b>Urformen</b>
Ändern der Form	Zusammenhalt beibehalten	<b>Umformen</b>
	Zusammenhalt vermindern	<b>Trennen</b>
	Zusammenhalt vermehren	<b>Fügen</b>
		<b>Beschichten</b>
Ändern der Stoffeigenschaften		<b>Stoffeigen-schaftändern</b>

Quelle: Spur



**Urformen ist Fertigen eines festen Körpers aus formlosem Stoff durch Schaffen des Zusammenhalts**



Quelle: VW

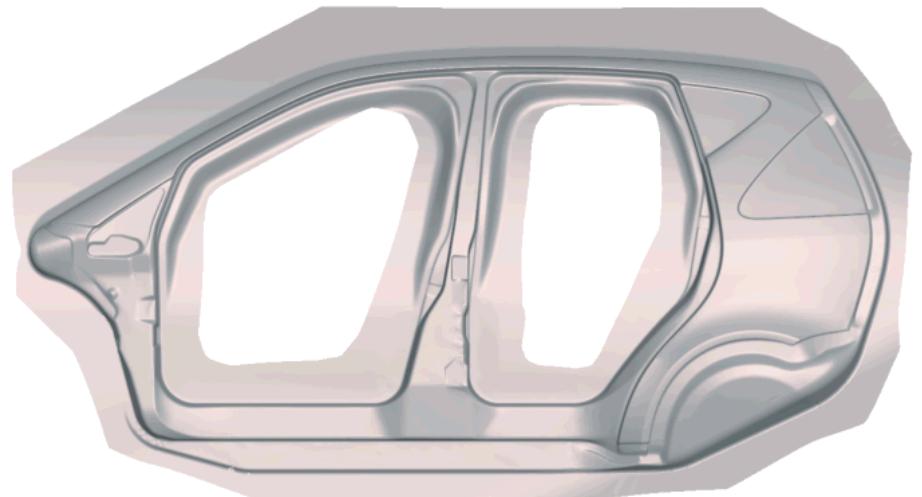
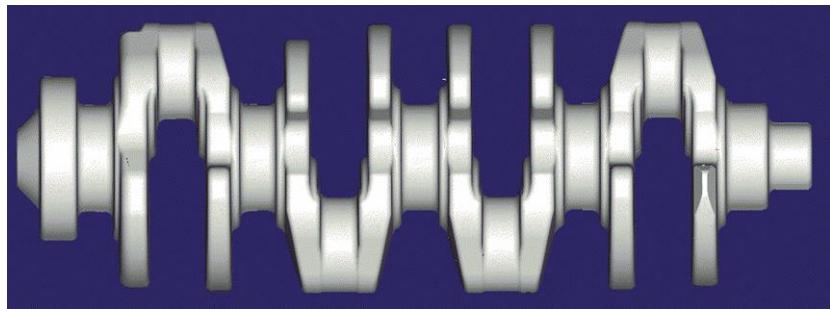


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ges 0200

Hauptgruppe Urformen

**Umformen ist Fertigen durch bildsames (plastisches) Ändern  
der Form eines festen Körpers**



Quelle: Fraunhofer IWU



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ges 0201

Hauptgruppe Umformen

**Trennen ist Fertigen durch Ändern der Form eines festen Körpers durch Aufheben bzw. Vermindern des Zusammenhalts**



Quelle: Mayenberger Group



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ges 0202

Hauptgruppe Trennen

**Fügen ist Zusammenbringen von zwei oder mehr Werkstücken  
oder Werkstücken mit formlosem Stoff**



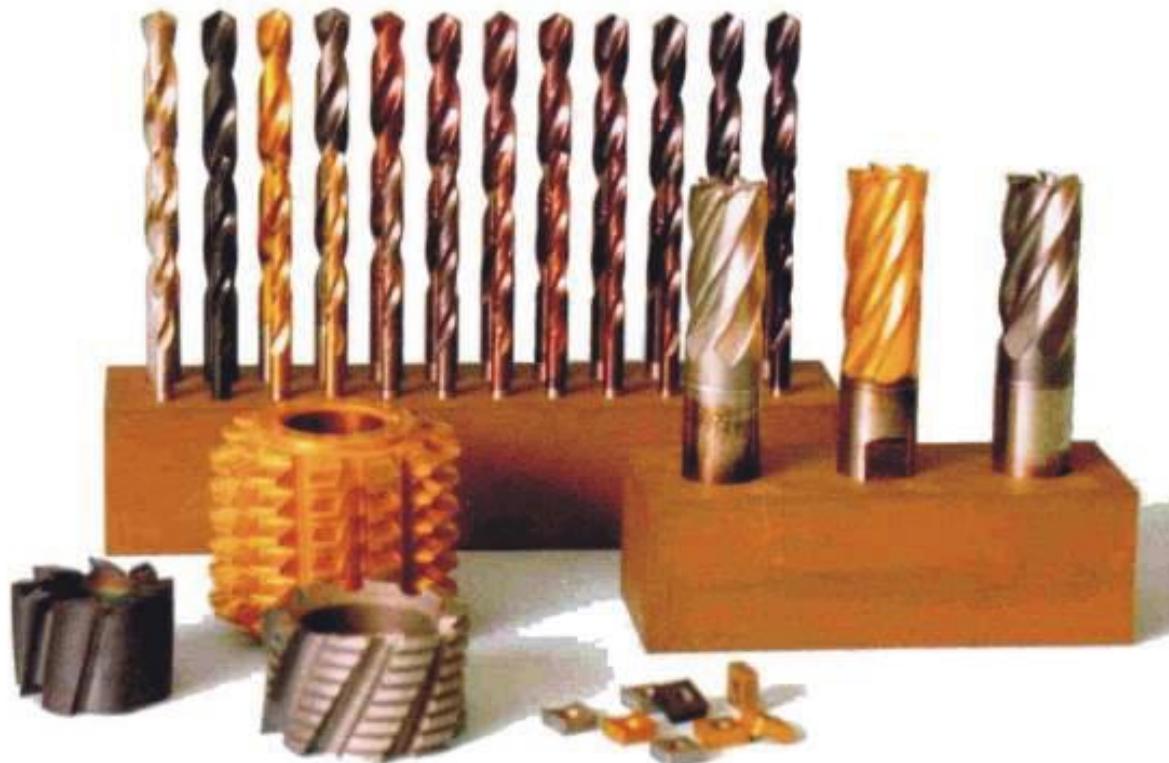
Ges 0203



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Hauptgruppe Fügen

**Beschichten ist Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosem Stoff auf ein Werkstück**



Quelle: exfa



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ges 0204

Hauptgruppe Beschichten

**Stoffeigenschaftändern ist Fertigen eines festen Körpers durch Umlagern, Aussondern oder Einbringen von Stoffteilchen**



Ges 0205





Quelle: Apple Inc.



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Schoe 0043

Einsatz von Fertigungstechnik  
am Beispiel eines MacBooks

Umformen der Halbzeuge



Trennen der einzelnen Blöcke



Quelle: Apple Inc.

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Schoe 0044a

Fräsen des Chassis aus dem Vollen



Fräsen aus dem Vollen

Schleifen der Kanten

Beschichtung

Quelle: Apple Inc.

Schoe 0044b



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fräsen des Chassis aus dem Vollen



Herstellung der  
Kunststoffteile durch Urformen

Fügen zu einem Komplettsystem

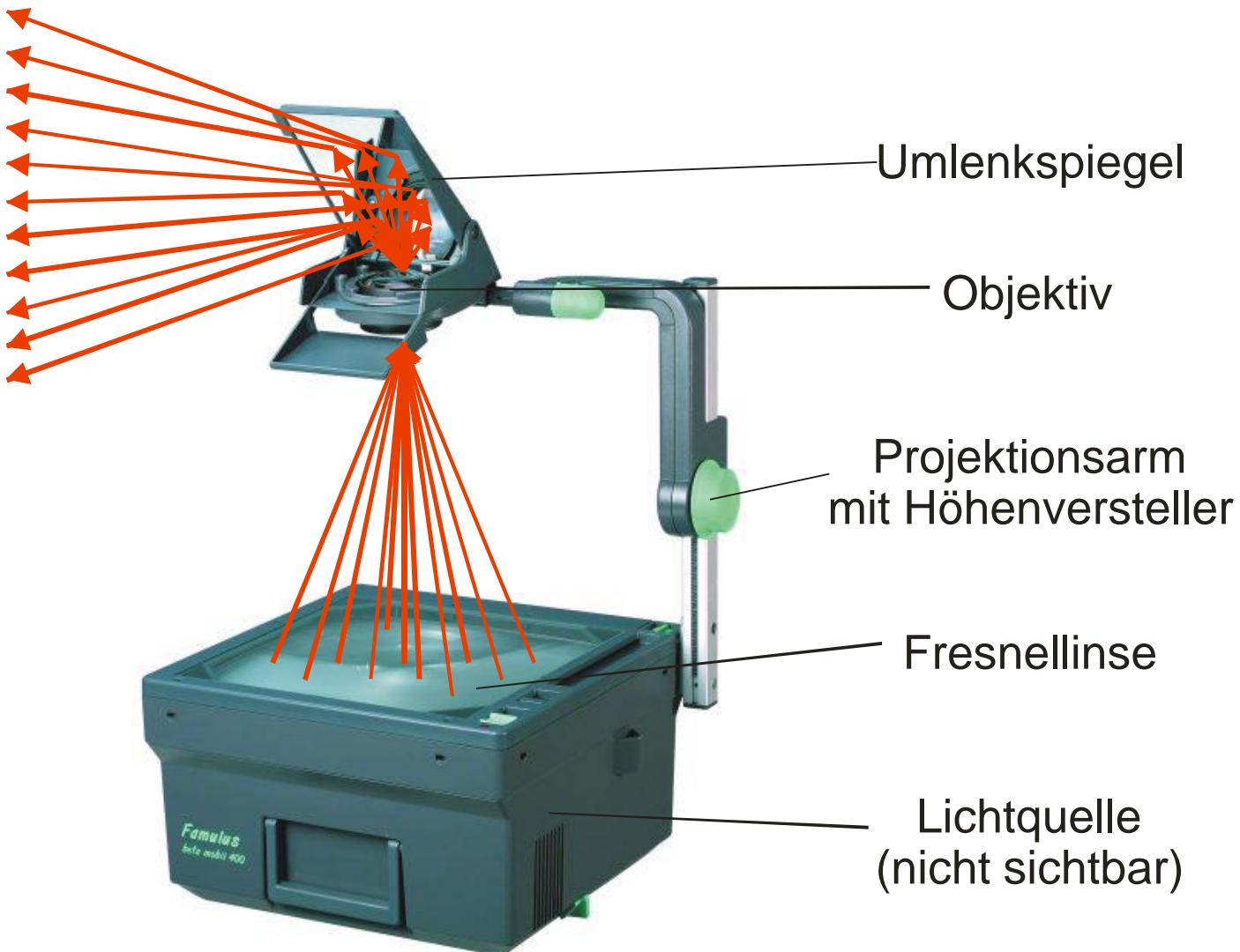
Quelle: Apple Inc.

Schoe 0044c



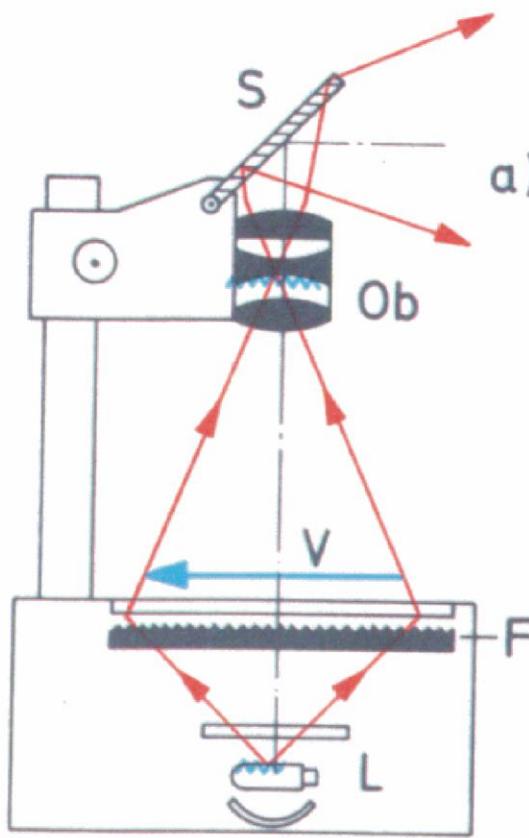
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fräsen des Chassis aus dem Vollen

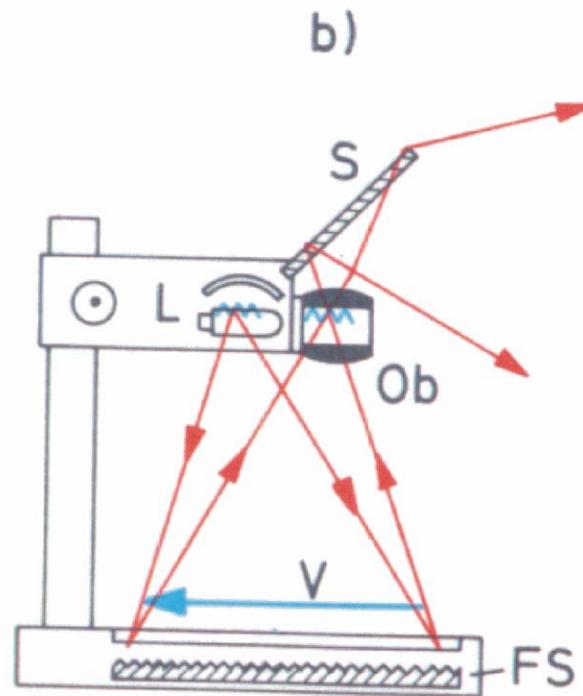


Ges 0218





a) Diaprojektor

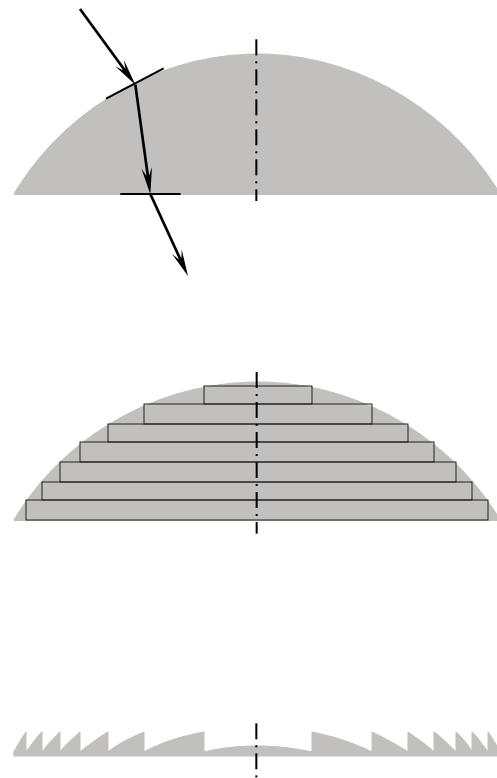


b) Auflichtprojektor

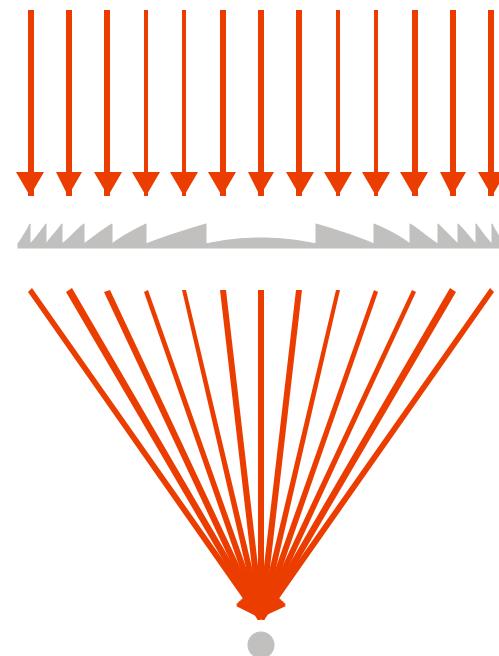
L - Lampe  
Ob - Objektiv  
S - Umlenkspiegel  
F - Fresnellinse  
FS - Fresnelspiegellinse  
V - transparente Vorlage



## Prinzip einer Fresnellinse



## Strahleumlenkung durch eine Fresnellinse



Ges 0217



## Hybridlinse mit interner Totalreflexion

Größe:

40 mm x 40 mm

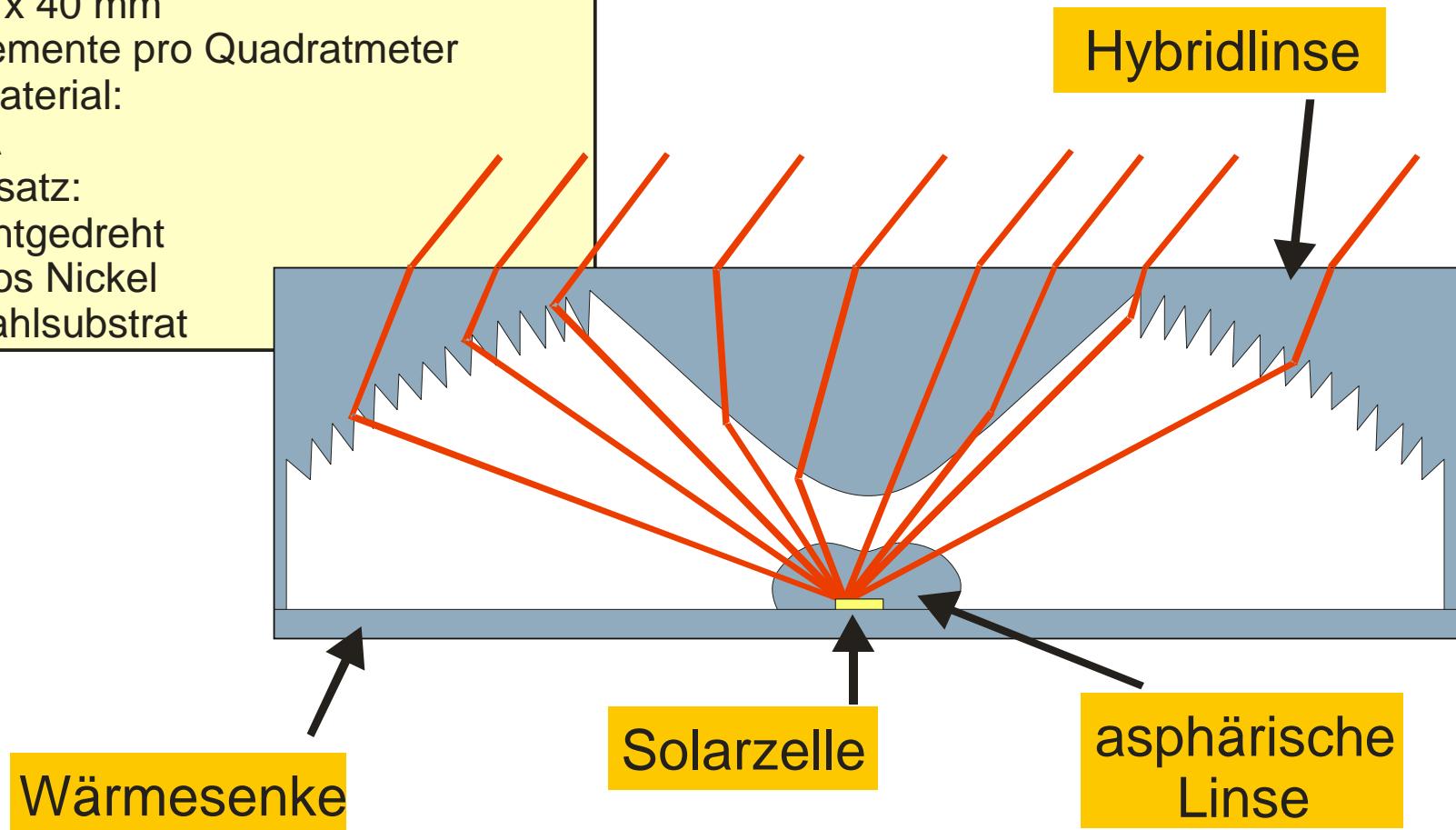
625 Elemente pro Quadratmeter

Linsenmaterial:

PMMA

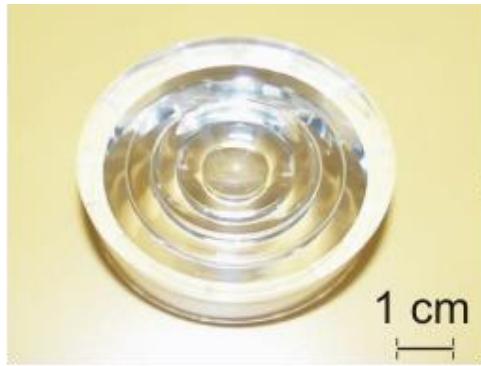
Formeinsatz:

diamantgedreht  
stromlos Nickel  
auf Stahlsubstrat

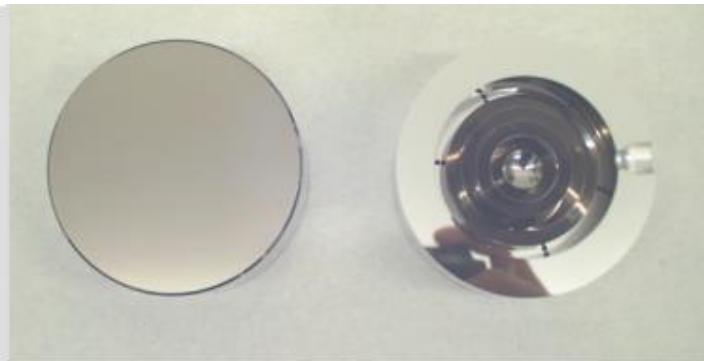


OR 282



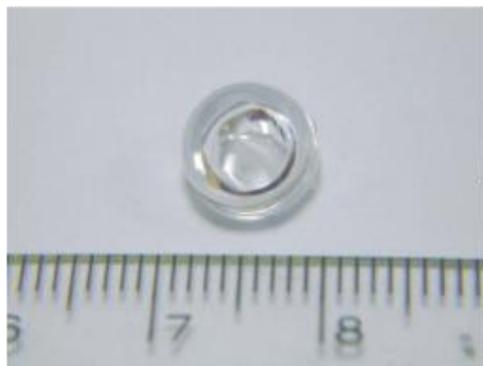


primäre TIR Linse



asphärische TIR Facetten

**Abformung der Linsen  
aus PMMA  
durch Spritzgießen**



GaAs-Solarzelle

sekundäre  
asphärische Linse

**Diamantdrehen der Abform-  
werkzeuge aus chemisch  
vernickelten Aluminium**



Ges 0230



# Grundlagen der Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

Kapitel 2: Geschichte und Einteilung der  
Produktionstechnik



## Institutionell

**12.-15. Jh.** Errichtung der ersten Universitäten zur Ausbildung wesentlich der Geistlichkeit

**Ab 16. Jh.** Wandlung des Weltbilds führt zur Gründung eigener ingenieurwissenschaftlicher Institutionen

**1663** Gründung der *Royal Society of London*:

„Es obliegt der Royal Society, das Wissen um die Dinge in der Natur zu vervollkommen und alle nützlichen Künste, Herstellungsweisen, mechanische Verfahren, Maschinen und Erfindungen durch Experimente zu verbessern...“

**1795** *Ecole Polytechnique Paris* (erste Technische Hochschule neuen Typs)

**Im 19. Jh.** Gründung polytechnischer Hochschulen in Deutschland (Karlsruhe, Stuttgart, Darmstadt, Braunschweig, München, Hannover, Berlin)

**Anfang 20. Jh.** Einrichtung der ersten Institute für Werkzeugmaschinen, Fertigungstechnik, Betriebslehre (*Schlesinger* in Berlin, *Wallichs* in Aachen, *Schwerdt* in Hannover, *Sachserberg* in Dresden, *Gottwein* in Breslau)

**1937** Gründung „*Hochschulgruppe*

*Betriebswissenschaft*“

**1984** Umbenennung in „*Hochschulgruppe Fertigungstechnik*“

**1987** Gründung der „*Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik WGP*“

**2008** Konstituierung von acatech, Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

## Inhaltlich

**15.-18. Jh.** Entstehungszeit der Ingenieurwissenschaften. Energieerzeugung mittels Muskel-, Wind und Wasserkraft (Tretrad, Pferdegöpelantrieb, Turbinenrad), Übergang von Holz- auf Steinkohle zur Roheisen- und Stahlerzeugung. Erste Werkzeugmaschinen wie Drehbänke (*Plumier*), Bohrwerke (*da Vinci*).

**Ende 18. Jh.** Erfindung der Dampfmaschine (*Newcomen*) war nur durch den erreichten Stand der Fertigungstechnik möglich. Wichtige Impulse für den Werkzeugmaschinenbau, Guss- ersetzt Holzbauweise: Erhöhung der Produktionsleistung und Arbeitsgenauigkeit. Erste Metalldrehmaschine mit Support (*Maudslay*)

**19. Jh.** mit Verbreitung der Dampfmaschine beginnt industrielles Zeitalter. Erste Fabrikgründungen, Schnellarbeitsstahl (*Taylor*)

**2. Hälfte 19. Jh.** Entwicklung der Elektrotechnik und damit Wandel der Antriebstechnik für Werkzeugmaschinen, Steigerung der Arbeitsgenauigkeit, Produktivität, Serien-, Fließbandfertigung (*Ford*)

**20. Jh.** Entwicklung zur industriellen Gesellschaft, Produktionssteigerung, Rationalisierung, Einführung der EDV in die Fertigungstechnik, ständige Verbesserung der Fertigungstechniken, Werkstoffe, Produktionsabläufe

## Geschichte der Produktions- technik

Quelle: Spur



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Red 0016

Geschichtliche Entwicklung der Produktionstechnik

Hochschulgruppe für  
Betriebswissenschaft  
  
(HBW) 1937



Wissenschaftliche  
Gesellschaft für  
Produktionstechnik  
  
(WGP) 1987

## Aufgaben und Ziele

- Weiterentwicklung und Reformierung der Ingenieursausbildung
- Förderung des ingenieurwissenschaftlichen Nachwuchses
- Innovation durch Forschung, Entwicklung und Wissenstransfer
- Kommunikation und Kooperation im wissenschaftlichen und industriellen Umfeld
- Beratung und Mitgestaltung bei der Initiierung von Forschungsprojekten
- Darstellung der Bedeutung der Produktionswissenschaft in Politik und Gesellschaft

Zusammenfassung  
wissenschaftlicher  
Kräfte



- Austausch / Zusammenarbeit
- Abstimmung der Forschungsgebiete
- Vermeidung der Überschneidungen

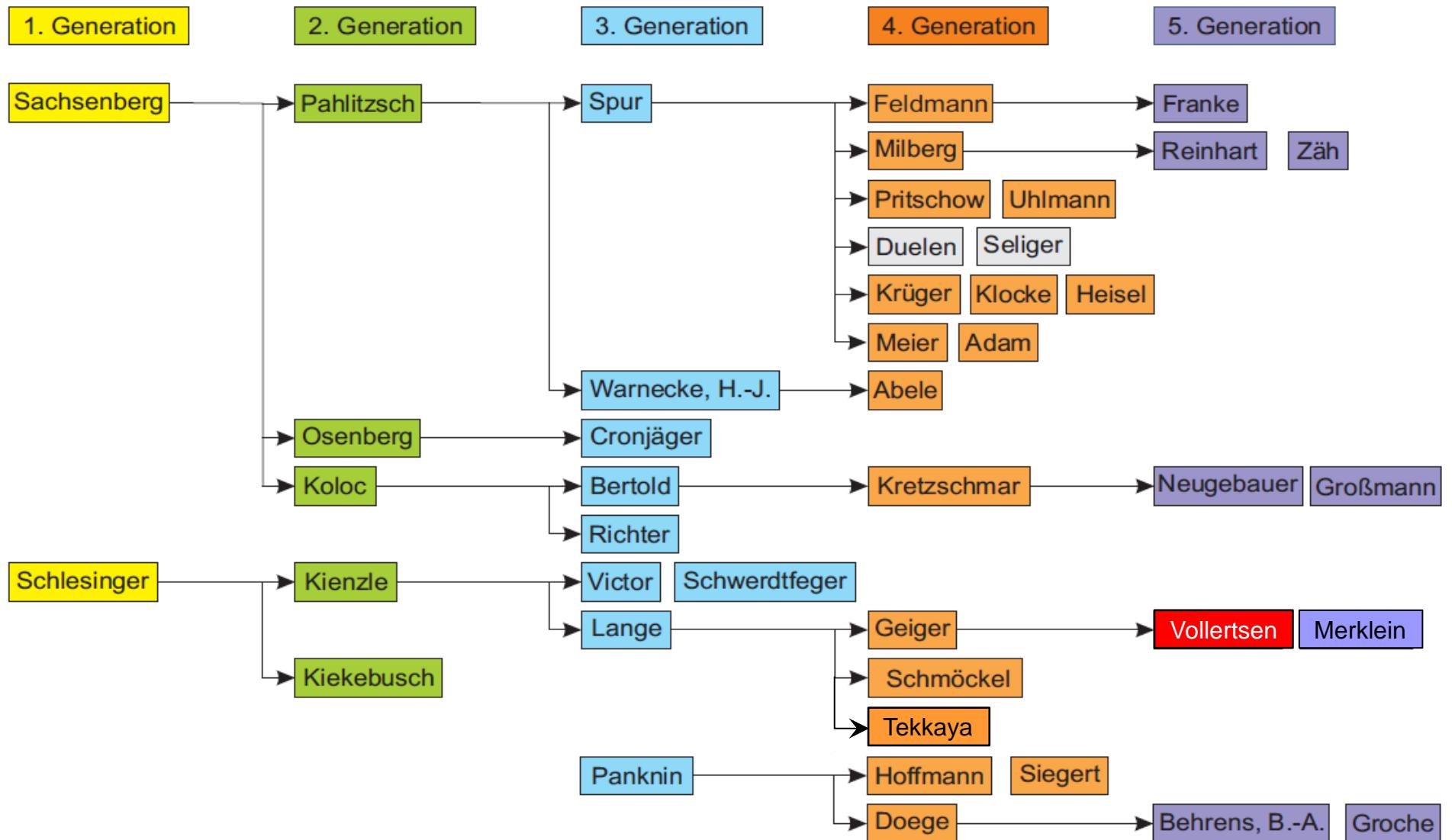


wirtschaftliche  
Anwendung der  
Forschungsmittel



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik



Quelle: nach Spur, 2009



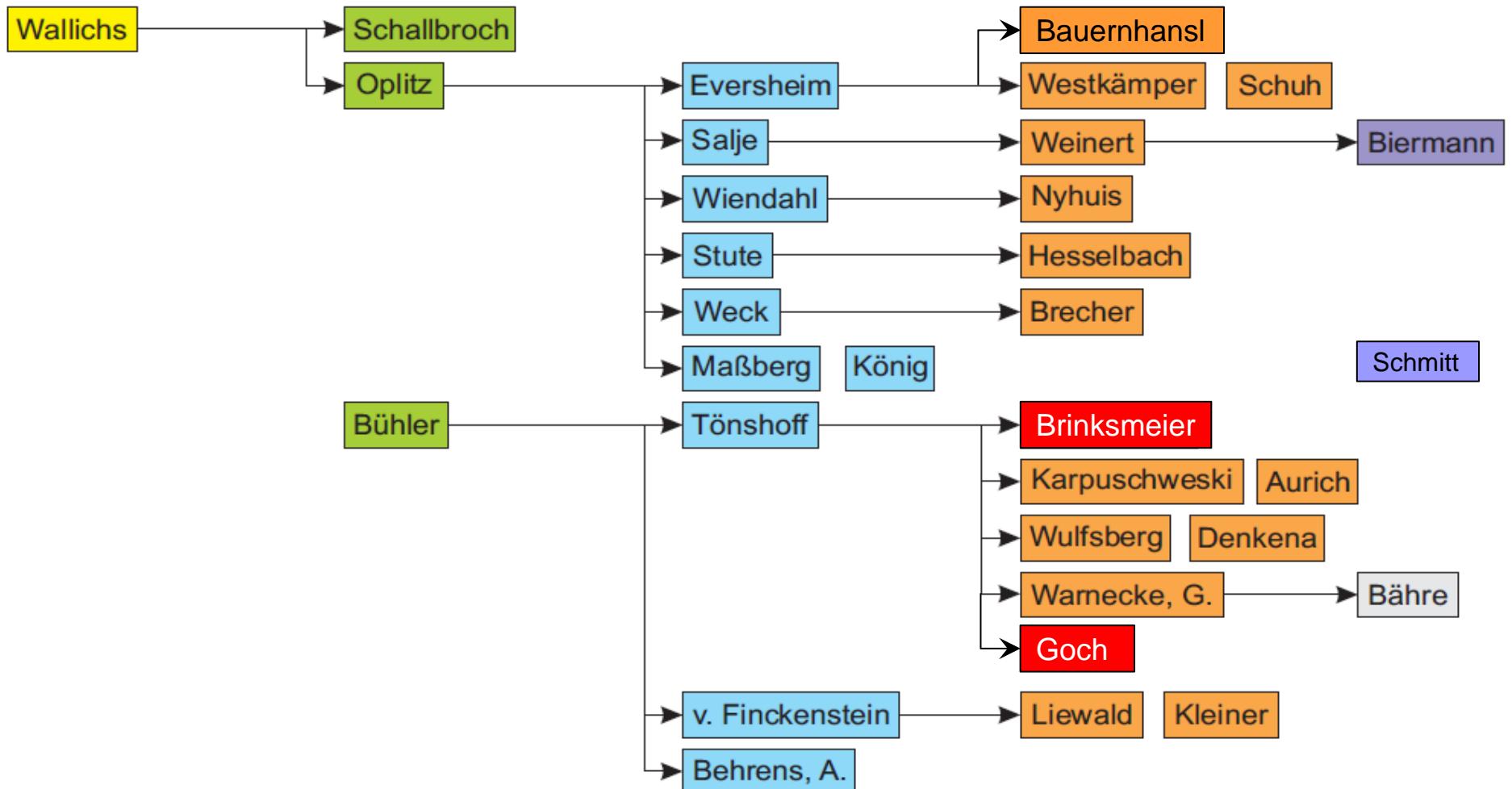
1. Generation

2. Generation

3. Generation

4. Generation

5. Generation



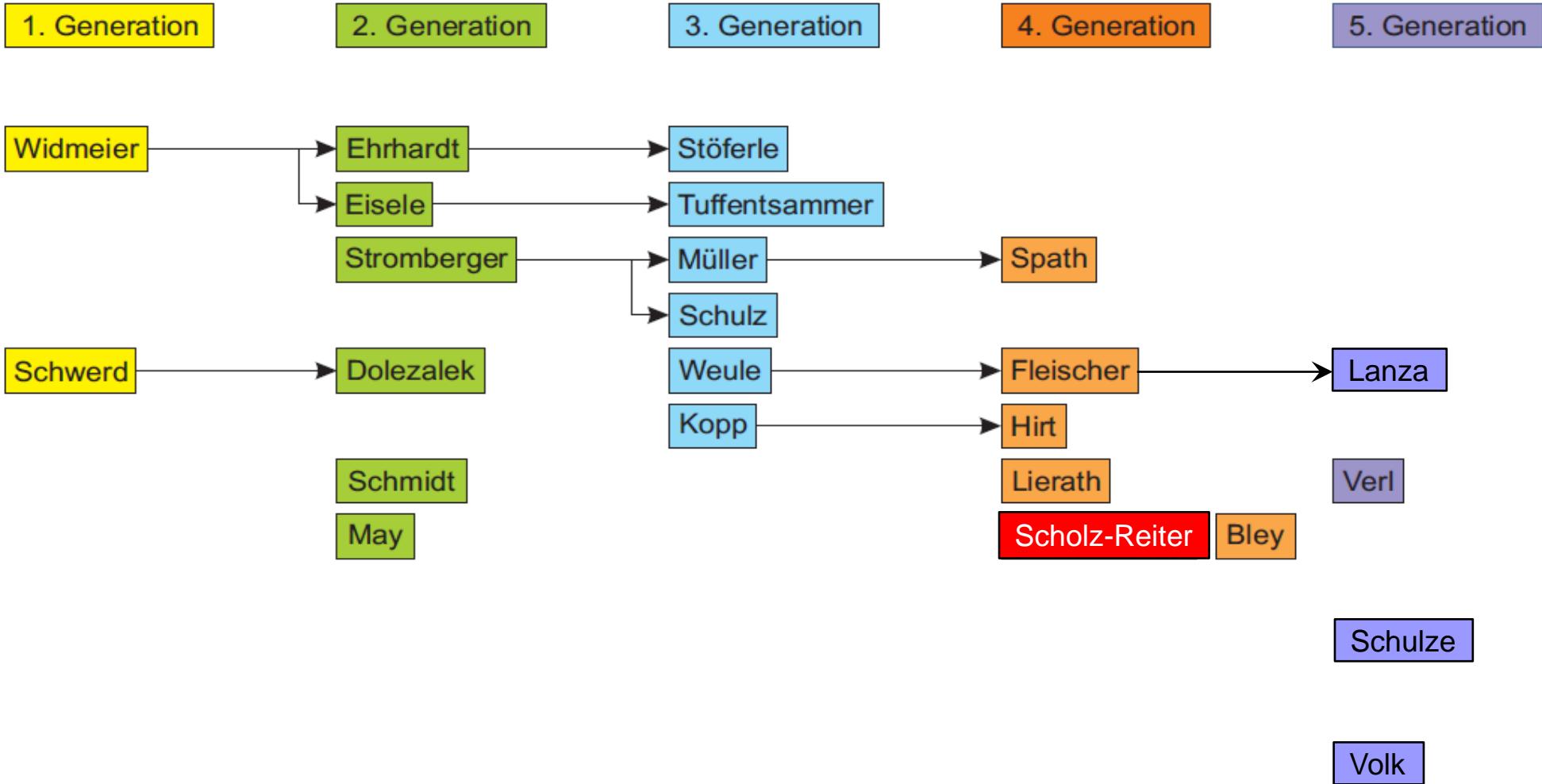
Quelle: nach Spur, 2009

Schoe 0091-2



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Professoren der  
Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik



Quelle: nach Spur, 2009



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Schoe 0091-3

Professoren der  
Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik

1899 Riedlersche Denkschrift zur Gründung einer Akademie der technischen Wissenschaften.  
Promotionsrecht → Dr.-Ing.

1900 Einrichtung von drei technischen Fachstellen an der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften in Berlin.



1997 Gründung des Konvents für Technikwissenschaften (KTW)

2002 Auflösung des KTW und Gründung des gemeinnützigen Vereins *akatech – Konvent für Technikwissenschaften der Union*  
(seit 2003 acatech)



2008 acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

#### Mitglieder:

renommierte Wissenschaftler (421) aus den Ingenieurwissenschaften, angewandte Naturwissenschaften sowie Teilbereiche der Geistes- und Sozialwissenschaften.

#### Finanzierung:

Zahlreiche Unternehmen mit Technikbezug  
BMBF

#### Aufgaben

- Beratung der Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen
- Plattform für den Austausch von Wissenschaft und Wirtschaft
- Engagement für den technikwissenschaftlichen Nachwuchs
- Vertretung der Interessen der Technikwissenschaften auf nationaler und auf internationaler Ebene

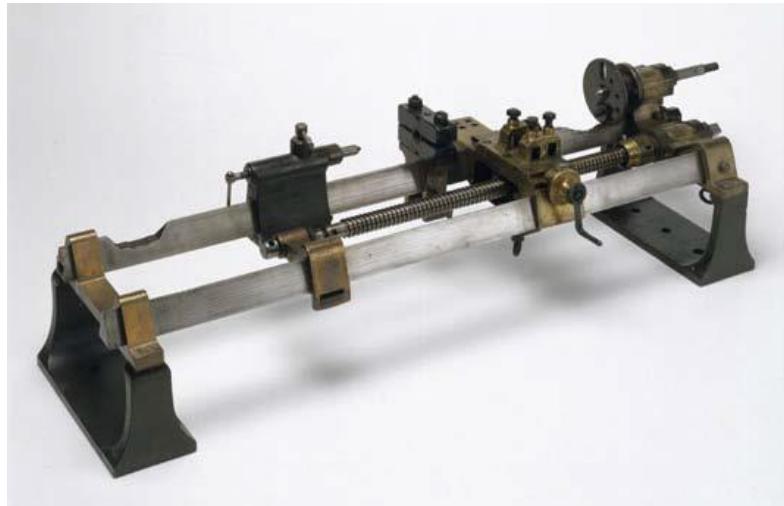
Quelle: acatech



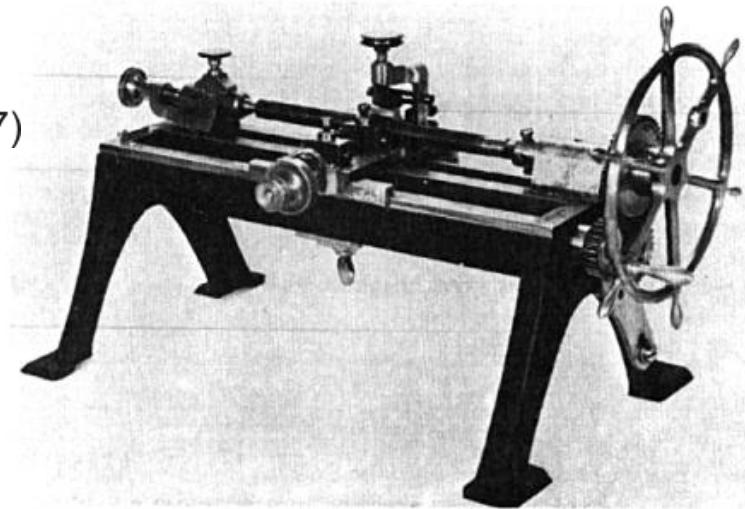
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Lor 0003

acatech  
Deutsche Akademie der Technikwissenschaften



Erste Leitspindeldrehmaschine von *H. Maudslay* (ca. 1797)



Verbesserte Leitspindeldrehmaschine von *H. Maudslay*  
(ca. 1800)

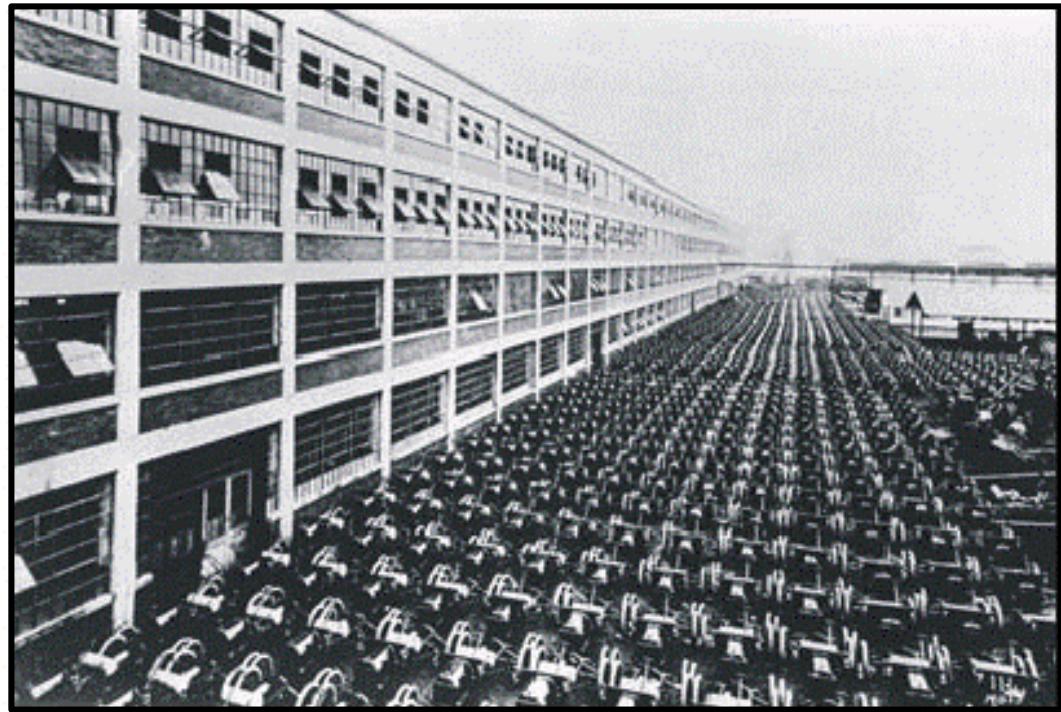
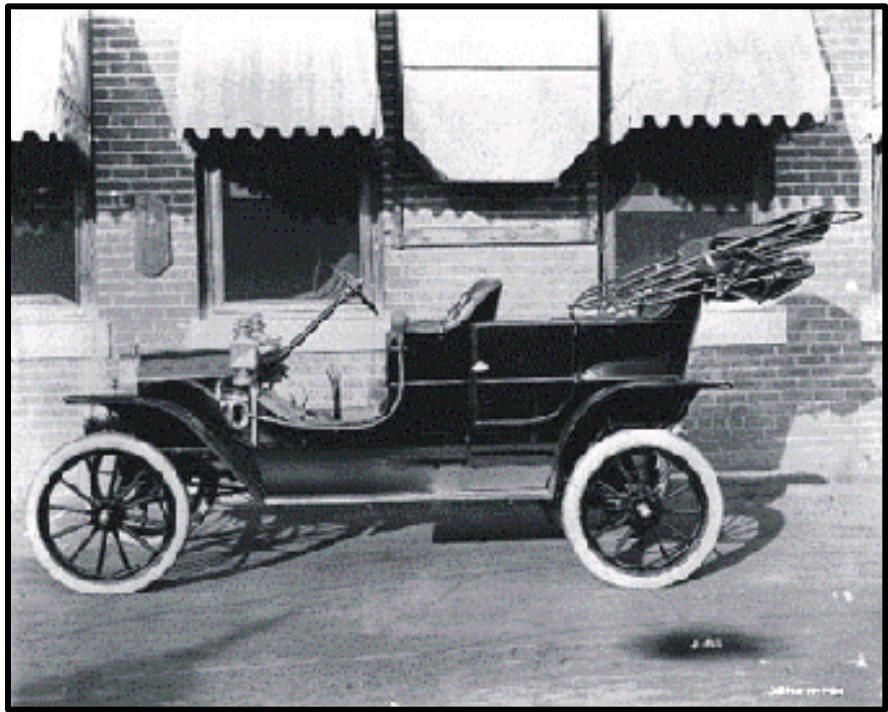
Quelle: Spur

Ges 0023



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Geschichte der Produktionstechnik



## Fließbandfertigung des Ford-Modells T (1913)

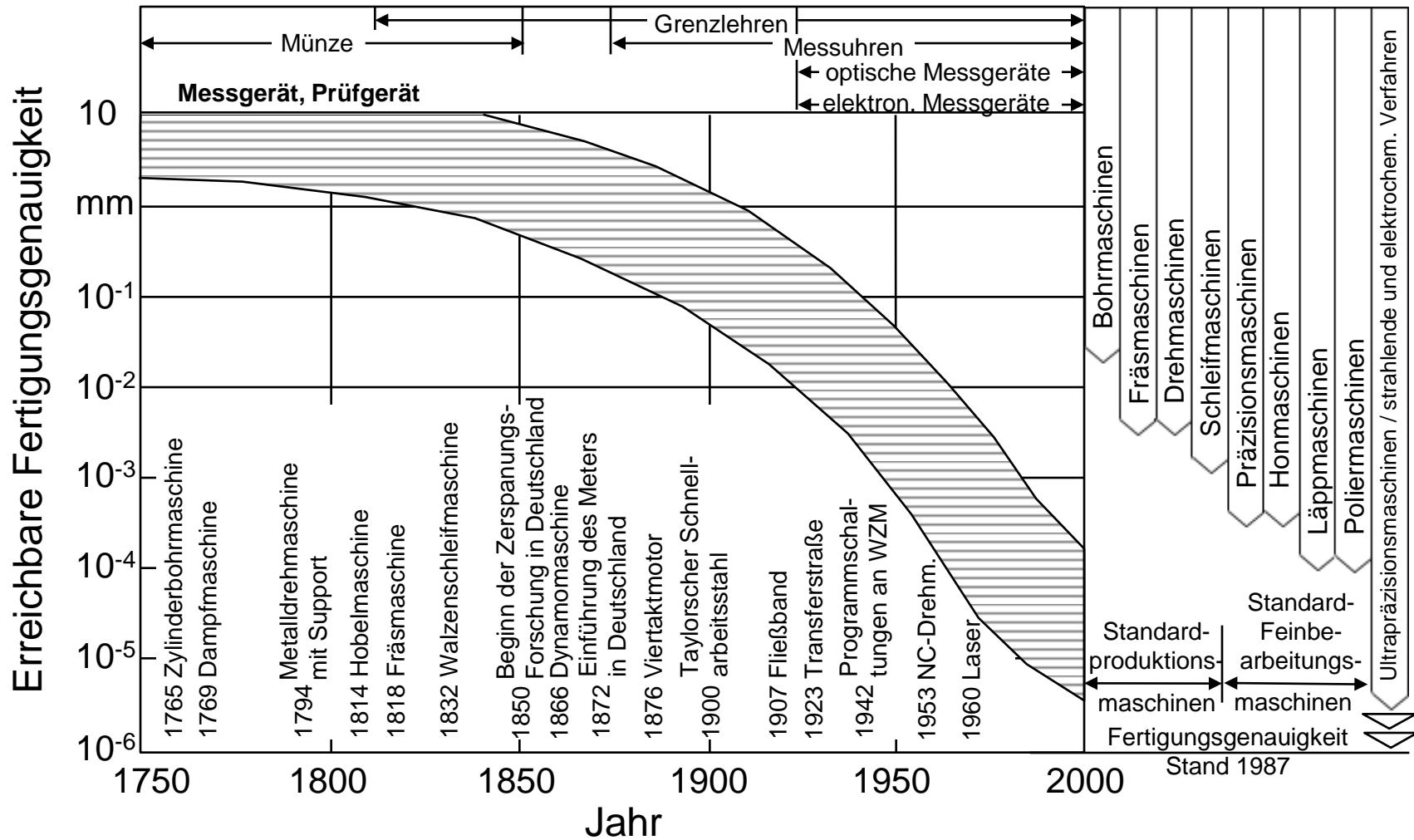
Quelle: Ford



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ges 0199

Geschichte der Produktionstechnik

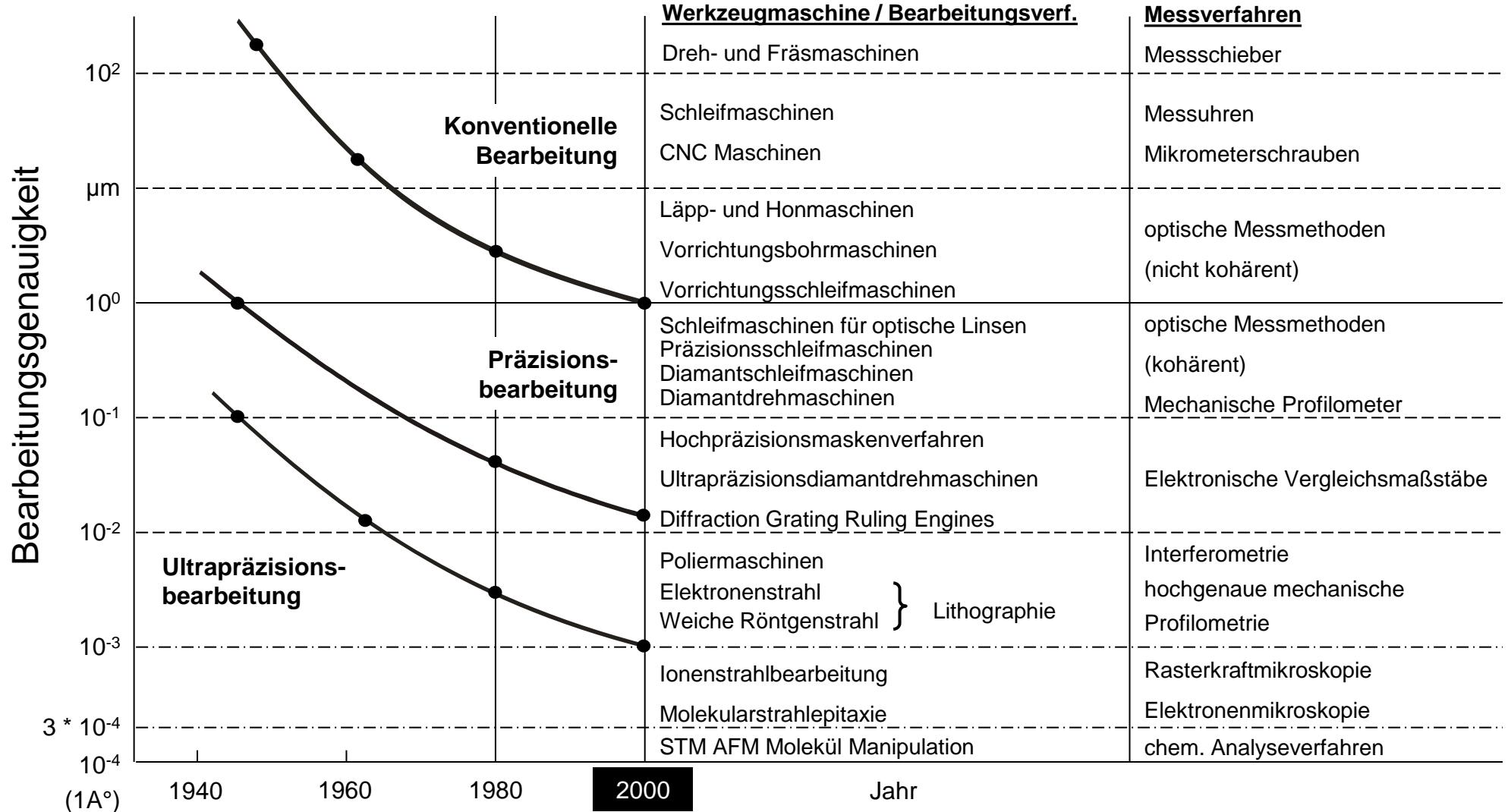


## Entwicklung der Fertigungsgenauigkeiten spanender Werkzeugmaschinen

Quelle: Weck

Red 0017





Quelle: nach Taniguchi, Annals CIRP, 1983

Ges 0121 a





## Leistungsdaten

Verfahrtsweg x-Achse	300 mm
y-Achse	200 mm
z-Achse	300 mm
Bearbeitungsvolumen	500x200x300mm
Führungsgenauigkeit	0,3 µm
Radial- und Axialschlag der Rundachsen	(B) 100 nm (C) 50 nm
Winkelauflösung der Rundachsen	(B) 0,65" (C) 0,65"
Auflösung der Steuerung	10 nm
Tragkraft der Werkstückspindel	90 kg

Quelle: Nanotech



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ges 0223

Ultrapräzisionsmaschine Moore Nanotech 500 FG

**Fertigungstechnik** ist die *Herstellung* von  
*Bauteilen* aus vorgegebenen  
*Werkstoffeigenschaften* und *geometrischen*  
*Bestimmungsgrößen* sowie das *Fügen* dieser  
*Bauteile* zu *funktionsfähigen Erzeugnissen*.

Quelle: Spur



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Br 1661

Deutung der Fertigungstechnik

Schaffen der Form	Zusammenhalt schaffen	<b>Urformen</b>
Ändern der Form	Zusammenhalt beibehalten	<b>Umformen</b>
	Zusammenhalt vermindern	<b>Trennen</b>
	Zusammenhalt vermehren	<b>Fügen</b>
		<b>Beschichten</b>
Ändern der Stoffeigenschaften		<b>Stoffeigenschaftändern</b>

Quelle: Spur



## Fertigungsverfahren

### **Urformen**

Fertigen eines festen Körpers aus formlosem Stoff durch Schaffen des Zusammenhalts

### **Fügen**

Zusammenbringen von zwei oder mehr Werkstücken oder Werkstücken mit formlosem Stoff

### **Umformen**

Fertigen durch bildsames (plastisches) Ändern der Form eines festen Körpers

### **Beschichten**

Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosem Stoff auf ein Werkstück

### **Trennen**

Fertigen durch Ändern der Form eines festen Körpers durch Aufheben bzw. Vermindern des Zusammenhalts

### **Stoffeigenschaft ändern**

Fertigen eines festen Körpers durch Umlagern, Aussondern oder Einbringen von Stoffteilchen

Quelle: Spur

Ges 0120



## Haupttechnologie

Mit einem Fertigungsverfahren herstellbare Größen, Formen und die bearbeitbaren Werkstoffe

## Fehlertechnologie

Durch die Fertigung bedingte Fehler des Maßes, der Form, der Lage und der Oberfläche

## Aktuelles bzw. anzustrebendes Optimum in der Fertigung

### Wirtschaftlichkeit

Die mit einem Fertigungsverfahren einschließlich seiner Mengen- und Umstellflexibilität verbundenen Kosten

### Anpassung der Arbeit an den Menschen

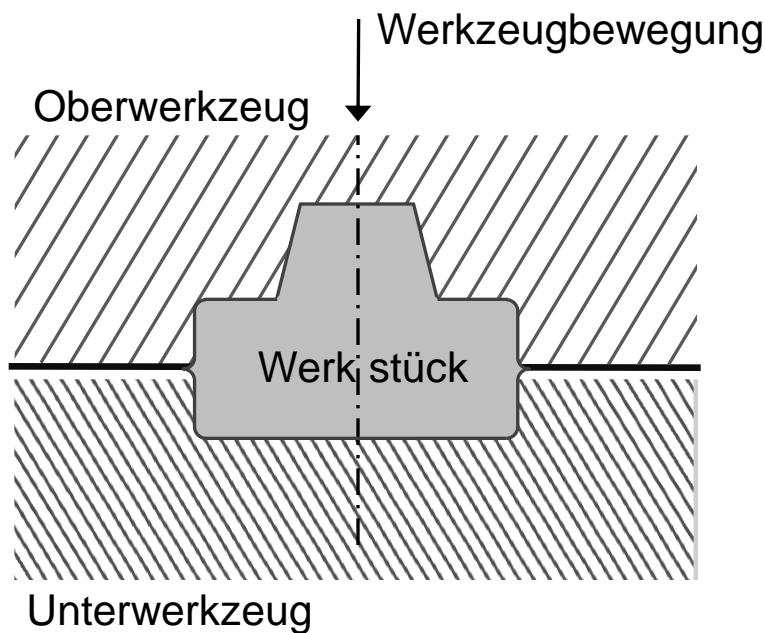
Gestaltung der Fertigungsverfahren und Fertigungsmittel, so daß Mensch und Umwelt möglichst wenig belastet werden

Quelle: Kienzle, Tönshoff

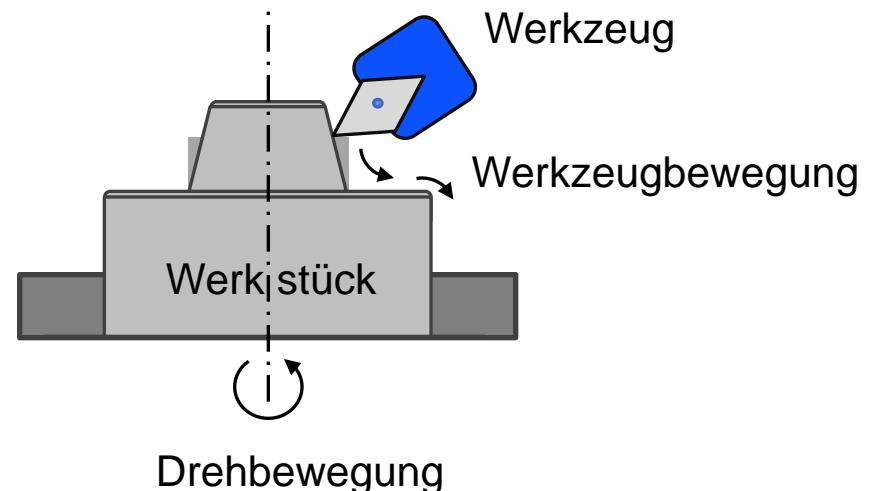
Schn 004



### Abbildendes Formen



### Gesteuertes Formen



Quelle: Werkzeugmaschinen, Grundlagen, H.K: Tönshoff

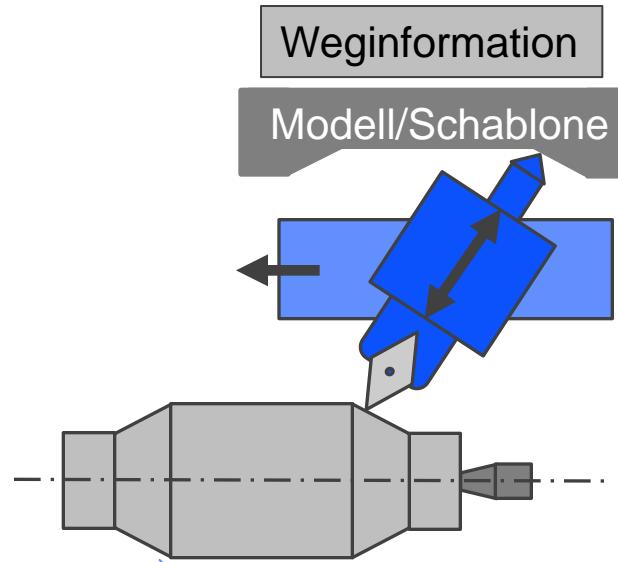
Hue 0001



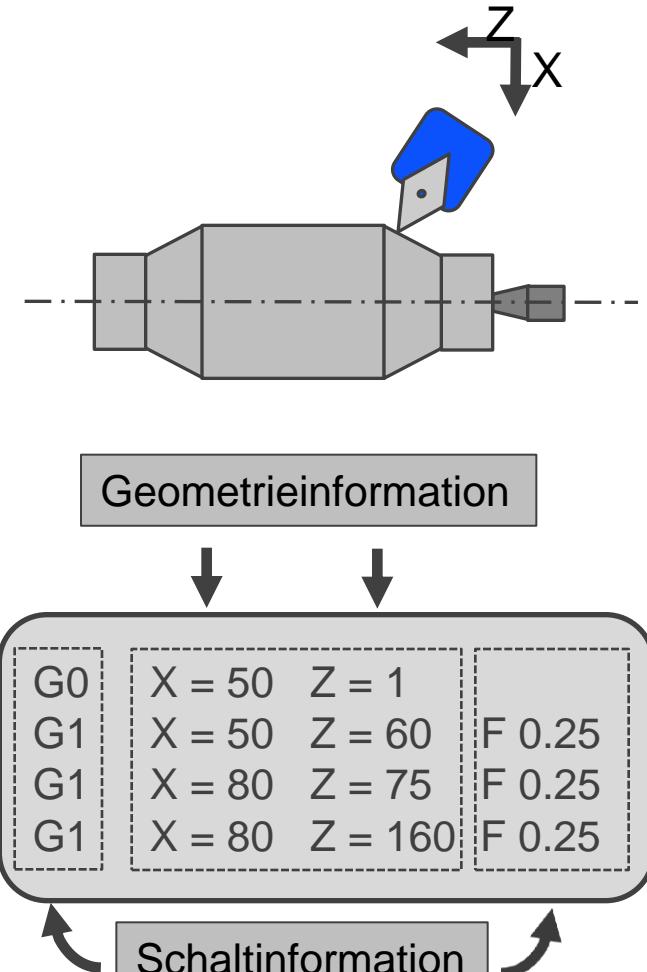
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Prinzipien der Formerzeugung

# Nachformsteuerung



# Numerische Steuerung



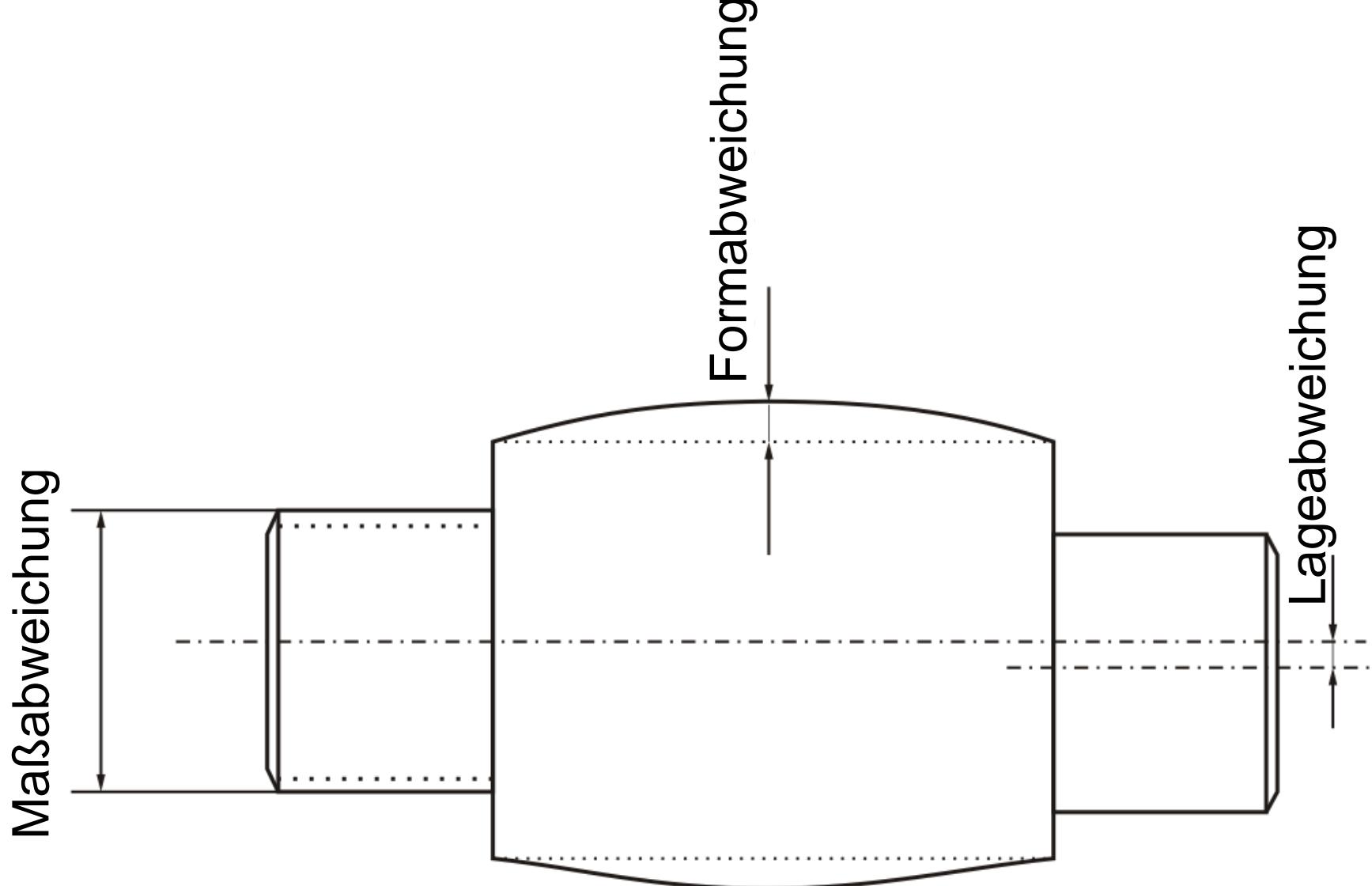
Quelle: Werkzeugmaschinen, Grundlagen, H.K: Tönshoff

Hue 0002



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Analoge und digitale Informationsspeicherung



Quelle: Werkzeugmaschinen, Grundlagen, H.K: Tönshoff

Br 1672



Symbol und tolerierte Eigenschaft	Toleranzzone	Zeichnungsangabe	Anwendungs-Beispiele
	Gerad- heit		 Die Achse d. zylindr. Tls. des Bolzens muss innerhalb eines Zylinders vom Durchmesser $t = 0,03$ mm liegen.
	Eben- heit		Die tolerierte Fläche muss zwischen zwei parallelen Ebenen vom Abstand $t = 0,05$ mm liegen.
	Rund- heit		Die Umfangslinie jedes Querschnittes muss in einem Kreisring von der Breite $t = 0,02$ mm enthalten sein.
	Zylin- der- form		Die tolerierte Fläche muß zwischen zwei koaxialen Zylindern liegen, die einen radialen Abstand von $t = 0,05$ mm haben.

Quelle: DIN 7184, ersetzt durch DIN EN ISO 1101

Br 0380



Gestaltabweichung (als Profilschnitt überhöht dargestellt)	Beispiele für die Art der Abweichungen	Beispiele für die Entstehungsursache	
1. Ordnung: Formabweichung	Unebenheit Unrundheit	Durchbiegung Werkstück/ Maschine, Einspannung, Eigenspannungen	
2. Ordnung: Welligkeit	Wellen	Schwingung Werkzeug/ Maschine	
3. Ordnung	Rillen	Form der Schneide, Vorschub, Zustellung	
4. Ordnung	Rau- heit	Riefen Schuppen Kuppen	Spanbildung
5. Ordnung: nicht mehr einfach darstellbar		Gefügestruktur	Korrosion, Kristallisation
6. Ordnung: nicht mehr einfach darstellbar		Gitteraufbau des Werkstoffes	Spannungen u. Gleitungen im Kristallgitter
	Beispiel für eine technische Oberfläche Überlagerung der Gestaltabweichung 1. bis 4. Ordnung		



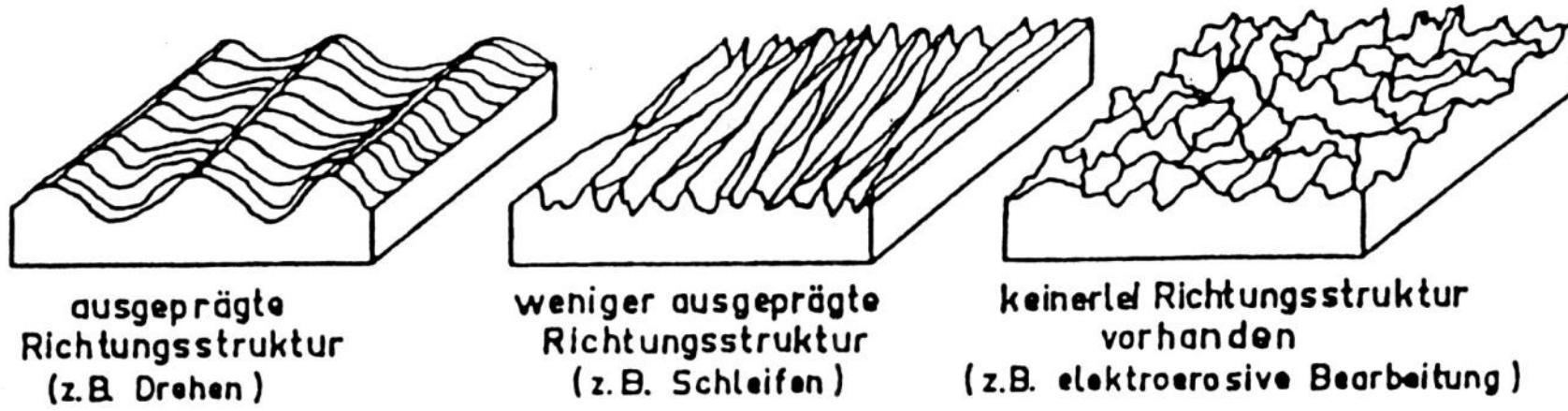
Quelle: DIN 4760, DIN 4761



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Br 0156

Das Ordnungssystem für Gestaltabweichungen  
und Beispiele für technische Oberflächen



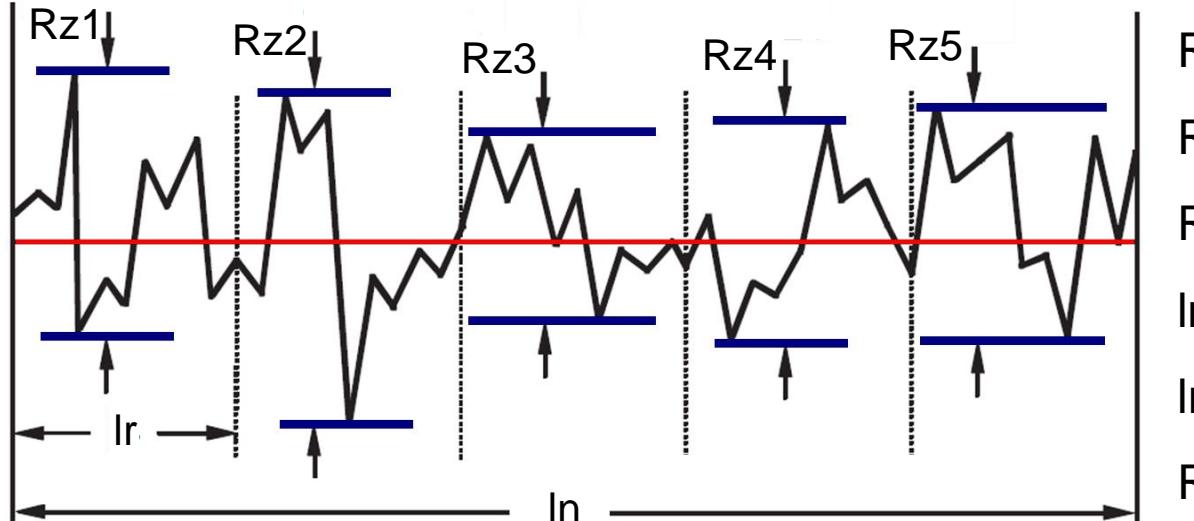
Quelle: DIN 4760



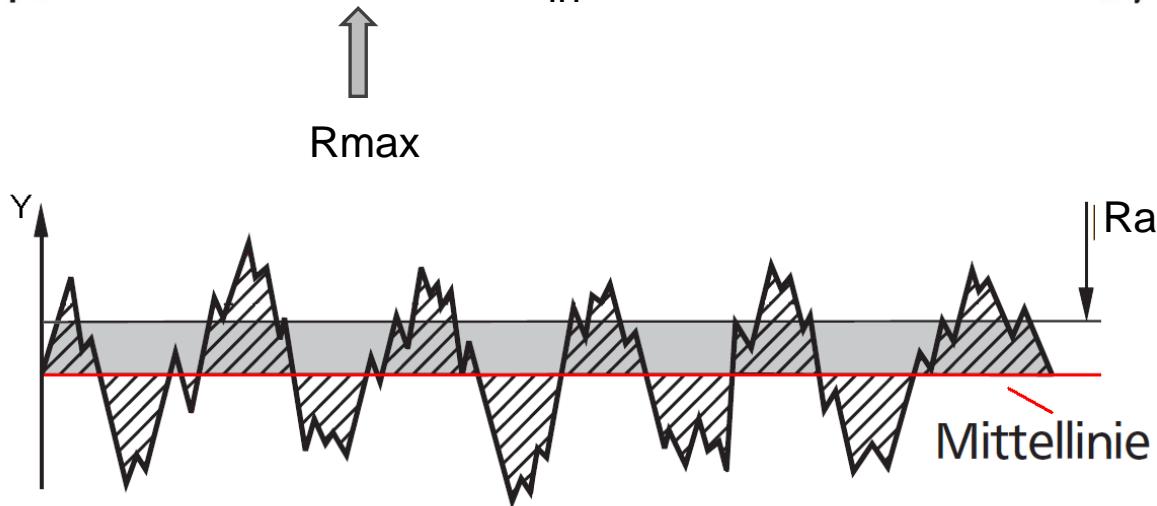
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Br 0430

Dreidimensionale Charakterisierung der Oberflächenstruktur



Rzi	Einzelrautiefe
Rz	gemittelte Rautiefe
Rmax	max. Einzelrautiefe
In	Messstrecke
Ir	Einzelmessstrecke
Ra	arithmetischer Mittenrauwert



$$Rz = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Rzi$$

$$Ra = \frac{1}{In} \int_0^{In} |Y| dx$$

Quelle: DIN EN ISO 4287, Mahr GmbH

Hue 0003



## Norm für flächenhafte Rauheitsmessung: DIN EN ISO 25178-2

Sa - Mittlere arithmetische Höhe:

$$Sa = \frac{1}{A} \int_A |z(x, y)| dx dy$$

Sq - Mittlere quadratische Höhe:

$$Sq = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A z^2(x, y) dx dy}$$

Weitere Kennwerte:

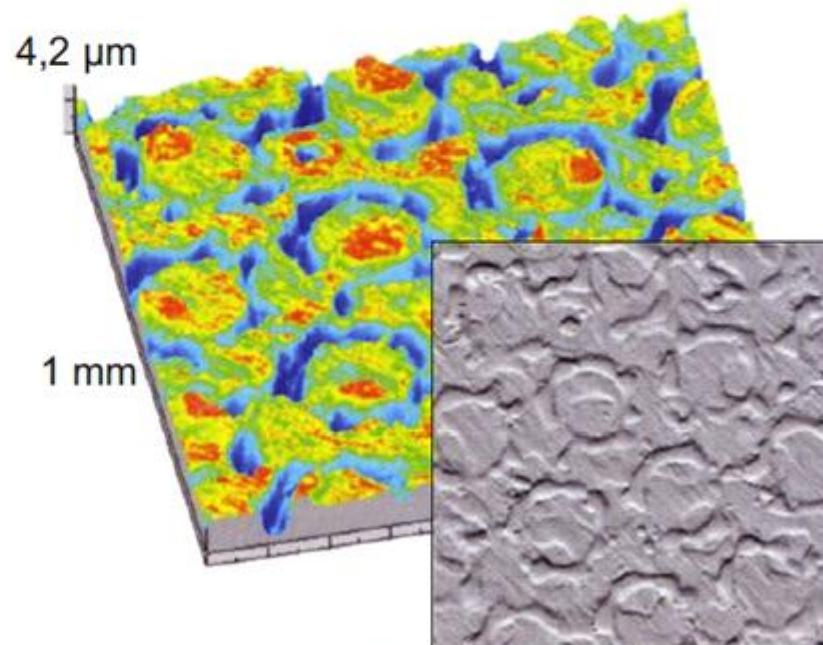
Sz – maximale Höhe

Sp – maximale Spitzenhöhe

Sv – maximale Senkenhöhe

Notwendigkeit flächenhafter Rauheitsmessung:

- ⇒ Beschreibung komplexer und unregelmäßiger Oberflächen
- ⇒ Breitere Verfügbarkeit von geeigneten (optischen) Messgeräten
- ⇒ Taktile Messverfahren durch Tastspitze in Genauigkeit begrenzt



Quelle: Beuth - Rauheitsmessung

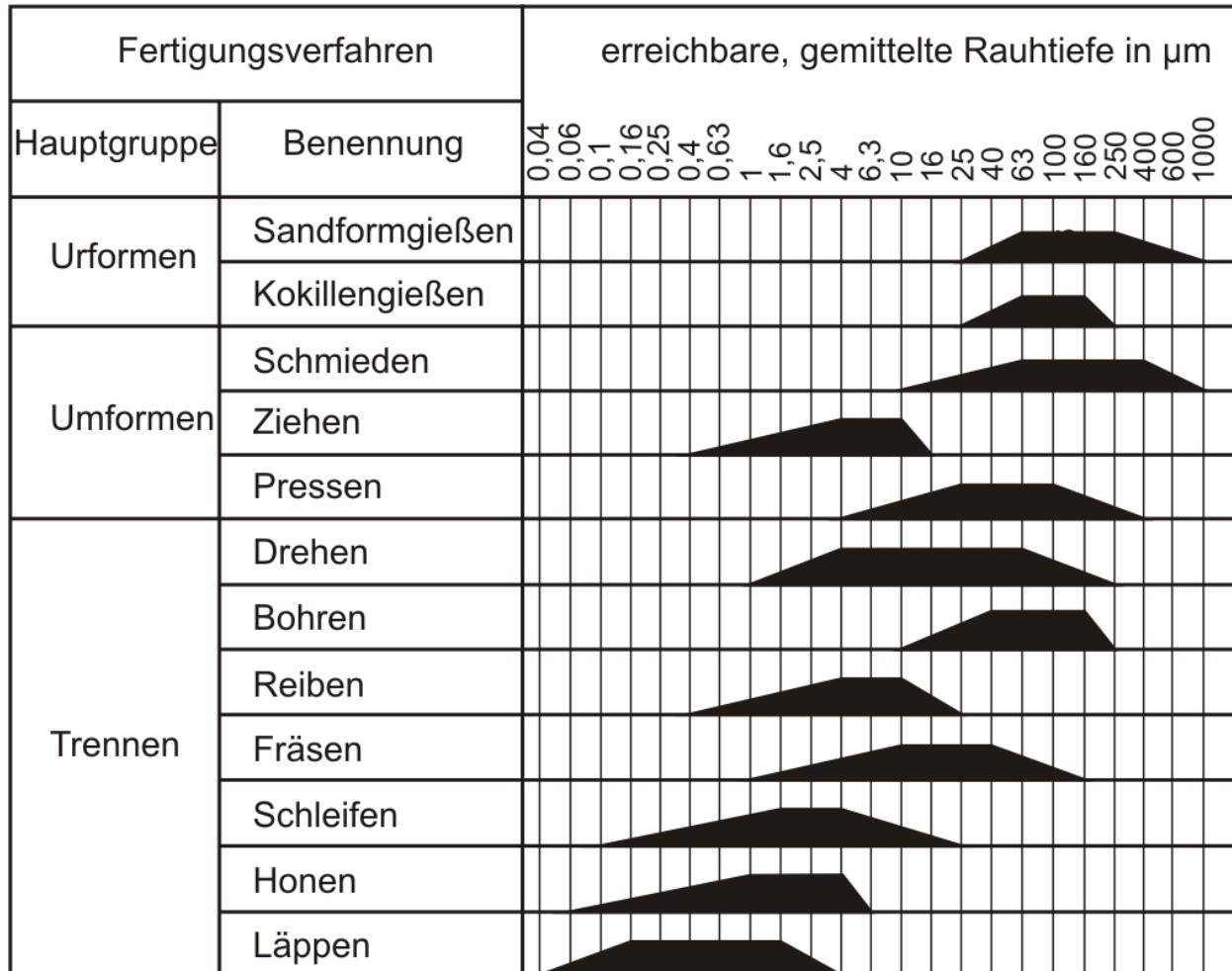
Quelle: DIN EN ISO 25178-2

AMEI 0001



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

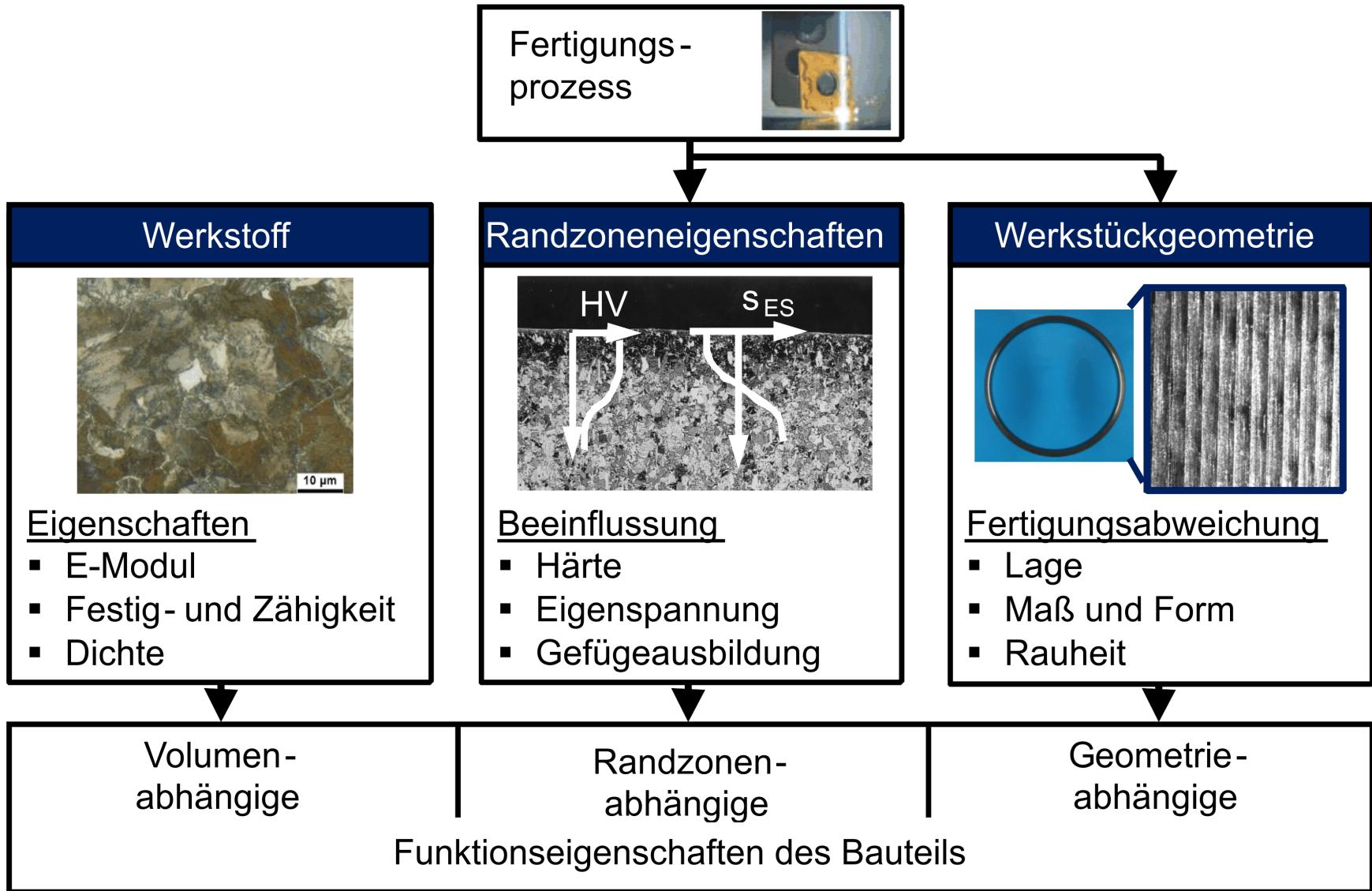
Flächenhafte Rauheitsmessung



Quelle: DIN 4760

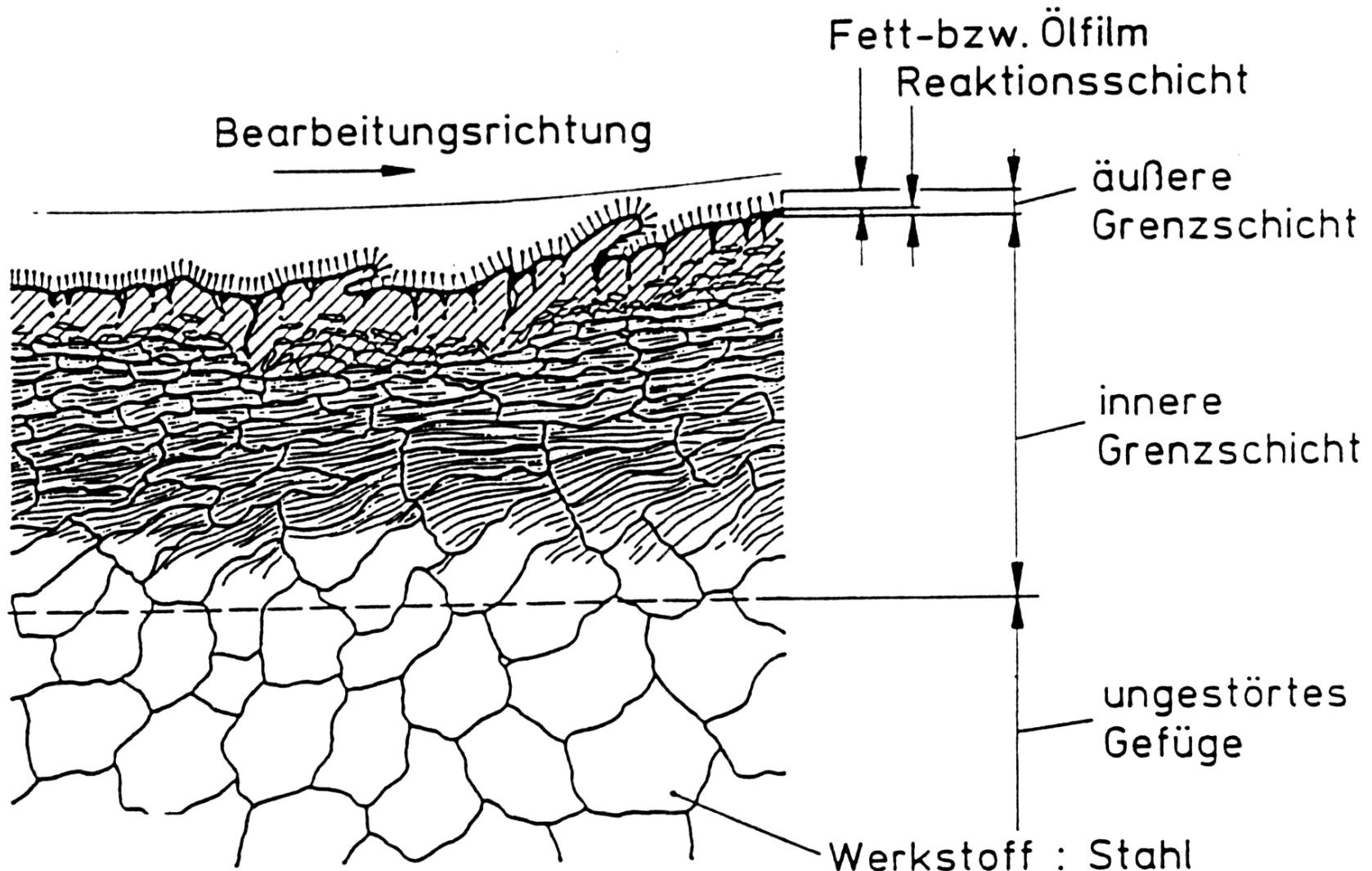
Br 0434





Rob 0068





Quelle: v. Weingraber



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Br 0138

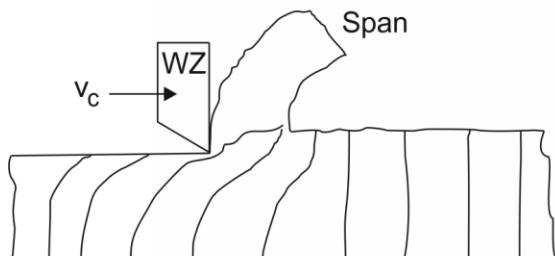
Grenzschichten eines bearbeiteten Werkstücks



a)  $f = 0,21 \text{ mm/Hub}$   
 $\gamma = 20^\circ, \lambda = -11^\circ$



b)  $f = 0,43 \text{ mm/Hub}$   
 $\gamma = -9^\circ, \lambda = 3^\circ$



Werkstückstoff: Stahl C45  
 $v_c = 45 \text{ m/min}$   
 $a_p = 2,5 \text{ mm}$   
Hartmetall  
 $\chi = 53^\circ$   
 $r = 1 \text{ mm}$   
Ätzmittel:  $\text{HNO}_3$  1%ig

50  $\mu\text{m}$

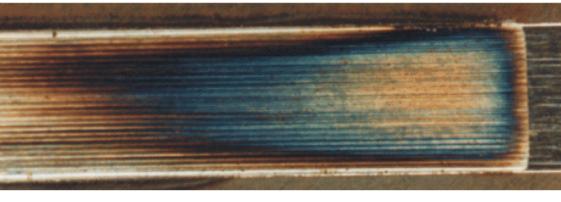
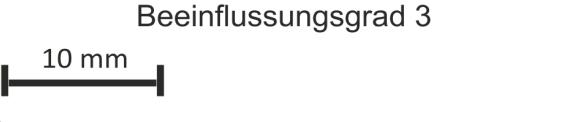
Quelle: vgl. Diss. Tönshoff, 1966

Pal 0107



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Kornverformung in Oberflächennähe durch Hobeln

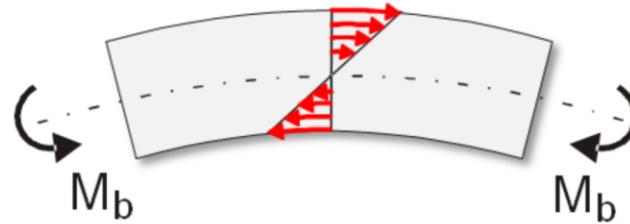
Abbildung	Charakterisierung
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Verfärbung im Nutauslauf</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gelblich, goldene Verfärbung im Nutauslauf</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Braune Verfärbung im Nutauslauf</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Blaue bis schwarze Verfärbung im Nutauslauf</li> </ul>
 Beeinflussungsgrad 3	



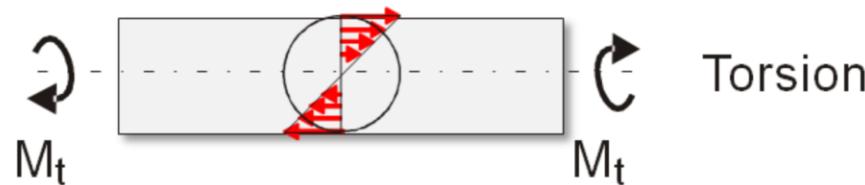
Zugbelastung



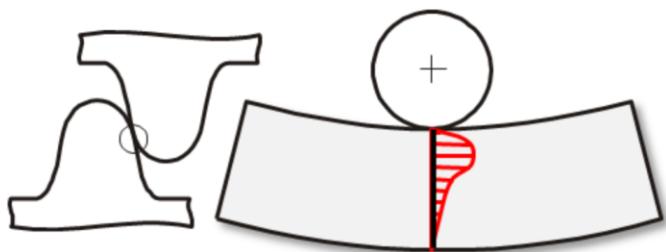
Biegung



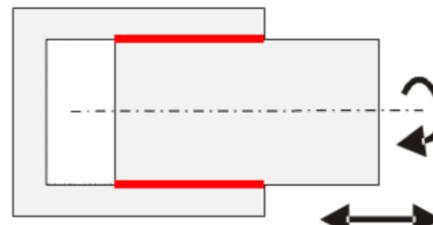
Torsion



Wälzfestigkeit



tribologische Beanspruchung

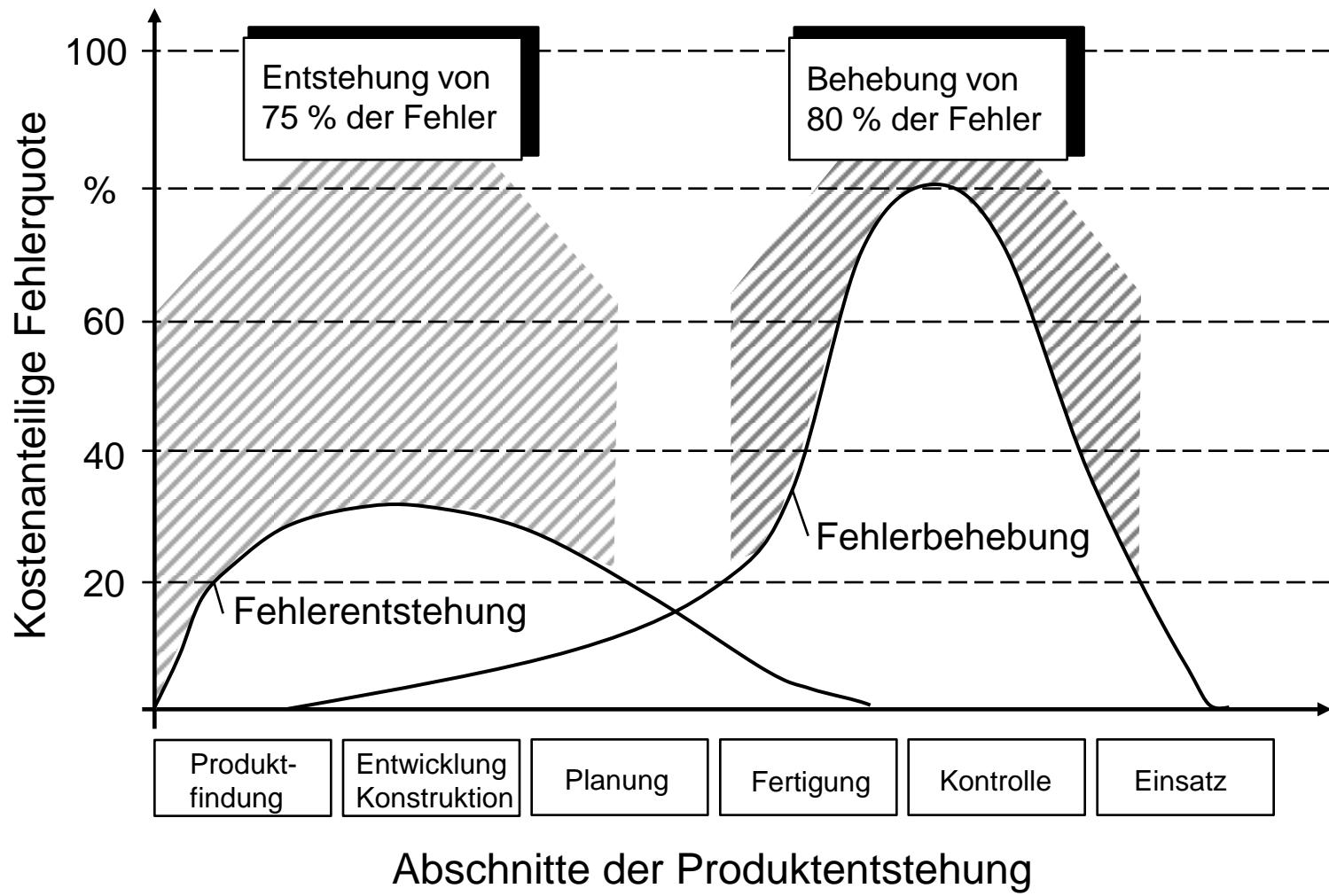


Korrosion,  
chem. Reaktionen



Pal 0109





Red 0018



$$K = K_E + \frac{K_{AW}}{L} + \frac{K_{VOR}}{A \cdot L} + K_{FO} \left[ \frac{\epsilon}{\text{Stück}} \right]$$

K Fertigungskosten je Werkstück

$K_E$	Fertigungseinzelkosten	Zeitproportionale Lohn- und Maschinenkosten, Werkzeugkosten
$K_{AW}$	Auftragswiederholungskosten	Kosten für das Einrichten der Maschine und Fertigungssteuerung
$K_{VOR}$	Vorbereitungskosten	Kosten werkstückgebundener Lehren und Vorrichtungen, NC-Programme etc.
$K_{FO}$	Folgekosten	Lagerkosten, Anpassarbeiten

L: Losgröße, A: Auftragswiederholzahl, A\*L: Gesamtstückzahl

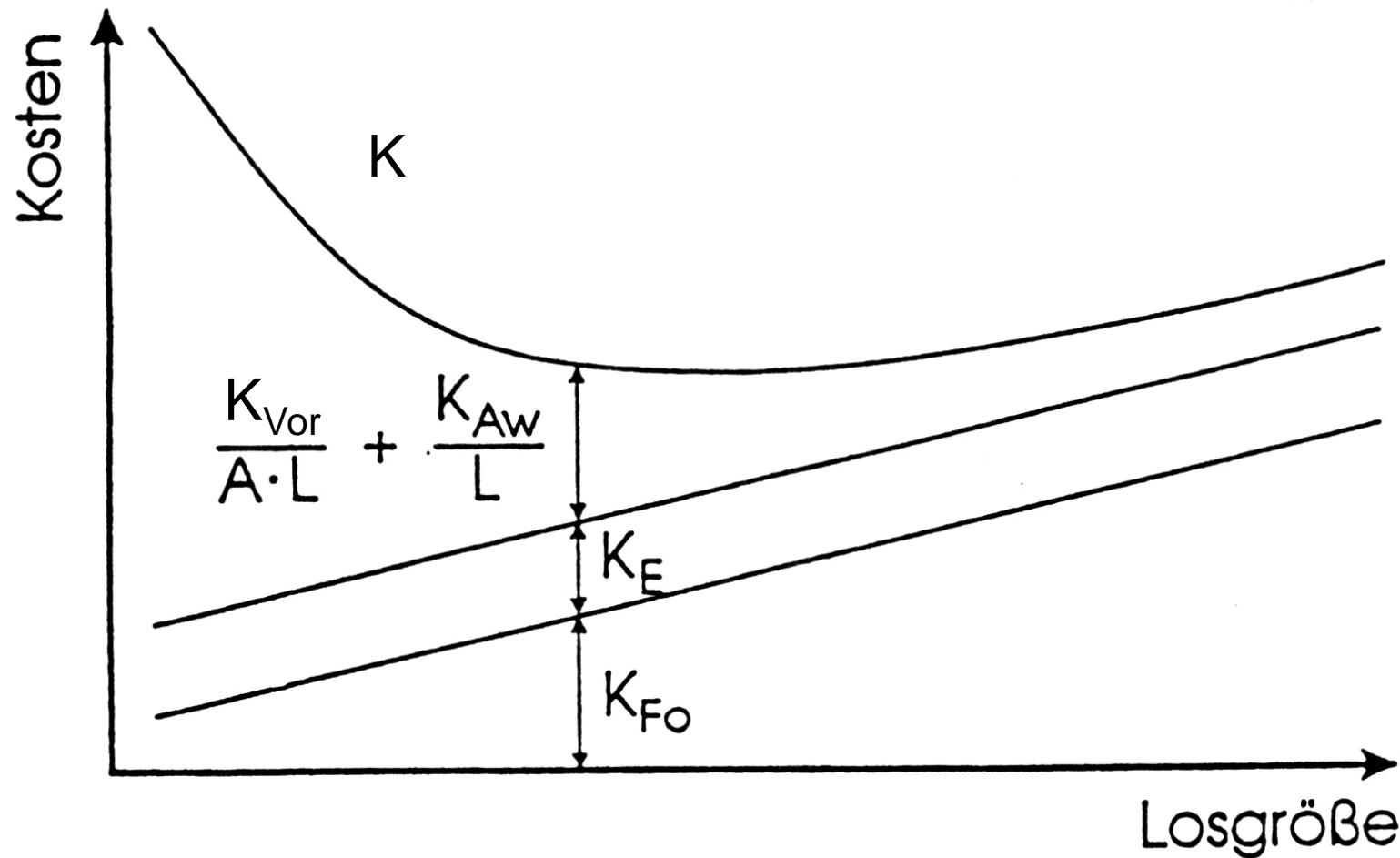
für n Teilvorgänge gilt:

$$K = \sum_{i=1}^n \left( K_{Ei} + \frac{K_{AWi}}{L} + \frac{K_{VORi}}{A \cdot L} + K_{FOi} \right) \left[ \frac{\epsilon}{\text{Stück}} \right]$$

Quelle: VDI - Richtlinie 3221

Br 0424

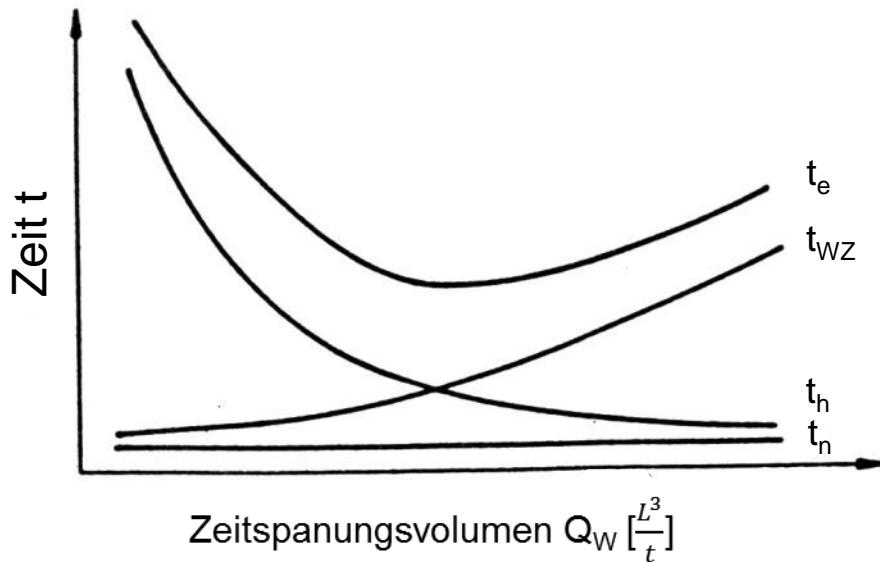




Br 0436



## Hochkonjunktur

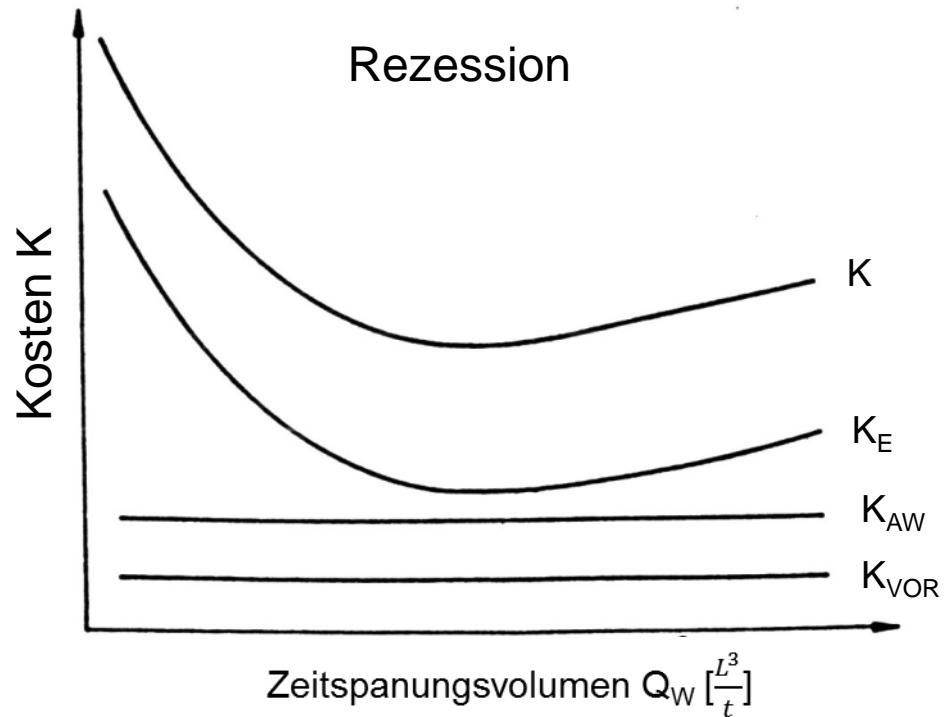


- |          |   |
|----------|---|
| $t_e$    | Zeit je Werkstück                                       |
| $t_h$    | Hauptnutzungszeit                                       |
| $t_n$    | Nebennutzungszeit                                       |
| $t_{wz}$ | anteilige Werkzeugwechselzeit<br>infolge Standzeitendes |

$$t_e = t_h + t_n + t_{wz}$$

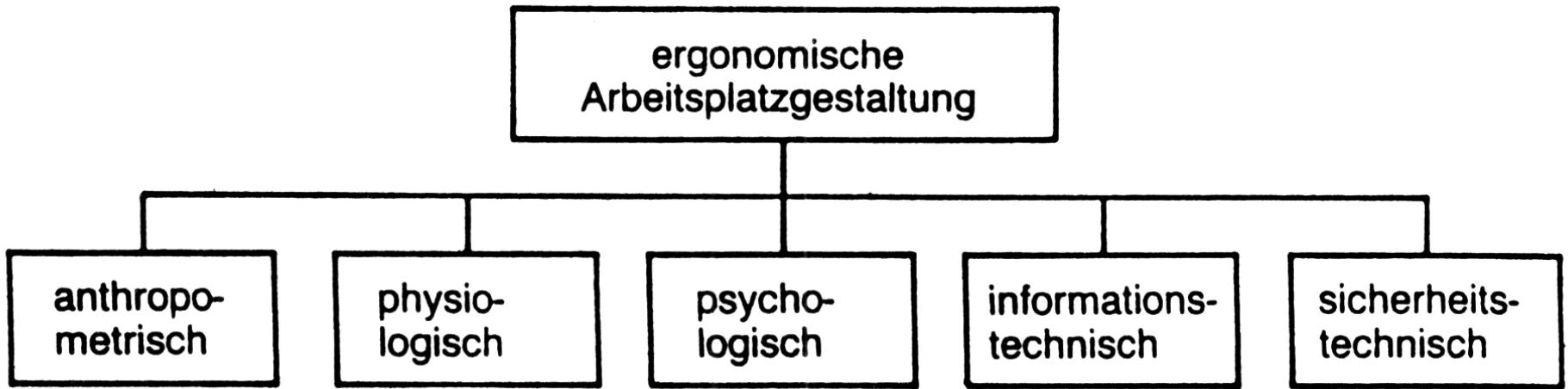
Quelle: Saljé

## Rezession



- |           |                               |
|-----------|-------------------------------|
| $K$       | Fertigungskosten je Werkstück |
| $K_E$     | Fertigungseinzelkosten        |
| $K_{AW}$  | Auftragswiederholkosten       |
| $K_{VOR}$ | Vorbereitungskosten           |





Quelle: REFA



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Br 0385

Aspekte ergonomischer Arbeitsplatzgestaltung

# So sitzen Sie richtig

## Ergonomie am PC-Arbeitsplatz

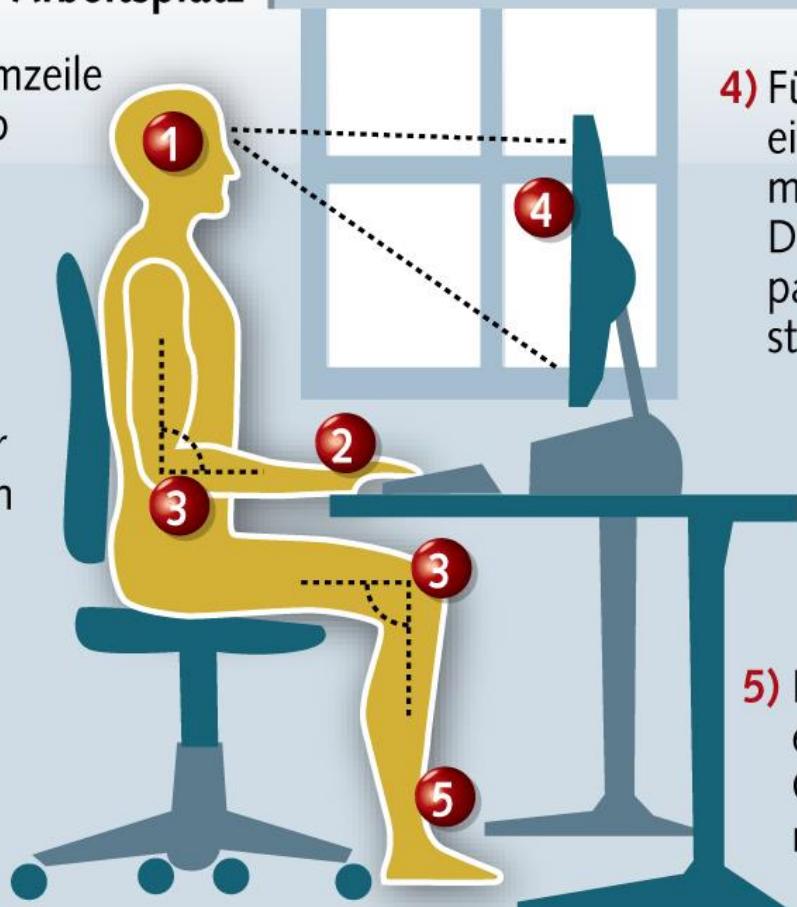
1) Die oberste Bildschirmzeile sollte leicht unterhalb der waagerechten Sehachse liegen.

2) Tastatur und Maus befinden sich in einer Ebene mit Ellenbogen und Handflächen.

3) 90° Winkel zwischen Ober- und Unterarm sowie Ober- und Unterschenkel

4) Für den Monitor gilt ein Sichtabstand von mindestens 50 cm. Der Bildschirm sollte parallel zum Fenster stehen.

5) Die Füße benötigen eine feste Auflage. Ggf. Fußhocker nutzen.



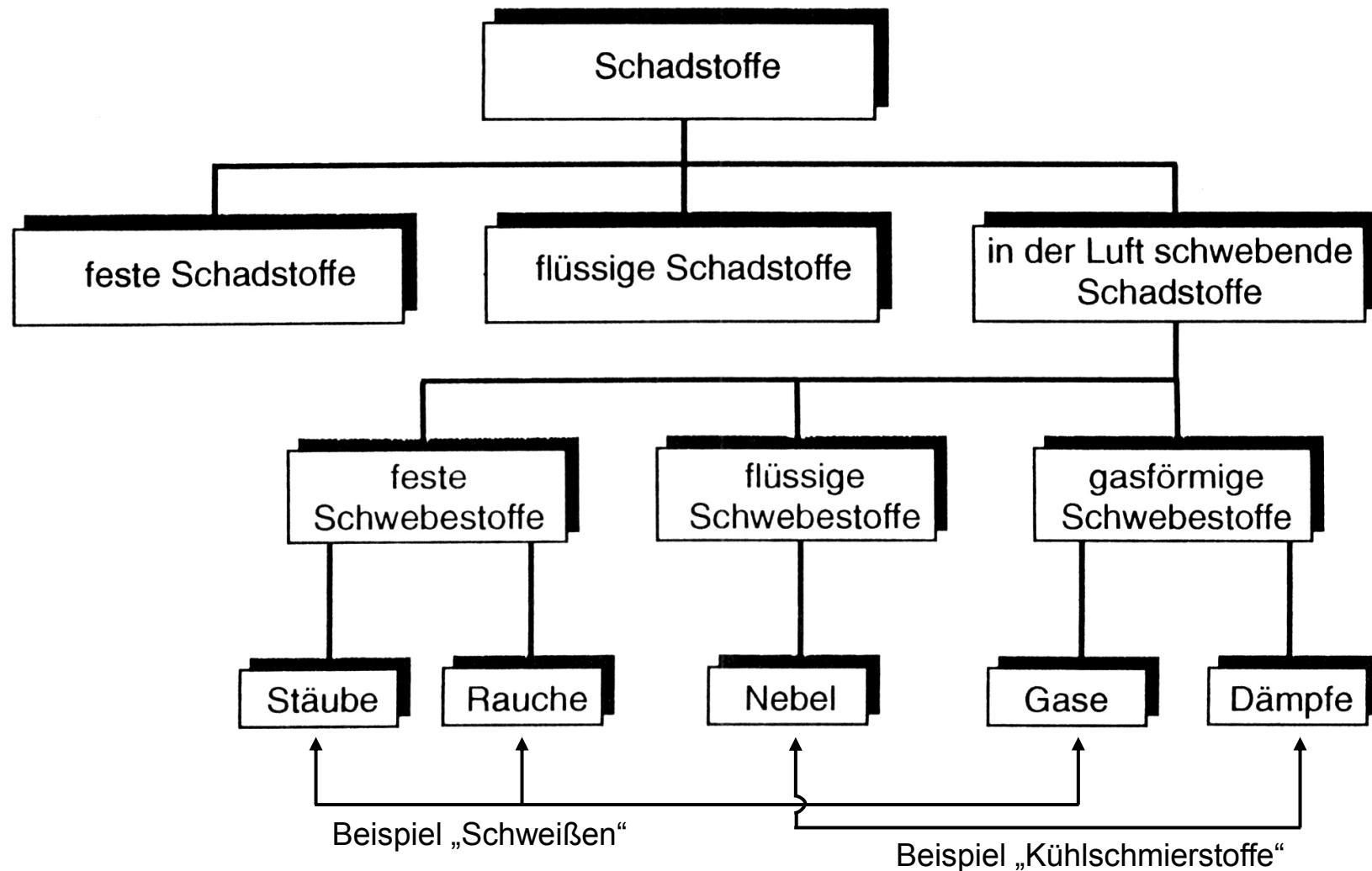
Quelle: BITKOM

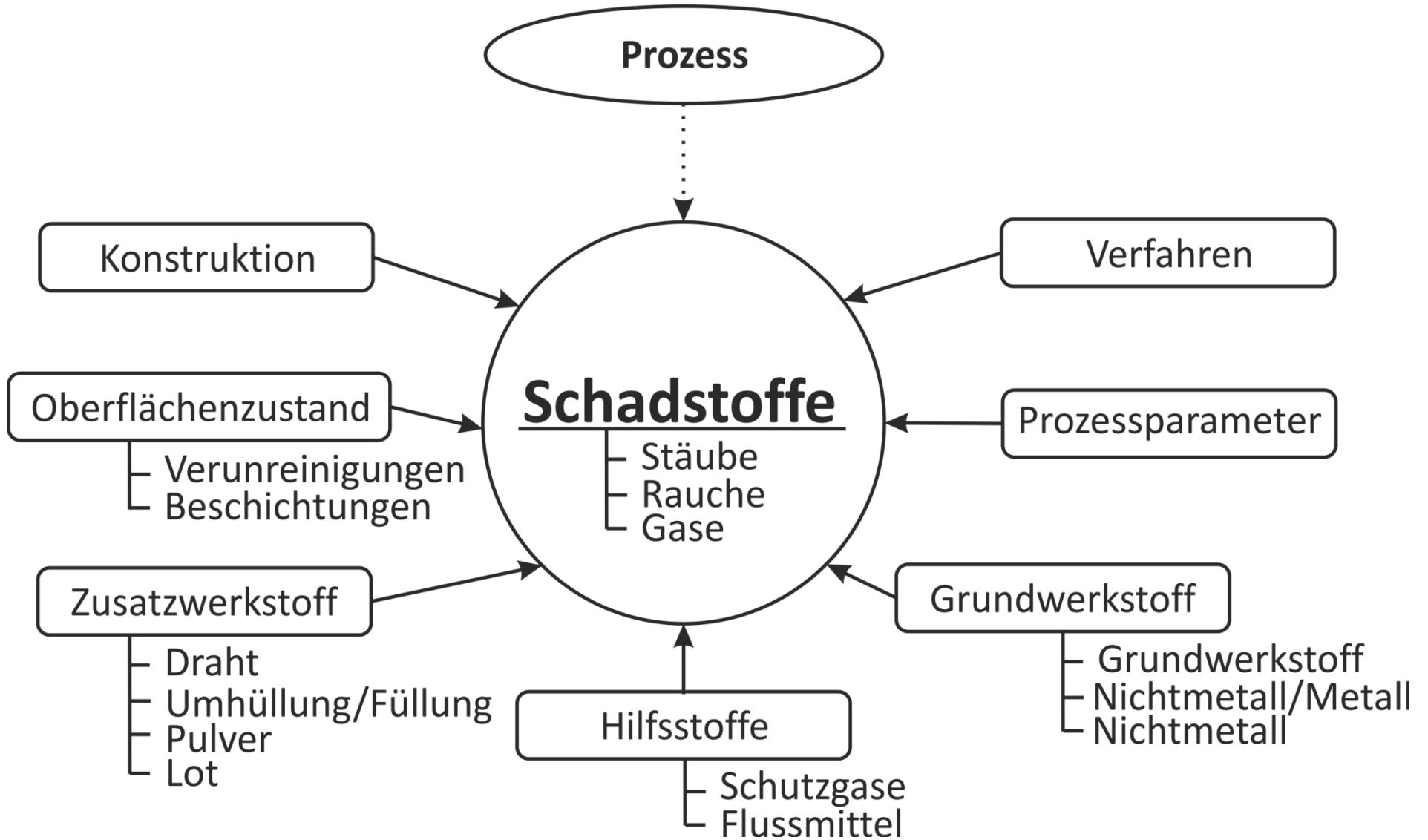
BITKOM



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ergonomische Gestaltung eines PC-Arbeitsplatzes

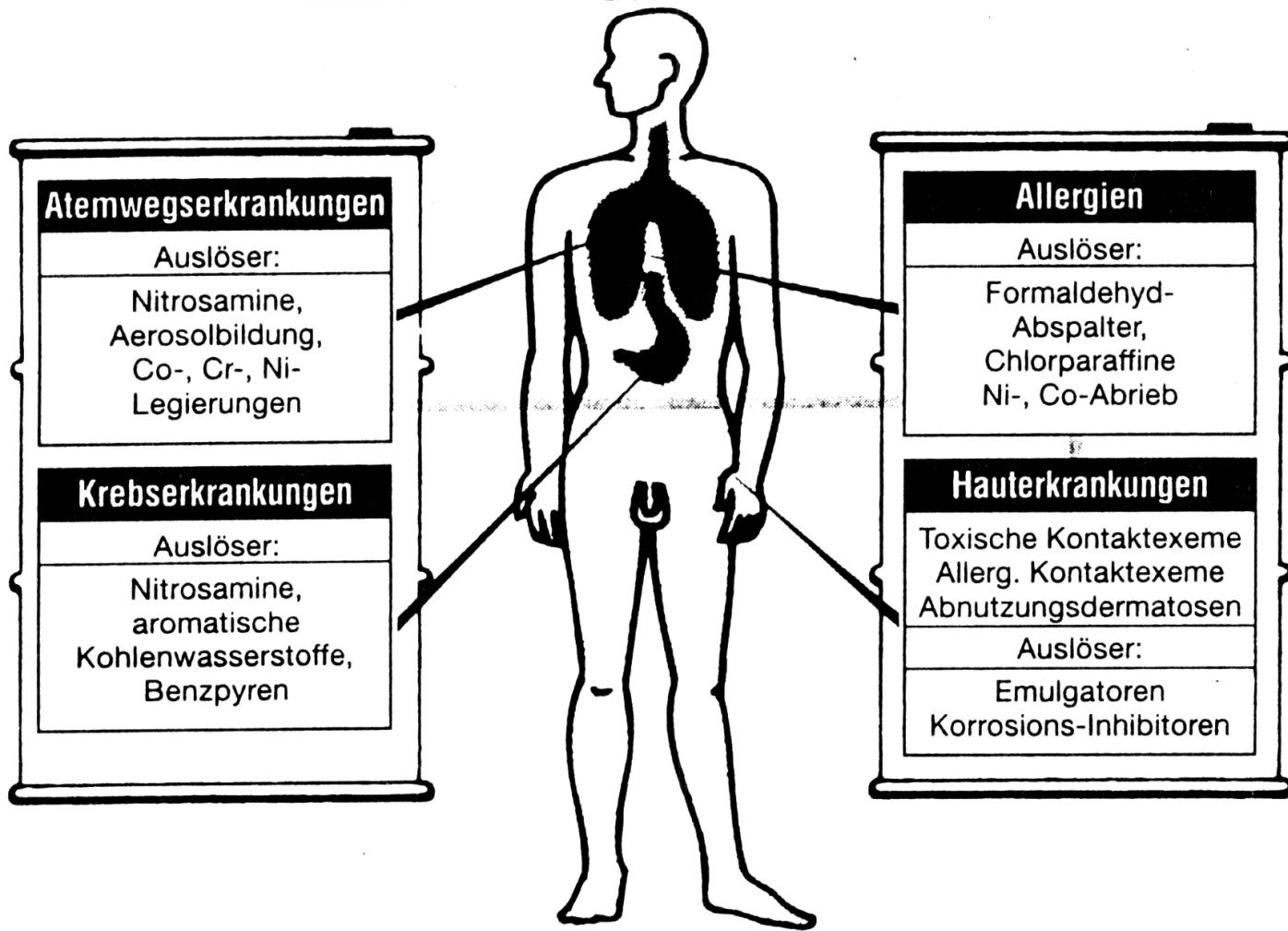




Quelle: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik, 2005

Pal 0104





Quelle: Gühring

Wa 0122



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

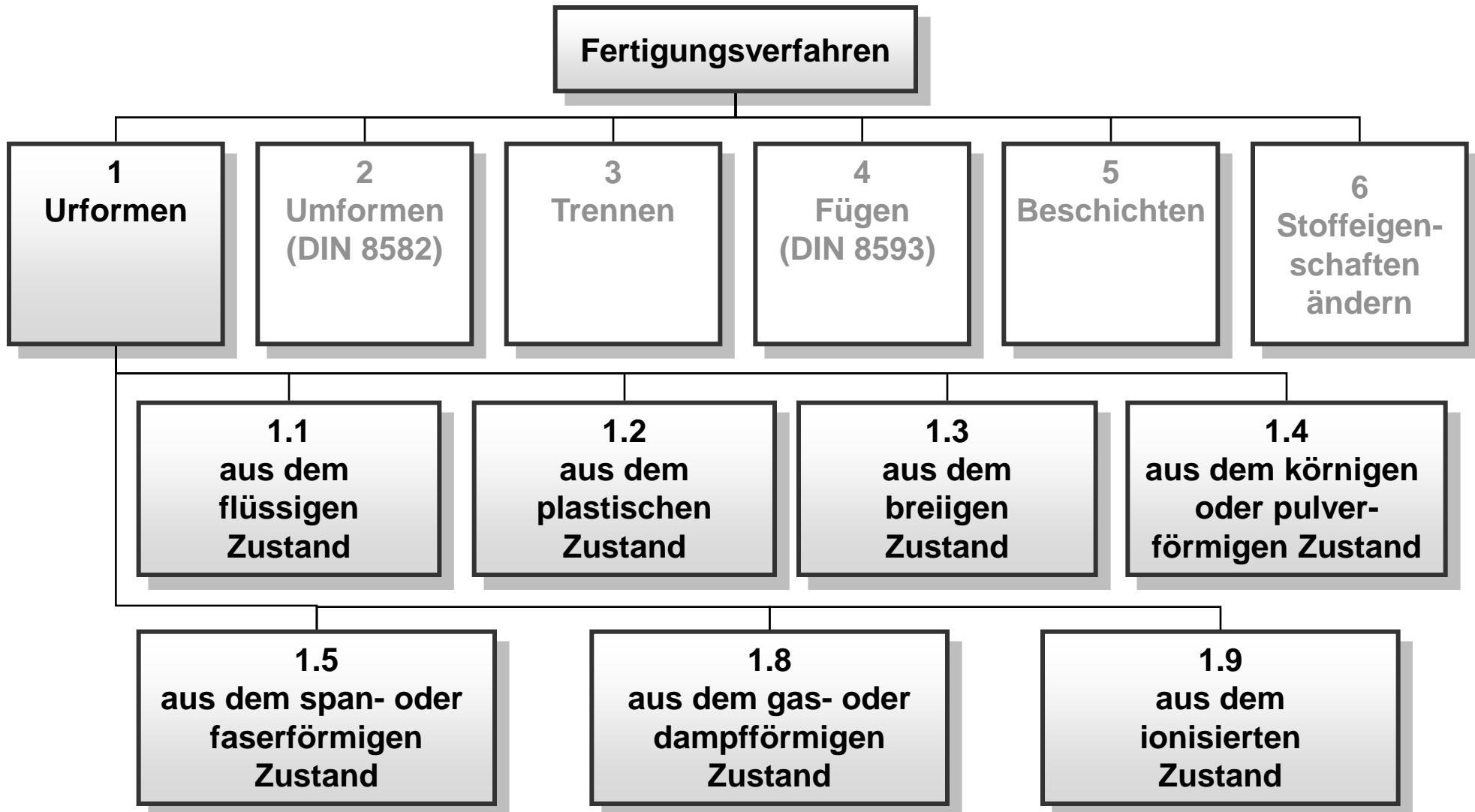
Gesundheitsschädliches Gefährdungspotenzial  
von Kühlenschmierstoffen

# Grundlagen der Fertigungstechnik

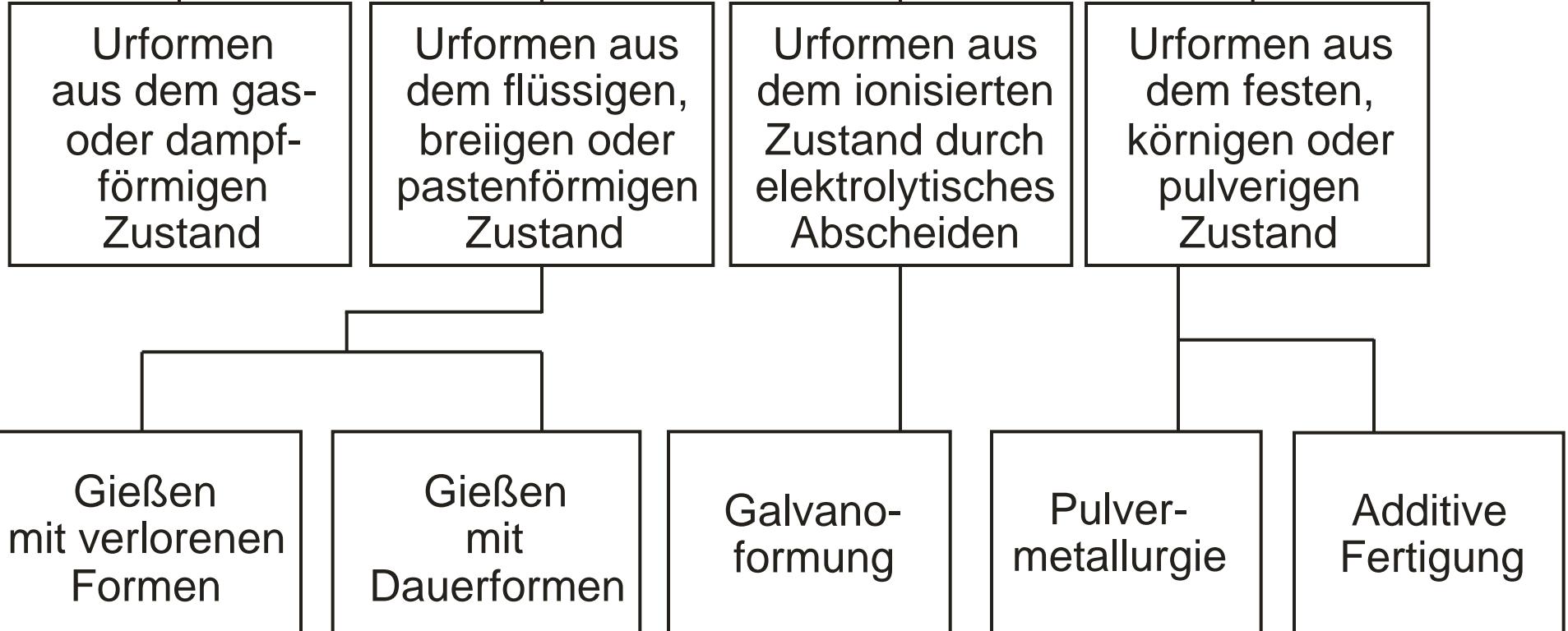
Modul Produktionstechnik

Kapitel 3: Urformen





# ***Urformen***



Quelle: VDI

- Extrem weitgehende Freiheit der konstruktiven Gestaltung.
- Leichte Anpassung der Konturen (auch im Inneren) an die Bauteilfunktion und die auftretenden Beanspruchungen.
- Berücksichtigung lokaler Beanspruchungen durch gezieltes Einstellen von Gefügeunterschieden.
- Integration vieler Funktionen in einem Bauteil.
- Formgebung von Werkstoffen, die sich sonst weder umformen noch spanend bearbeiten lassen.
- Herstellung von Großserienprodukten mit hoher Reproduzierbarkeit.
- Hohe Wirtschaftlichkeit, Schonung von Rohstoff- und Energieressourcen.

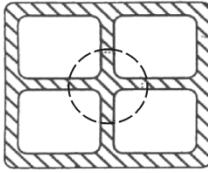
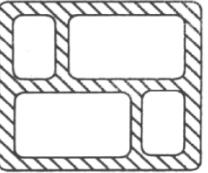
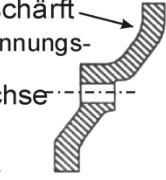
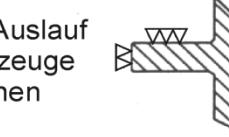
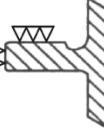
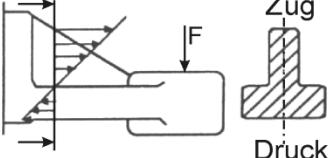
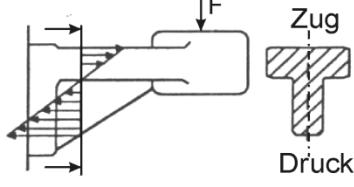


Quelle: nach konstruieren + gießen

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Bri 0478

Vorteile des Gießens

ungünstig	günstig
	
	 <p>Kanten entschärft besserer Spannungsverlauf Bohrungssachse Werkstück</p>
	 <p>gute Spannungsübertragung konstante Wanddicken</p>
	
	

Quelle: Warnecke



## Gießen in verlorene Formen

Hohl- und Vollform-gießen

Modellausschmelz-verfahren

Maskengießen

Keramikformen

## Gießen in Dauerformen (ohne Modelle)

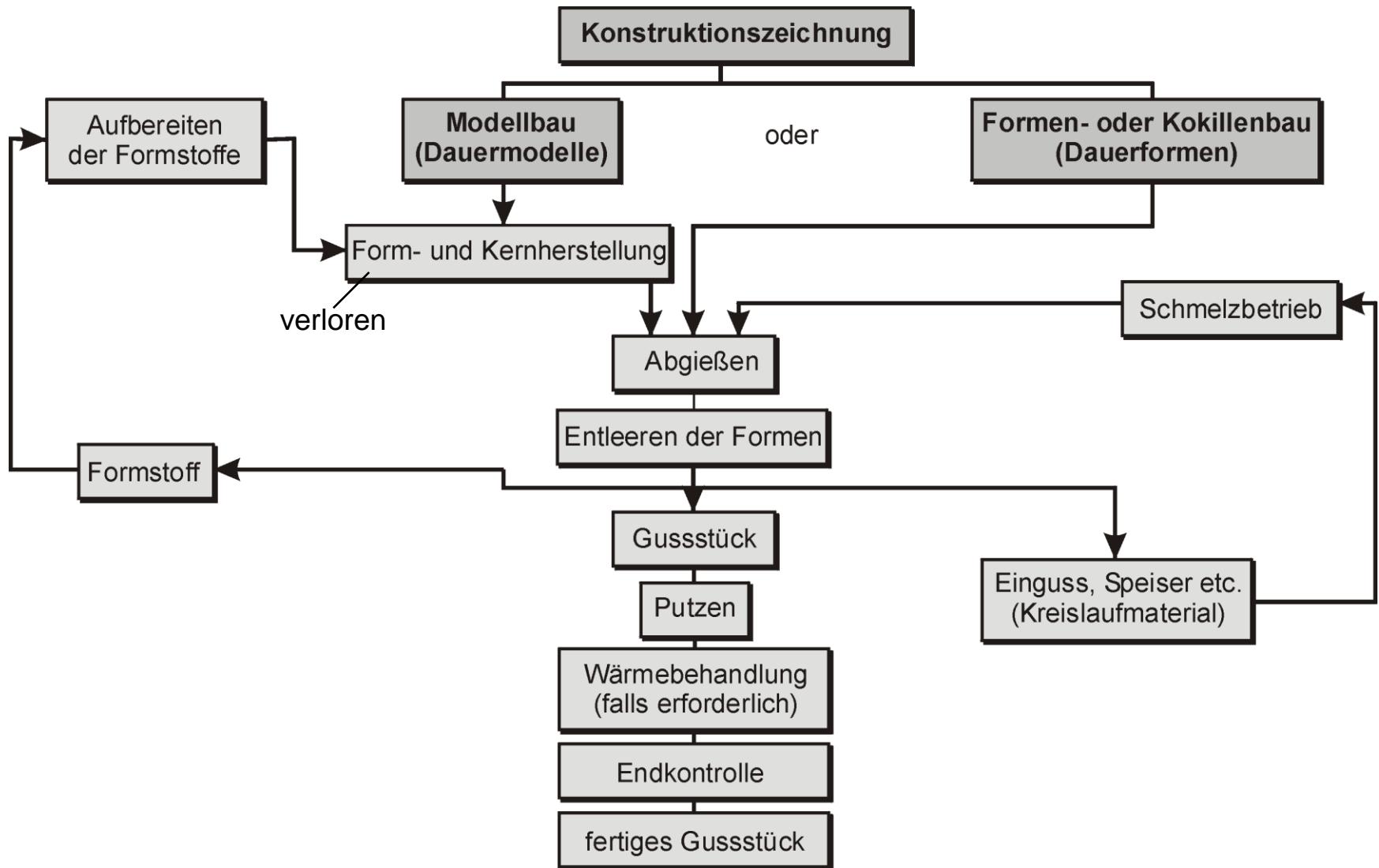
Druckgießen

Schleudergießen/  
Zentrifugalkraft-gießen

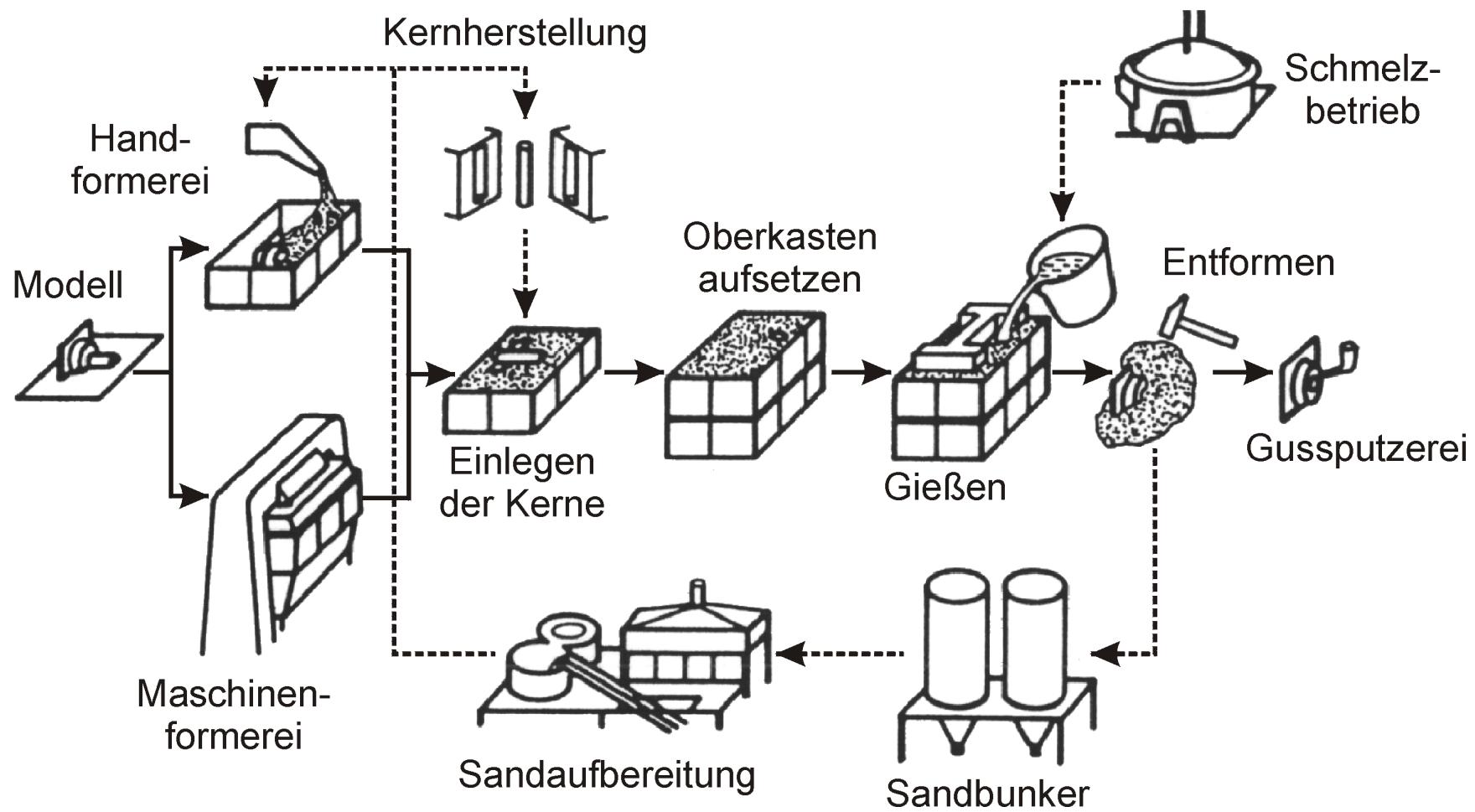
Kokillengießen/  
Schwerkraftgießen

Stranggießen





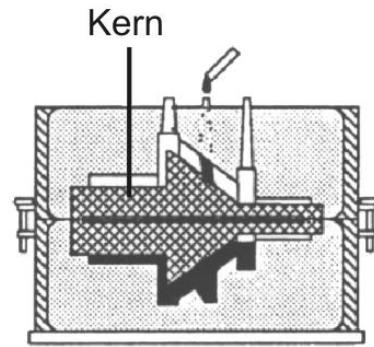
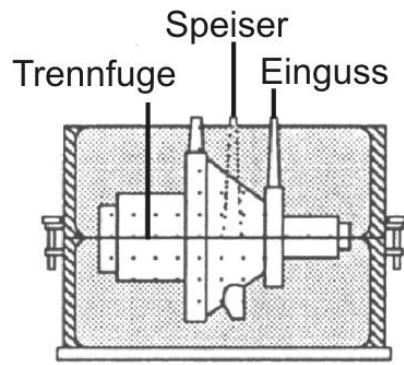
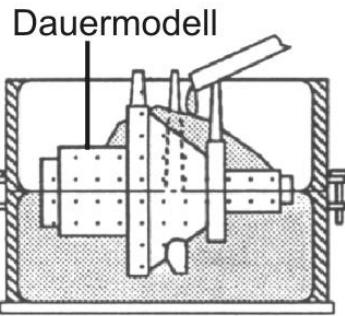
Quelle: nach ZGV



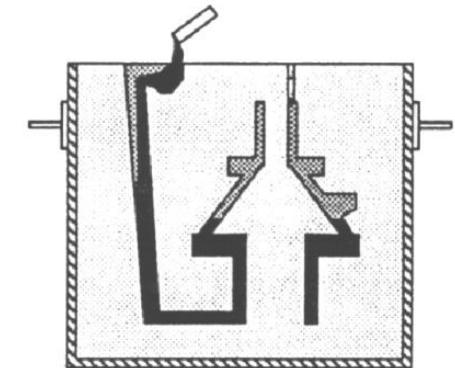
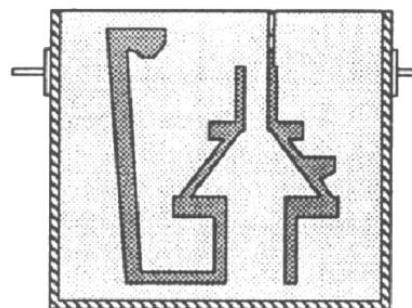
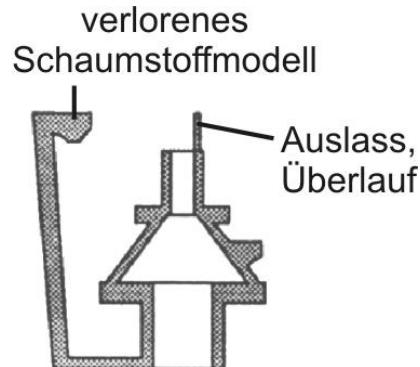
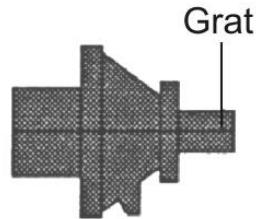
Quelle: Spur, Stöferle

Rick 017





Hohlformgießen

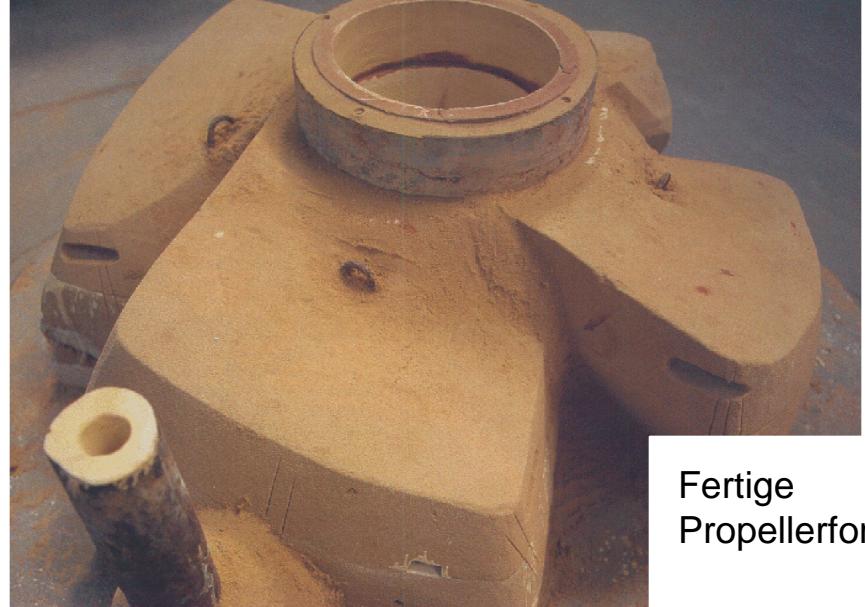


Vollformgießen





Herstellung  
der Gussform  
aus Nasssand



Fertige  
Propellerform



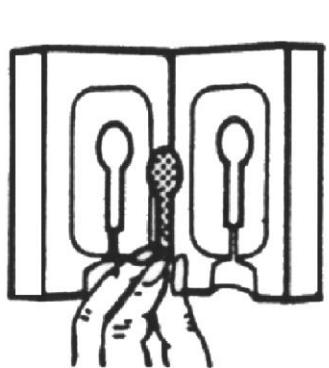


Feinschliff zur  
Profil-  
abstimmung

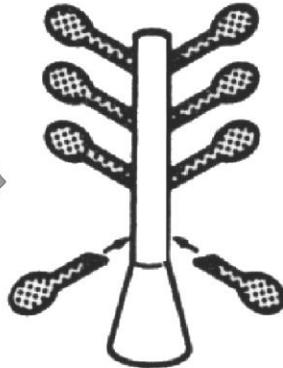


Fertiger  
Propeller

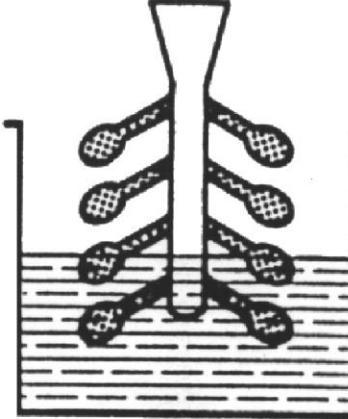




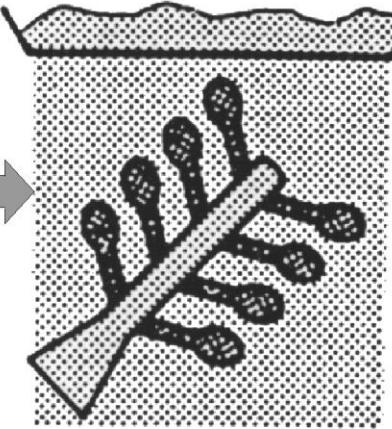
Gießen der  
Wachsmodelle



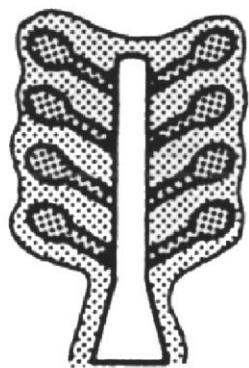
Zusammensetzen  
der Modelle



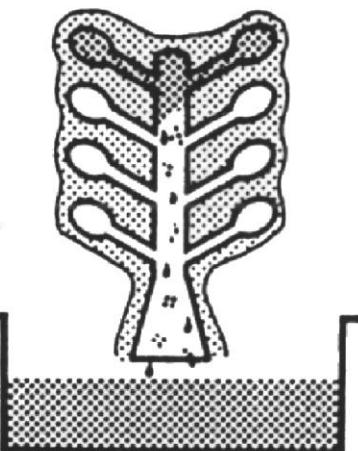
Tauchen in Keramik



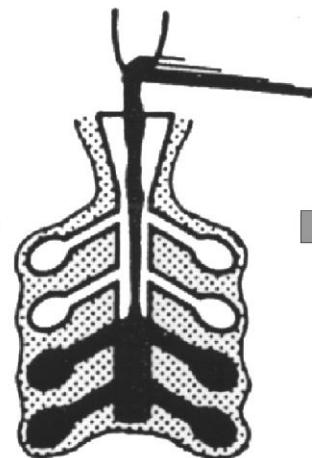
Besanden



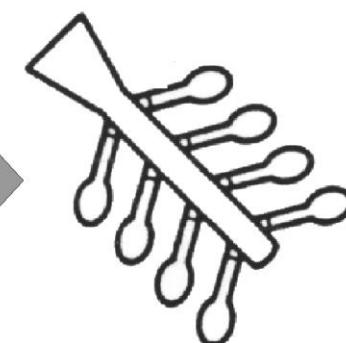
Hinterfüllen



Ausschmelzen



Gießen



Trennen

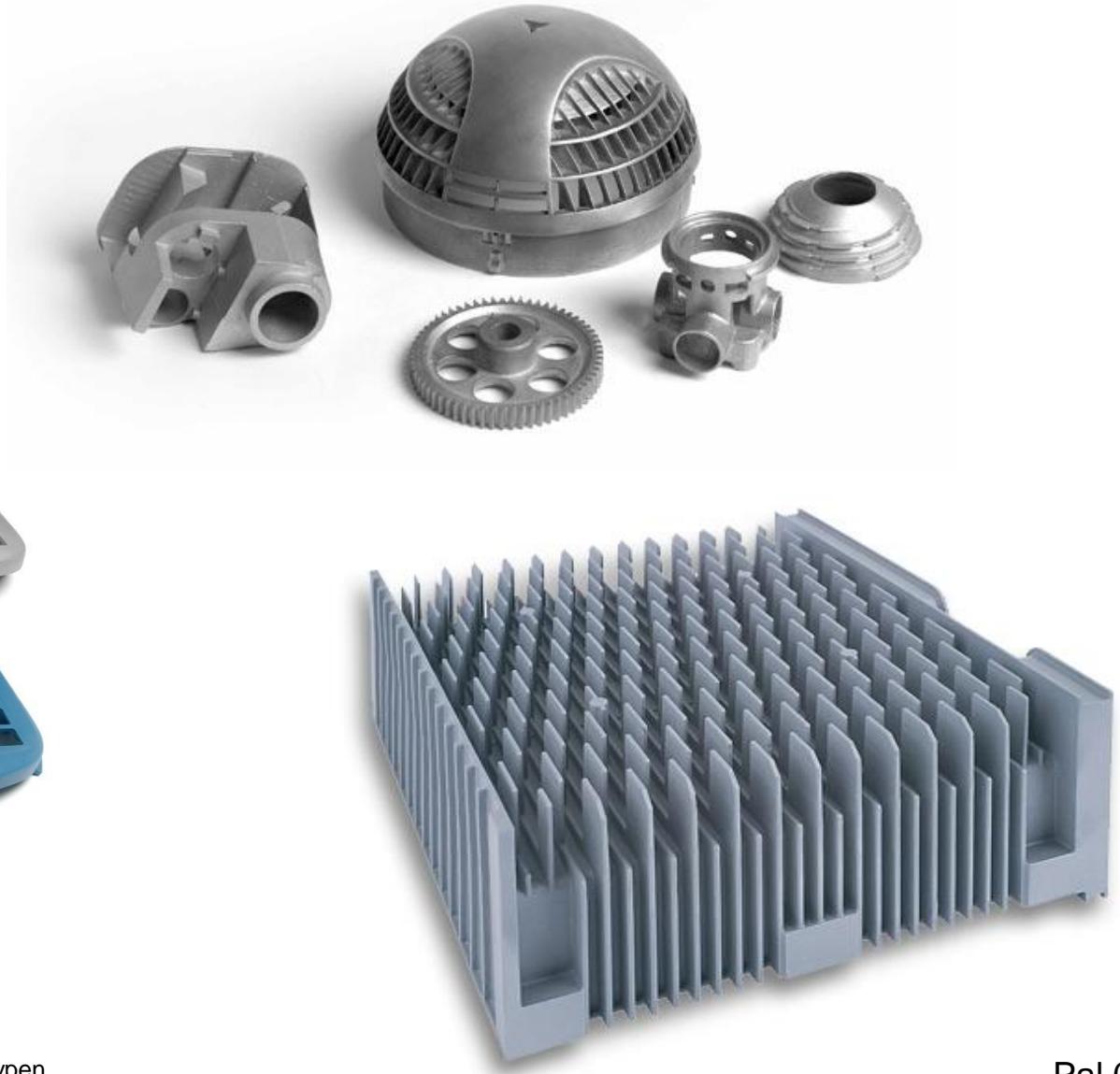


Quelle: Warnecke

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ma 0061

Fertigungsablauf beim Modellausschmelzverfahren



Quelle: Feinguss Blank, PTZ Prototypen

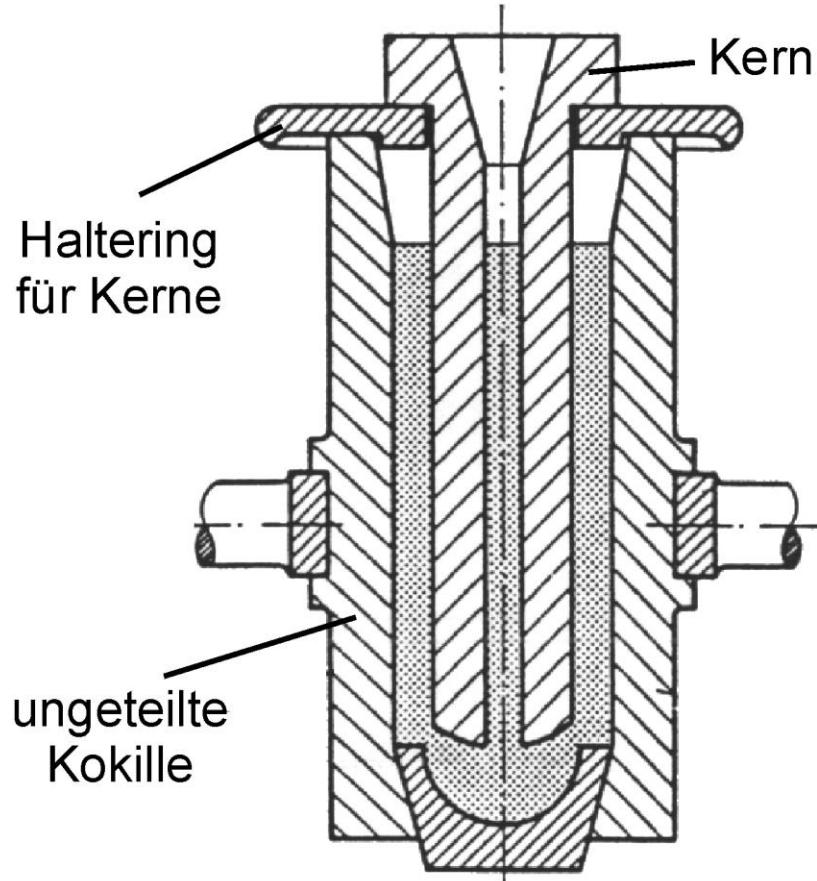
Pal 0121



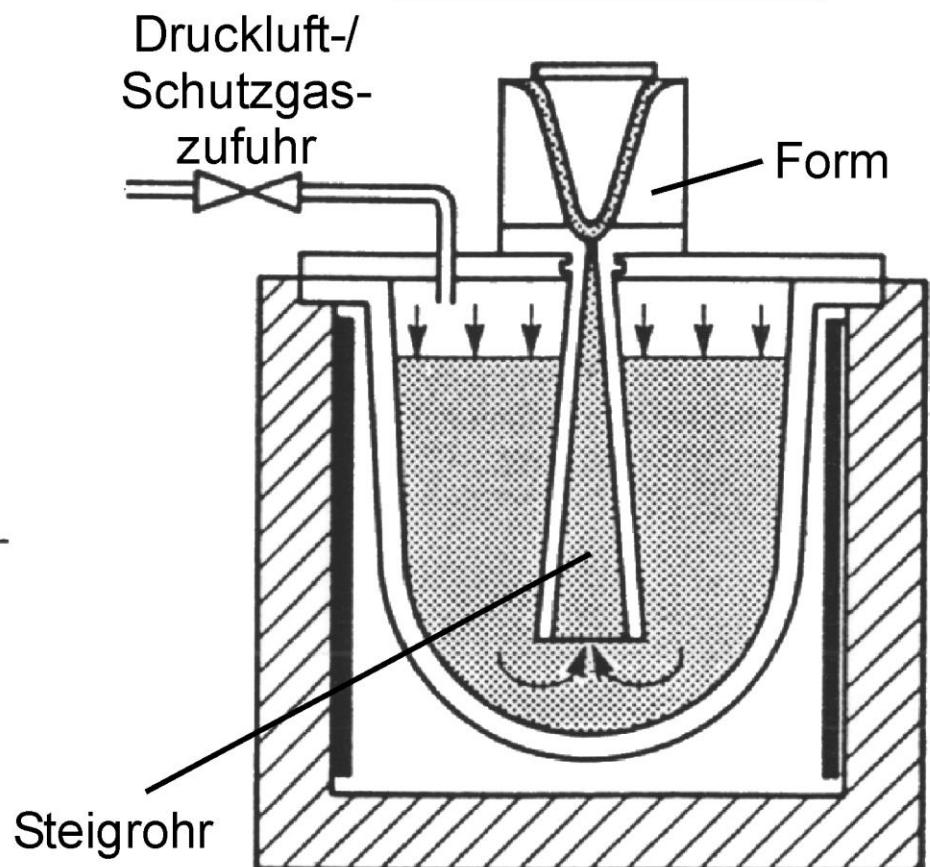
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Beispiele für Feingussbauteile

## Schwerkraft-Kokillengießen



## Niederdruck-Kokillengießen



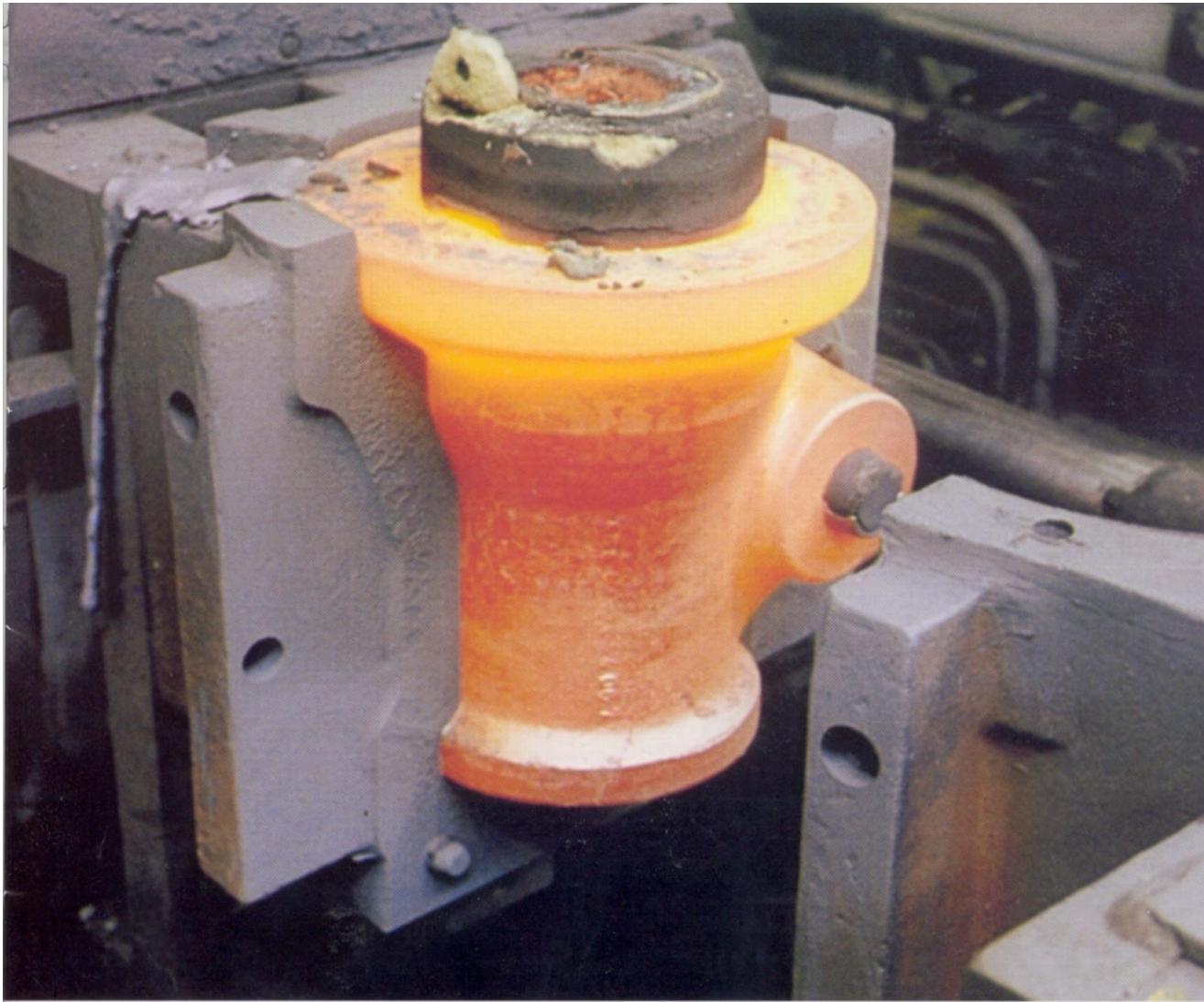
Quelle: Warnecke



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ma 0062

Schwerkraft- und Niederdruck-Kokillengießverfahren



Quelle: konstruieren + gießen

Schoe 0001



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Kokillengießen von Leichtmetall



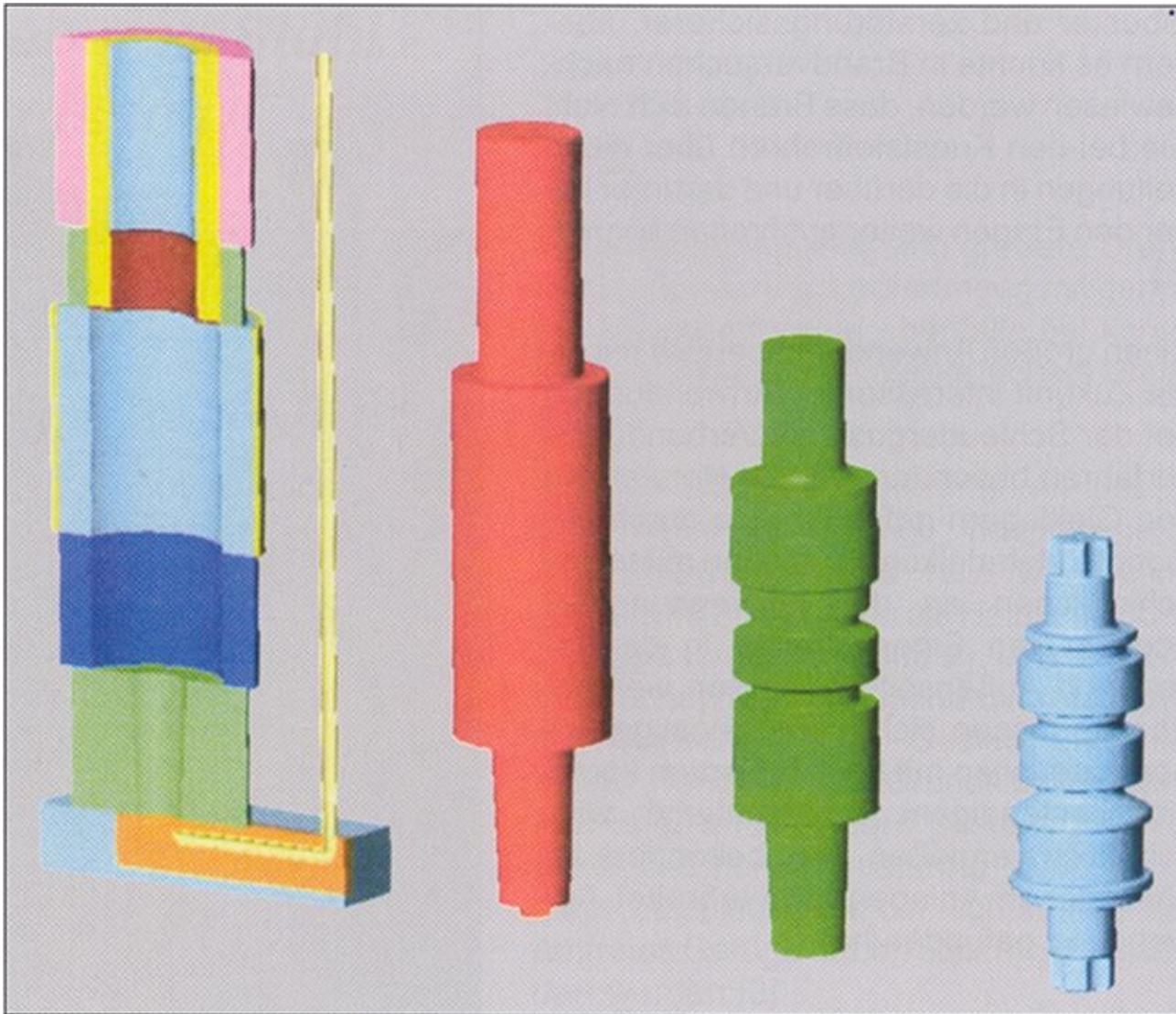
Quelle: konstruieren + giessen

Schoe 0004



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Gegossene Schienenwalze



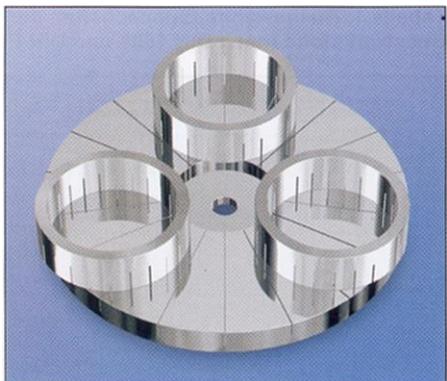
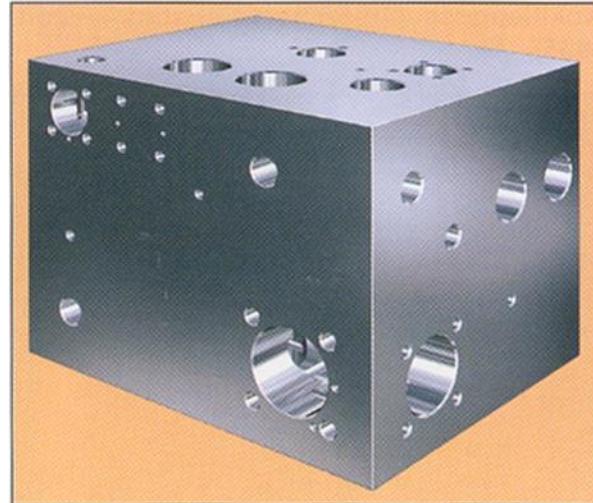
Quelle: konstruieren + giessen

Schoe 0005



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Herstellungsstufen einer Walze



Quelle: konstruieren + giessen

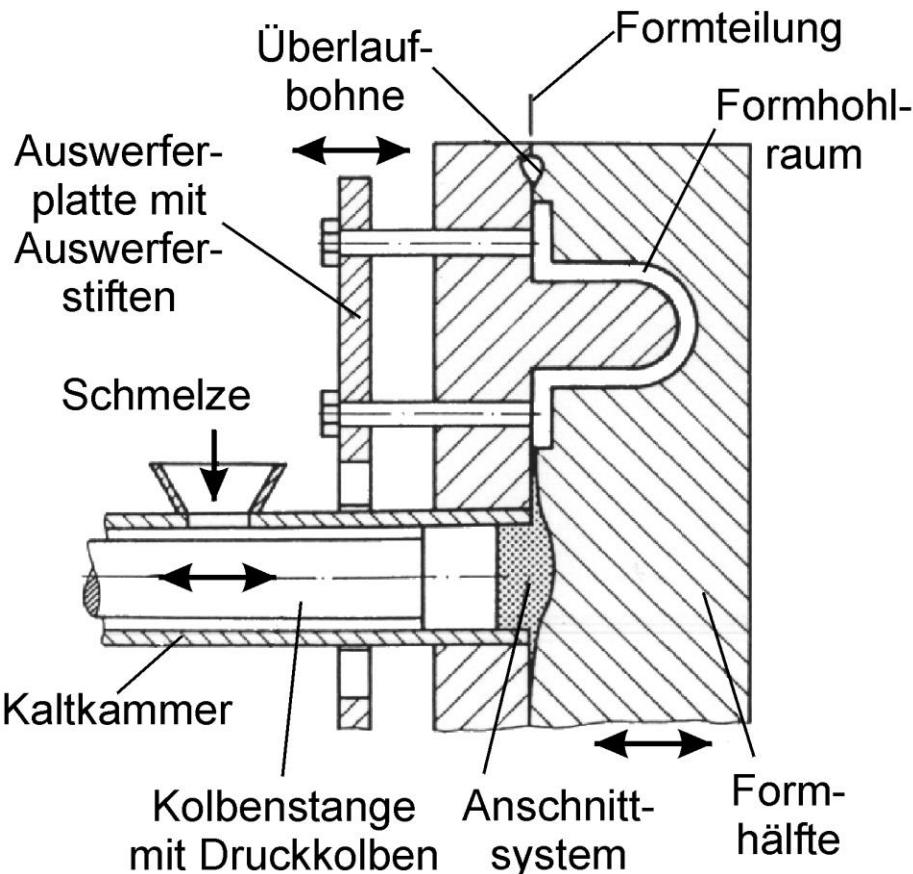


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

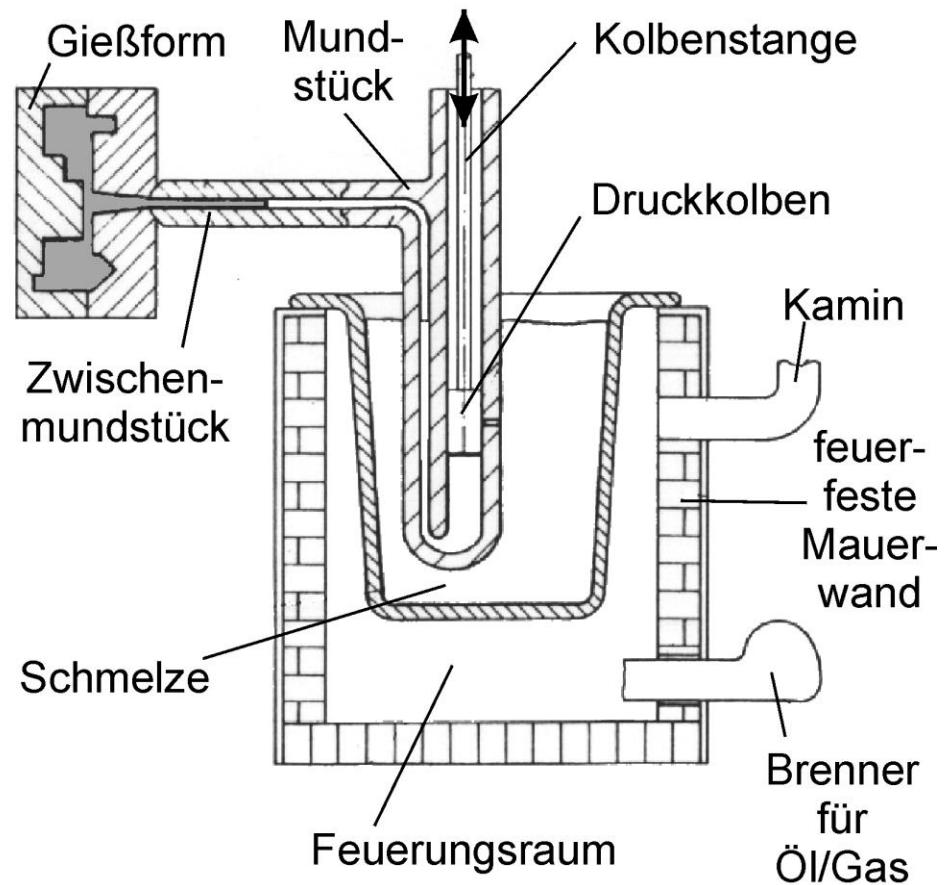
Schoe 0002

Beispiele für Kokillenguss-Bauteile

## Kaltkammergießen



## Warmkammergießen



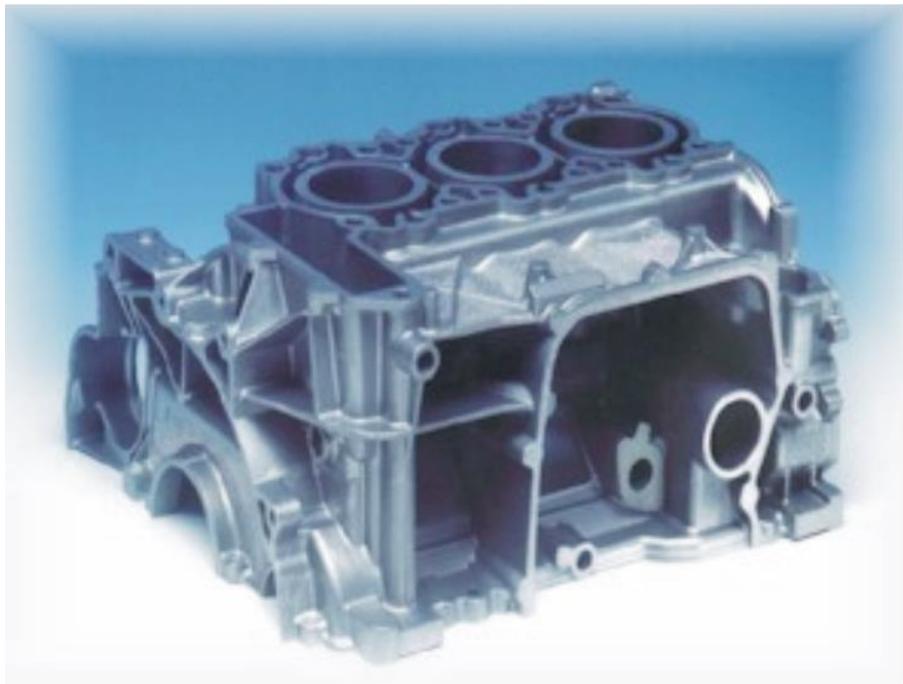
Quelle: Fritz/Schulze



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Br 0509

Vergleich von Druckgießverfahren



Kurbelgehäuse Porsche Boxster



Bauteil aus PKW-Automatikgetriebe



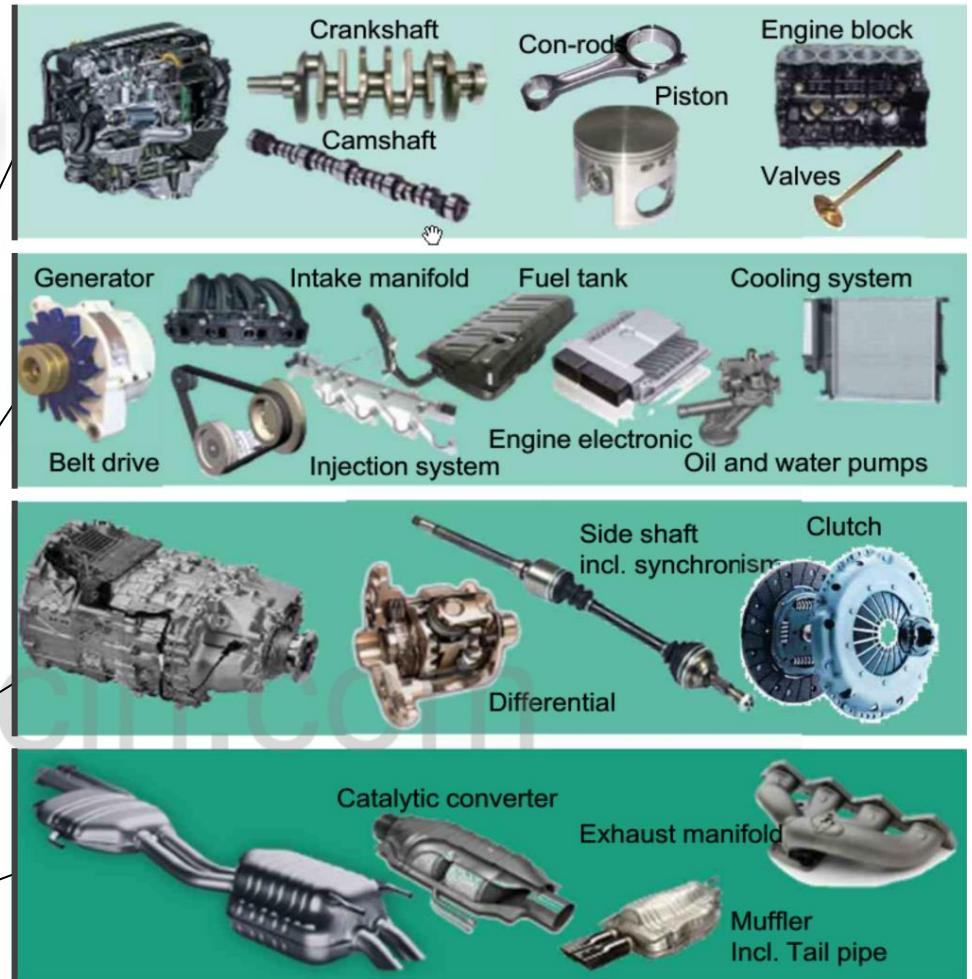
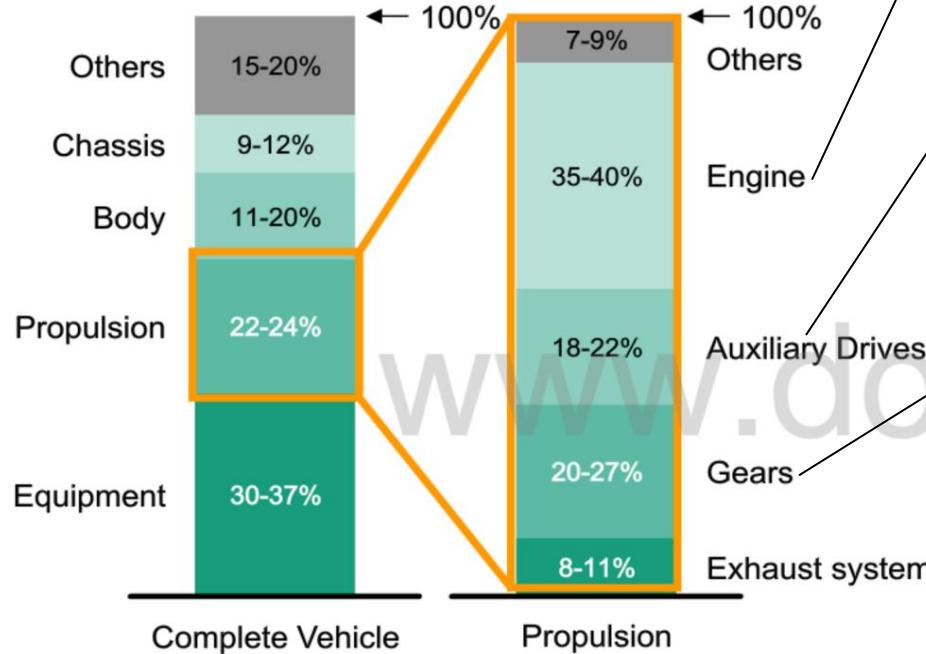
Quelle: AE Druckgusstechnik

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ma 0301

Beispiele für Druckgussteile

## Cost structure of a conventional vehicle

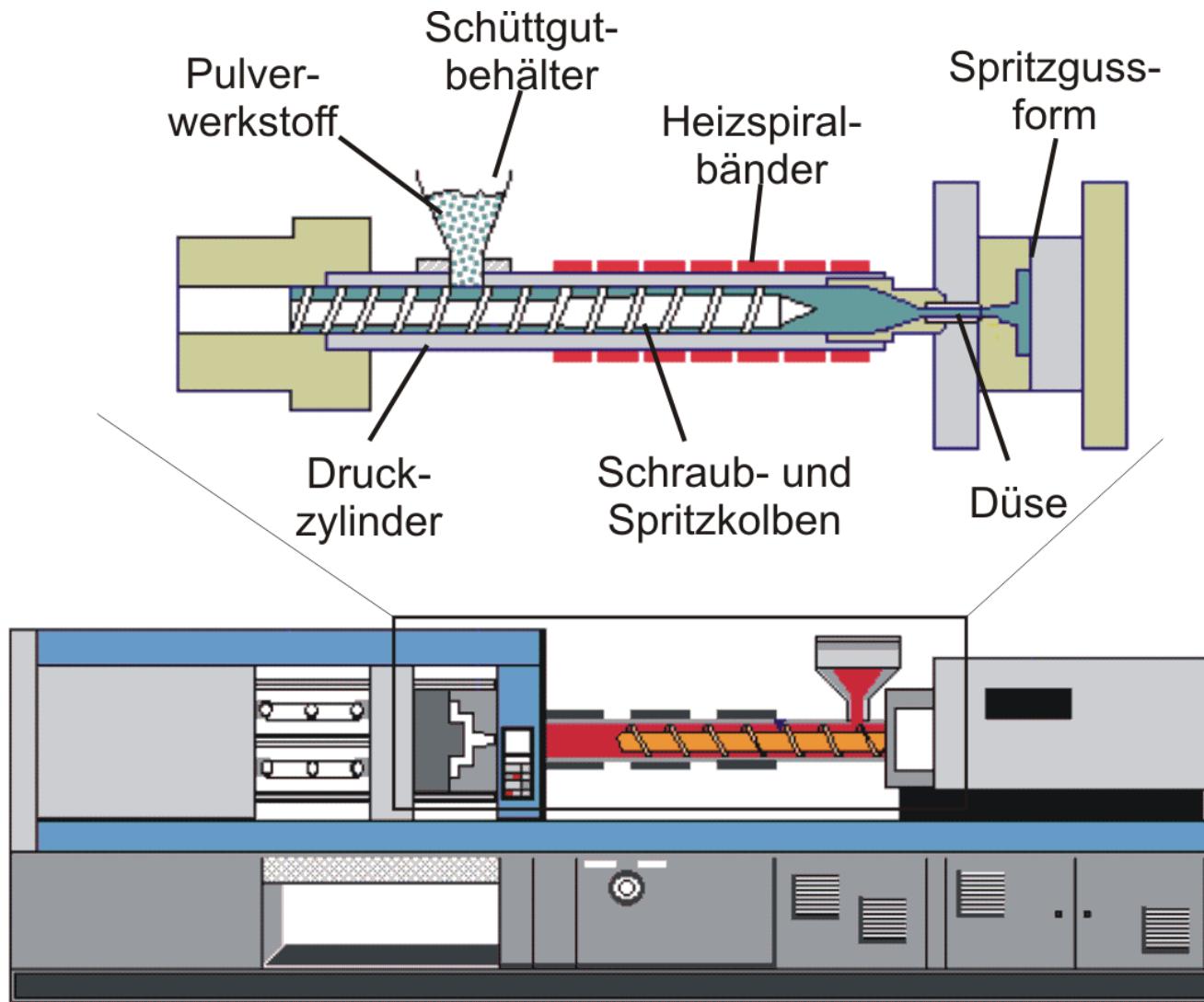


Quelle: BMW, ZF, WLZ, Fraunhofer IPT, docin.com



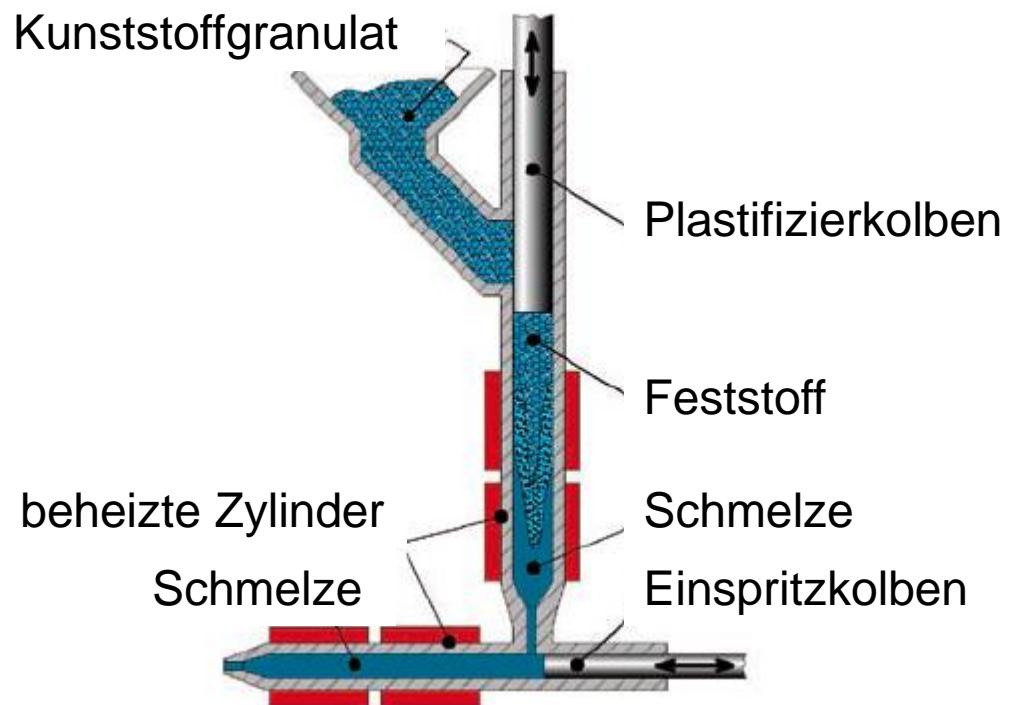
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Displacement of mechanical components from the powertrain  
by electric mobility



Rick 034





Quelle: Desma Tec



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

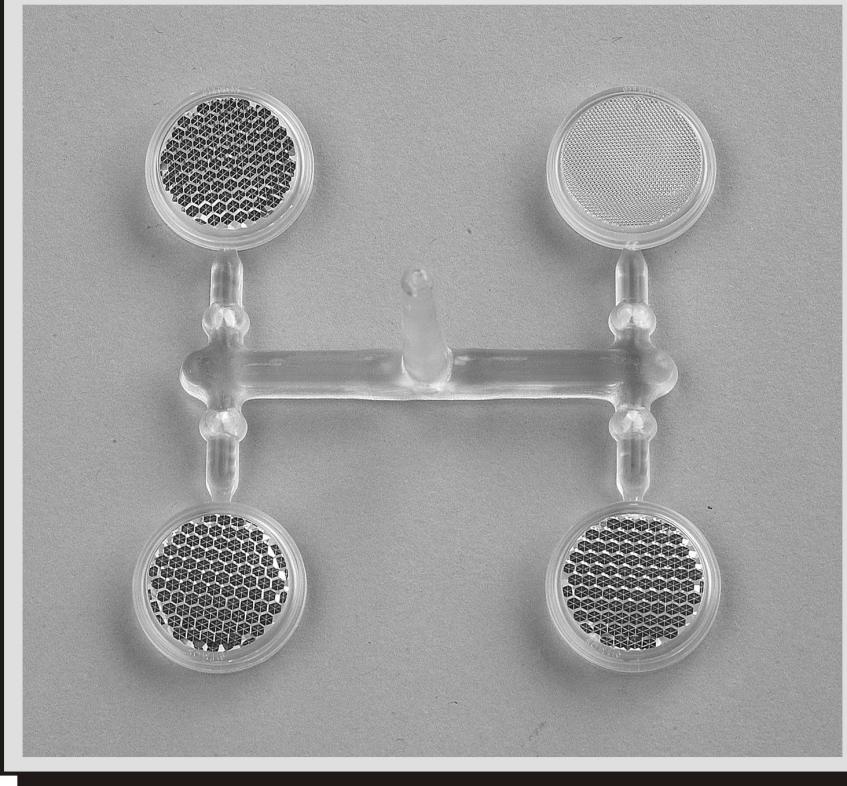
Wag0050

DESMA TEC formicaPlast Mikrospritzgussanlage (LFM)

## Negativ eines mikrozerspanten Spritzgusswerkzeugs



## Spritzgussteile mit Anguss und Steiger



Quelle: IMOS

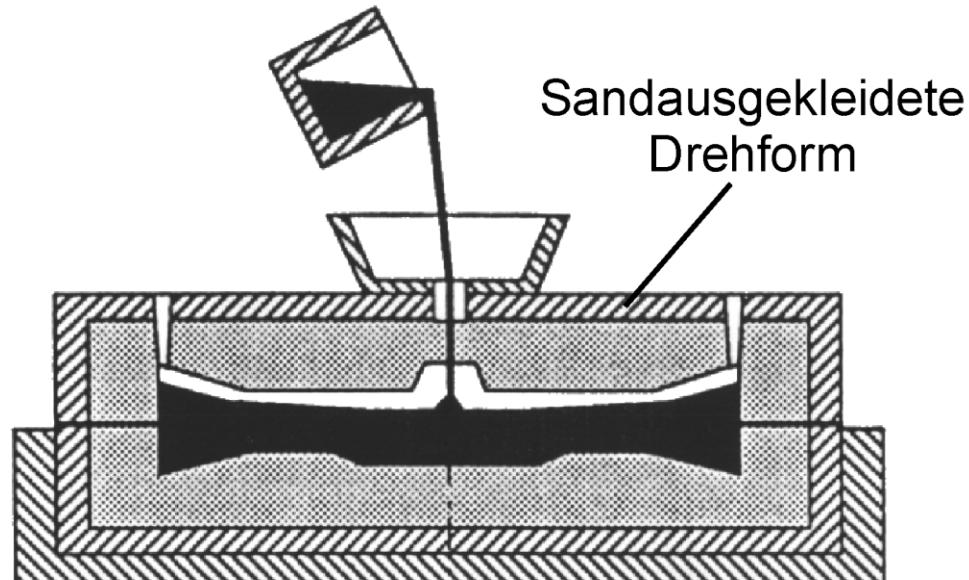


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

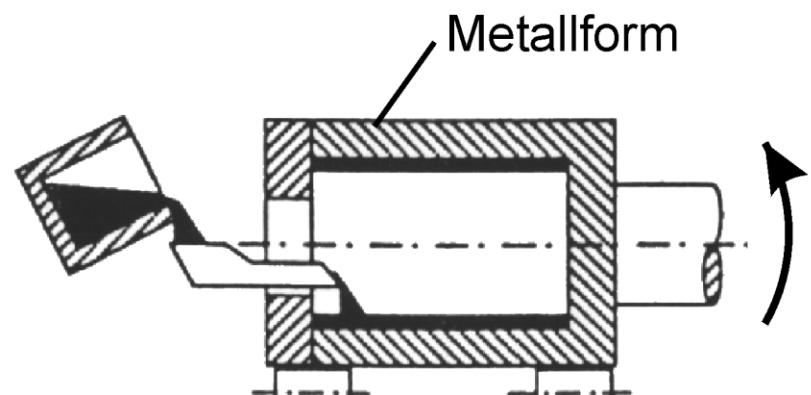
Rick 035

Beispiele für Spritzgusswerkzeuge  
und abgeformte Spritzgussteile

## vertikales Schleudergießen



## horizontales Schleudergießen



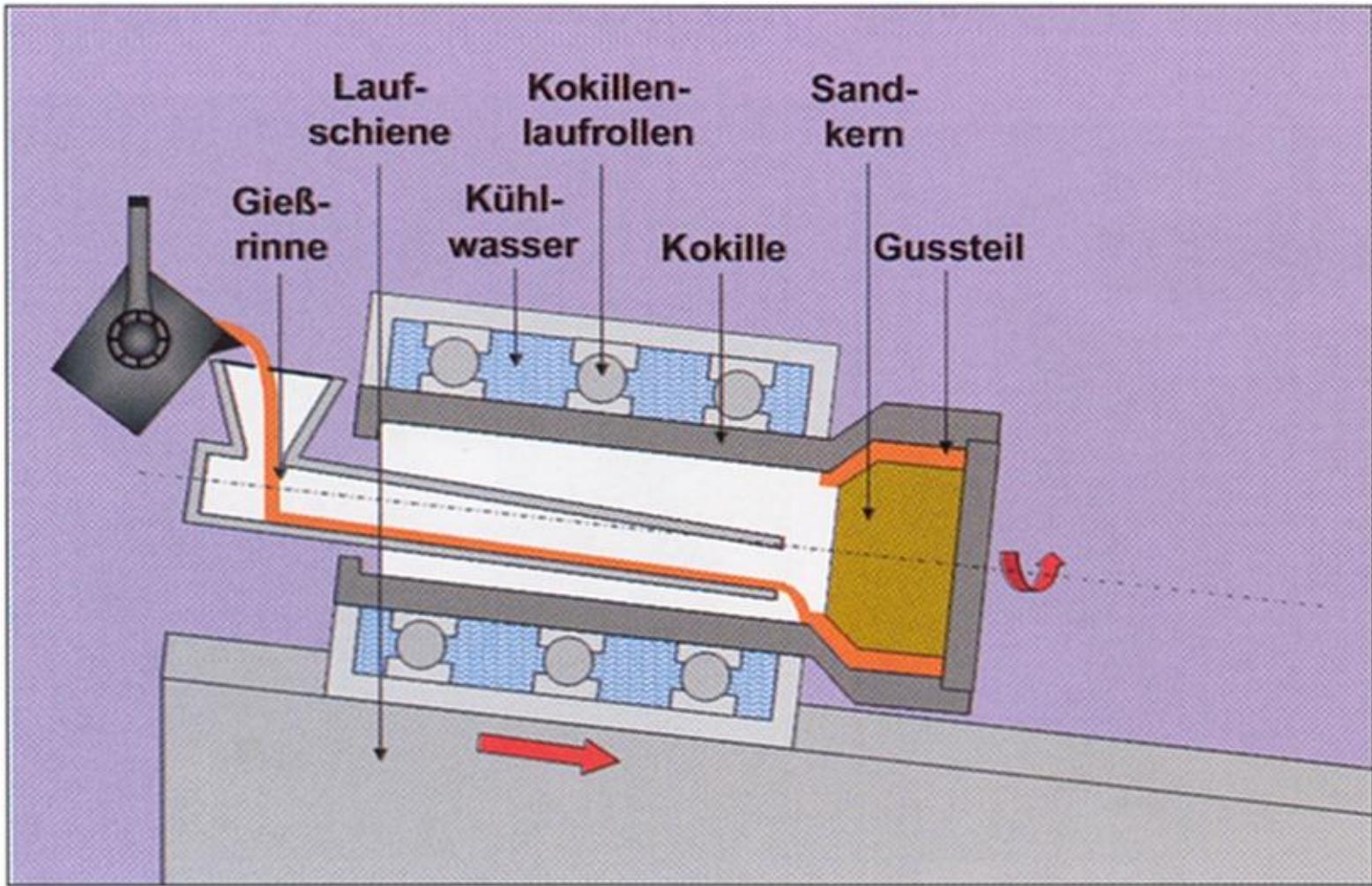
Quelle: Spur, Stöferle



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ma 0063

Schleudergießverfahren mit vertikaler  
und horizontaler Drehachse



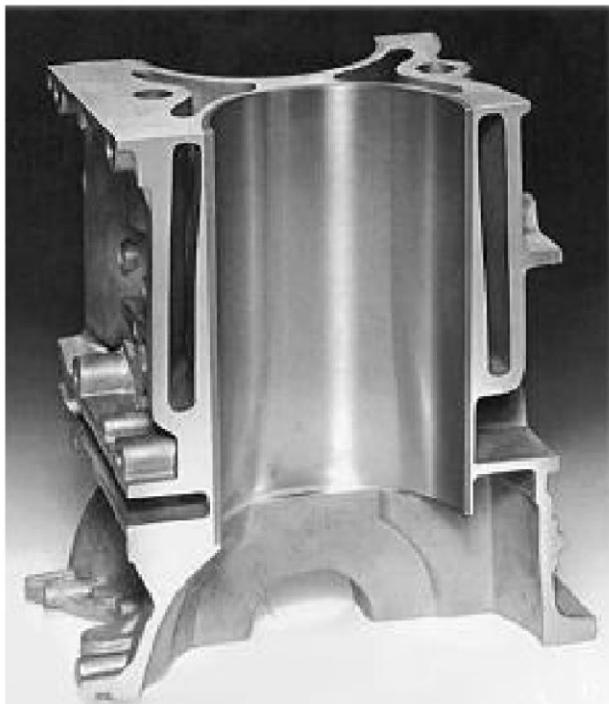
Quelle: konstruieren + giessen

Schoe 0003



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Prinzip des Schleudergießens von Gusseisenrohren



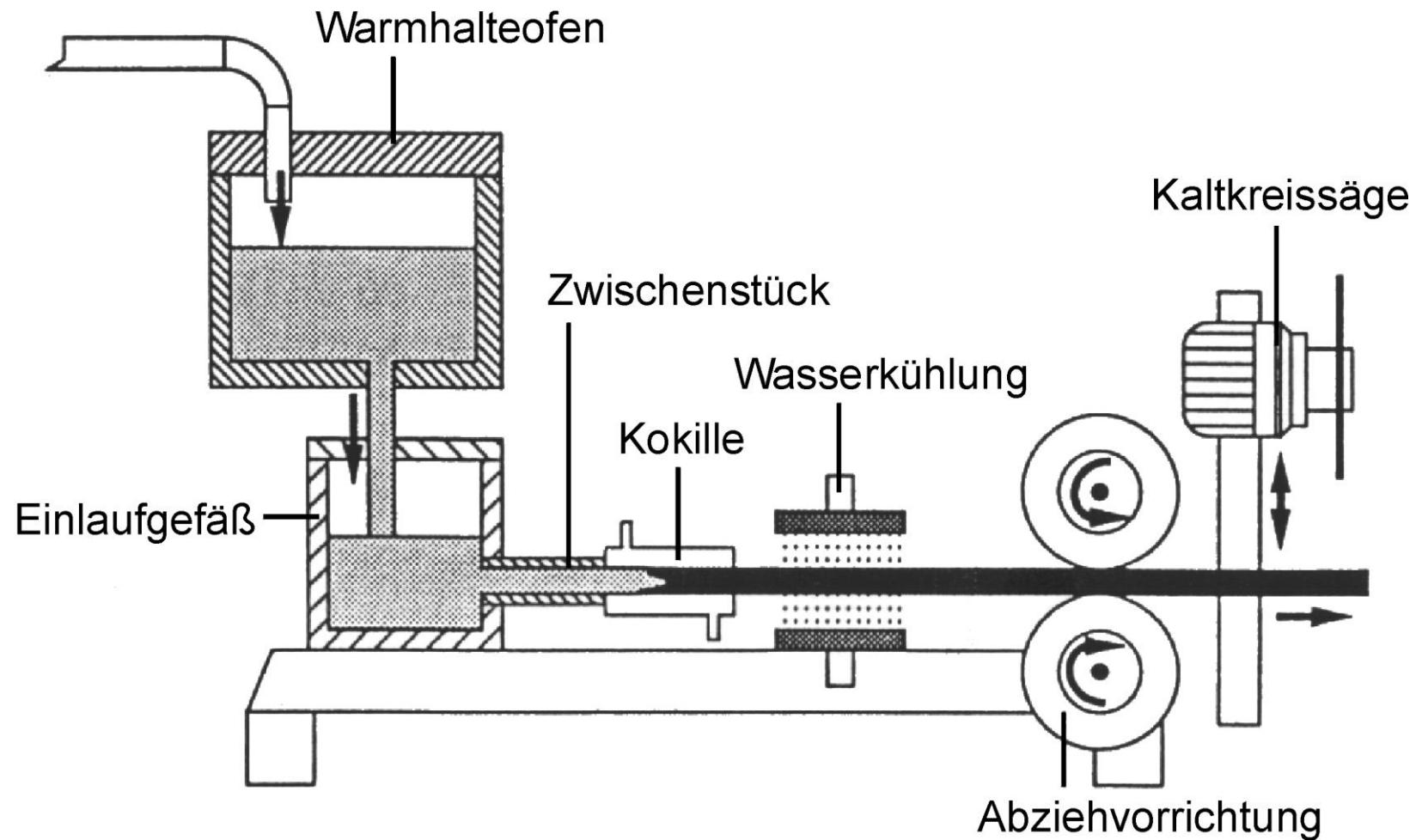
Zylinderlaufbuchsen



Maschinenkolben



Ventildichtringe



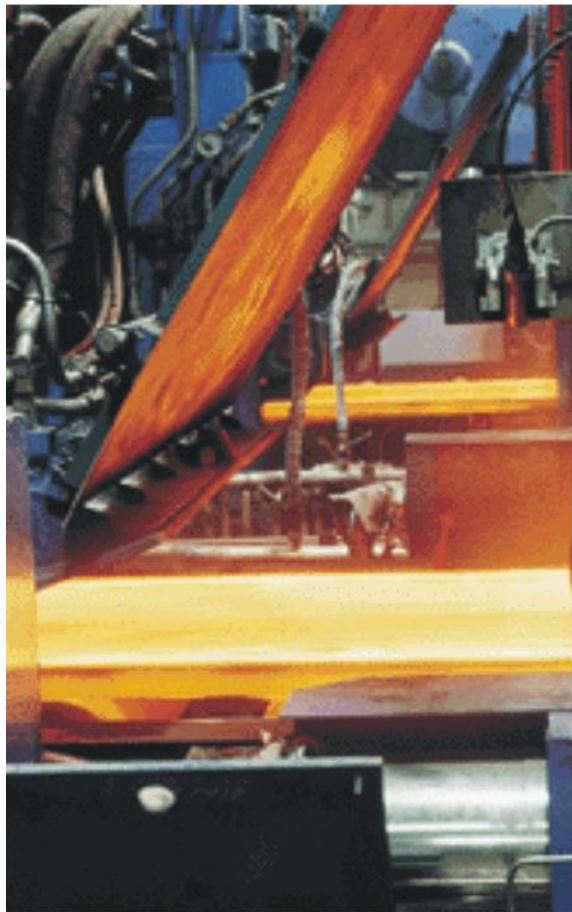
Quelle: Spur, Stöferle

Ma 0064



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Prinzip einer horizontalen kontinuierlichen  
Stranggießanlage



Gießwalzanlage



Stranggießanlage

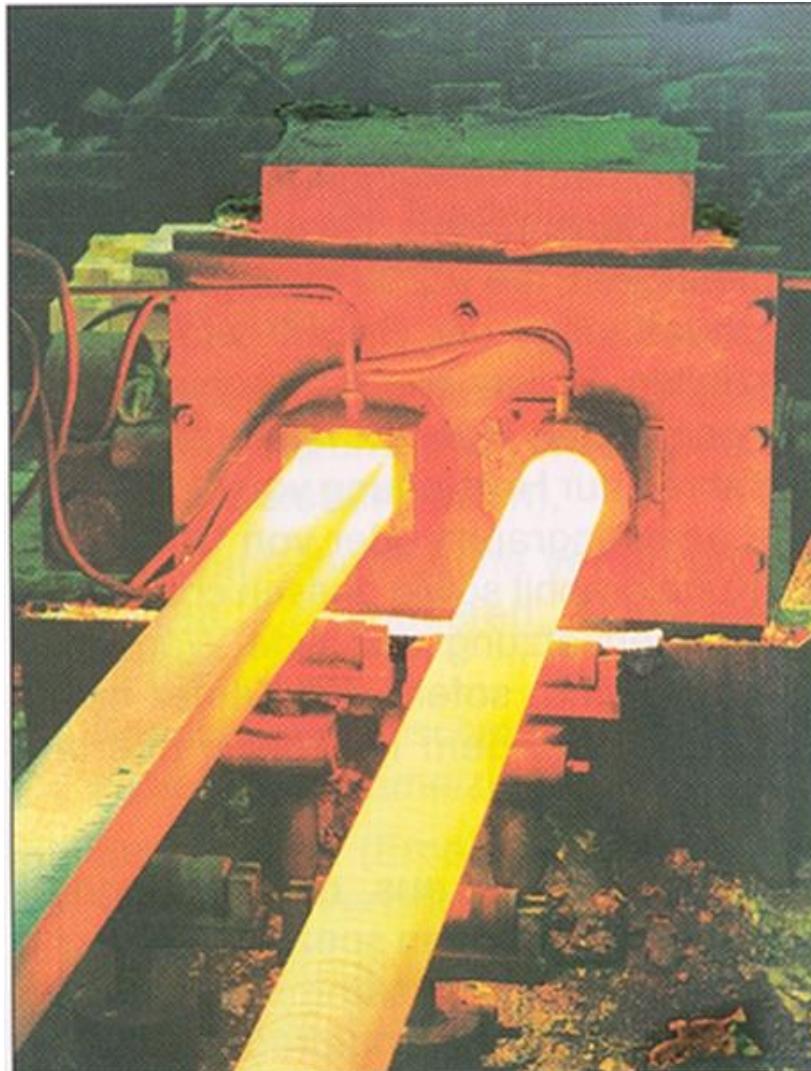
Quelle: Thyssen-Krupp Stahl AG



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Rick 019

Beispiele für Stranggießanlagen



Quelle: konstruieren + giessen

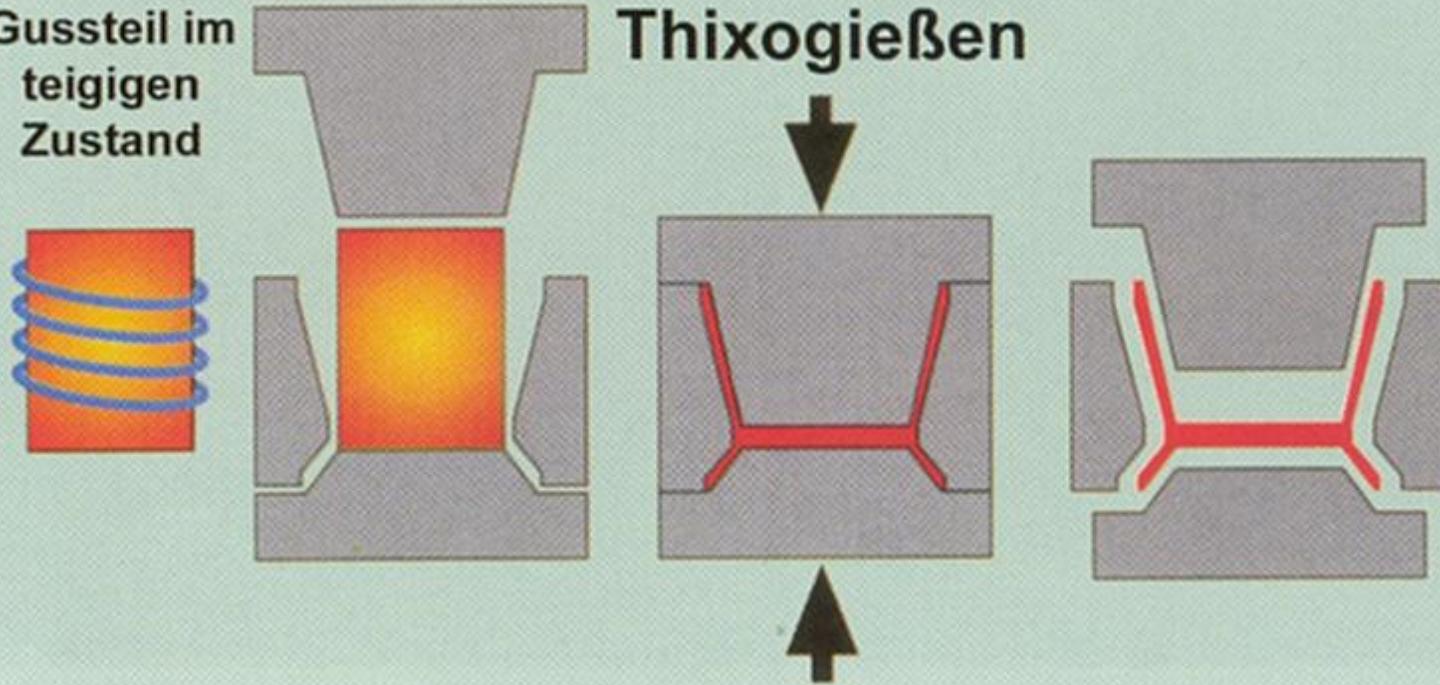
Schoe 0007



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Stranggusskokille mit austretenden Strängen

Gussteil im  
teigigen  
Zustand



## Thixogießen



Quelle: konstruieren + giessen

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Schoe 0013

Prinzipdarstellung des Umformens aus dem teigigen  
Erstarrungszustand (Thixocasting)

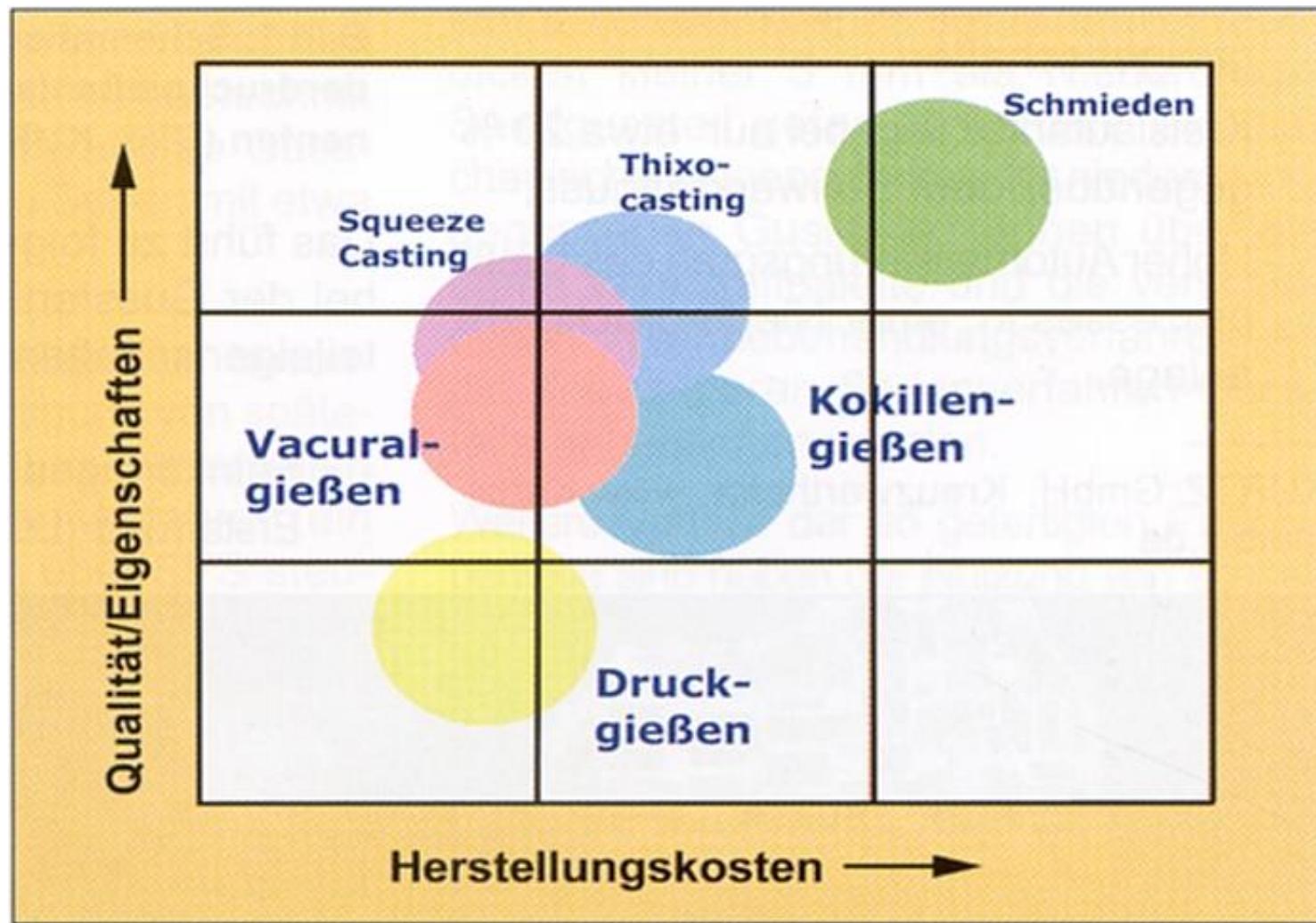
Formart	Verlorene Formen					
Modellart	Dauermodelle				verlorene Modelle	
Verfahren	Hand-formen	Maschinen-formen	Masken-formen	Keramik-formen	Feingießen (Wachsau- schmelz- verfahren)	Vollform- gießen
zu verar- beitende Werkstoffe	alle Metalle	alle Metalle	alle Metalle	alle Metalle	alle Metalle	alle Metalle
Gewichts- bereich	keine Be- schränkung, (Transport- und Kapazitäts- grenze)	bis zu mehreren Tonnen	bis 150 kg	bis 1000 kg	1 kg bis mehrere kg (Sonderfälle bis 100 kg)	keine Be- schränkung, (Transport- und Kapazitäts- grenze)
Mengen- bereich	Einzelteile, kleine Serien	kleine bis große Serien	mittlere und große Serien	Einzelteile, kleine Serien	kleine bis große Serien	Einzelteile, kleine Serien
Toleranz- bereich	2% - 5%	1,5% - 3%	1% - 3%	0,3% - 0,8%	0,3% - 0,7%	3% - 5%



Quelle: Gießen heute

Formart	Dauerformen			
Modellart	ohne Modell			
Verfahren	Druckgießen	Kokillengießen	Schleudergießen	Stranggießen
<b>zu verarbeitende Werkstoffe</b>	Druckgusslegierungen auf Al-, Mg-, Zn-, Cu-, Sn- oder Pb-Basis (Fe in Entw.)	Leichtmetalle, spez. Kupferleg., Feinzink, Gusseisen (GG und GGG)	Gusseisen (GG und GGG), Stahlguß, Leichtmetall- und Kupferleg.	Gusseisen (GG und GGG), Stahlguß, Aluminium- und Kupferleg.
<b>Gewichtsbereich</b>	Al-Leg.: bis 45 kg Zn-Leg.: bis 20 kg Mg-Leg.: bis 15 kg Cu-Leg.: bis 5 kg (Begrenzung durch Druckgießmaschine)	bis 100 kg (in Sonderfällen auch mehr)	bis 5000 kg	abhängig vom Querschnitt, bis zu mehreren Tonnen
<b>Mengenbereich in der Serienfertigung</b>	Haltbarkeit: Zn = 500000 Mg = 100000 Al = 80000 Cu = 10000	Haltbarkeit der Kokille: Al = 100000	Haltbarkeit der Kokille: 5000 - 100000 je nach Werkstückgröße und Gusswerkstoff	Länge des Gießstrangs ist maschinen-abhängig
<b>Toleranzbereich</b>	0,1% - 0,4%	0,3% - 0,6%	1%	0,8%





Quelle: konstruieren + giessen

Schoe 0014



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Vergleich verschiedener Gießverfahren

Gusswerkstoff	Gießtemperatur [°C]	Abkühlungsschwindung [%]	Dichte bei Raumtemperatur [g/cm³]
GG	1300 - 1500	ca. 1	7,0 - 7,3
GGG	1300 - 1400	0 - 2,0	7,1 - 7,3
GS	1500 - 1700	ca. 2	7,8
GAI	650 - 800	0,5 - 1,5	2,6 - 2,8
GMg	630 - 750	0,4 - 1,4	ca. 1,8
GCu	920 - 1300	1,0 - 2,0	7,7 - 9,6
GZn	390 - 420	0,6 - 1,1	6,5 - 6,7



Quelle: Goch

### EN-GJL-200C

- aus dem Strang entnommenes Probestück
- Mindestzugfestigkeit 200 N/mm<sup>2</sup>
- Lamellengraphit
- Eisen, anstelle I für Iron
- Gusswerkstoff
- Europäische Norm

### EN-GJS-600-3C

- aus dem Strang entnommenes Probestück
- Mindestbruchdehnung 3 %
- Mindestzugfestigkeit 600 N/mm<sup>2</sup>
- Kugelgraphit
- Eisen, anstelle I für Iron
- Gusswerkstoff
- Europäische Norm

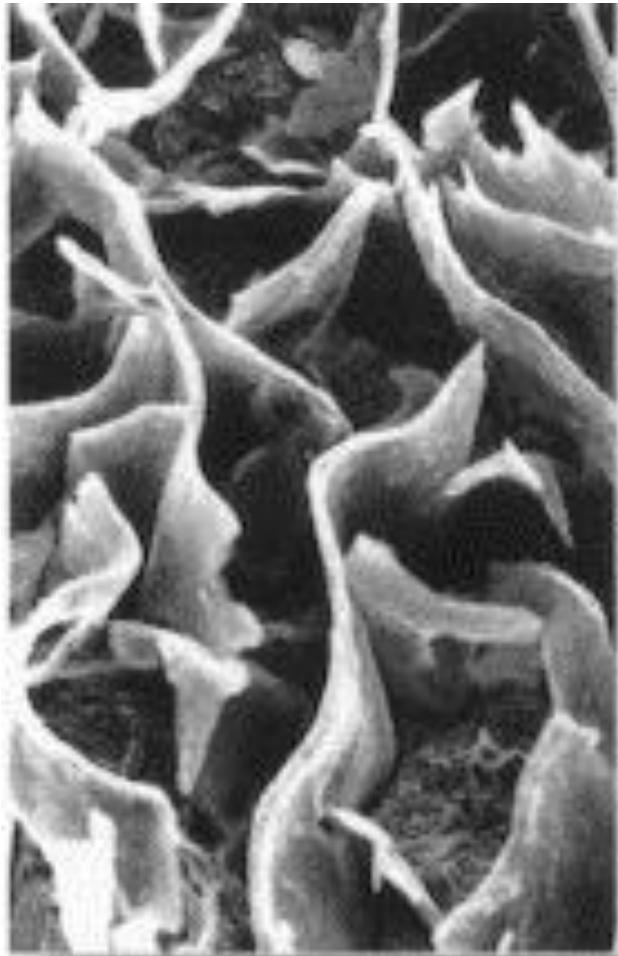


Quelle: konstruieren + giessen

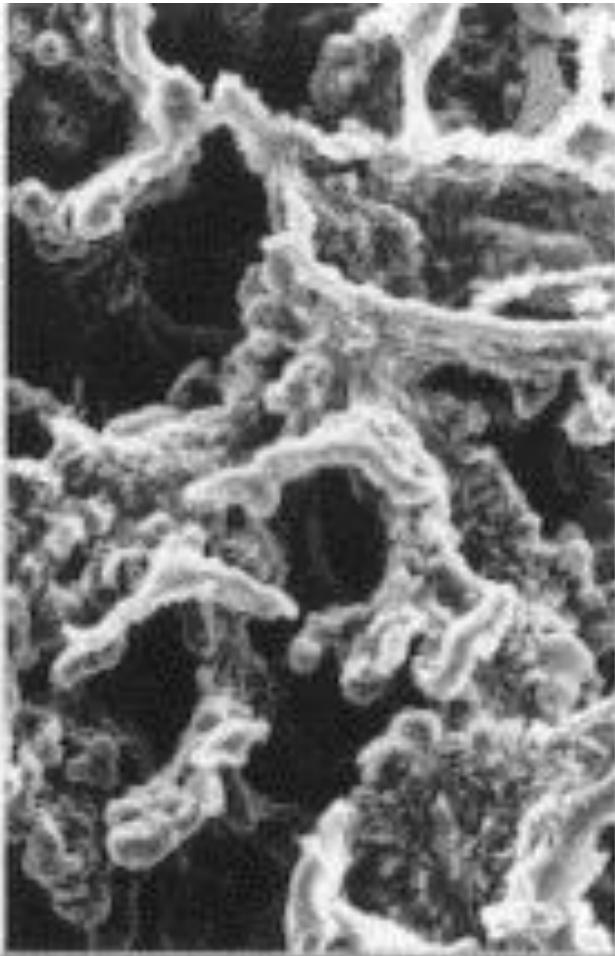
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Schoe 0009

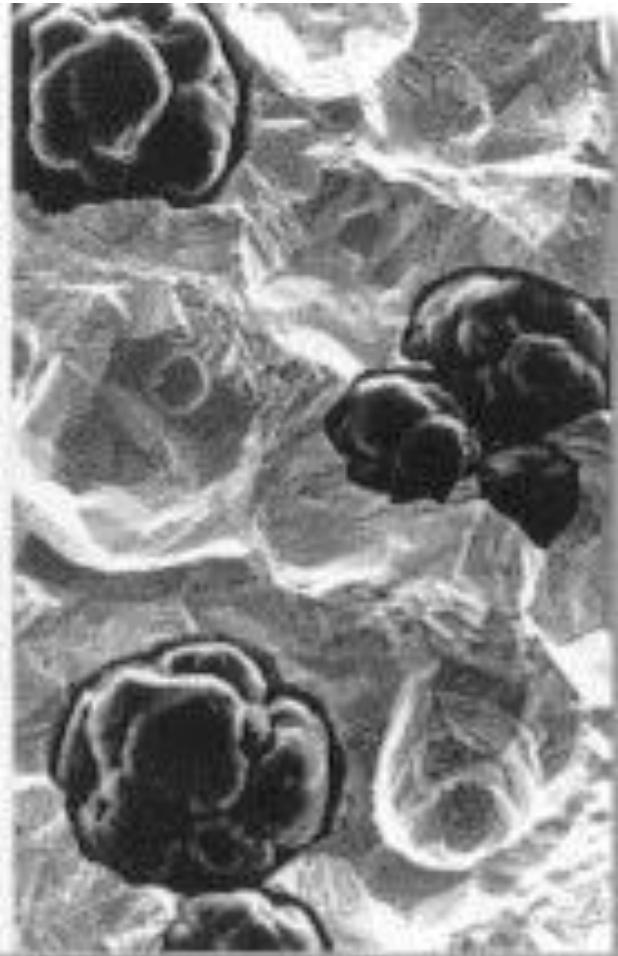
EU-Normgerechte Bezeichnungen der  
Gusseisen-Stranggusssorten



GJL – Gusseisen mit  
lamellarem Graphit



GJV – Gusseisen mit  
vermicularem Graphit



GJS – Gusseisen mit  
kugelförmigen Graphit

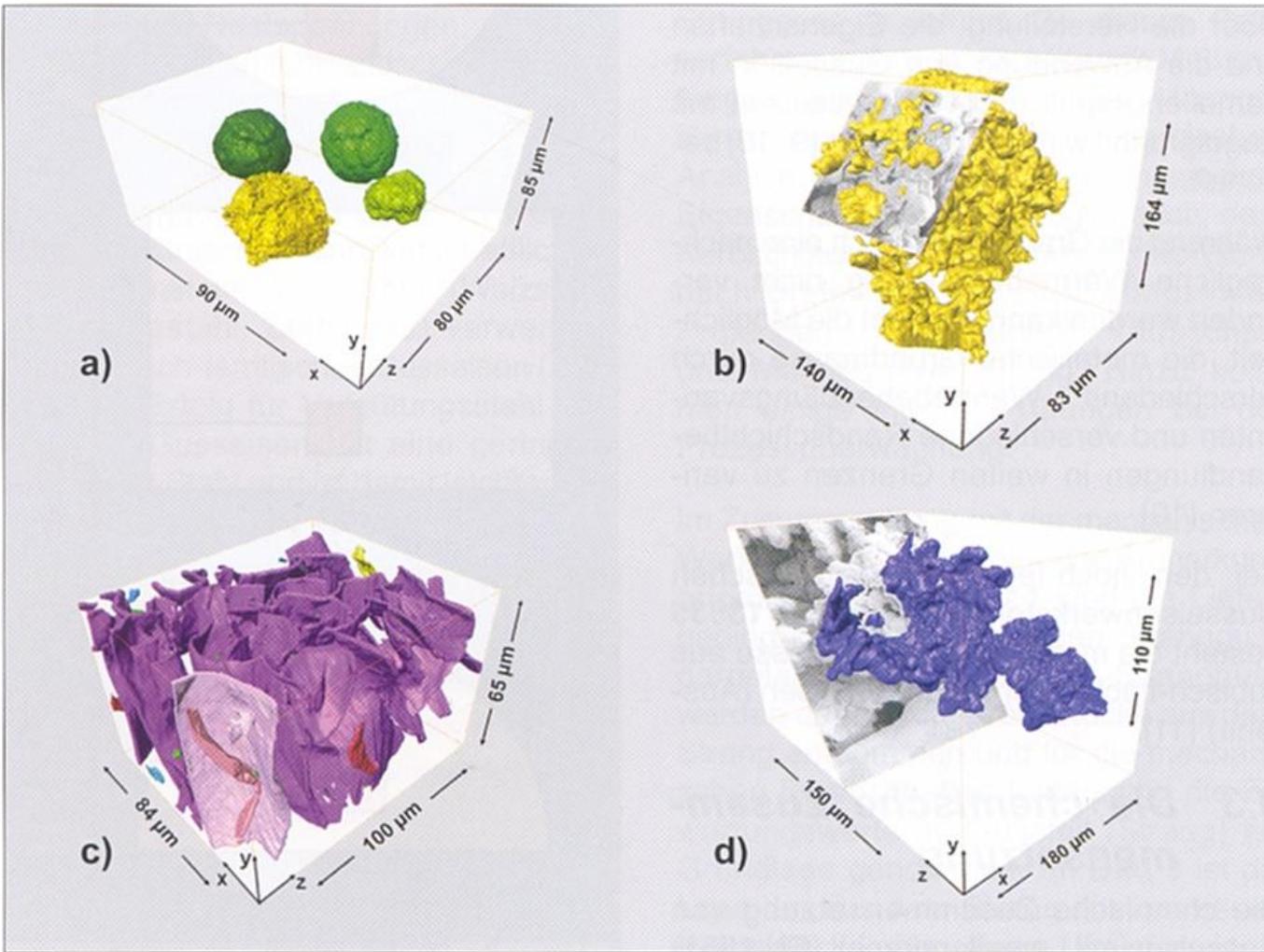
Quelle: wikimedia commons

Schoe 0015



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Gusseisen mit verschiedenen Graphitarten



- a) Kugelgraphit
- b) Temperkohle
- c) Lamellengraphit
- d) Vermiculargraphit

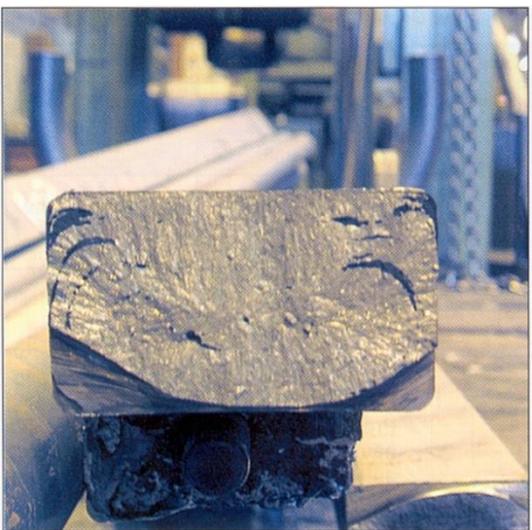


Quelle: konstruieren + giessen

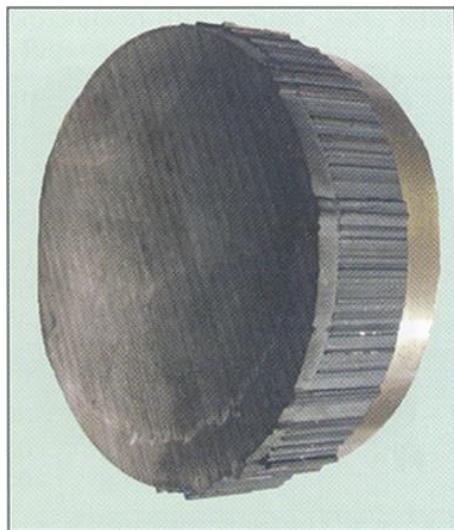
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Schoe 0008

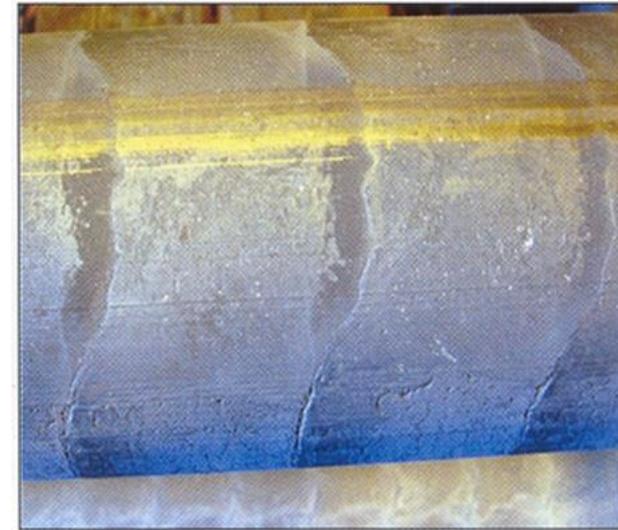
FIB-Nanotomographie: Raumformen von Graphit



Bruchfläche mit  
Weißerstarrung



Längsstreifen durch  
Kokillenverschleiß



Querrisse



a)

Überlappung an  
einer Quadratstange



b)

Überlappung an  
einer Rundstange



Quelle: konstruieren + giessen

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

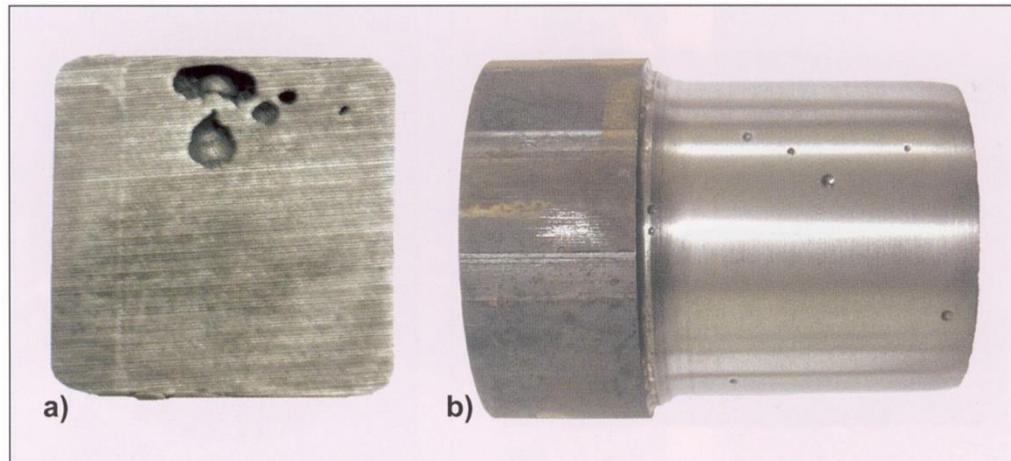
Schoe 0010

Beispiele zu Gießfehlern beim Strangguss 1

Schlackeneinschlüsse



Blasen im  
Strangquerschnitt



Blasen auf einer  
bearbeiteten  
Oberfläche

Quelle: konstruieren + giessen

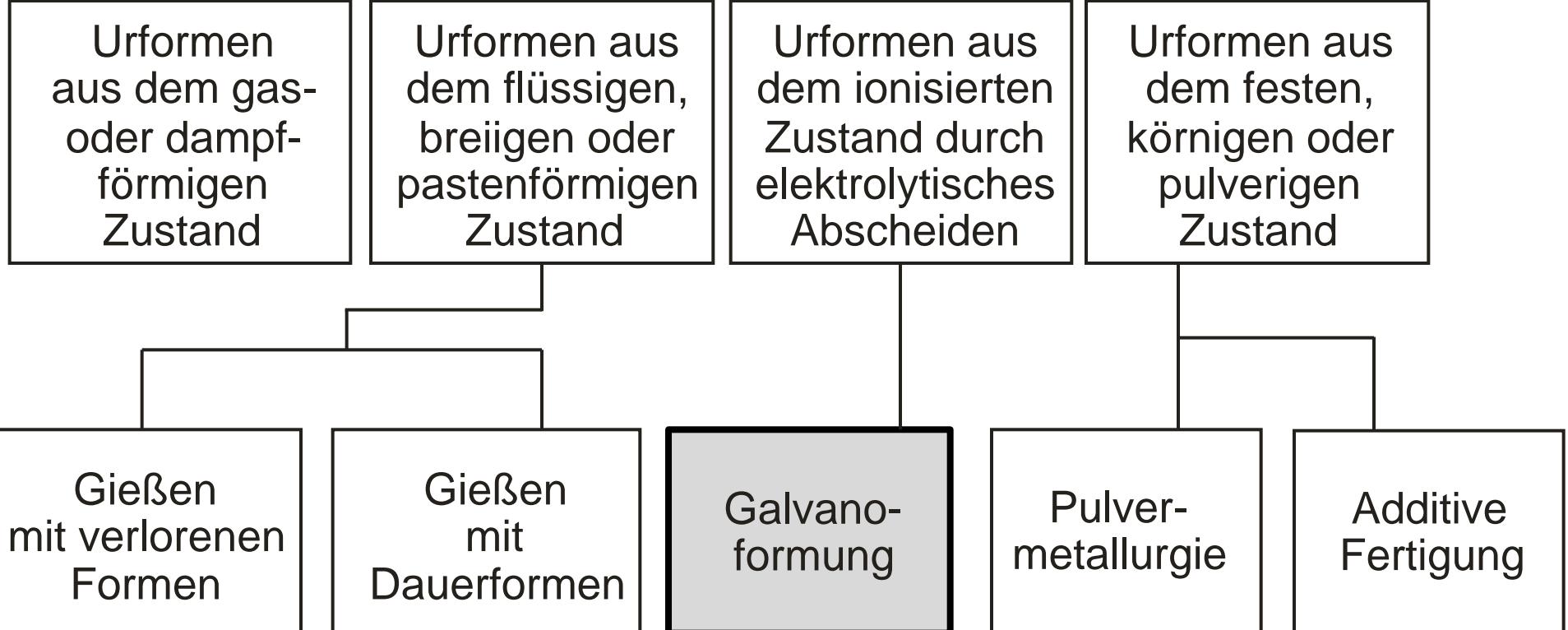
Schoe 0011



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Beispiele zu Gießfehlern beim Strangguss 2

# ***Urformen***

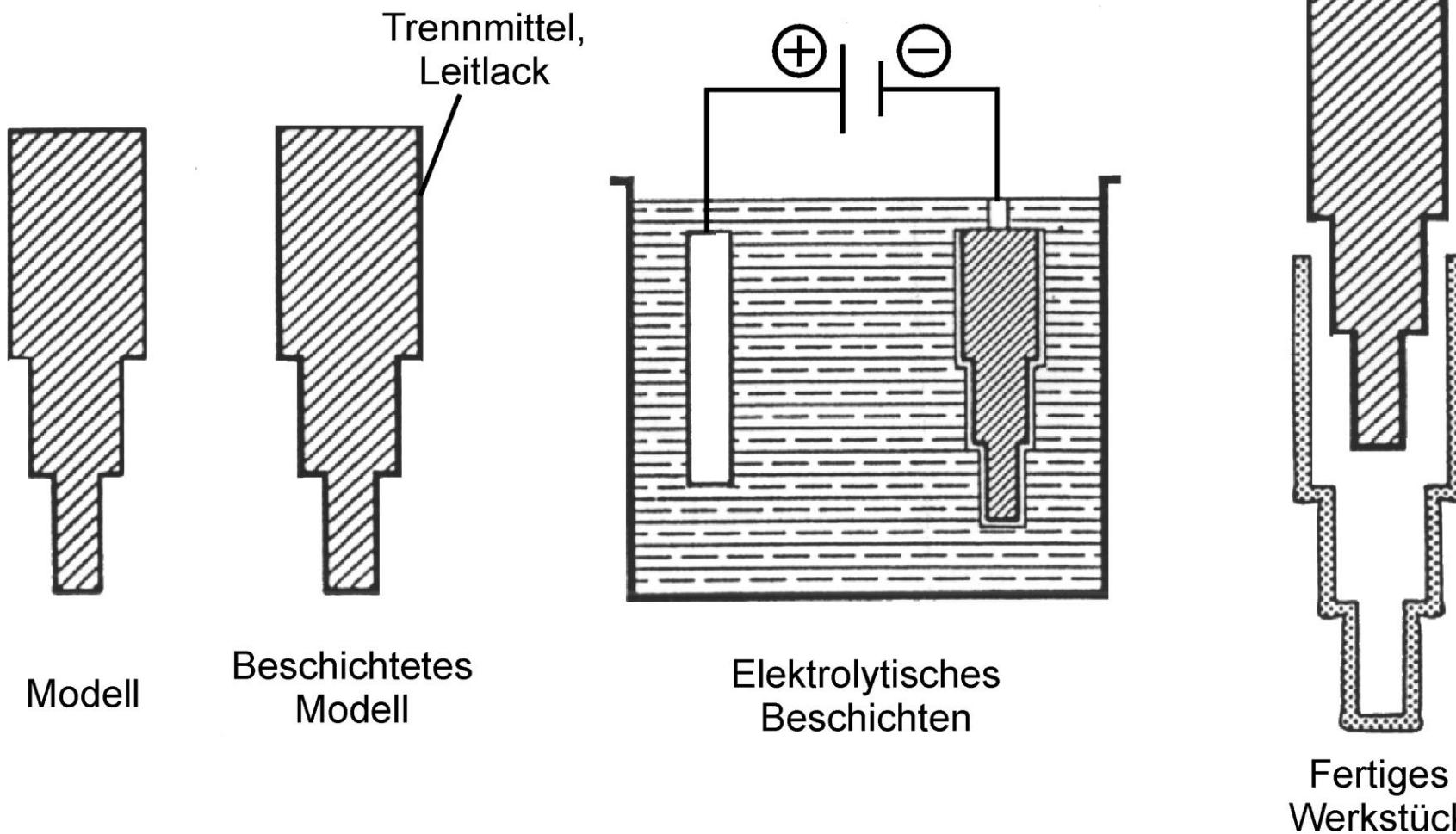


Quelle: VDI

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Dör 1102

Einteilung der urformenden Fertigungsverfahren



Quelle: Warnecke

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

## Arbeitsweise der Galvanoformung

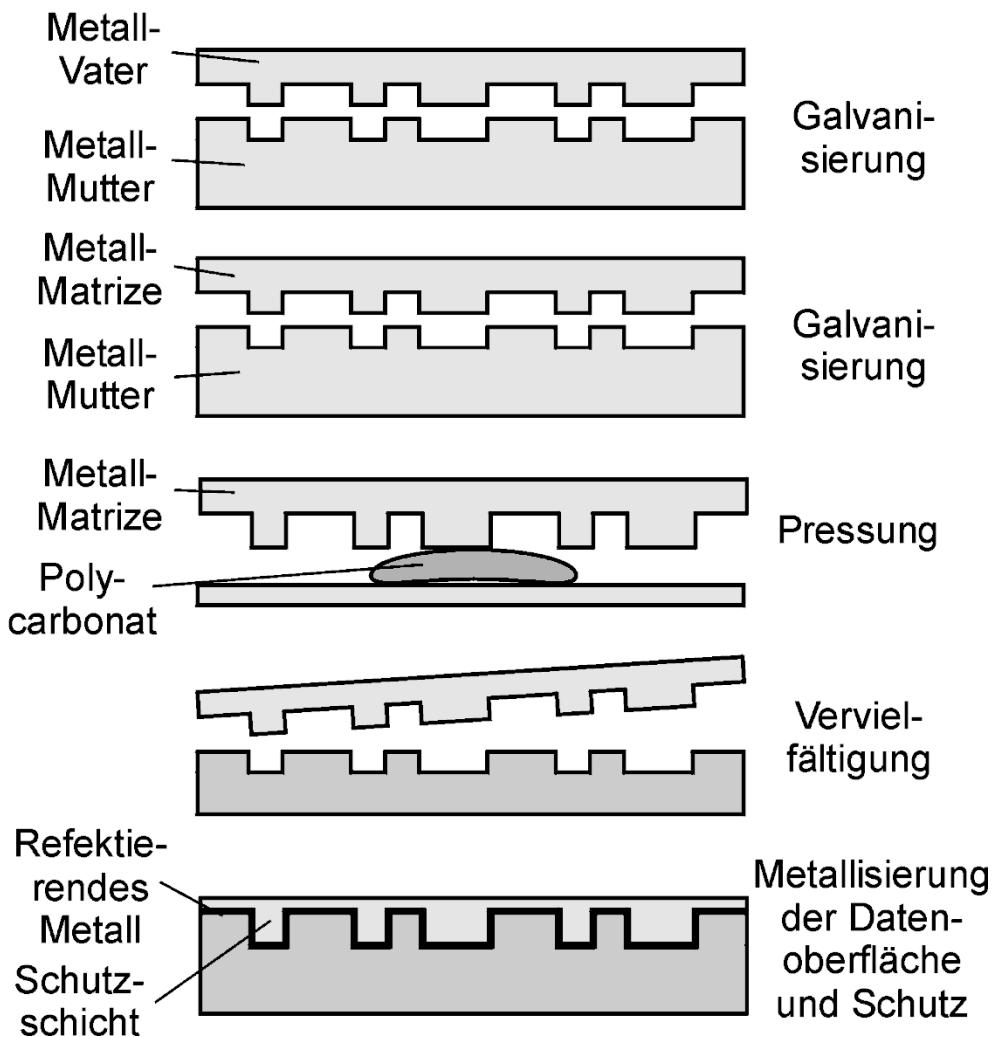
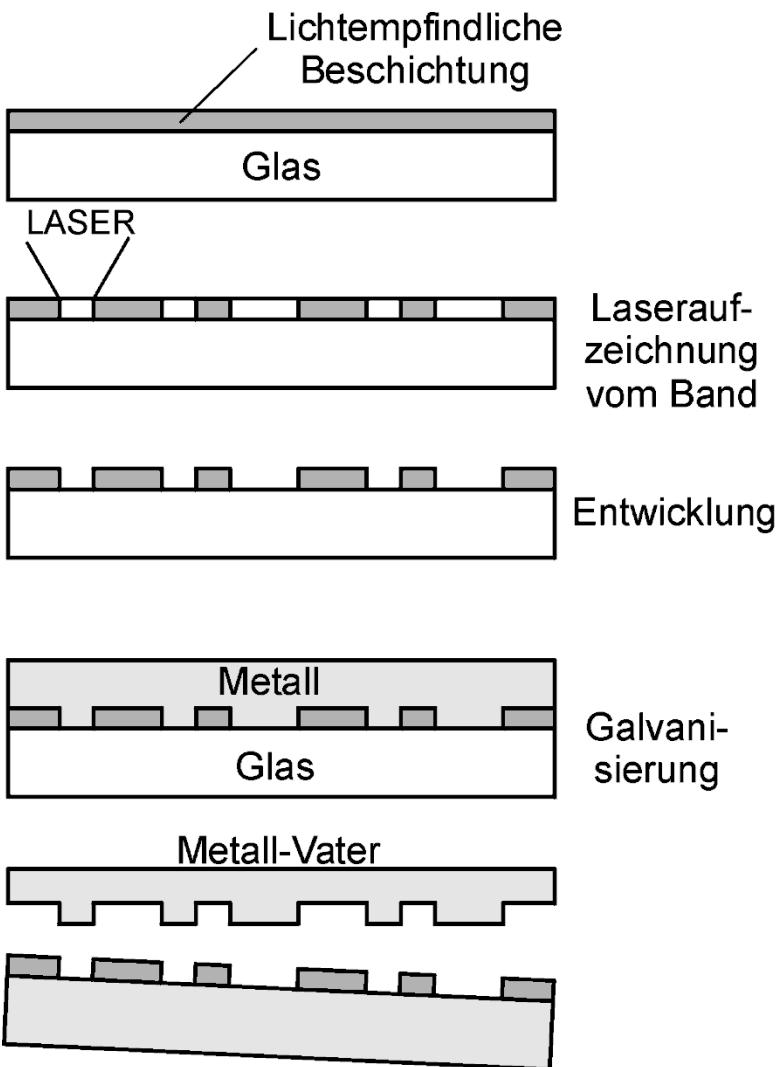
Ma 0065

Industrie- oder Anwendungsgruppe	Art der Anwendung	Werkstoff
Chemische Industrie (auch Lebensmittelverarbeitung)	Siebe für analytische Zwecke, Filter, Speiseeisformen	Nickel, Gold
Elektro- und Elektronik-Industrie	Folien zum Fertigen mikro-elektrischer Schalt- und Bau-elemente, Scherblätter, elektronenmikroskopische Gitter	Nickel, Eisen, Kupfer, Kupfer-Nickel, Gold, Silber
Musikindustrie	CD-Pressmatrizen	Nickel, Kupfer
Luft- und Raumfahrt-Industrie	Schutzbeschläge für Hubschrauberpropellerblätter, Raketenbrennkammern	Nickel
Maschinenbau, Werkzeugbau	nahtlos Endlos-Bänder, Spritz- und Gießformen für die Kunststoffverarbeitung, Erodierelektroden	Nickel, Nickel-Kobalt, Kupfer
Haushaltswaren-Industrie	Siebeinsätze für Entsafter, Fertigprodukte (Kannen, Salzstreuer, usw.)	Nickel

Quelle: Spur

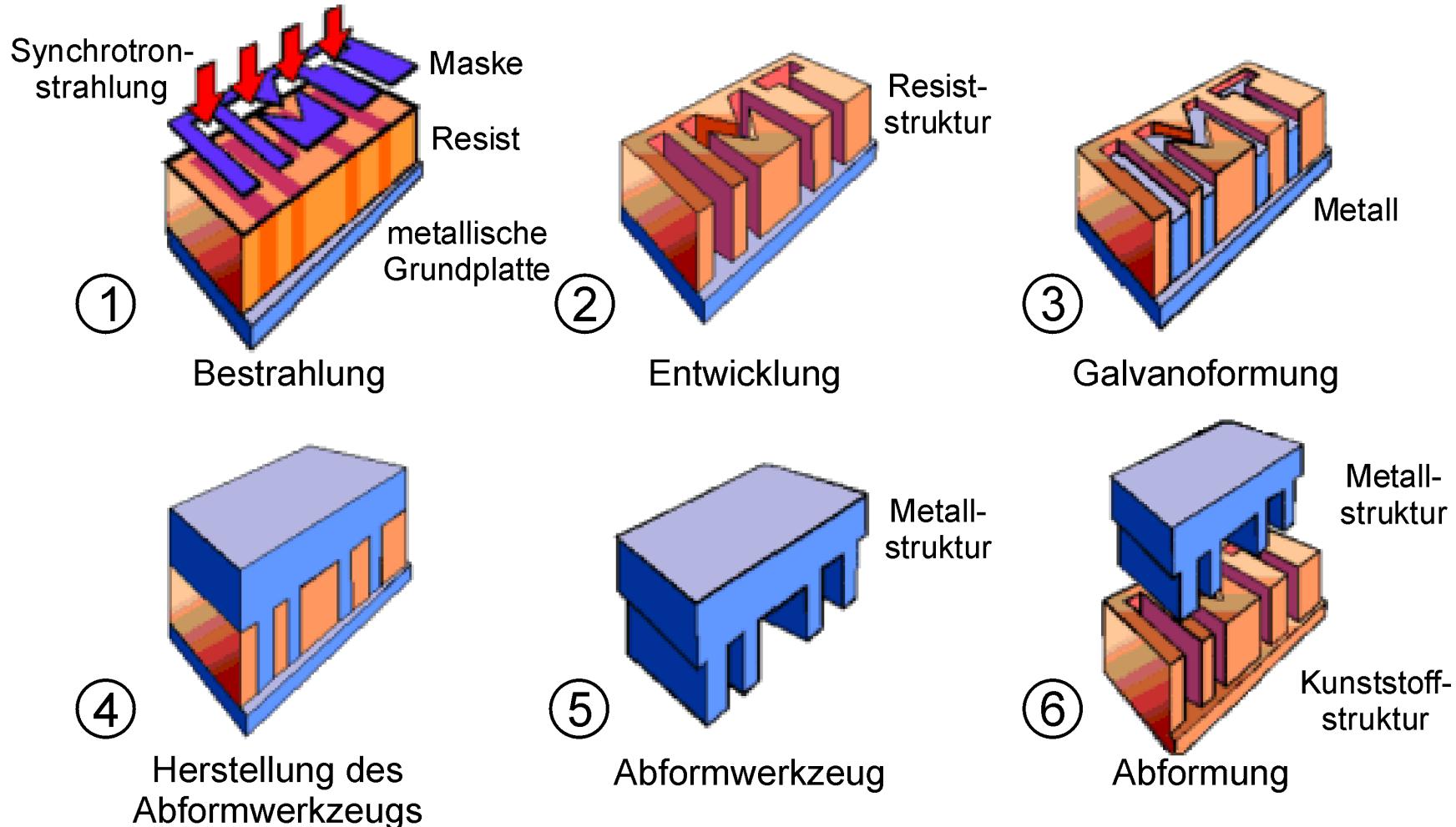
Br 1213





Quelle: Bacher





(LIGA = Röntgentiefen-Lithographie, Galvanik und Kunststoff-Abformtechnik)



Quelle: IMT

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Br 1214

Herstellung von Mikrostrukturen nach dem  
LIGA-Verfahren



Quelle: [www.anka-online.de](http://www.anka-online.de); Forschungszentrum Karlsruhe

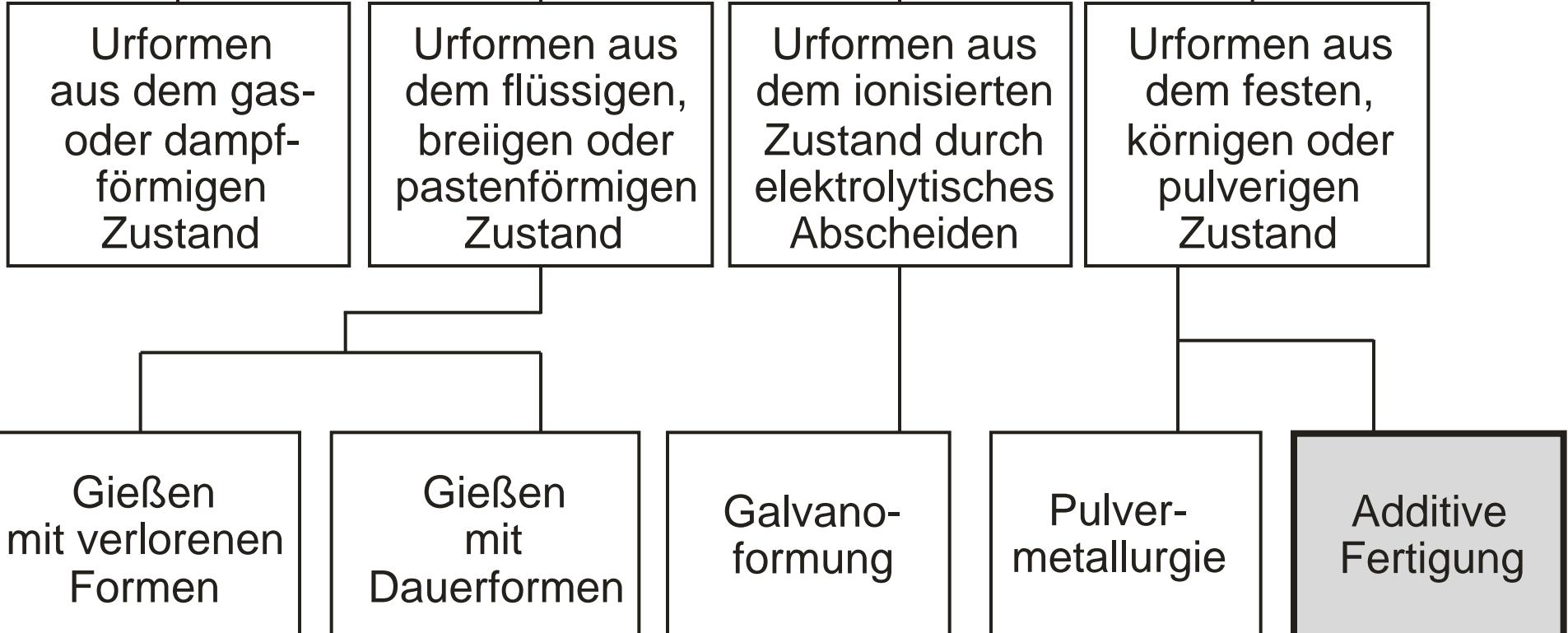
Schoe 0045



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Beispiele für LIGA-Teile

# ***Urformen***



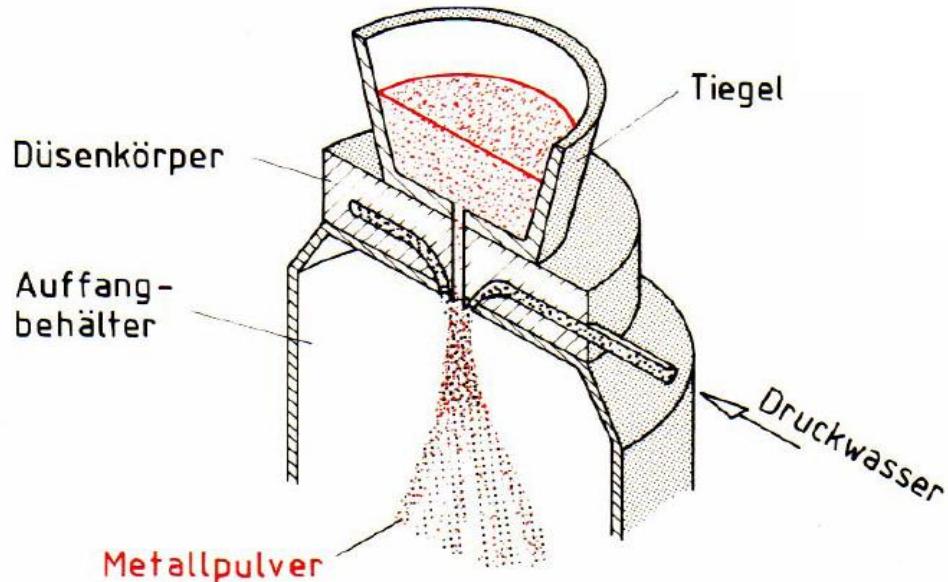
Quelle: VDI

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Dör 1103

Einteilung der urformenden Fertigungsverfahren

## Verdüsungsanlage



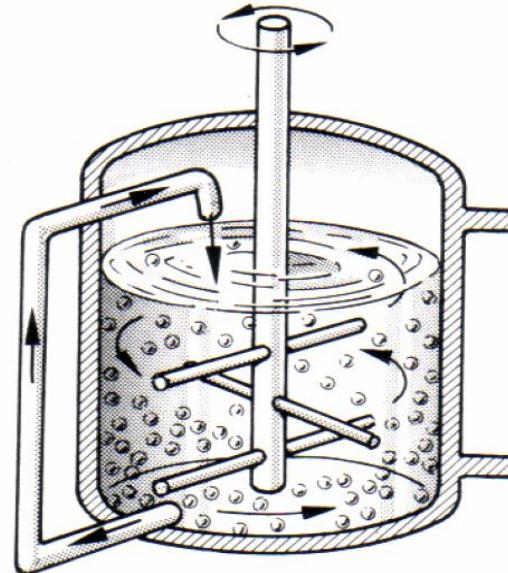
Einflussfaktoren: Korngröße

Wasserdruck

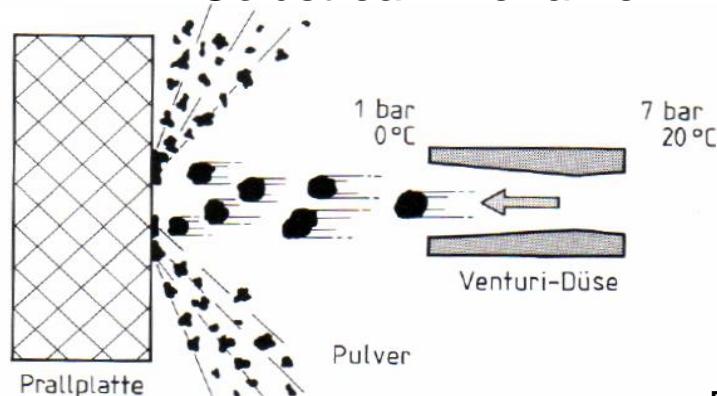
Temperatur der Schmelze

Durchflussgeschwindigkeit der Schmelze

## Hochenergiemühle



## Coldstream-Verfahren



Quelle: nach Scheibers



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ego 0092

## Pulverherstellung

## Pyronverfahren

Ausgangsprodukt:

- Eisenoxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )
- Wolframoxid ( $\text{WO}_2$ )
- Molybdänoxid ( $\text{MoO}_3$ )

Verfahrensablauf:

- Mahlen
- Magnetisches Trennen  
(Entfernen von Verunreinigungen)
- Glühung in oxidischer Atmosphäre
- Reduktion im Durchlaufofen  
(Reduktionskuchen)
- Mahlen und Sieben

Ergebnis:

- Reduktionspulver
- Eisen-Wolfram-Molybdän

Eigenschaften:

- mikroporös
- Fülldichte  $2,3 - 2,5 \text{ g/cm}^3$
- gut zu verdichten

## Höganäs-Verfahren

Ausgangsprodukt:

- reine Eisenerze

Verfahrensablauf:

- Mahlen
- Thermische Reduktion der Eisenerze (20 - 40 h bei  $1200^\circ\text{C}$ )
- Mahlen
- Magnetisches Trennen
- Mahlen und Sieben

Ergebnis:

- Reduktionspulver  
(Schwammeisenpulver)



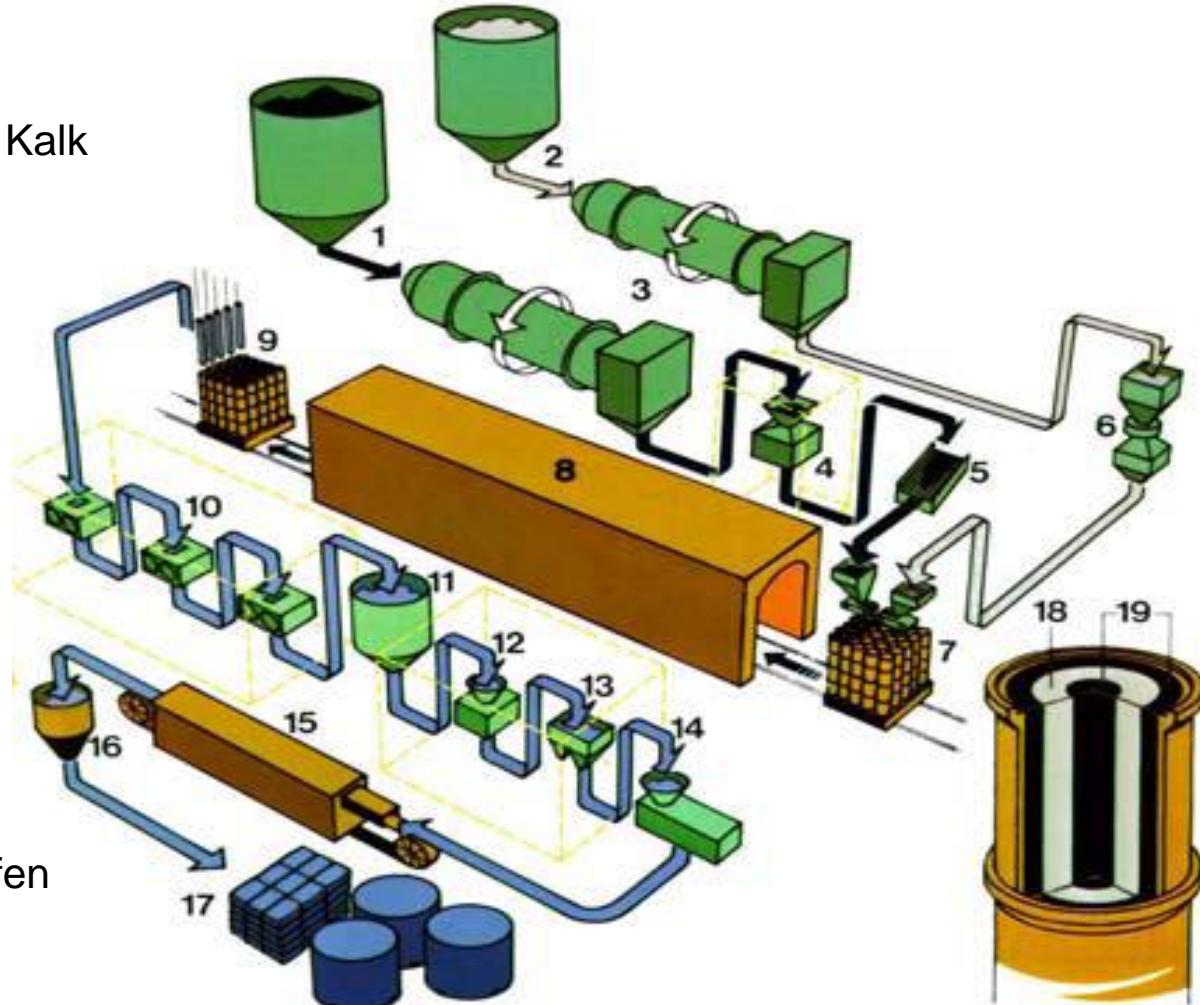
Quelle: PtU Darmstadt

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Rick 022

Chemische Reduktionsverfahren zur Pulverherstellung

1. Eisenschliff (Magnetit)
2. Reduktionsgemisch aus Koksgruß und Kalk
3. Trocknen in Rotieröfen
4. Mahlen
5. Sichten
6. Magnetabscheidung
7. Füllen der keramischen Retorten
8. Reduktion im Tunnelofen (30 h)
9. Entnahme der Eisenschwammrohre
10. Brechen und Grobmahlen
11. Zwischenlagern in Silos
12. Mahlen
13. Magnetabscheidung
14. Feinmahlen und Sieben
15. Nachglühen bei 800-900°C im Bandofen
16. Egalisieren
17. Automatisches Verpacken
18. Reduktionsgemisch
19.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$



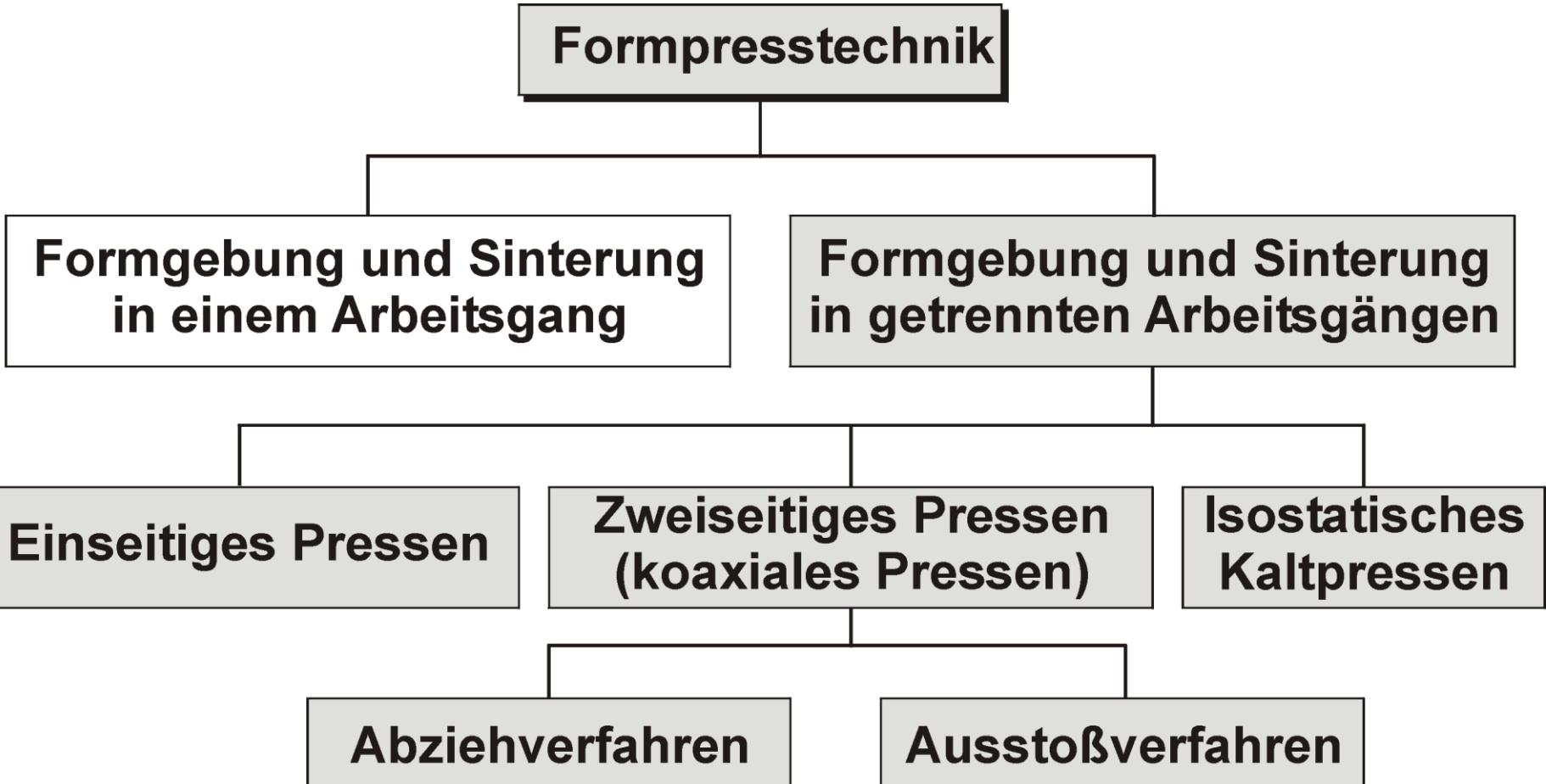
Quelle: Höganäs, WZL/Fraunhofer IPT

Ego 0101

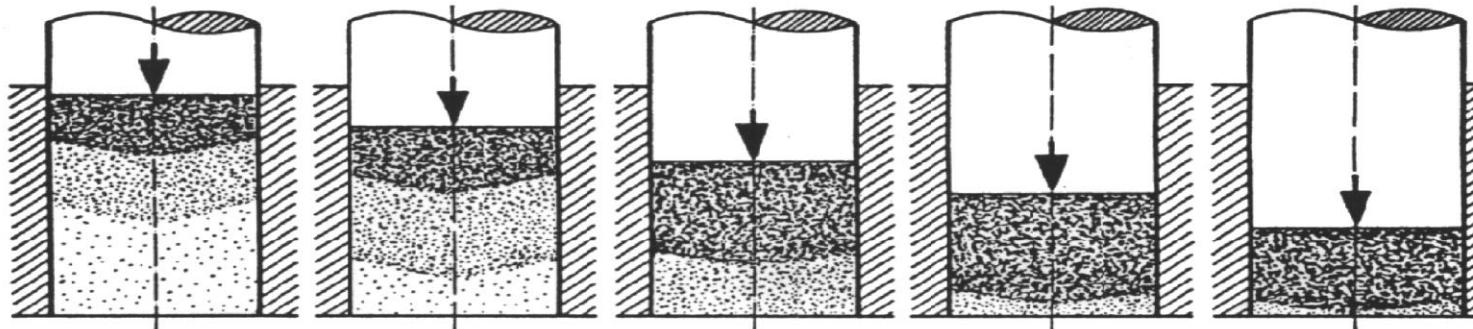


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

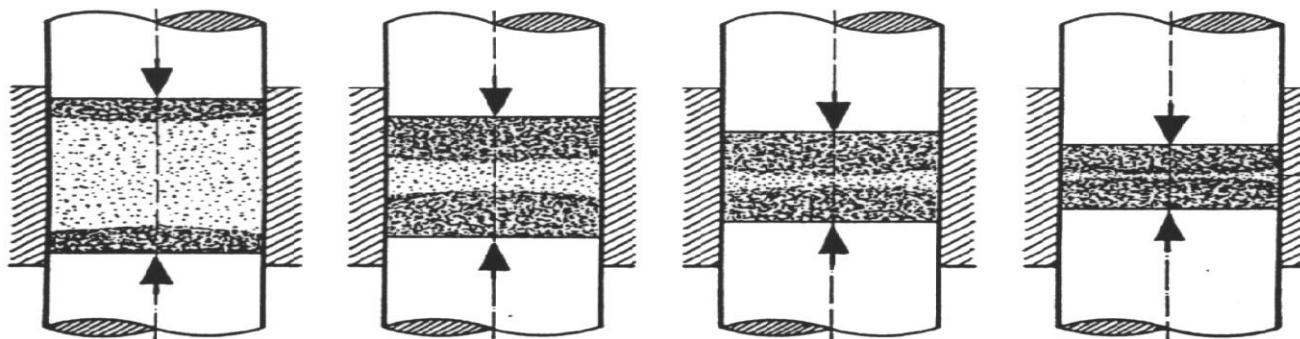
Pulverherstellung, Reduktionsverfahren



## einseitige Druckwirkung



## zweiseitige Druckwirkung



Quelle: Spur, Stöferle

Ma 0067



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Pulververdichtung bei ein- bzw. zweiseitiger Druckwirkung

# Einkomponentensysteme

Teilvorgänge:

1. Adhäsion

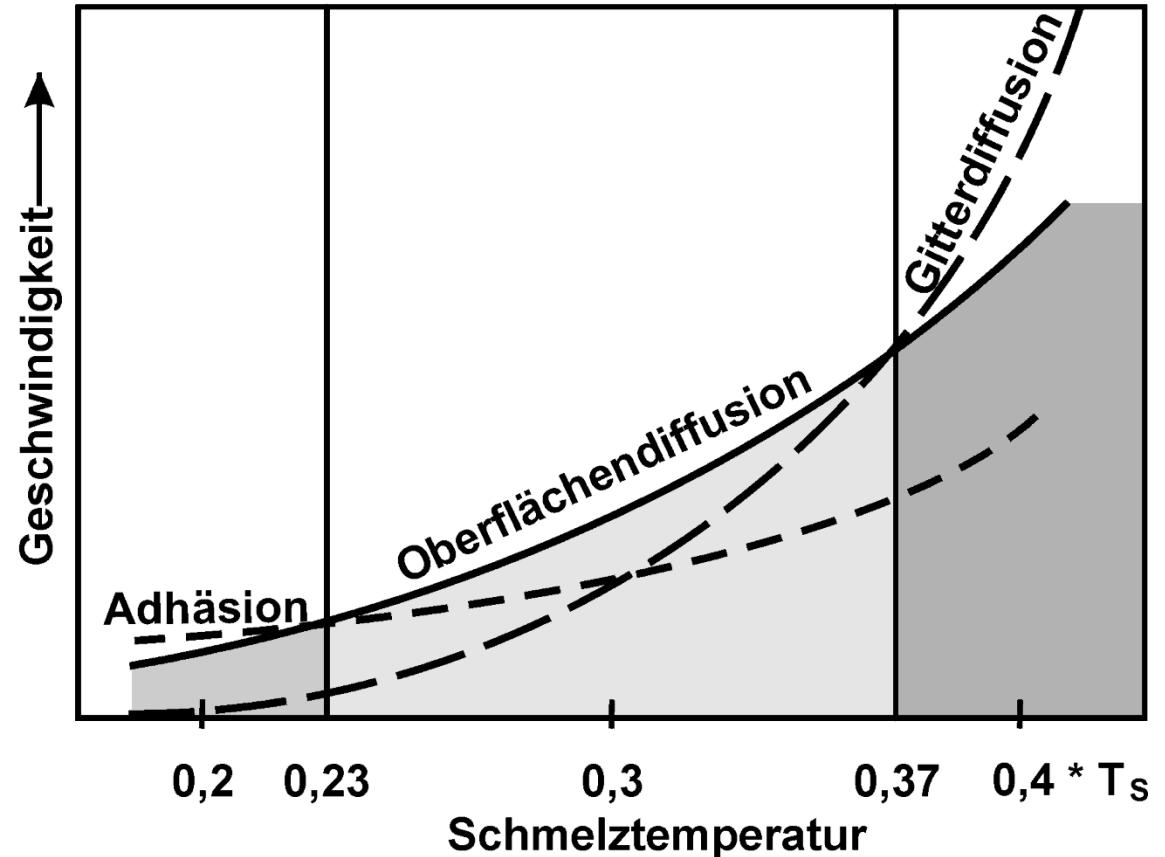
$$T < 0,23 * T_s$$

2. Oberflächendiffusion

$$T < 0,37 * T_s$$

3. Gitterdiffusion

$$T > 0,37 * T_s$$



Quelle: PtU Darmstadt

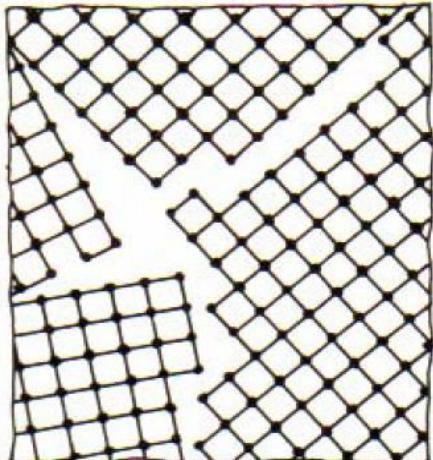


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

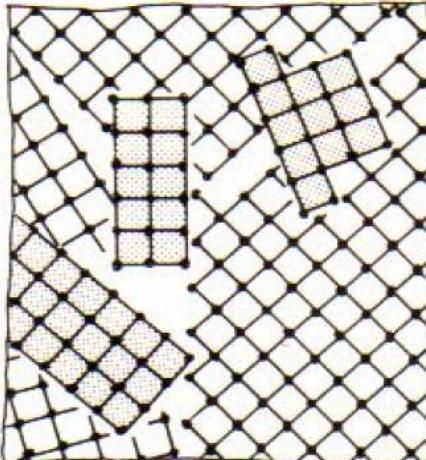
Rick 024

Sintern von Einkomponentensystemen

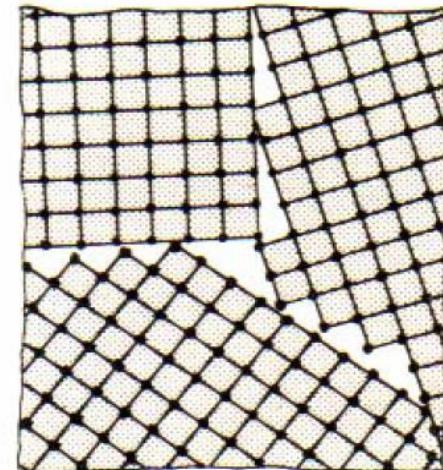
Verklammerte,  
ungesinterte  
Pulverteilchen



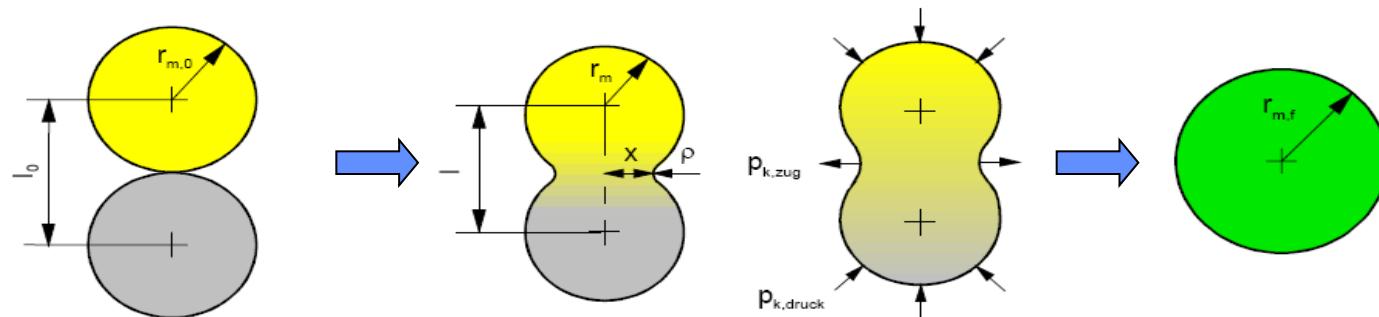
Beginn der  
Kornneubildung



festes Gefüge aus  
neuen Körnern



Bildquelle: Dr. rer. nat. P. Zeißler, Universität Potsdam



Quelle: Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. E. Uhlmann, Technische Universität Berlin

Ego 0094

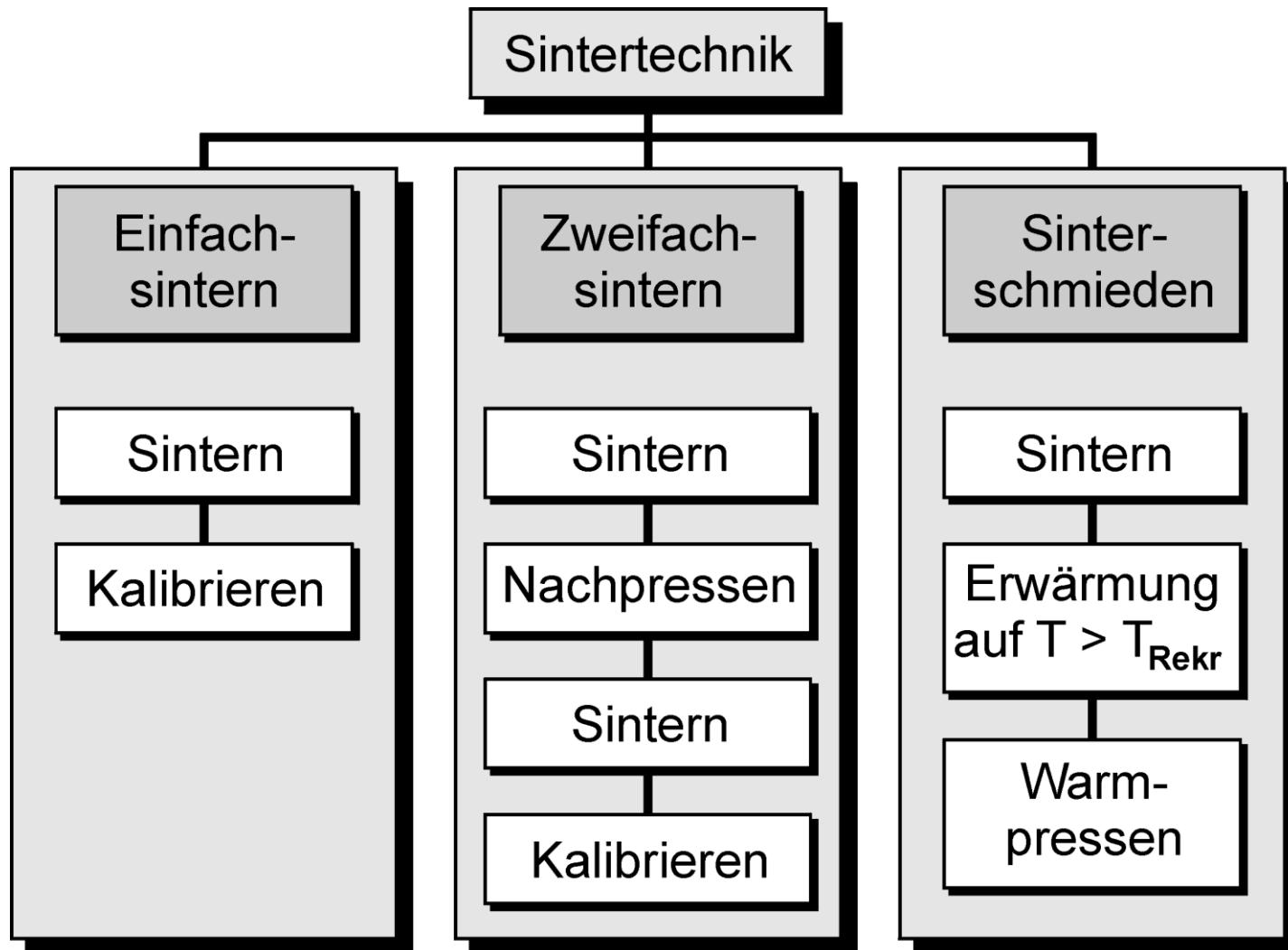


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Kornbildung beim Sintern

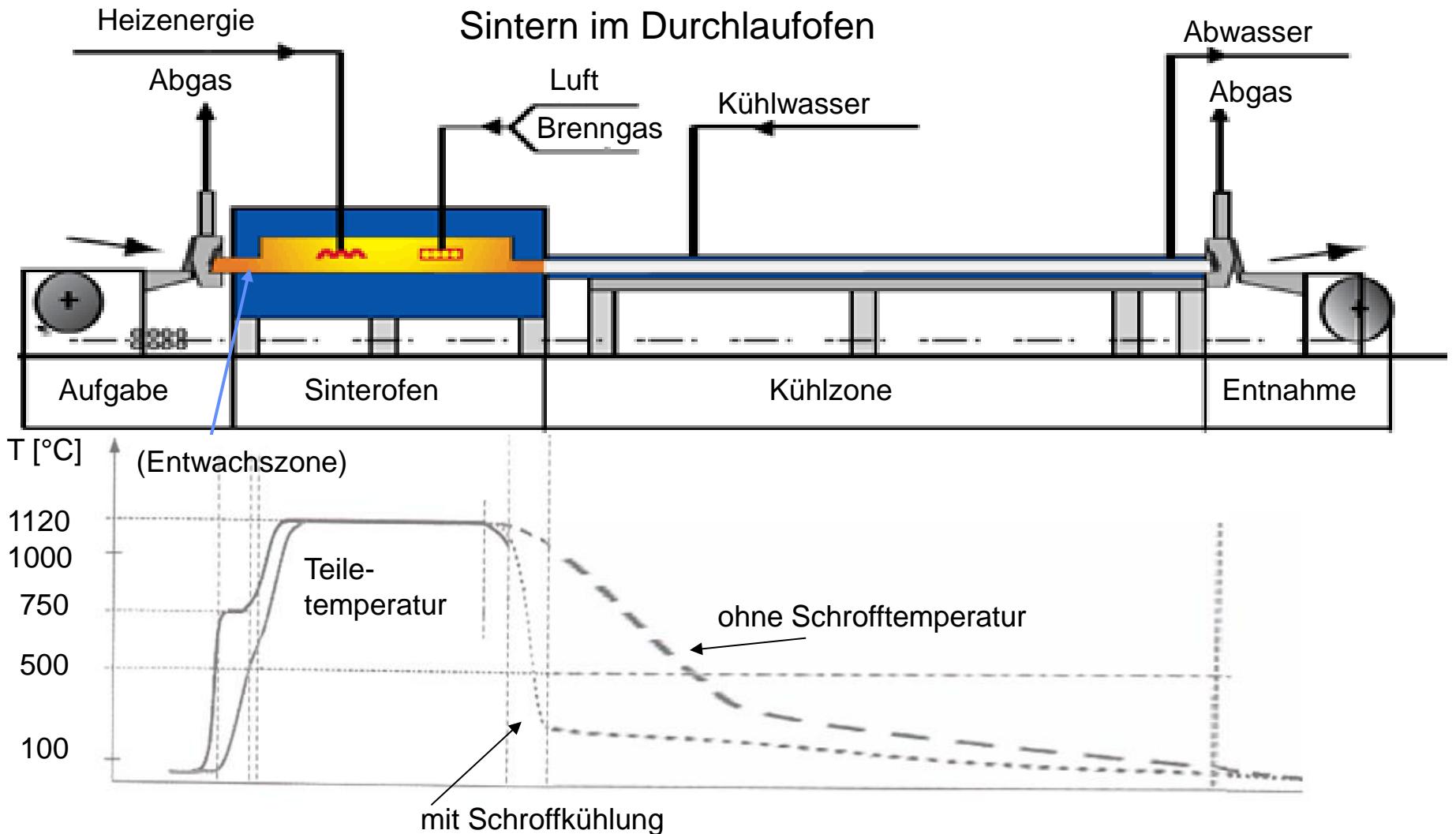
<b>Werkstoff</b>	<b>Sintertemperatur</b>
Aluminium-Legierungen	590 - 620°C
Bronze (Kupfer-Zinn)	740 - 780°C
Messing (Kupfer-Zink)	890 - 910°C
Eisen-Kohlenstoff	1120°C
Eisen-Chrom	1200 - 1280°C
Eisen-Kupfer	1120 - 1280°C
Hartmetall	1200 - 1400°C





Quelle: PtU Darmstadt





Quelle: Mahler Industrieofenbau GmbH

Ego 0093



# Sinterschmieden

Nachverdichtung gesinterter Formteile bei erhöhten Temperaturen in geschlossenem Gesenk

Umformtemperatur vorgewärmtes Gesenk

Eisen-Pulver: Raumerfüllung 100%  
theoretische Dichte 7,85 g/cm<sup>3</sup>



Quelle: PtU Darmstadt

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Rick 029

## Sinterverfahren Teil 2

## Vorteile:

- hohe Maßhaltigkeit der Sinterfertigteile durch mechanisierte Fertigungsabläufe
- nahezu 100%-Ausnutzung des Pulverwerkstoffes durch Wegfall von Anschnitten, Speiser, Graten, usw.
- hohe Reinheit der Sinterteile, da keine Schlackeentstehung
- Herstellung von Werkstoffen ohne Mischungslücken
- Erzeugung von Verbundwerkstoffen und nichtlegierbaren, sogenannten Pseudo-legierungen aus Metallen und Nichtmetallen möglich
- keine Seigerungen in Sinterwerkstoffen beobachtbar
- Energieeinsparungen von ca. 50% möglich gegenüber spanend hergestellten Teilen aus Profilen, Schmiede- oder Gussstücken

## Nachteile:

- Pulver und Pulvergemische sind verhältnismäßig teuer
- Beim Pressen sind große Kräfte, große Pressen und hochwertige Presswerkzeuge erforderlich, daher nur für große Serien wirtschaftlich
- einfache Grundkörper ohne Hinterschneidungen und mit möglichst geringem Aspektverhältnis gut pressbar (Prismen, Kegel, Quader)
- porenfrei und schwindungsarme Sinterteile mit bestimmten Pulverwerkstoffen und Pulvermischungen nicht herstellbar



Werkstoffklasse	Porosität	Typische Anwendungsgebiete
Sint AF	> 27%	Filter, Flammensperren, Drosseln
Sint A	22% - 28%	Gleitlager, Filter, Drosseln, vorwiegende Verwendung von Chrom-Nickel-Stahl, Bronze und Kunststoff
Sint B	18% - 22%	Gleitlager, Dichtungen und Formteile mit guten Gleiteigenschaften für niedrige Belastungen
Sint C	12% - 17%	Gleitlager, Gleitsteine, Bauteile mittlerer Festigkeit für stat. und dyn. Belastung (Stoßdämpferteile, Ölpumpenzahnräder)
Sint D	7% - 12%	Bauteile mit sehr guter Festigkeit für stat. und dyn. Belastung (Kupplungssteile, Fliehgewichte, Fliehkraftregler)
Sint E	4% - 7%	Bauteile mit sehr hoher Festigkeit und mit besonderen elektrischen und magnetischen Eigenschaften (Polschuhe, Relaisteile)
Sint F	< 4,5%	Bauteile mit guter Korrosionsbeständigkeit und hoher Biegefestigkeit, galvanisierbar, zum Löten geeignet (KFZ-Getriebeteile)
Sint G	< 8%	Mit Kunststoff oder Metall getränkte Bauteile guter Korrosionsbeständigkeit, undurchlässig für Öl und Wasser
Sint S	< 10%	Warm gepresste Gleitlager und Gleitelemente mit eingelagerten Festschmierstoff



Quelle: Warnecke

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Rick 030

## Klassifizierung von Sinterwerkstoffen

Typische Anwendungsbeispiele sind Schneidstoffe (z. B. Hartmetalle, Cermets), Lagerteile (z. B. Lagerschalen für Gleitlager) und metallische Formteile (z. B. Zahnräder, Wälzlagerkäfige, Beschläge, Kohlebürsten).



Sinterfertigteile

Quelle: Osterwalder AG Lyss/Schweiz



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

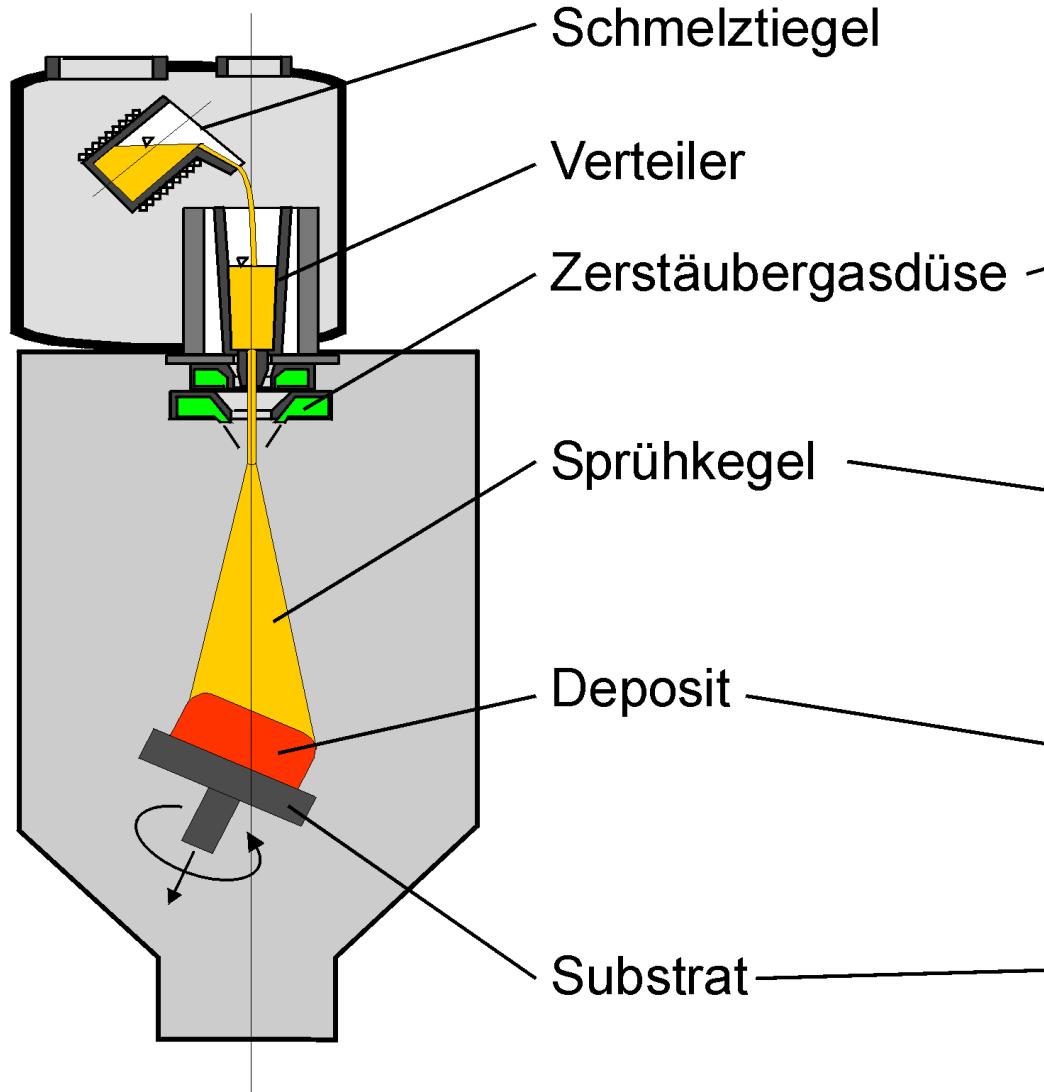
Pulverpressen und Sintern

<b>Werkstoffgruppe</b>	<b>Anwendungsgebiet</b>	<b>Beispiele</b>
Hartmetalle und Hartstoffe, Carbide von W, Ta, Ti mit Co	Zerspanung auf Werkzeugmaschinen, Werkzeugbau	Schneid- und Wendeplatten, Gewindebohrer, Schneideisen, Messbügel
Sinterisen und Sinterstahl: unlegiert, niedriglegiert, hochlegiert	Fahrzeug- und Maschinenbau, Werkzeugbau, Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik	Stoßdämpferkolben, Zahnriemenräder, Einspritzpumpenkeile, Schnecken, Ventilführungen
Reibwerkstoffe aus Eisenpulver mit nichtmetallischen Zusätzen, wie z.B. Asbest, Glas, Graphit	Motorräder und Fahrzeuge, allgemeiner Maschinenbau	Bremsbeläge, Bremsklötze, Kupplungsscheiben, Synchronringe
poröse Sinterteile aus Eisen- und NE-Pulvern ohne oder mit Gleitmittel wie z.B. Öl, Graphit	Maschinenbau, Fahrzeugbau, Haushaltstechnik, chemischer Apparatebau	Gleitlager, Führungsringe, Stoßdämpferkolben, Filter, Düsen, Sinterelektroden, Kolbenringe
Metallkohlen-Magnetwerkstoffe für Dauermagneten und Weich-eisenteile	Elektrotechnik und Elektromaschinenbau, Feinwerktechnik	Schleifkontakte, Polschuhe, Messgeräte, Kleindynamos, Anker, Spulenkerne
hochschmelzende Reinmetalle, wie z.B. W, Ta, Mo, Co und Ni, Kontaktwerkstoffe Ag, Cu	elektronische Bauteile, allgemeine Elektrotechnik, Textiltechnik und Vakuumtechnik	Kondensatoren, Elektronenröhren, Schleif- und Gleitkontakte, Schalterteile
Sinteraluminium und Aluminium-Silizium-Pulver mit und ohne Zusatz von Aluminiumoxid	Maschinen- und Fahrzeugbau, Hochleistungsmotorenteile, Luft- und Raumfahrt	Gleitlager, Getriebeteile, warmfeste und aushärtbare Pleuelstangen und Kolben

Quelle: Fritz, Schulze

Ma 0066



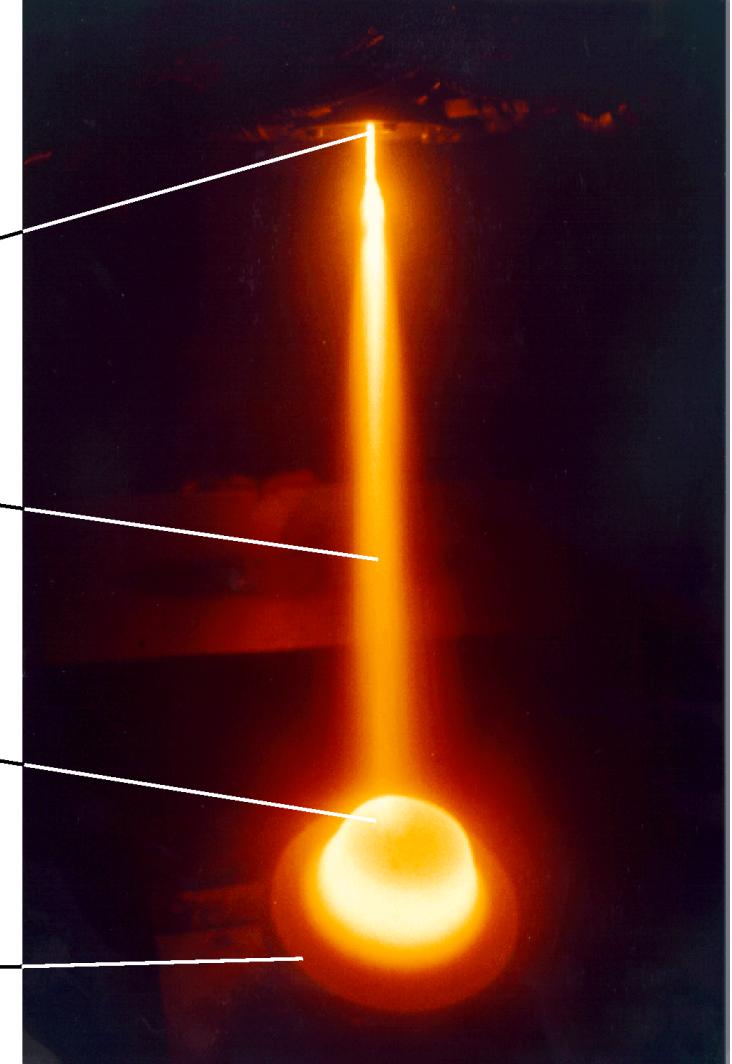


Schmelz- und Sprüheinrichtung

Quelle: SFB 372



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

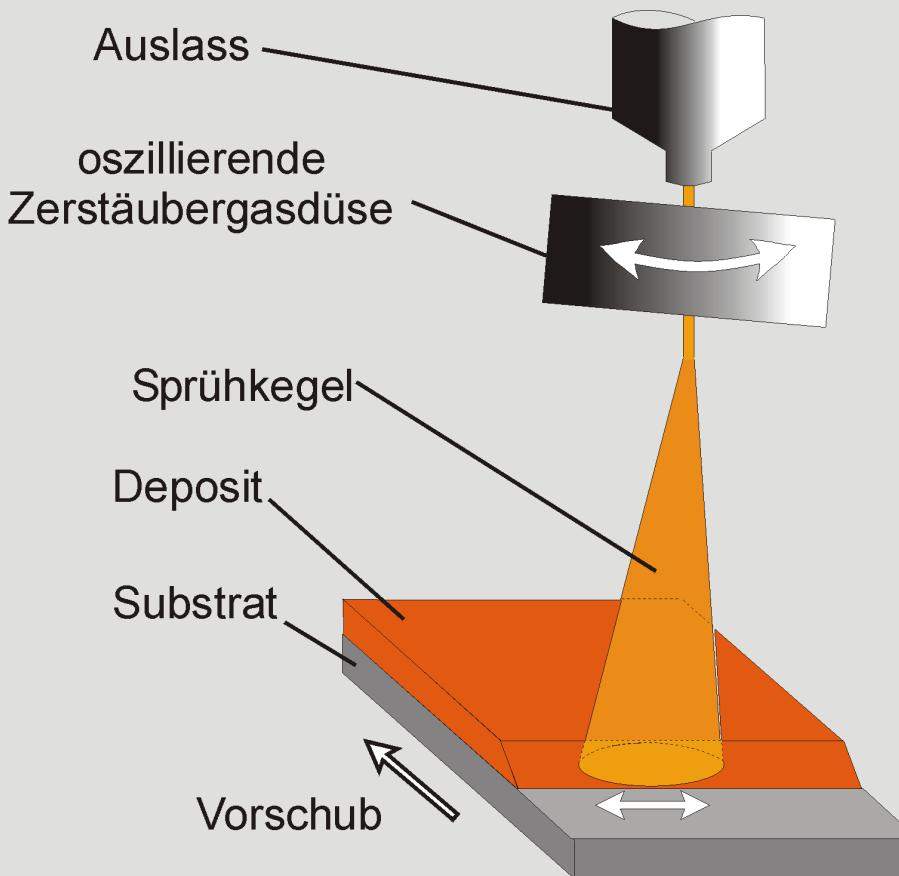


Bolzensprühvorgang

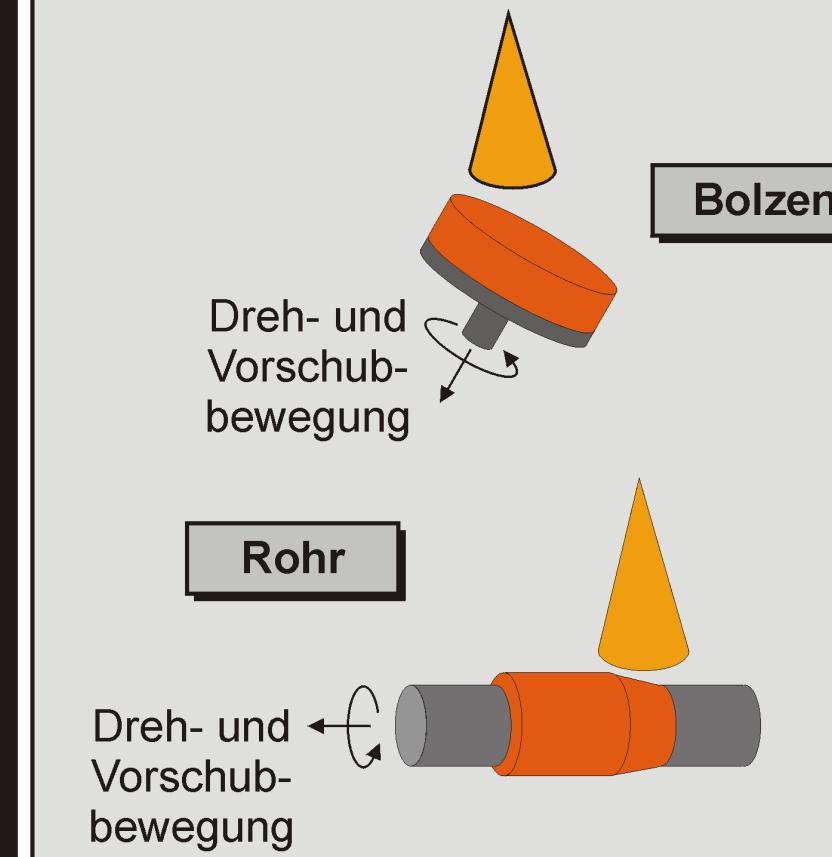
MSch 0057

Sprühkomprimieren im SFB 372

## Flachprodukte



## Rotationssymmetrische Produkte



Quelle: SFB 372



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

MSch 0023

Erzeugung unterschiedlicher Depositgeometrien

# Fertigungstechnik

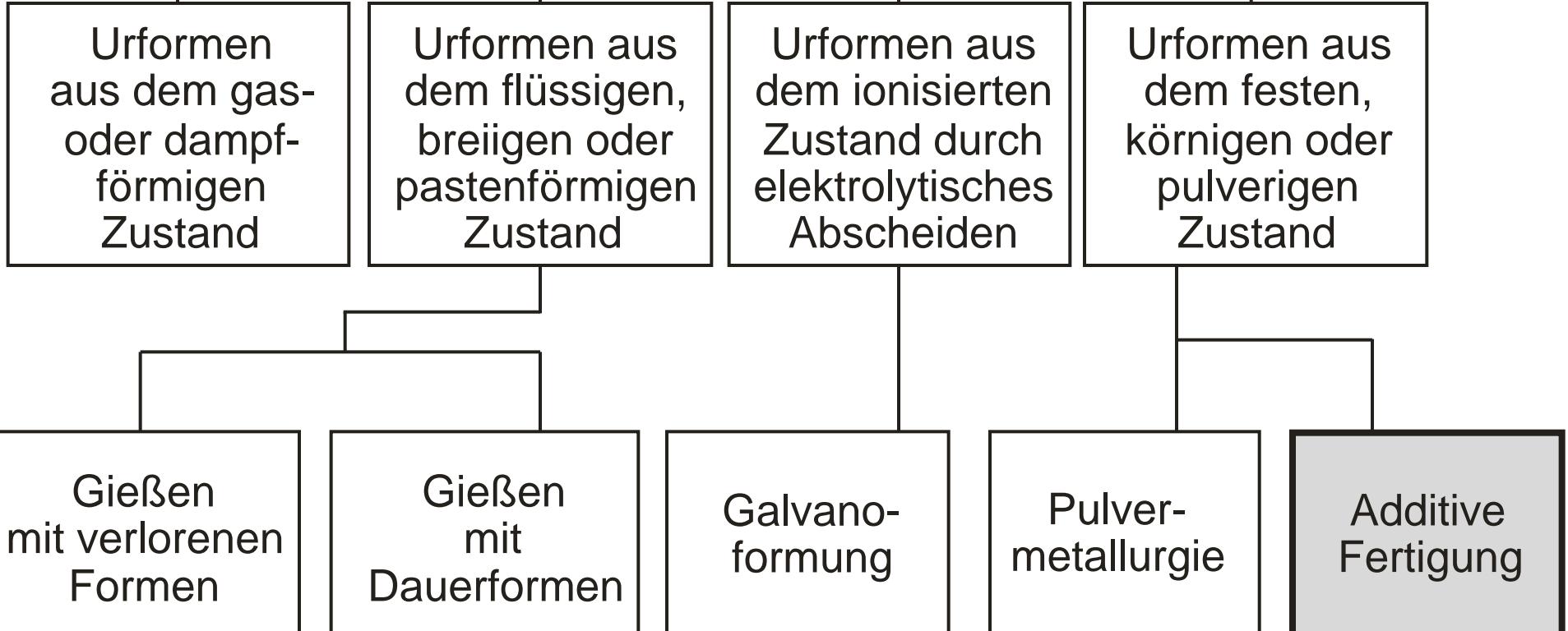
Modul Produktionstechnik

Kapitel 3.6: Additive Fertigung

**Kapitel 3.6.1 Definition und Einteilung**



# ***Urformen***



Quelle: VDI

## Definition nach VDI Statusreport „Additive Fertigungsverfahren“ (September 2014):

„Unter „additiv“ werden alle Herstellverfahren zusammengefasst, bei denen der Werkstoff zur Erzeugung eines Bauteils schichtweise hinzugefügt wird. Das steht im Gegensatz zu den klassischen subtraktiven Fertigungsverfahren wie Fräsen, Bohren und Drehen, bei denen Material abgetragen wird, um das endgültige Bauteil zu erzeugen. Das Schichtbauprinzip ermöglicht es, geometrisch komplexe Strukturen herzustellen, die mit konventionellen Fertigungsverfahren nicht oder nur aufwendig realisiert werden können.“



Ausgangsmaterial

**Draht**  
(Kunststoffe, Metalle, ...)

**Pulver**  
(Kunststoffe, Metalle, Keramik, ...)

**Folie**  
(Kunststoffe, Metalle, Keramik, ...)

**Paste**  
(Polymer-Beton, Photopolymere)

**Flüssigkeit**  
(Photopolymere)

Verarbeitung

Aufschmelzen und Erstarren

Auf-schmelzen und Erstarren  
Verkleben durch Binder

Ausschneiden und Fügen

Auftragen und Erstarren

Polymerisieren

Fertigungsverfahren

**Extrusions-Verfahren**  
(z.B. FDM, Cladding)

**Sintern, Schmelzen**  
(z.B. SLS, SLM, EBM, Cladding)  
**Verkleben durch Binder**  
(z.B. 3D-Druck)

**Schicht-Laminat-Verfahren**  
(z.B. LOM, FTI)

**Extrusions-Verfahren**  
(z.B. Contour Crafting)

**Polymerisation, Stereolithographie**  
(z.B. SL, MUM, PolyJet)



Quelle: Gebhardt

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ber 0142

Übersicht Additive Fertigung

## Einsatzgebiete:

- Kleine Stückzahlen und/oder kundenspezifisch angepasste Produkte
- Fertigung nach Bedarf
- Fertigung vor Ort
- Fertigung von Ersatzteilen für ältere Serienprodukte
- Verkürzung der Iterationszyklen bei der Produktentwicklung
- Leichtbau

## Branchen:

- Luft und Raumfahrtindustrie/Rüstungsindustrie
- Automotive-Industrie
- Werkzeug- und Formenbau
- Automatisierungstechnik, Maschinen- und Anlagenbau
- Medizintechnik, Prothetik, Dentaltechnik, medizinische Hilfsmittel
- Elektronik
- Möbelindustrie
- Nahrungsmittelindustrie
- Sportgeräteindustrie
- Bekleidungsindustrie
- Spielwarenindustrie und Fertigung von Sammlerstücken



Quelle: VDI

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ber 0144

Typische Einsatzgebiete & Branchen

<b>Keramische Materialien</b>	<b>Polymer Materialien</b>	<b>Metallische Materialien</b>
Aluminiumoxid	ABS (thermoplastischer Kunststoff)	Inconel
Zirkoniumoxid	Polyamide (z.B. Nylon)	Titan
Wolframcarbid	PLGA	Aluminium
Hydroxyapatit	PMMA	Kupfer
Tricalcium Phosphat (TCP)	Duroplastische Epoxidharze	Werkzeugstahl
Epoxide mit Keramik & Carbon Nanotubes		Edelstahl
Siliziumdioxid	Polycarbonat	Cobalt Chrom
Siliziumcarbid	Polyphenylsulfone	Gold / Platin
Mullite	ULTEM	Hastelloy
PLA		



Quelle: nach SIMTech

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Materialien für 3D Additive Fertigung

Pal 0132

# Fertigungstechnik

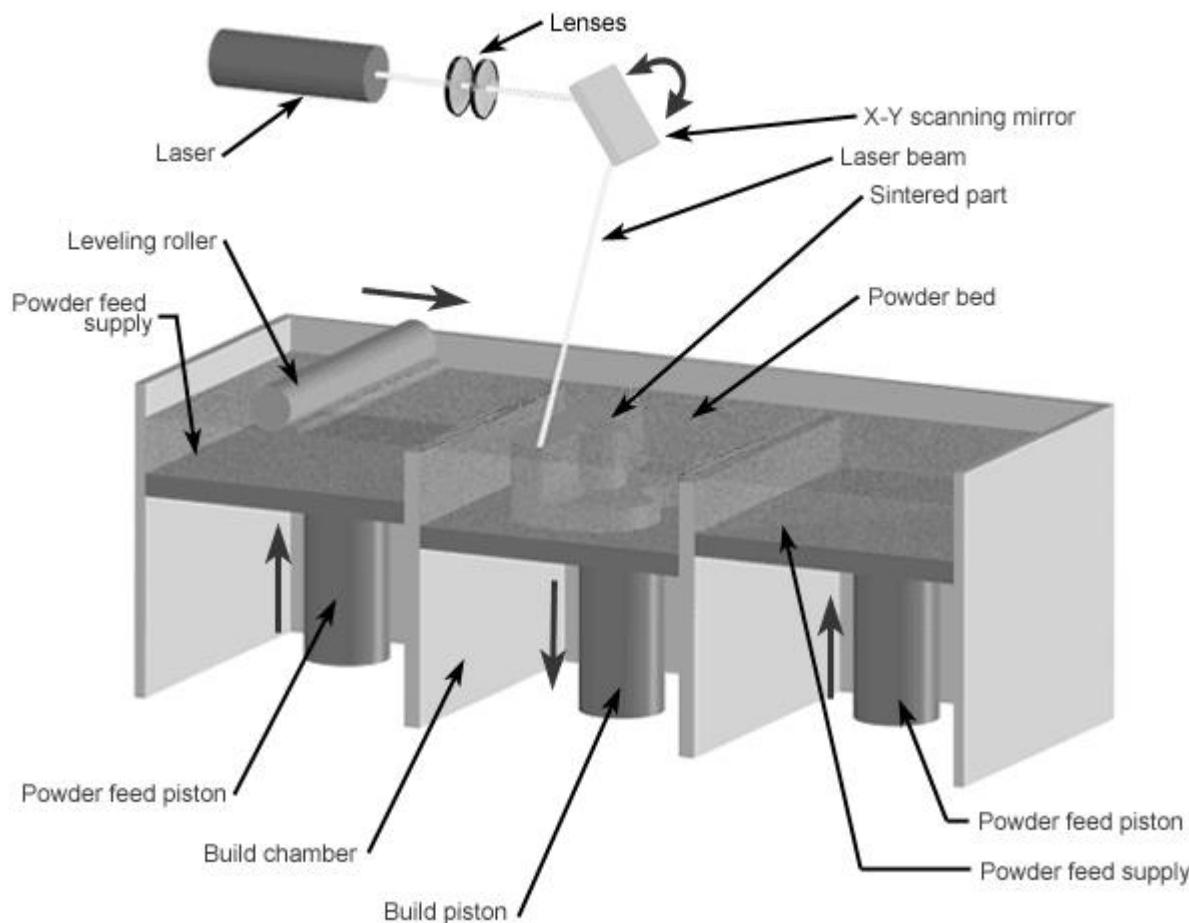
Modul Produktionstechnik

## Kapitel 3.6.2 Ausgewählte Verfahren



- LOM – Laminated Object Modelling/Manufacturing
- FDM – Fused Deposition Modelling
- EBM – Elektronenstrahlschmelzen
- LMD – Laser Metal Deposition
- SHS: Selektives Hitze Sintern
- SLM - Laserstrahlschmelzen
- SLA - Stereolithographie
- Direct Wax Printing
- Z-corp 3D Printing
- Sand 3D Printing
- PolyJet
- EnvisionTEC
- Mask Sintering
- SLS - Lasersintern
- Laser Sand Sintering





Quelle: Festo

Lasergesinterter Greifarm vom Pneumatik-Spezialisten Festo.

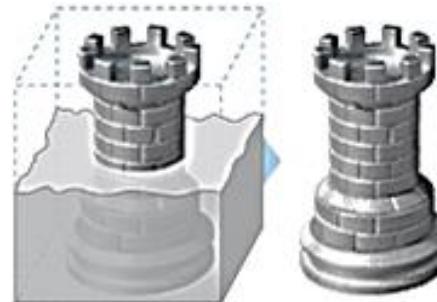
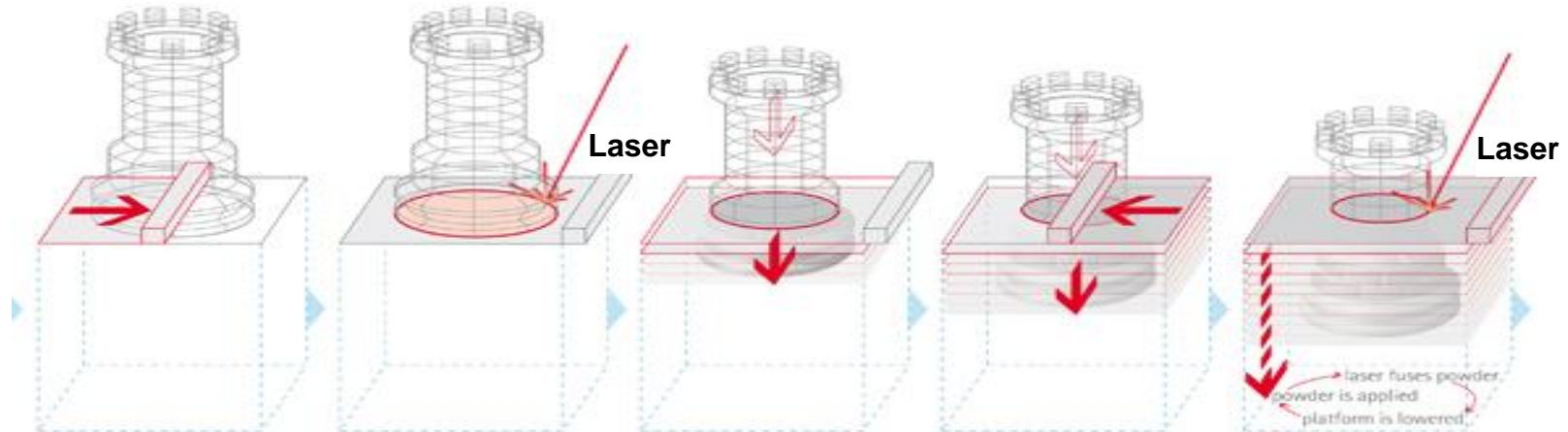


Quelle: CEDIFA, Uni Würzburg

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Funktionsprinzip Lasersintern  
SLS

Ber 0145



Lockeres Pulver wird entfernt  
Bauteil ist fertig

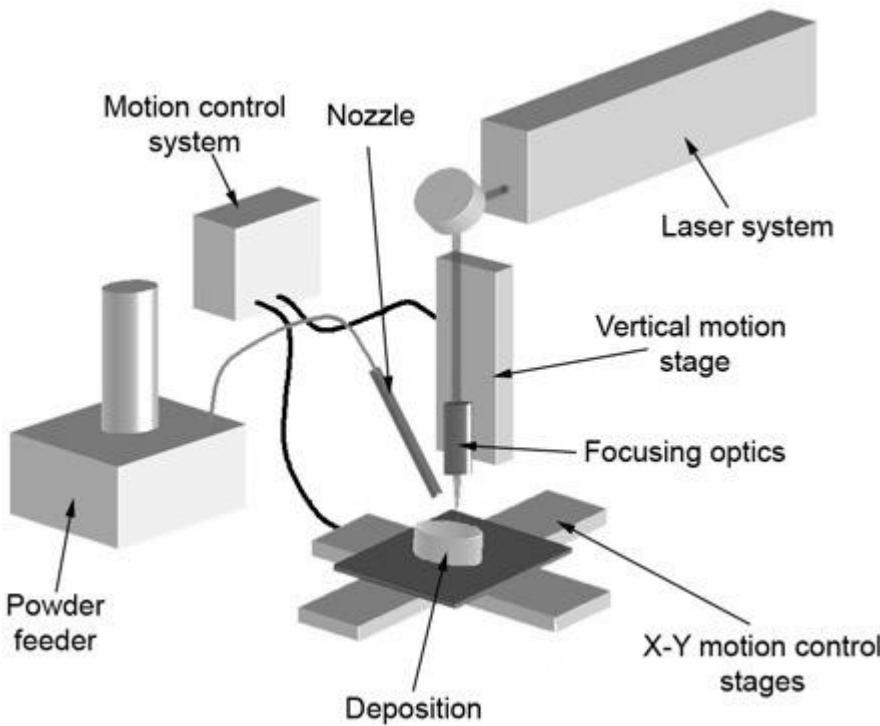


Quelle: eos.info

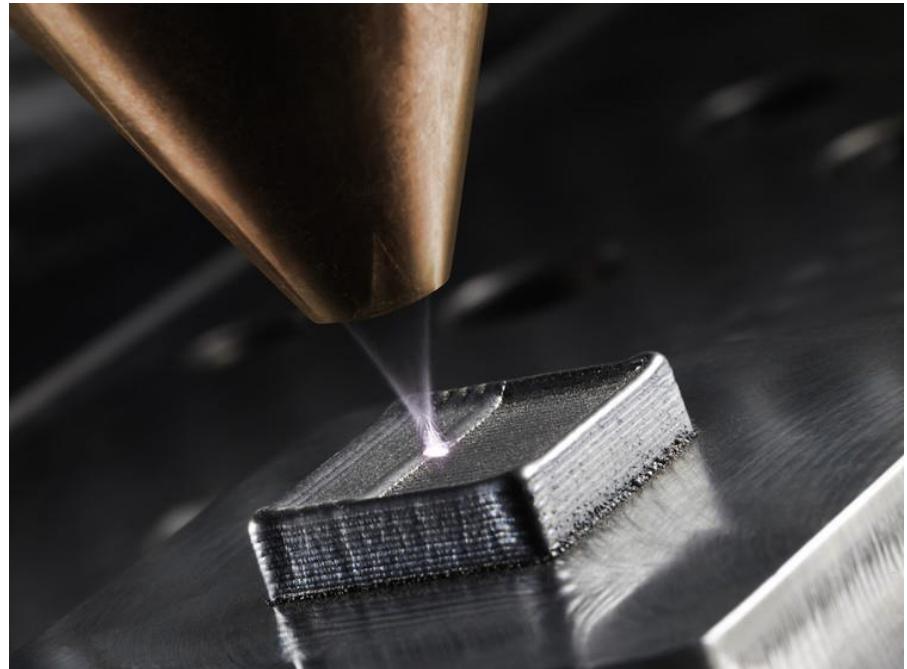
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Bauteilherstellung durch Lasersintern

Pal 0130a



Prinzip Laserauftragschweißen



Laserauftragschweißen auf einem Werkstück

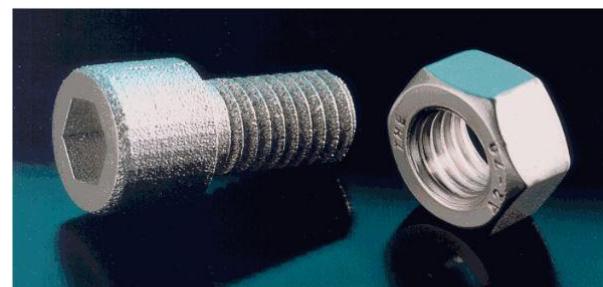
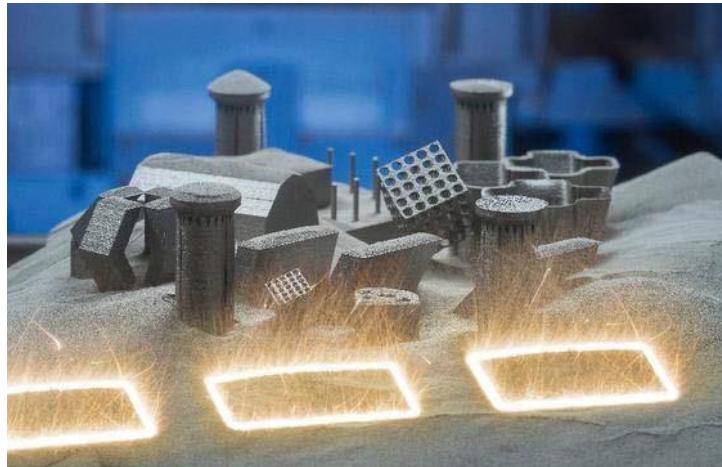
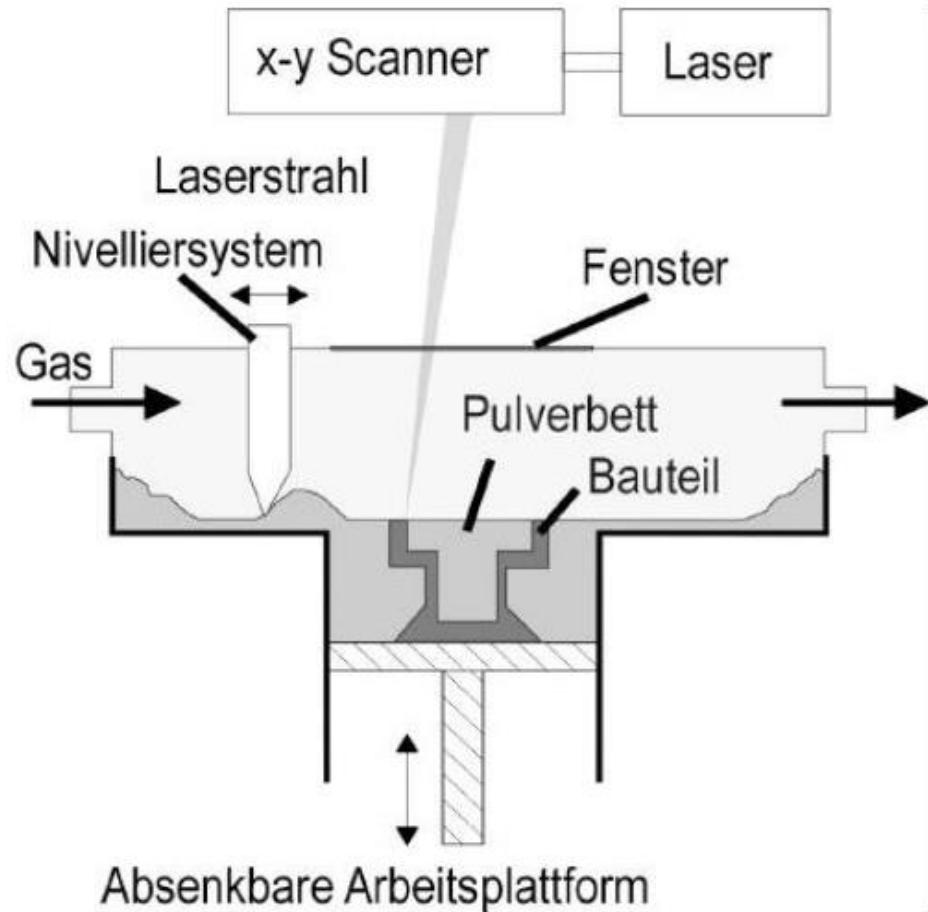


Quellen: Mechanical Engineering, Trumpf

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ber 0146

Funktionsprinzip Laserauftragsschweißen

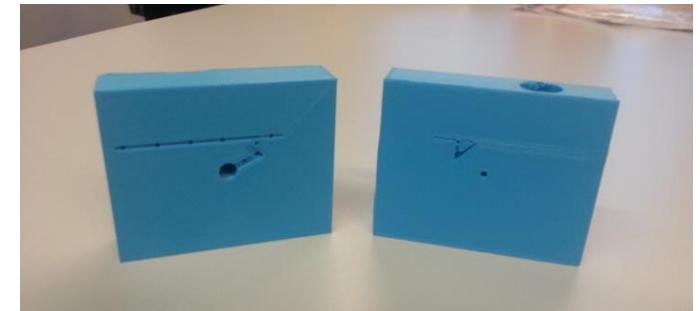
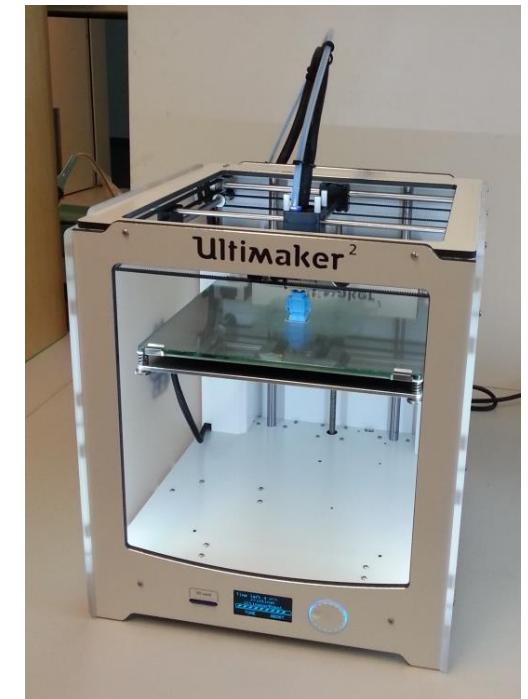
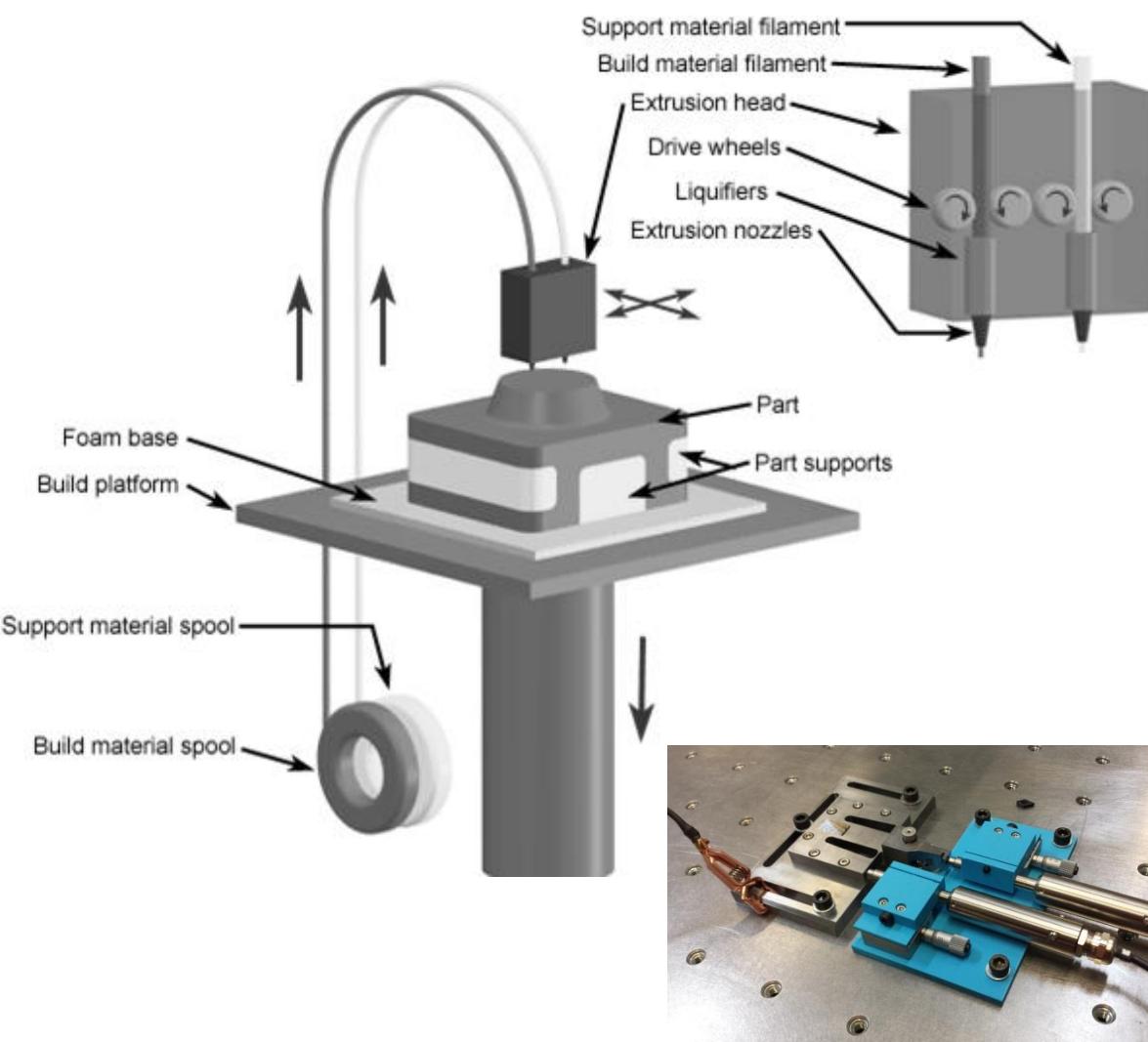


Quellen: Siemens, MCP-HEK Tooling GmbH

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ber 0147

Funktionsprinzip Selective Laser Melting (SLM)



Quelle: CustomPartNet

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Funktionsprinzip Fused Deposition Modeling (FDM)  
„3D-Druck“

Ber 0148



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

[janweingand.de](http://janweingand.de)

Beispielbauteile 3D Additive Fertigung

Pal 0134

## Local Motors - LM3D

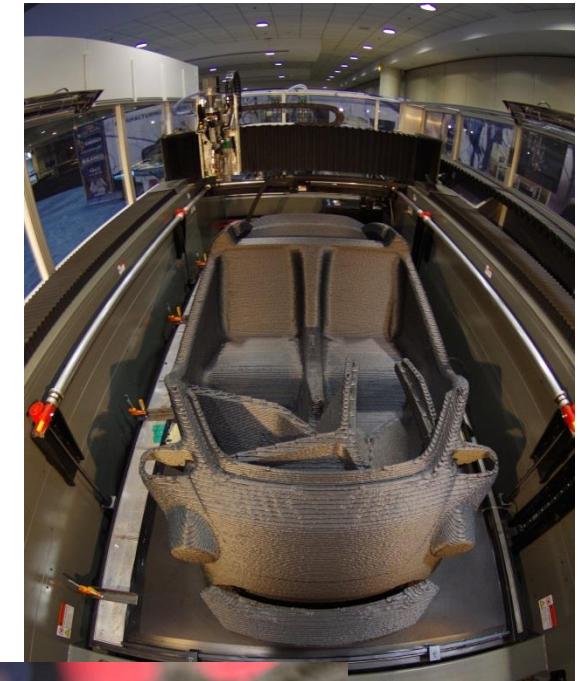
75 % des Autos kommen aus dem 3D Drucker

➤ Ziel: 90 %

Material: 80 % ABS Kunststoff, 20 % Kohlefaser

Kosten für Endverbraucher: ab 53.000 \$

Vom Design zum fertigen Auto in ca. 2 Monaten!



Quelle: <https://localmotors.com/3d-printed-car/>



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Dör 0204

Auto aus dem 3D Drucker von Local Motors

# wirtschaft

in Bremen und Bremerhaven

Das Magazin der Handelskammer



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

## BIOZOON GmbH

### **Schüttling-Preis 2016 für Innovation im Mittelstand**

Entwicklung eines 3D-Druckverfahrens für die industrielle Produktion von pürierter und passierter Kost in Form (smoothfood 2.0)

#### **Funktionsprinzip:**

Durch ein neuartiges Texturierungssystem und ein spezielles Geliermittel kann aus jedem Lebensmittel (Flüssigkeit, passiert, püriert) gelierte Kost erzeugt werden, die bis 100 °C regenerierbar ist.

#### **Zielgruppe:**

Personen mit Kau- oder Schluckstörungen (Dysphagie)

Dör 0203

## Vorteile:

- **große Werkstoffauswahl**
- **Funktionen (z.B. Leichtbaustrukturen) können bereits im additiven Fertigungsprozess in Produkte integriert werden**
- **Kein bzw. geringer Materialverlust**
- **Schnelle Realisierung von Prototypen**
- Keine speziellen Werkzeuge erforderlich
- Fertigung vor Ort/nach Bedarf reduziert Lagerhaltung(skosten)
- Geometrische Restriktionen konventioneller Fertigungsverfahren (z.B. Hinterschnitte) entfallen → komplexe Strukturen realisierbar
- Energetisch günstiger als spanende Verfahren

## Nachteile:

- **Erreichbare Festigkeiten der Bauteile vergleichsweise gering**
- **Erreichbare Formgenauigkeiten & Oberflächenrauheiten ebenfalls geringer**  
→ Nacharbeit nötig
- **Verhältnismäßig hohe Investitions- und Bauteilkosten**



Quelle: VDI

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ber 0143

Vor- und Nachteile additiver Fertigung

# Grundlagen der Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

Kapitel 4: Umformen



# **4. Umformen**

## **4.1 Einleitung**

- 4.1.1 Geschichte
- 4.1.2 Einteilung
- 4.1.3 Prozesse
- 4.1.4 Maschinen

## **4.2 Werkstoffkundliche Aspekte**

- 4.2.1 Aufbau der Metalle
- 4.2.2 Plastische Verformung

## **4.3 Umformverfahren**

- 4.3.1 Walzen
- 4.3.2 Schmieden/Stauchen
- 4.3.3 Fließpressen
- 4.3.4 Tiefziehen
- 4.3.5 Drückwalzen

Ber 0139



## 4.1 Einleitung

- Geschichte
- Einteilung
- Prozesse
- Maschinen



Quelle: [geertstiefziehen.de](http://geertstiefziehen.de)

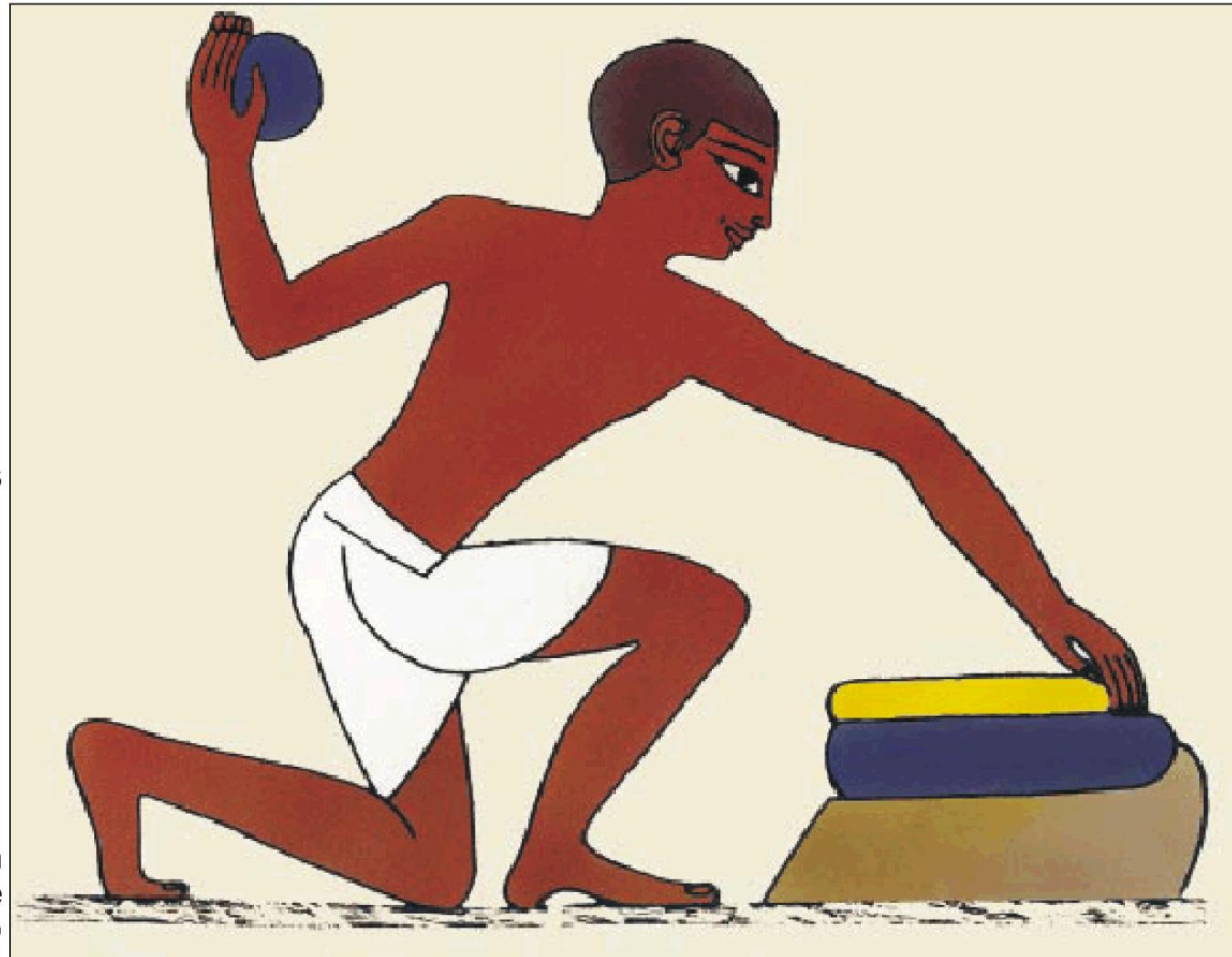


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Gliederung

- "Schmieden" ist eine der ältesten Arbeits-techniken des Menschen.
- Schon 4000 v. Chr. wurden reine Metalle durch Schmieden bearbeitet.
- Ab 2500 v. Chr. gab es Kupferlegierungen (Bronzezeit).

Skizze aus den Darstellungen am Grabe des Rechmiré Wesirs (ca. 1450 v. Chr)



Quelle: Deutsche Schmiedetechnik



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

MSch 0307

Historische Entwicklung



Br 1227





Quelle: Spiegel / NATURE

Lün 0001



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Damaszener Stahl

- Schweißverbundstahl kann schon 500 v. Chr. nachgewiesen werden.
- Seit der späten Römerzeit technisch ausgereifte Damaszenerstahl.
- Verschweißung und Ver-schmiedung von Stählen mit verschiedenen Kohlenstoffgehalten.

Neuzeitliches Messer mit Klinge aus Damast-Stahl.

Die typische Optik entsteht durch unterschiedliches Ätzen der zusammengefügten Stähle.



Quelle: VDS

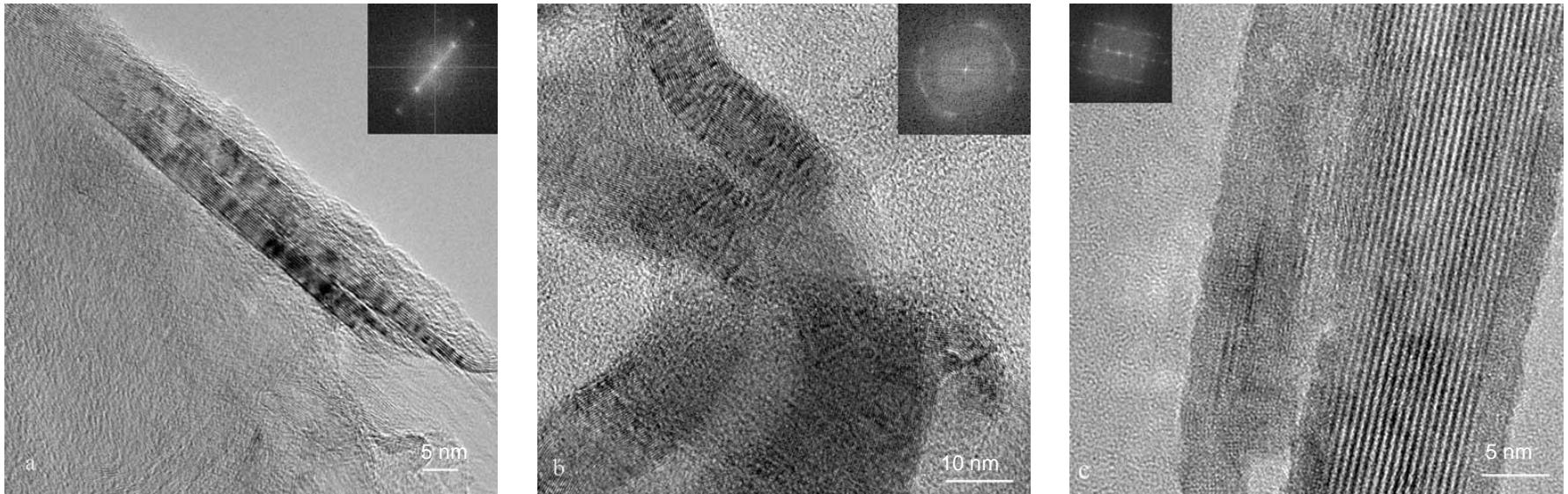


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

MSch 0310

Damaszener Stahl

# Nanostrukturen in einer Probe aus Damaszenerstahl nach Auflösung in Salzsäure (Elektronenmikroskopische Aufnahmen)



Quelle: Spiegel / NATURE

Lün 0003



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Kohlenstoff-Nanoröhrchen in Damaszener Stahl



- typisches Wellenmuster auf einer Klinge aus Damaszener Stahl

Quelle: Spiegel / NATURE

Lün 0002



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Damaszener Stahl

## Entwicklung in der Schmiede-industrie durch:

- steigende Losgrößen, besonders im Fahrzeugbau
- Weiterentwicklung der Stahlsorten
- neue Techniken im Werkzeugbau
- Entwicklung neuer Maschinentypen, Einsatz von neuen Verfahren und Verfahrenskombinationen

Moderne Gesenkschmiede



Quelle: Deutsche Schmiedetechnik



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

MSch 0309

Technische Entwicklung in der Schmiedeindustrie

Zusammenhalt schaffen	Zusammenhalt beibehalten	Zusammenhalt vermindern	Zusammenhalt vermehren	
Form schaffen	Form ändern			
	1. Urformen	2. Umformen	3. Trennen (Spanen)	4. Fügen (Schweißen, Löten, etc..)
			5. Beschichten (Bedampfen, Galvanik, etc.. )	
		6. Stoffeigenschaft ändern		
	Umlagern von Stoffteilchen	Aussondern von Stoffteilchen	Einbringen von Stoffteilchen	

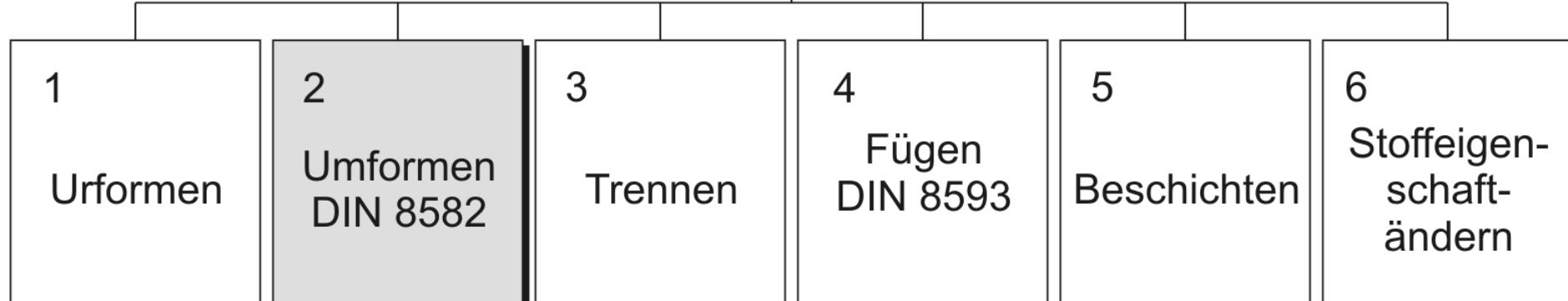
Quelle: DIN 8580

MSch 0315



## Fertigungsverfahren

### Hauptgruppen

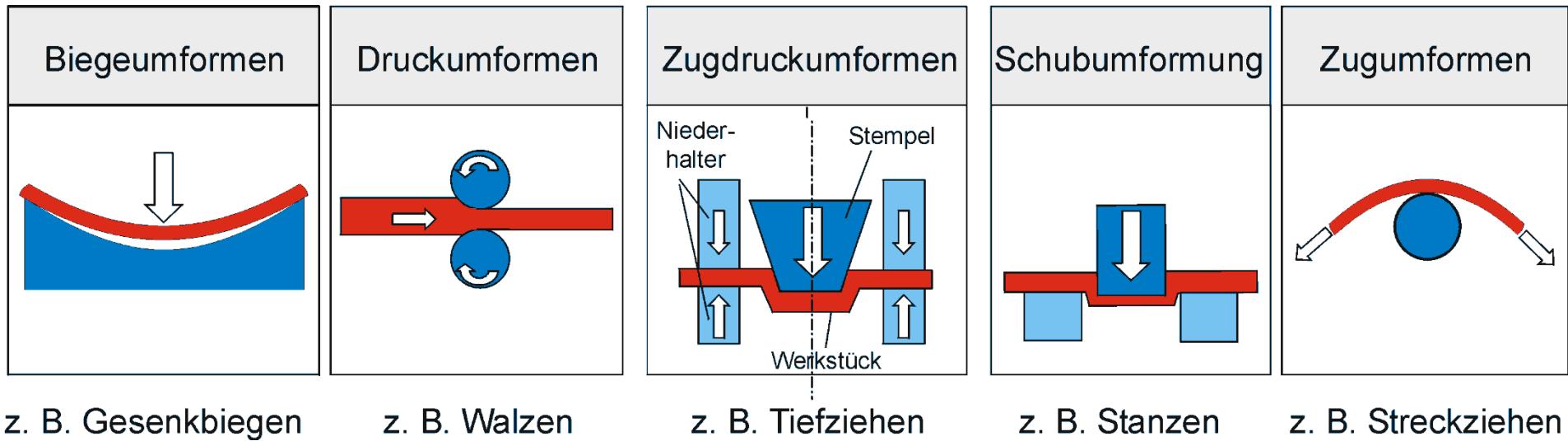


### Gruppen



Rick 037



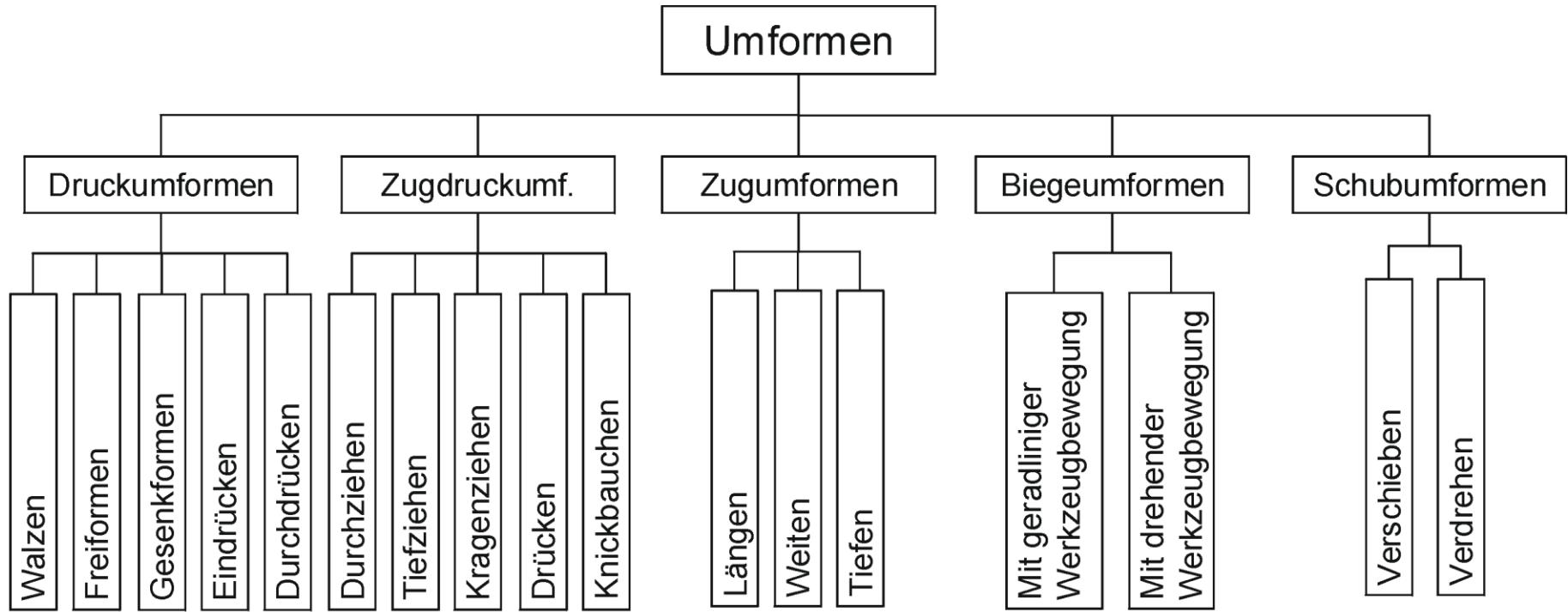


Quelle: Vieregge

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Einteilung der Umformverfahren  
nach der wirksamen Spannung

MSch 0330



- **Einteilung der umformenden Fertigungsverfahren gemäß DIN 8582**
- **Gruppierung nach den wirksamen Spannungen**



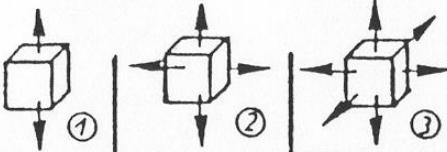
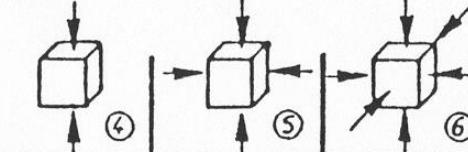
Quelle: DIN 8582

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

MSch 0322

Einteilung der Fertigungsverfahren der Umformtechnik

# Hauptspannungszustände im Werkstoff

Zugumformen	Druckumformen	Zugdruckumformen
   <p>Tritt bei der Umformung kaum auf</p> <p>Zugversuch im Einschnürquerschnitt</p> <p>Querkontraktionsbehinderung beim Dehnen Restspannungen nach Umformung Schrumpfspannung</p>	   	   
<p>Die eingekreisten Zahlen bedeuten, daß gleichzeitig der bezeichnete Spannungszustand auftritt.</p>		



## Einteilung nach den wirksamen Spannungen (DIN 8582)

- Druckumformen
- Zugumformen
- Zug-Druckumformen
- Biegeumformen
- Schubumformen

### weitere Einteilung nach:

- Kinematik (Relativbewegung zwischen WKZ und WST)
- Werkzeug-Geometrie
- Werkstück-Geometrie

## Einteilungen aus der Industrie

- Massivumformen
- Blechumformen

### Temperatur:

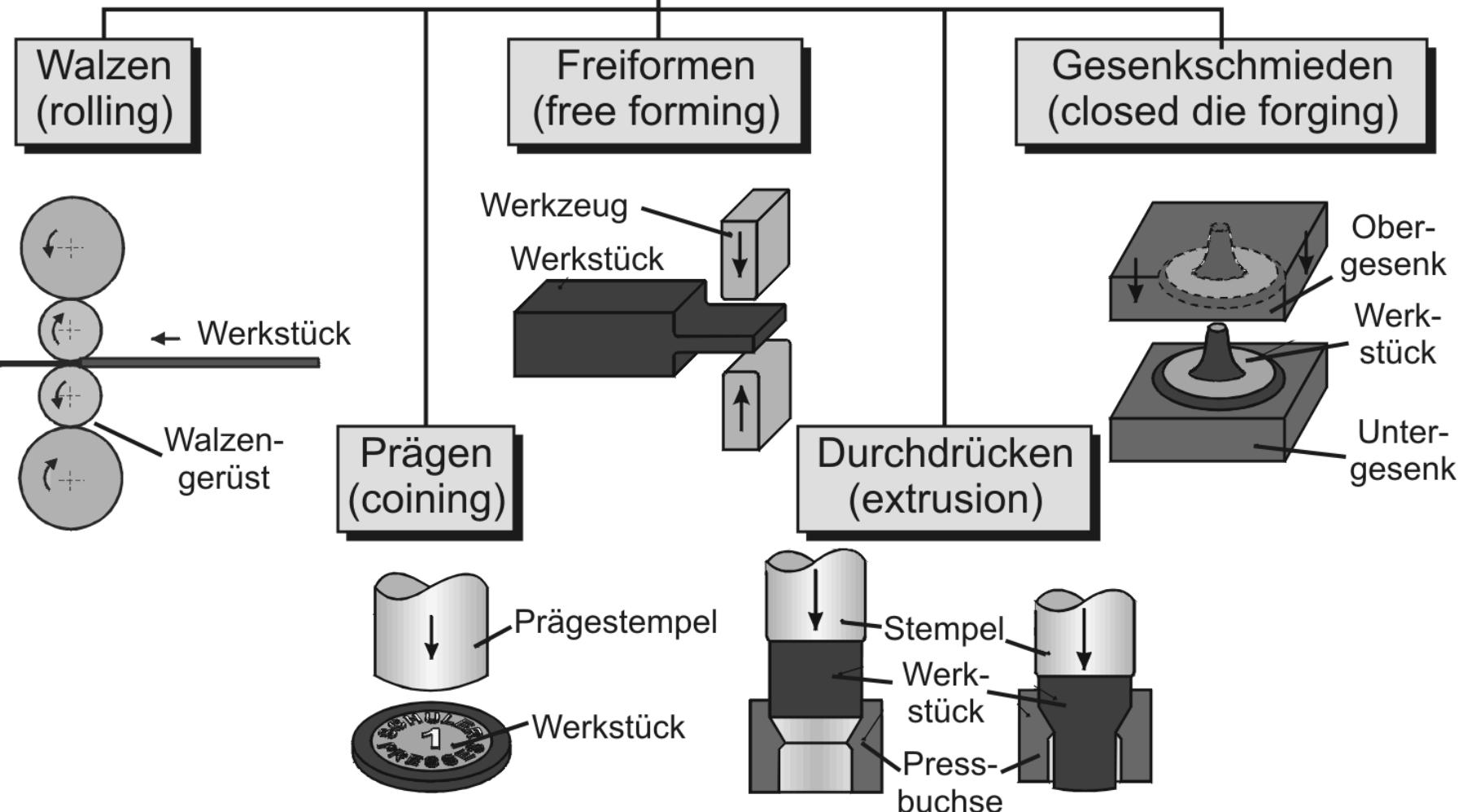
- Kaltumformen
- Warmumformen

### Werkstofffestigkeit:

- ohne Festigkeitsänderung
- mit vorübergehender Festigkeitsänderung
- mit bleibender Festigkeitsänderung



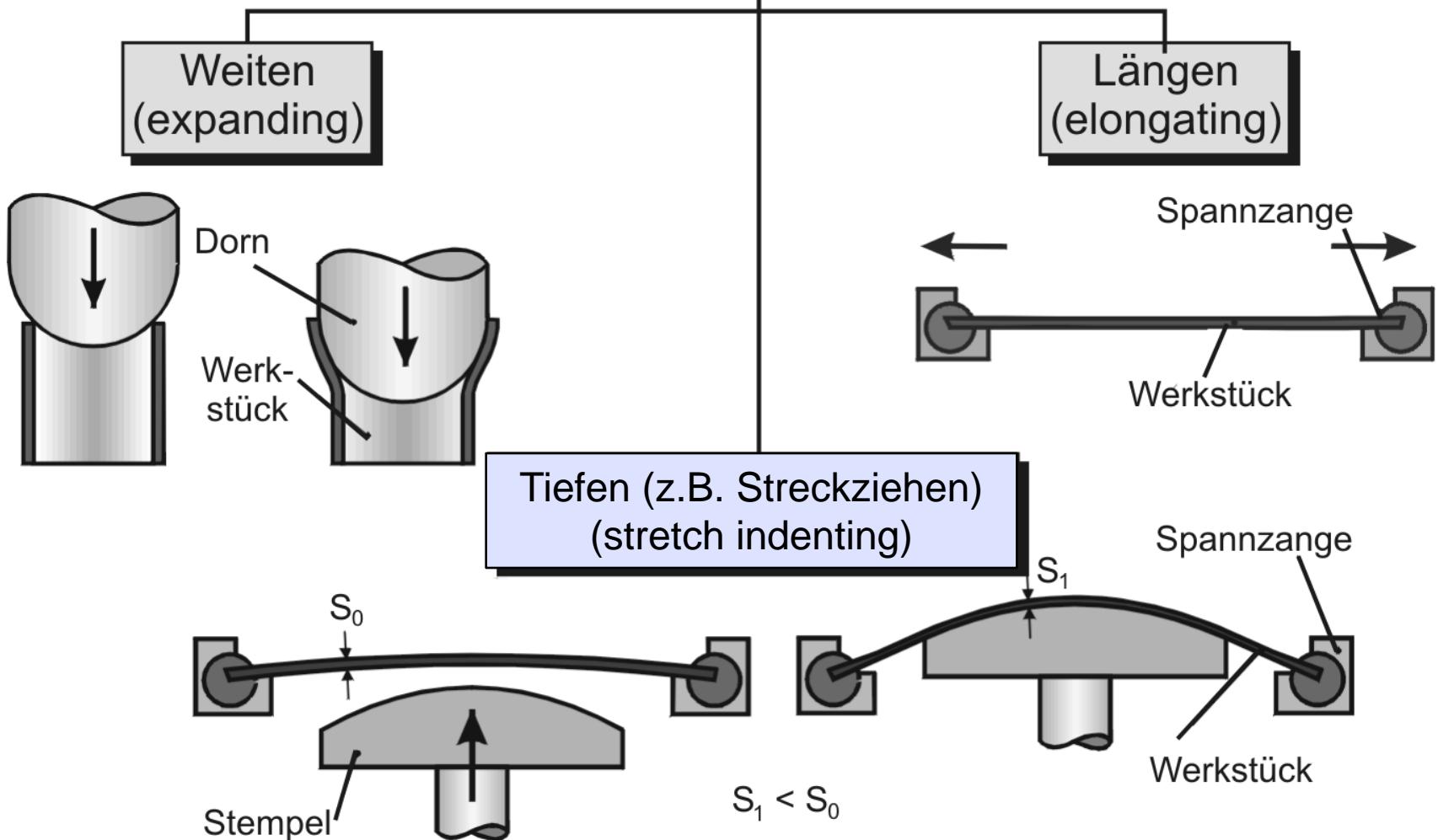
# Druckumformen (compressive forming)



Rick 046



# Zugumformen (tensile forming)

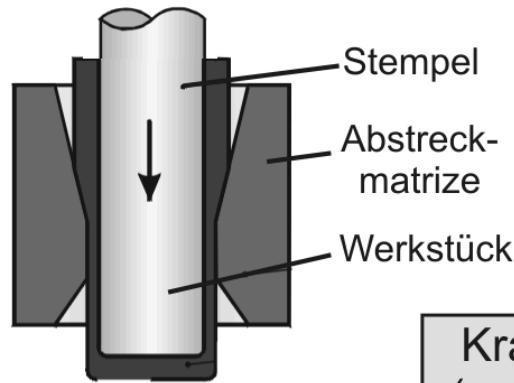


Rick 047

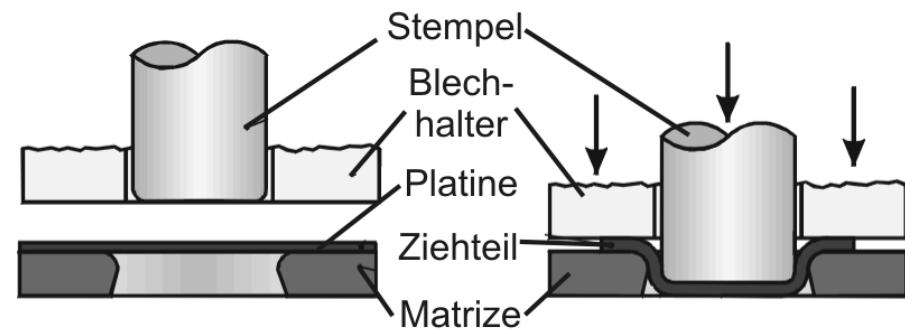


## Zugdruckumformen (tensile-compressive forming)

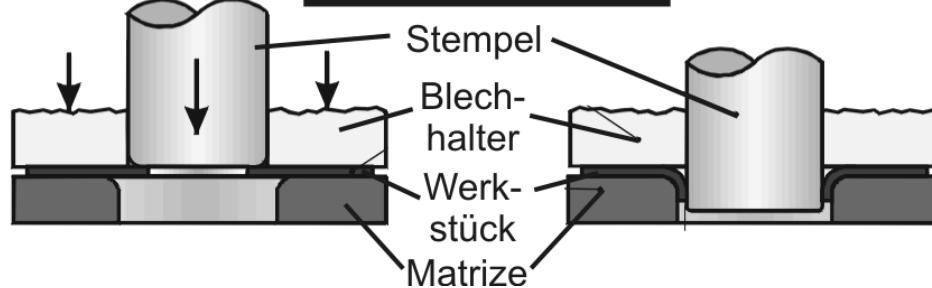
### Durchziehen (zipping)



### Tiefziehen (deep drawing)



### Kragenziehen (collar forming)



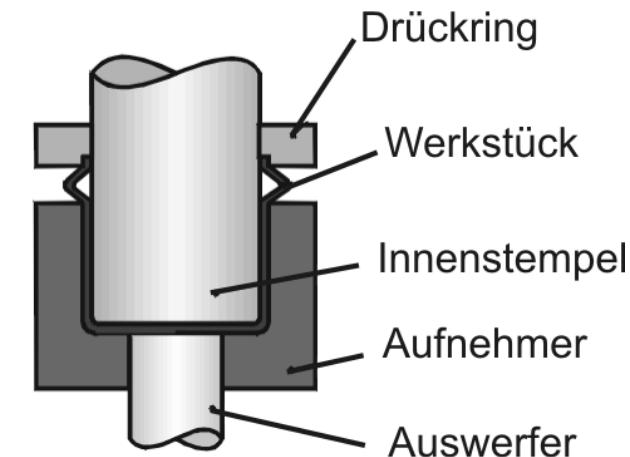
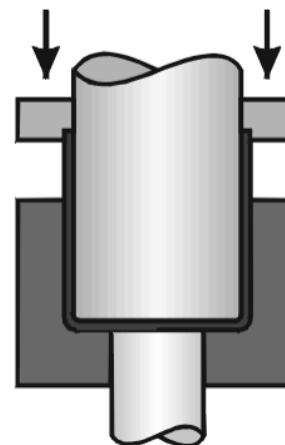
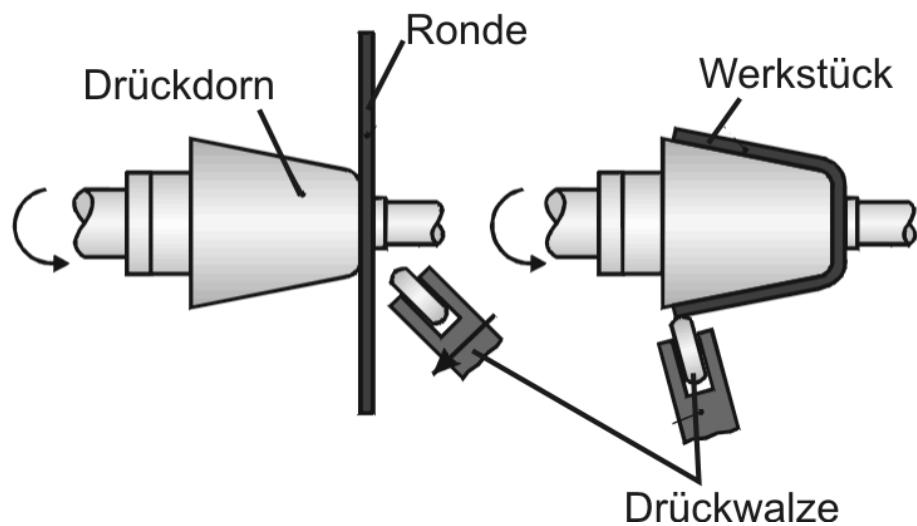
Rick 048



## Zugdruckumformen (tensile-compressive forming)

Drücken  
(pressing)

Knickbauchen  
(upset bulging)



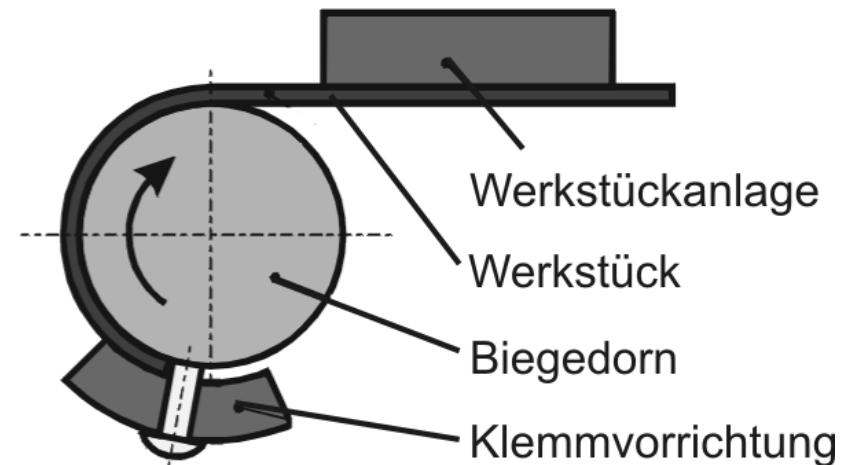
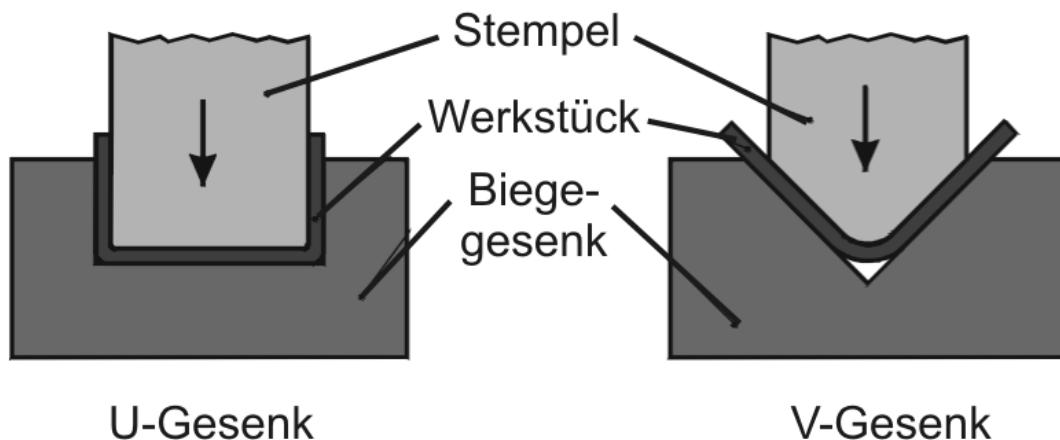
Rick 049



# Biegeumformen (bend forming)

Gesenkbiegen  
(die bending)

Rundbiegen  
(circular bending)

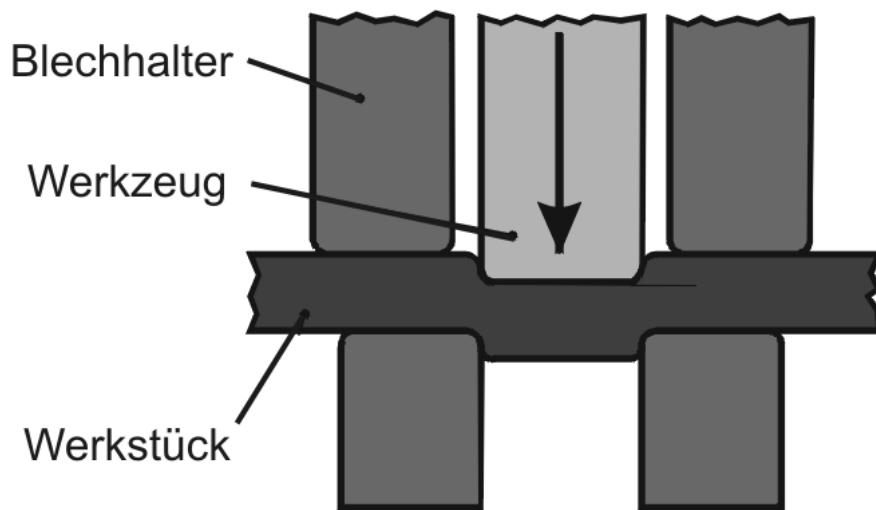


Rick 050

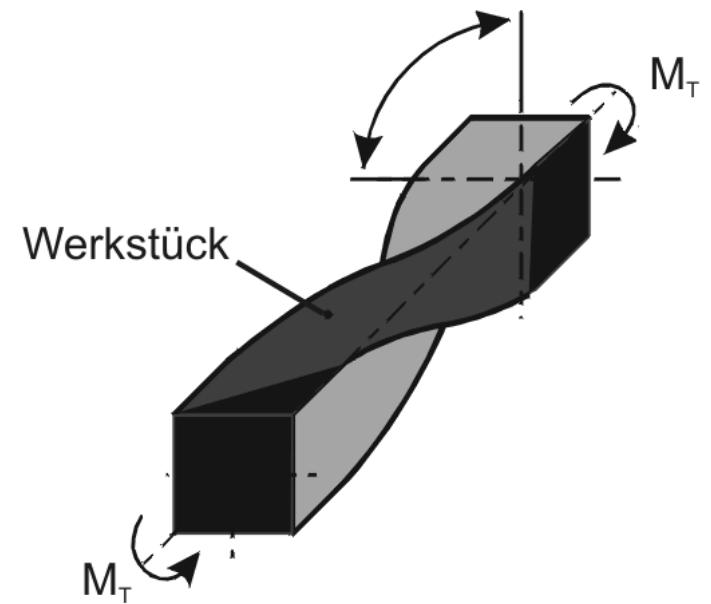


# Schubumformen (shear forming)

Verschieben  
(displacement by shear)



Verdrehen  
(twisting)



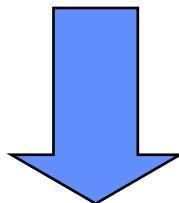
Rick 051



Verfahren bei denen das Werkstück vor der Umformung nicht erwärmt, sondern bei Raumtemperatur eingesetzt wird

$$\vartheta_{\text{Umf}} = \vartheta_{\text{Raum}}$$

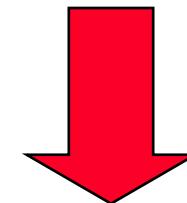
(ca. 20 °C)



## KALTUMFORMUNG

Verfahren bei denen das Werkstück auf Temperaturen oberhalb der jeweiligen Rekristallisationstemperatur erwärmt wird

$$\vartheta_{\text{Umf}} > \vartheta_{\text{Rekristallisation}}$$



## WARMUMFORMUNG



# Warmumformung

Werkstoff	Temperatur [°C]
Stahl	1000 - 1250
Titan	850 - 950
Kupfer	730 - 900
Messing	650 - 730
Aluminium	450 - 550
Al-Mg-Legierungen	380 - 500
Blei	Raumtemperatur

- Das Umformverhalten metallischer Werkstoffe ist wesentlich abhängig von der Temperatur.
- Mit steigender Temperatur wird das Umformverhalten günstiger.  
(höheres Umformvermögen, geringere Umformkräfte)
- Untere Grenze der Warmumformung ist die Rekristallisationstemperatur.
- Die obere Grenze wird durch chem. und werkstoffkundliche Reaktionen bestimmt.

Quelle: Vieregge

MSch 0326



# Einteilung nach der Werkstückform

## Massivumformung

(Dreidimensionales Werkstück)

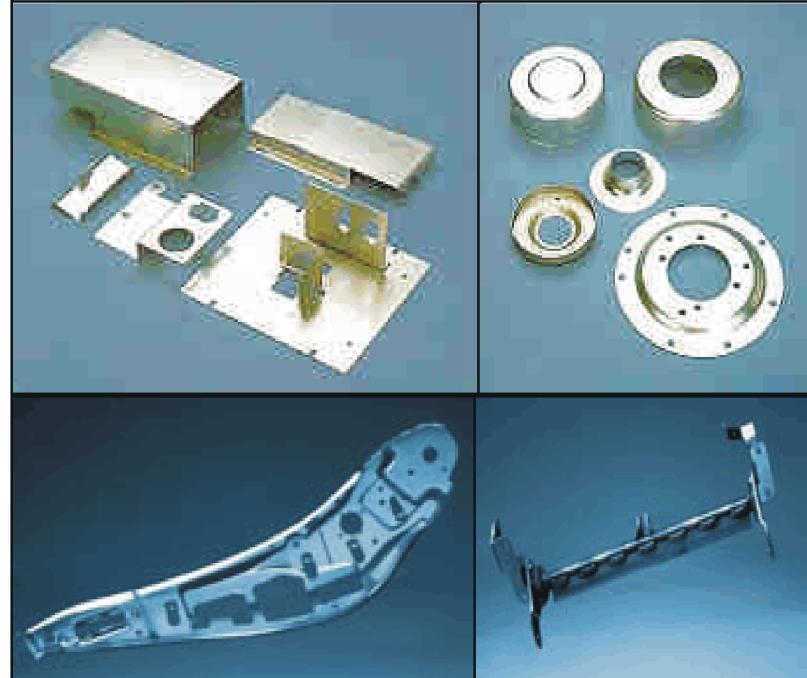


Massivumformung weiter unterteilt in:

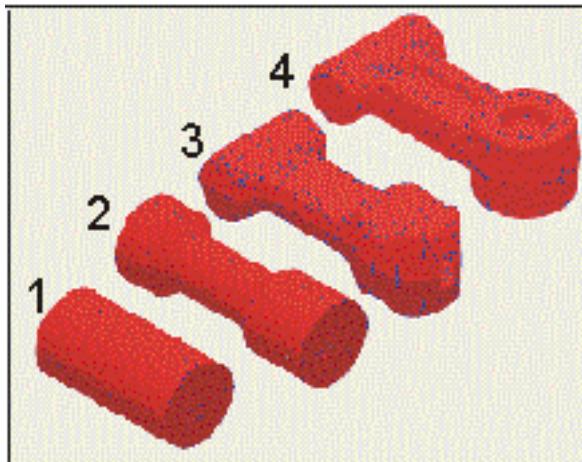
- Kaltmassivumformung (Raumtemperatur)
- Warmmassivumformung (z. B. Stahl)
  - Halbwarmumformung (600 - 800 °C)
  - Schmieden (1000 - 1200 °C)

## Blechumformung

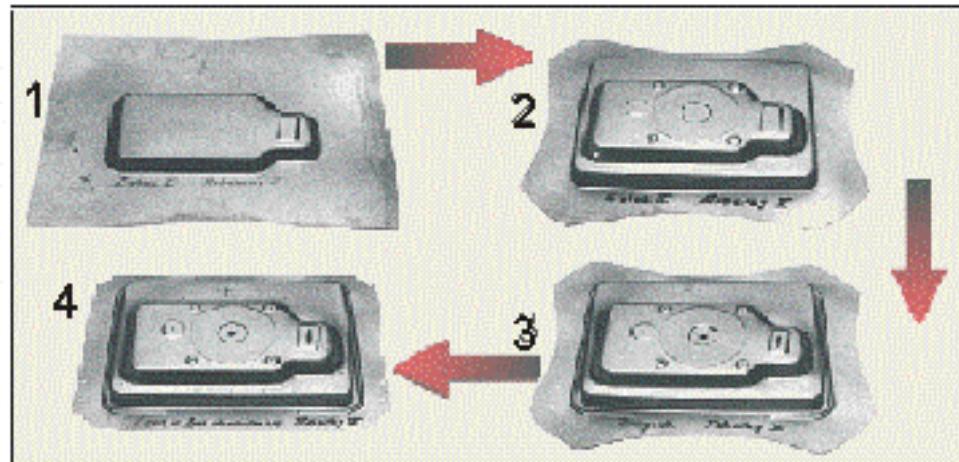
(Zweidimensionales Werkstück, vor dem Bearbeiten)



- Formänderungsvermögen des Werkstoffs und Leistungsvermögen der Maschine sind begrenzt.
- Im allgemeinen mehrstufige Umformoperation.



Prozessauslegung  
eines Schmiedeteils



Prozessauslegung eines  
Blechwerkstückes

### Konsequenzen:

- Äußerst hohe Werkzeugkosten für ein einzelnes Bauteil.
- Konstrukteur muss "umformgerecht" gestalten, um Kosten zu senken.

MSch 0320



- Mit zunehmender Komplexität steigt die Anzahl der notwendigen Umformschritte
- Die Bearbeitung findet dann auf mehrstufigen Umformeinrichtungen statt



Umformung in 2 Schritten



Umformung in 3-4 Schritten



Umformung in 5-6 Schritten



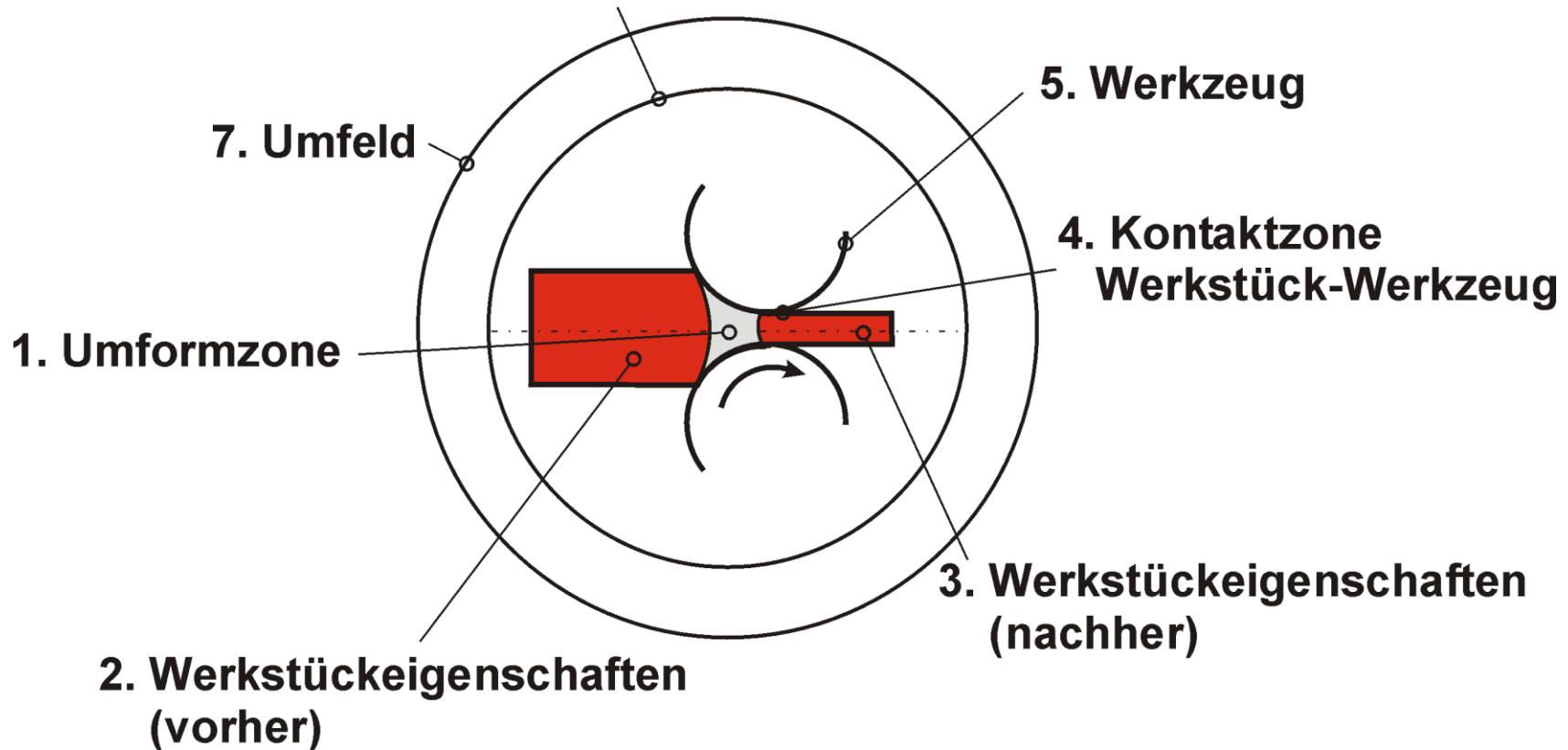
Bildquelle:Firma MÖHLING

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fliesspressen und Bauteilkomplexität

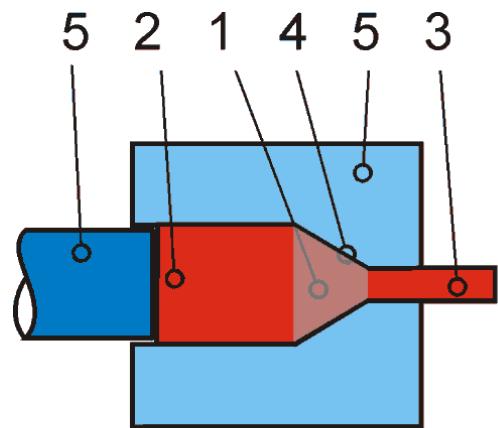
MSch 0314

## 6. Werkzeugmaschine

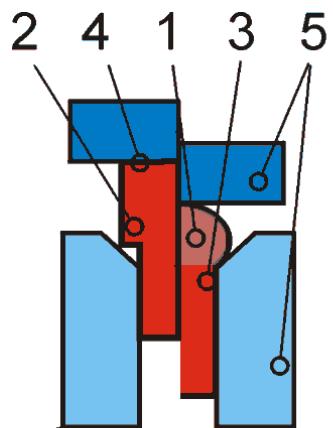


MSch 0331

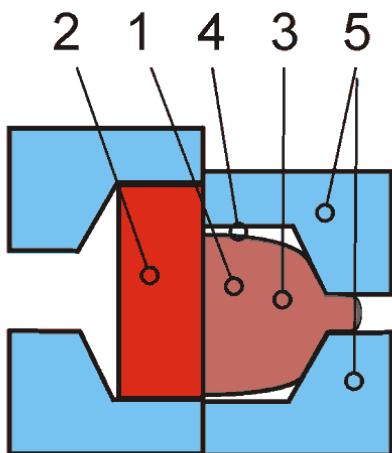




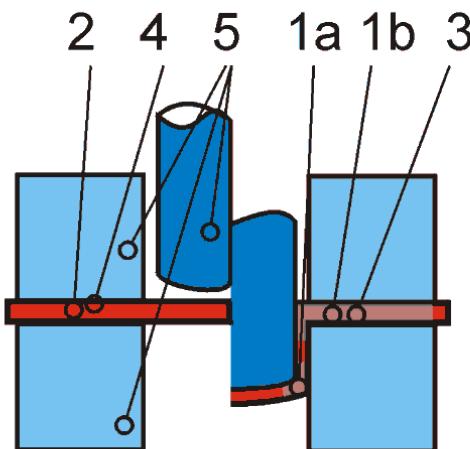
**Strangpressen**



**Stauchen**



**Schmieden**



**Tiefziehen**

- 1. Umformzone**
- 2. Werkstückeigenschaften (vorher)**
- 3. Werkstückeigenschaften (nachher)**
- 4. Kontaktzone  
Werkstück-Werkzeug**
- 5. Werkzeug**

## Spanende Fertigung

Drehen, Fräsen,  
Schleifen, Wirbeln  
Fräsen, Schleifen,  
Wälzfräsen, Wälz-  
stoßen, Wälzschl.  
Drehen, Schleifen,  
Honen, Läppen

Drehen, Schleifen

Drehen

Stoßen, Räumen

Nachformfräsen

Drehen, Schleifen

Drehen, Fräsen,  
Schleifen

## Umformende Fertigung

Gewindewalzen

Walzen von  
Profilen und Ver-  
zahnungen

Glattwalzen

Wälzen

Druck-  
umformen

Zug-  
umformen

Zugdruck-  
umformen

**Umformen**

Frei-  
formen

Formstauchen,  
Formpressen

Gesenk-  
formen

Formrundkneten,  
(Innenformen )

Ein-  
drücken

Biege-  
umformen

Einsenken

Durch-  
drücken

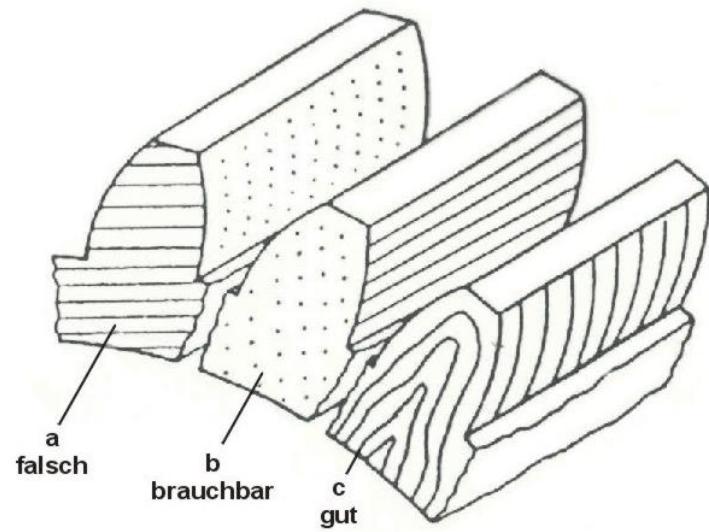
Schub-  
umformen

Verjüngen

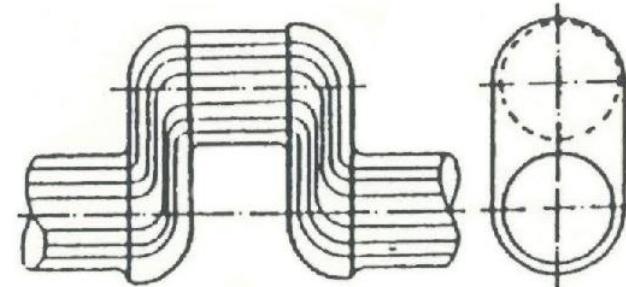
Fließpressen

MSch 0213

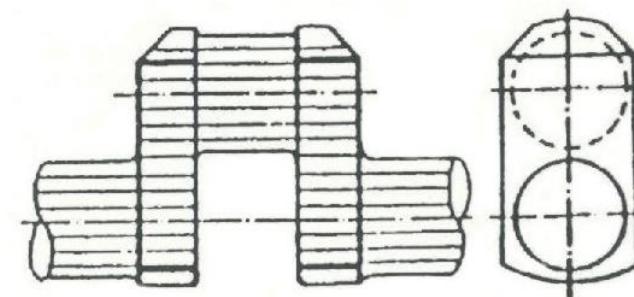




Zahnräder verschiedener  
Herstellungsart

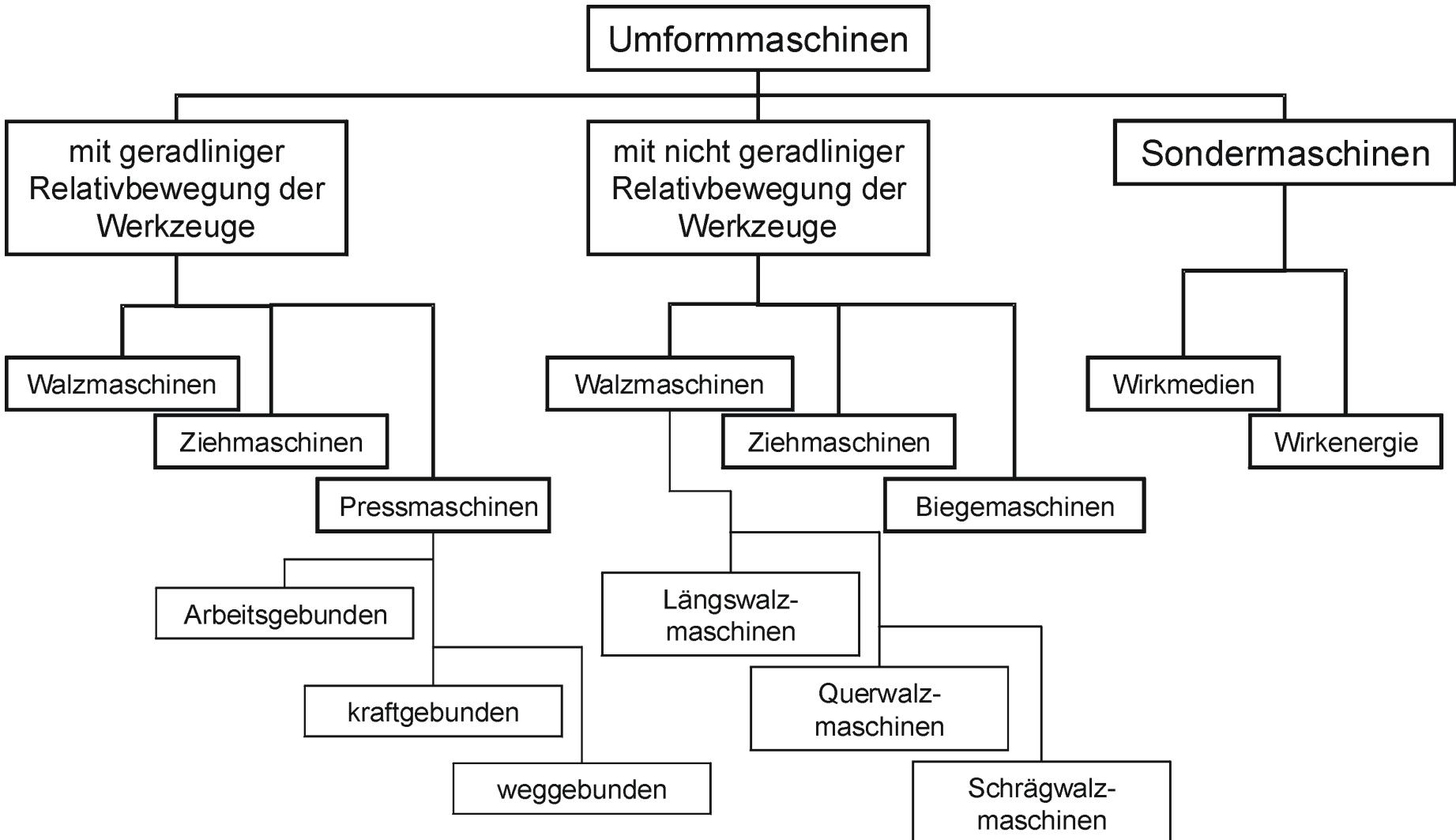


geschmiedete Kurbelwelle



Kurbelwelle durch "Trennen"  
gefertigt

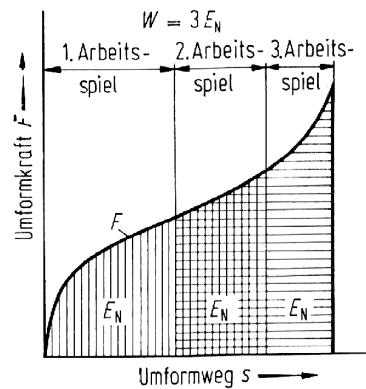
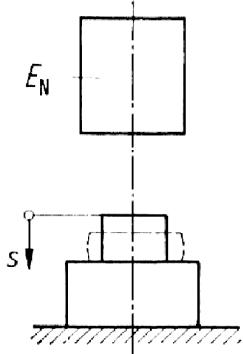




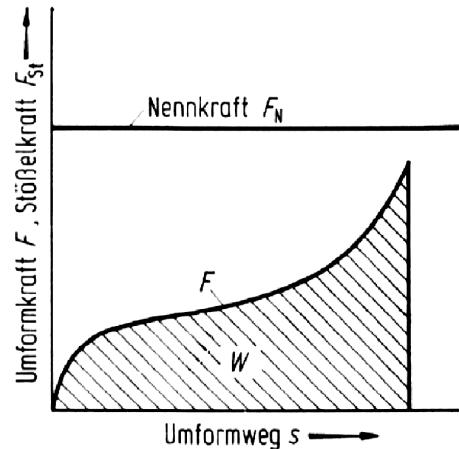
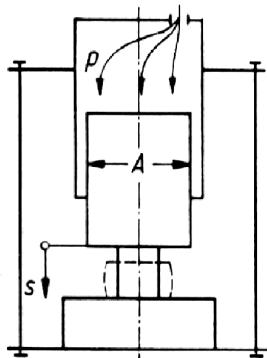
MSch 0346



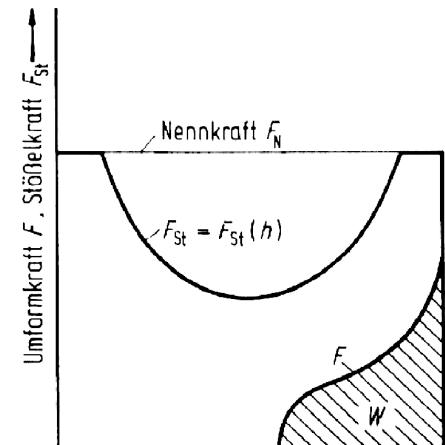
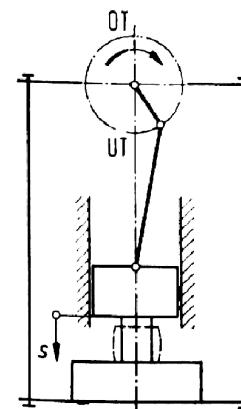
## energiegebunden



## kraftgebunden



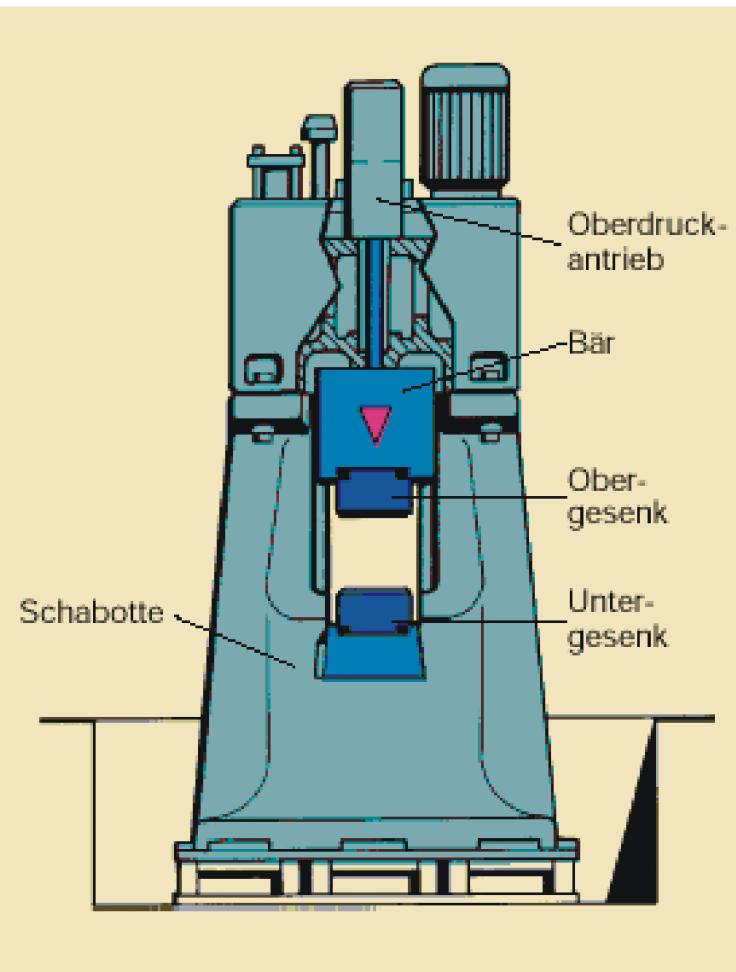
## weggebunden



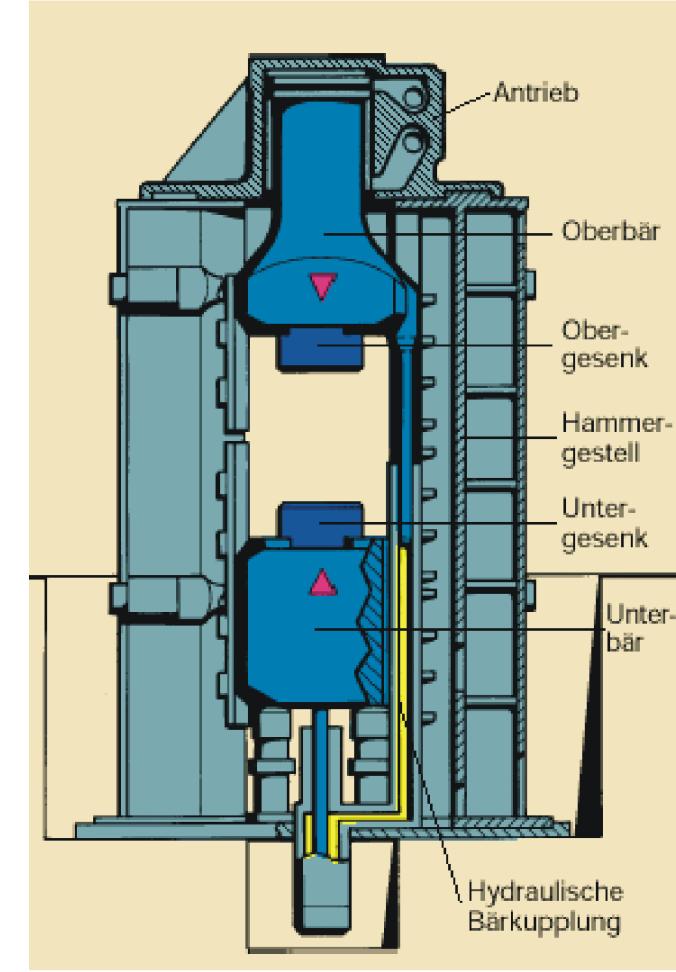
MSch 0347



Aufgrund des einfachen konstruktiven Aufbaus sind Hämmer preiswerte Umformmaschinen.



Schabottehammer (links) und Gegenschlaghammer (rechts)



Hydraulische  
Pressen  
werden in der  
Schmiedeindustrie  
zum Warm- und  
Kaltumformen  
eingesetzt



Quelle: Fa. RASTER-ZEULENRODA



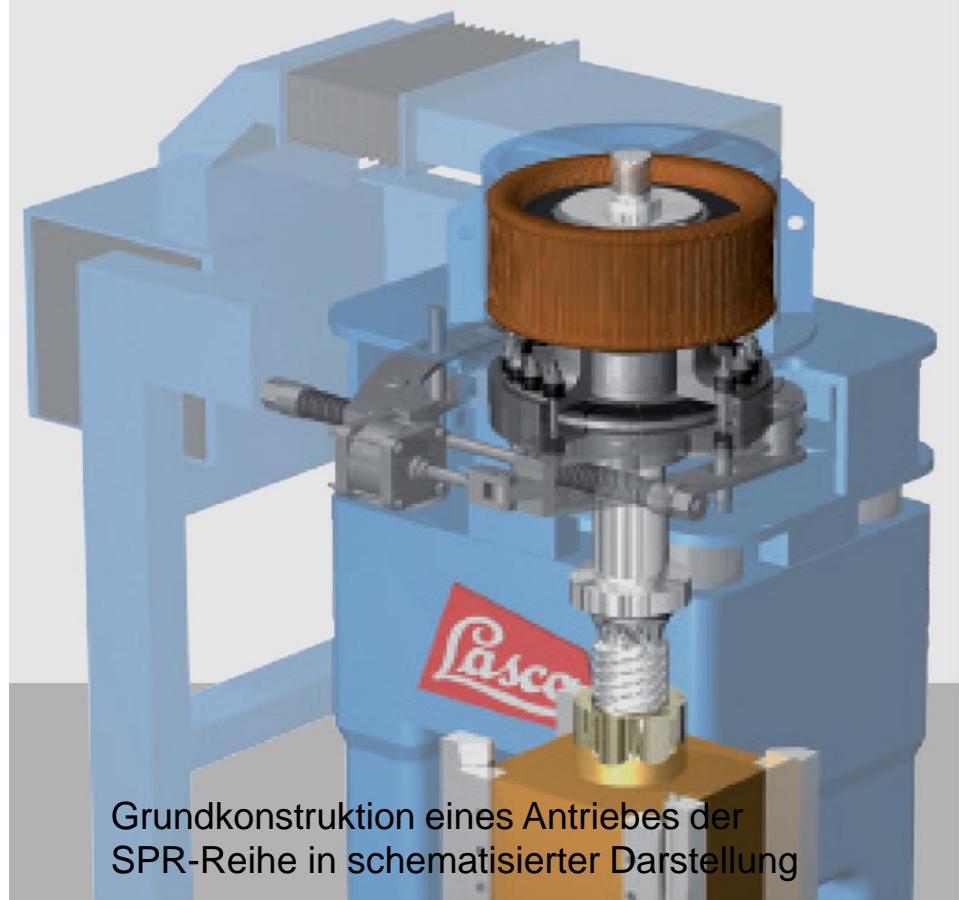
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Lor 0004

Hydraulische Pressen

Spindelpressen sind die wichtigsten Maschinen in der Gesenkschmiedeindustrie.

Mit den Grundbaureihen SPR und SPP bietet LASCO frequenzgeregelt direkt-angetriebene Spindelpressen an, die für klassische Umformaufgaben ausgelegt sind.



Quelle: Fa. Lasco



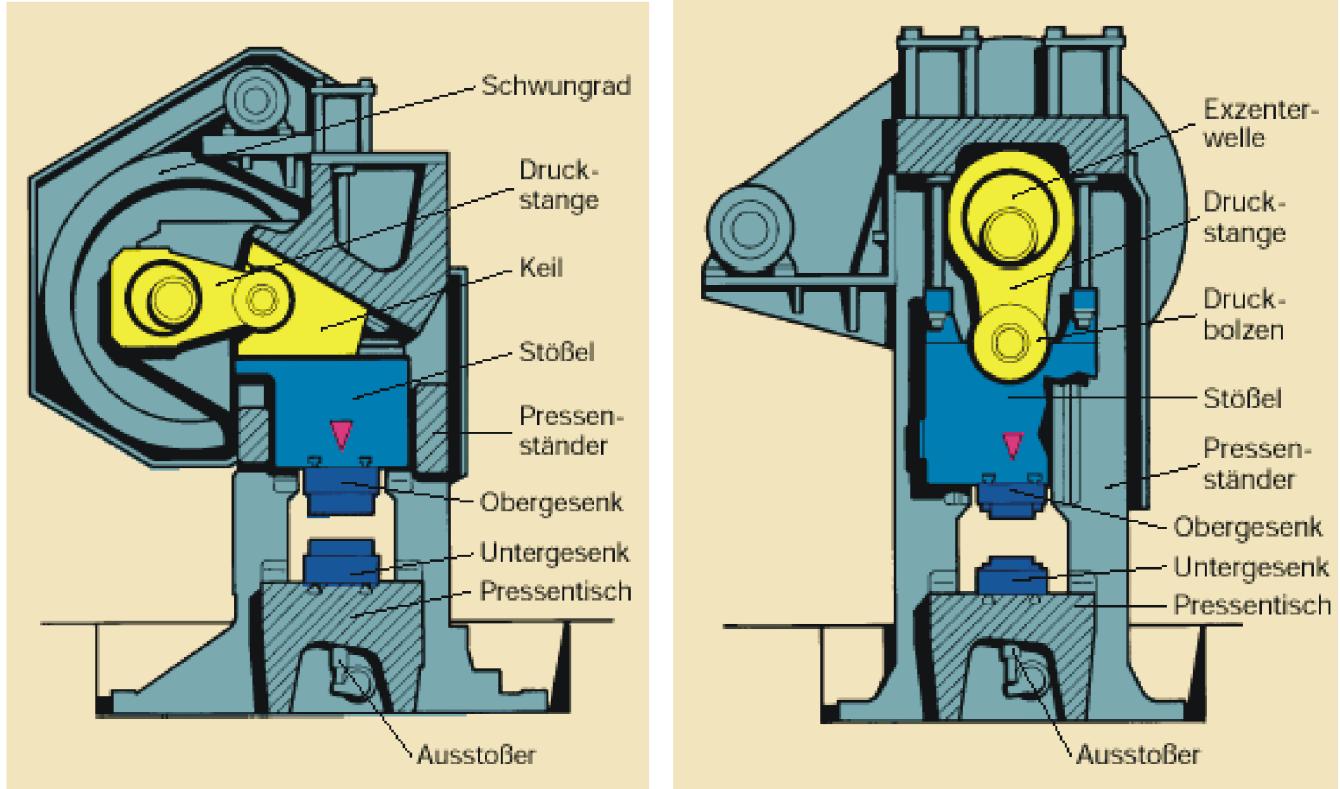
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Lor 0005

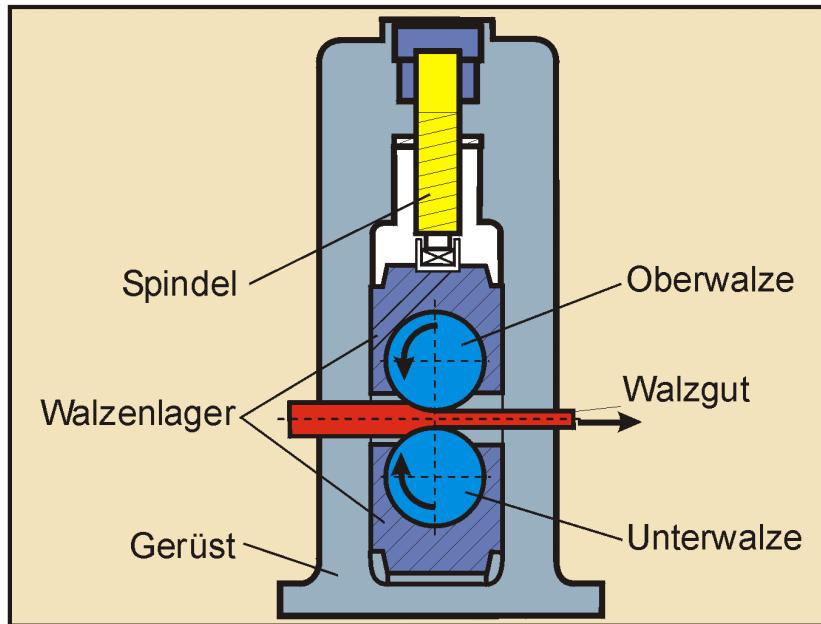
Spindelpressen

**Mechanische Pressen  
werden bevorzugt in  
Massenfertigung  
eingesetzt**

Keilpresse (links) und  
Exzenterorschmiedepresse (rechts)

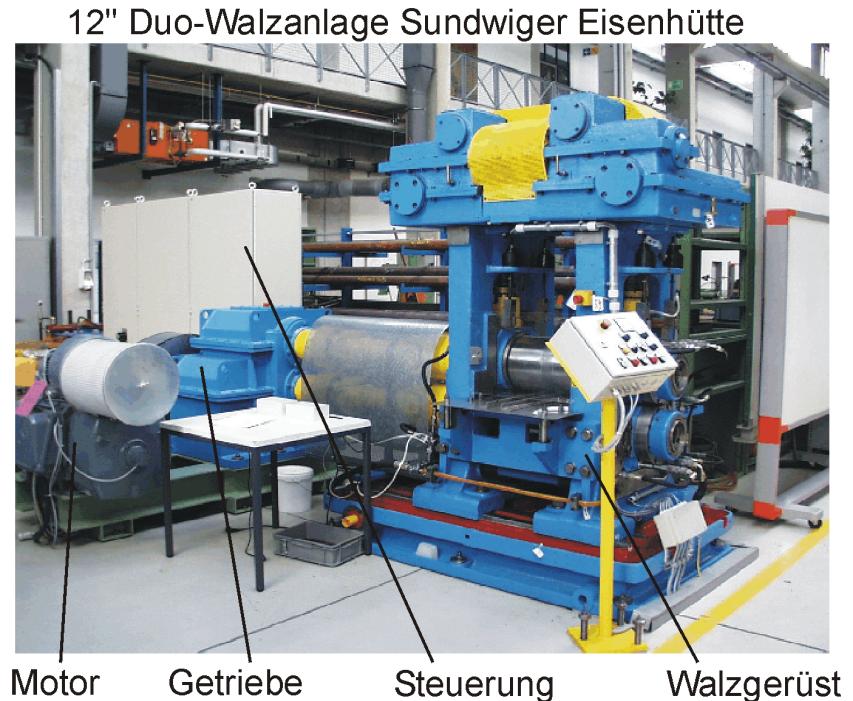


- Verfahren zur Reduzierung des Querschnitts bei Vergrößerung der Länge
- Umformung vorrangig aus der Höhe, d. h. kaum Breitung
- Herstellung von Blechen und Tafeln für die Weiterverarbeitung



### Variante

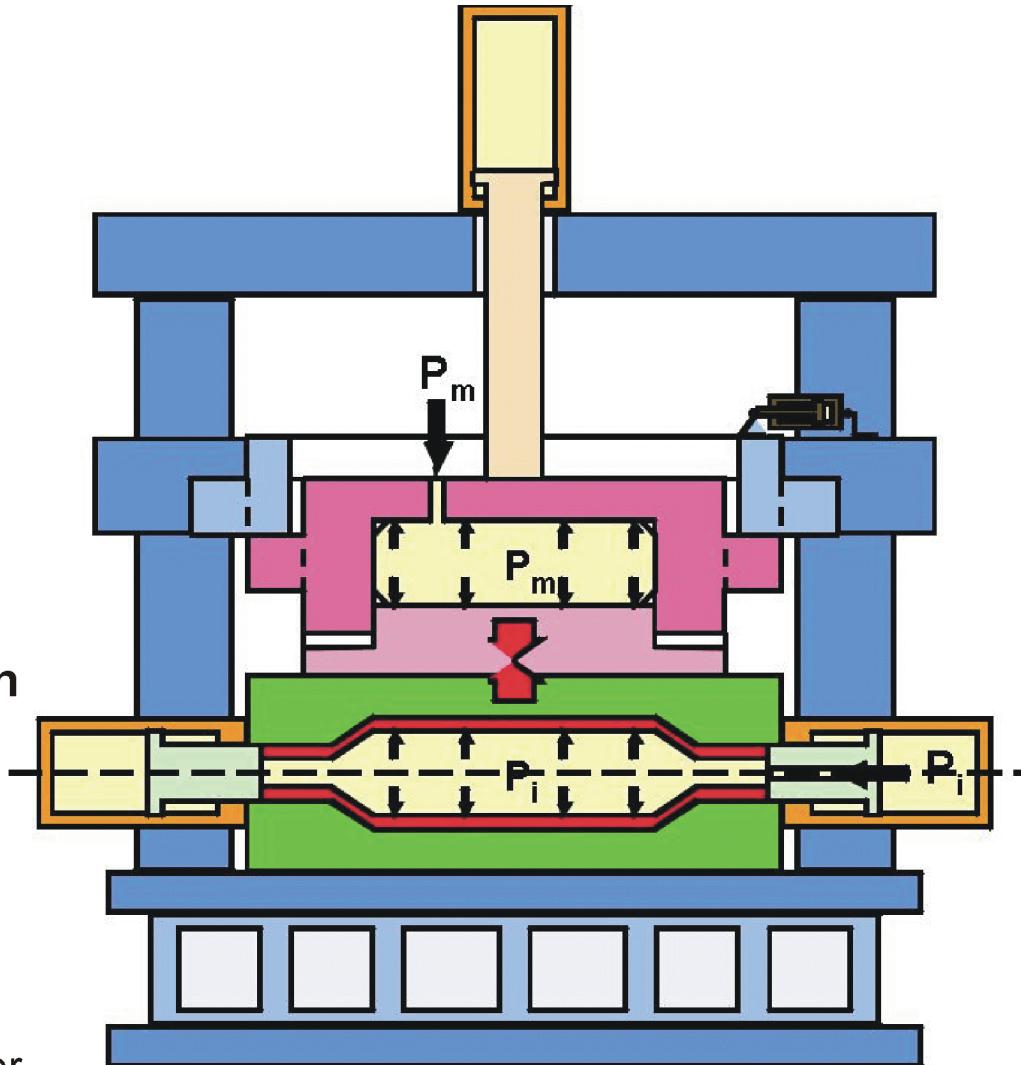
- Herstellung von Stangen (Knüppeln) durch Verwendung profilierten Walzen



MSch 0321



- HYPROLOC 3000 mit mechanischem Verriegelungssystem mit hydraulischem Dehnungsausgleich
- Ebenerdig installiertes Viersäulengestell mit Zugankern. Pressenkeller ist nicht erforderlich. Maschinen lassen sich daher einfach nachrüsten
- Die Zuhaltkraft beträgt bis zu 60.000 kN
- Die Trennung der Funktion "Öffnen/Schliessen des Werkzeuges" von der Funktion "Aufbringen der Zuhaltkraft" trägt zu einer deutlichen Verringerung der Taktzeit bei



Maschine für den Einsatz aller  
IHU-Werkzeugtypen

Quelle: Fa. A. Bauer GmbH & Co. KG



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

MSch 0368

Innenhochdruckumformen

# **4. Umformen**

## **4.1 Einleitung**

- 4.1.1 Geschichte
- 4.1.2 Einteilung
- 4.1.3 Prozesse
- 4.1.4 Maschinen

## **4.2 Werkstoffkundliche Aspekte**

- 4.2.1 Aufbau der Metalle
- 4.2.2 Plastische Verformung

## **4.3 Umformverfahren**

- 4.3.1 Walzen
- 4.3.2 Schmieden/Stauchen
- 4.3.3 Fließpressen
- 4.3.4 Tiefziehen
- 4.3.5 Drückwalzen

Ber 0139



## 4.2 Werkstoffkundliche Aspekte des Umformens

- Aufbau der Metalle
- Plastische Verformung



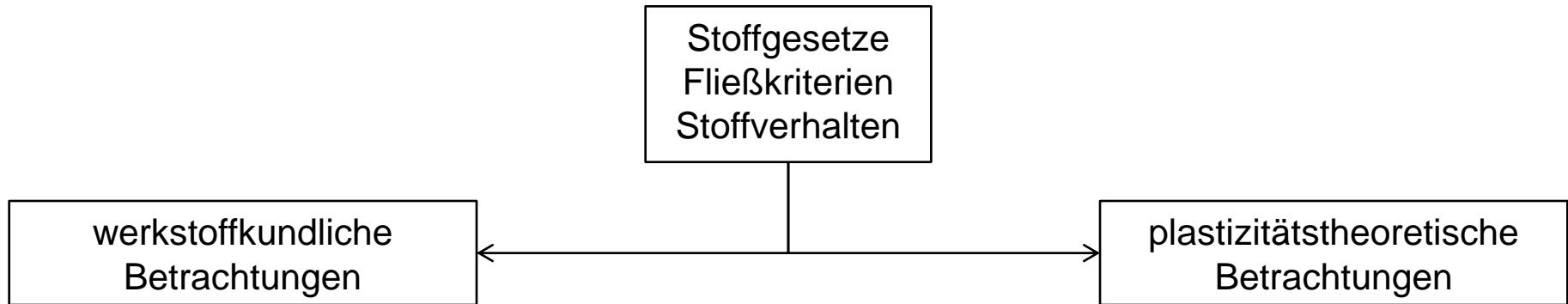
Quelle: [geertstiefziehen.de](http://geertstiefziehen.de)



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Gliederung

In der Umformtechnik sind zwei Betrachtungsweisen erforderlich:



#### Werkstoff

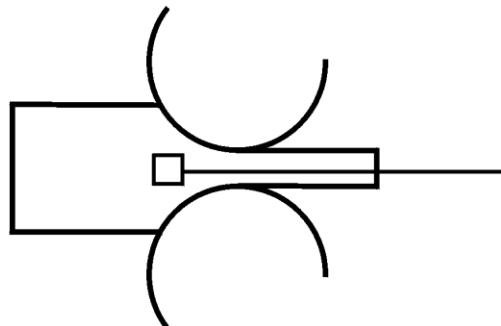
- Gitteraufbau
- Gefüge (Körner, Korngrenzen)
- Kristallorientierung
- Anisotropie
- Verfestigung

#### Werkstoff

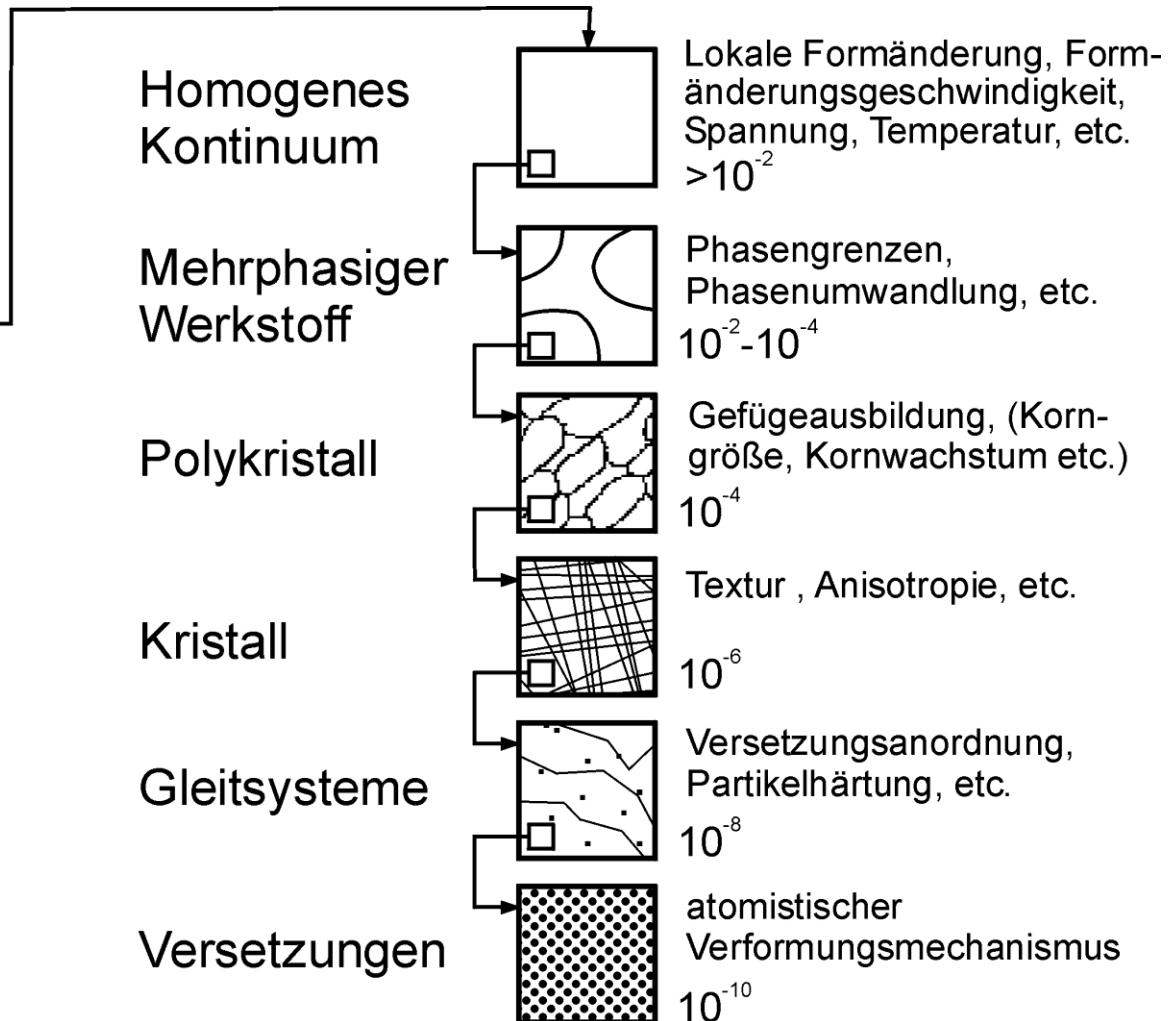
- kontinuierliche mechanische Größen (Kontinuum)
- isotropes Verhalten (nur Spannungen, Werkstoffaufbau nicht in Betracht einzogen)



## Umformung (global)



Kraft, Arbeit, Leistung,  
globale Temperatur, etc.



Quelle: Kopp

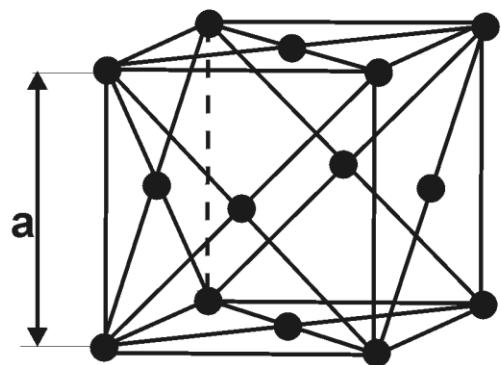


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

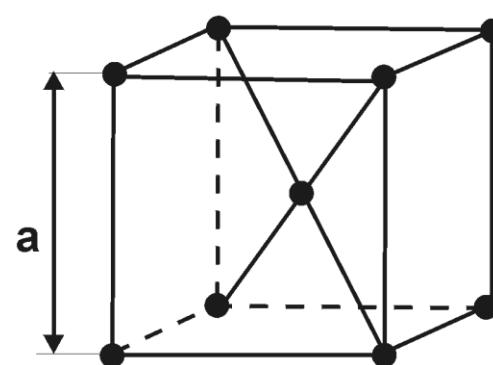
MSch 0335

Ebenen des Aufbaus metallischer Werkstoffe

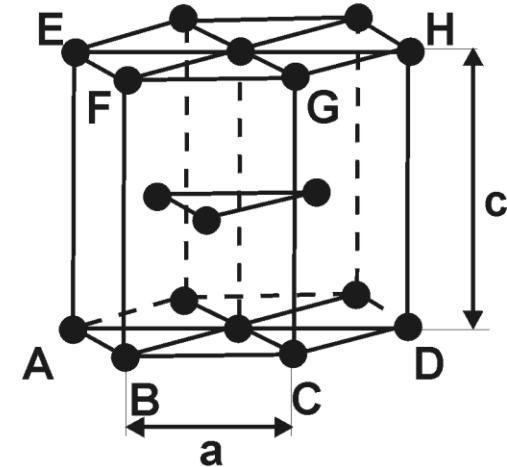
kubisch-flächenzentriert



kubisch-raumzentriert



hexagonal



z. B.  $\gamma\text{-FE}$  :  $a$  ca.  $3,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

z. B.  $\alpha\text{-FE}$  :  $a$  ca.  $2,8 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

z. B. Mg :  $a$  ca.  $3,2 \cdot 10^{-10} \text{ m}$   
 $c$  ca.  $5,2 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

Struktur Metall	Gleit- systeme	Anzahl der Gleit- ebenen	Anzahl der Gleit- rich- tungen	Anzahl der Gleit- systeme
kfz Cu, Al, Ni Pb, Au, Ag $\gamma$ -Fe		4	3	12
krz $\alpha$ -Fe, W, Mo $\beta$ -Messing		6	2	12
		12	1	12
		24	1	24



kfz : kubisch-flächenzentriert

krz : kubisch-raumzentriert

Struktur Metall	Gleit- systeme	Anzahl der Gleit- ebenen	Anzahl der Gleit- rich- tungen	Anzahl der Gleit- systeme
hexagonal Cd, Zn, Mg Ti, Be		1	3	3
		3	1	3
		6	1	6

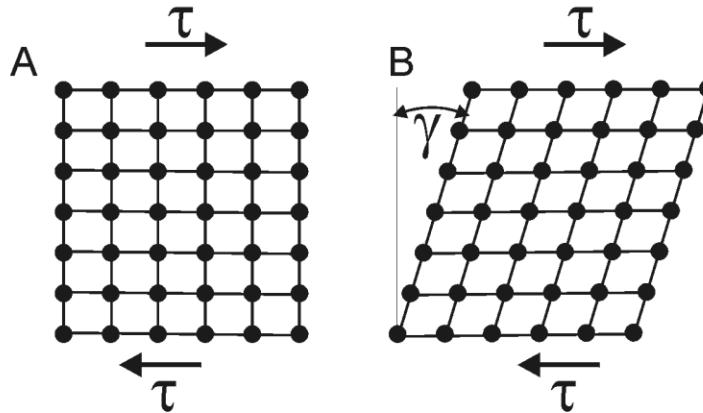
MSch 0344



## Winkel

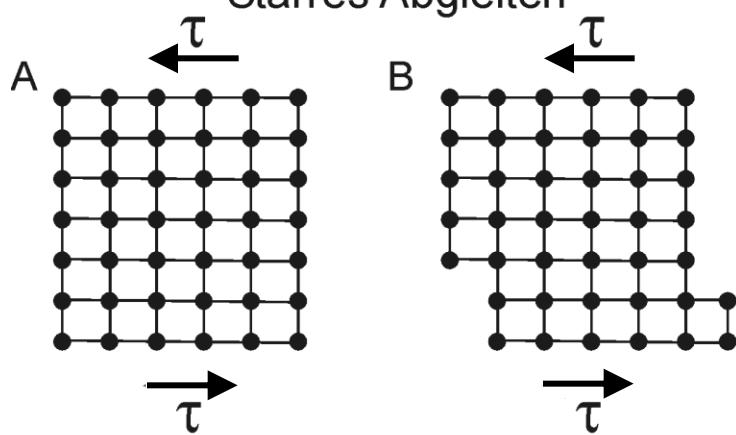
$\gamma$  = Schiebung  
 $\tau$  = Schubspannung  
[N/mm<sup>2</sup>]

## Elastisch

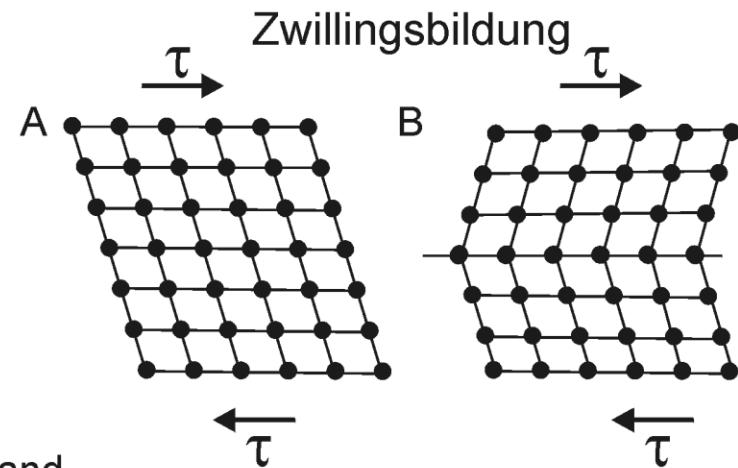


A: Ausgangszustand  
B: elastisch verformt

## Starres Abgleiten



## Plastisch



A: Ausgangszustand  
B: plastisch verformt  
bzw. Zwillingsbildung

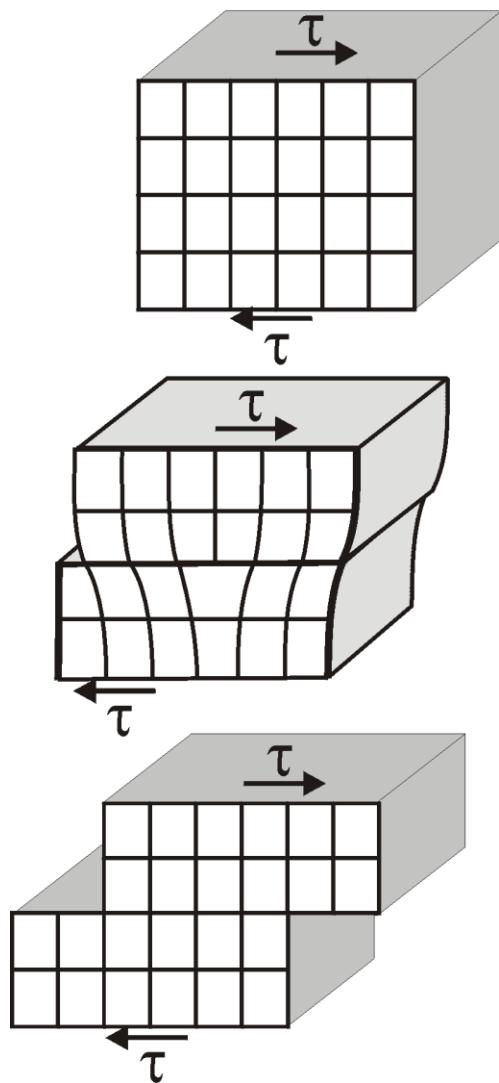
MSch 0333



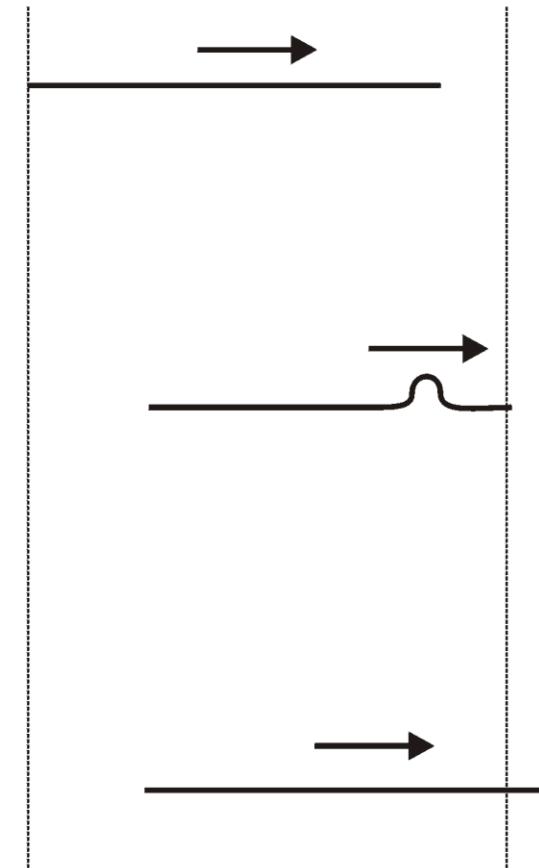
- Punktformige (nulldimensionale) Gitterfehler  
= Einlagerungs- oder Substitutionsatome
- Linienförmige (eindimensionale) Gitterfehler  
= Versetzungen
- Flächenhafte (zweidimensionale) Gitterfehler  
= Korngrenzen
- Räumliche (dreidimensionale) Gitterfehler  
= Hohlstellen



## Versetzungsbewegung



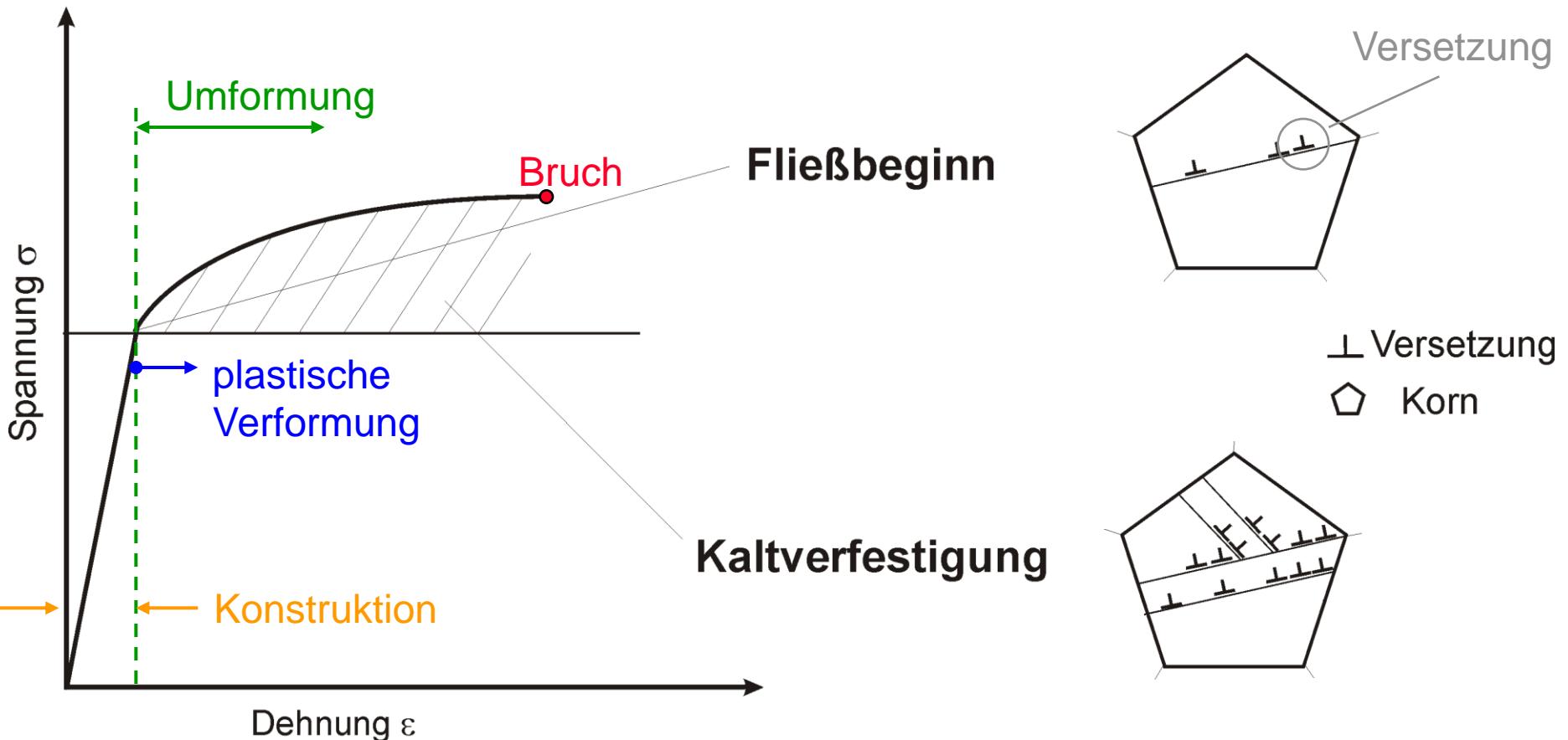
## "Modell" Verschiebung eines Teppichs durch Faltenwanderung

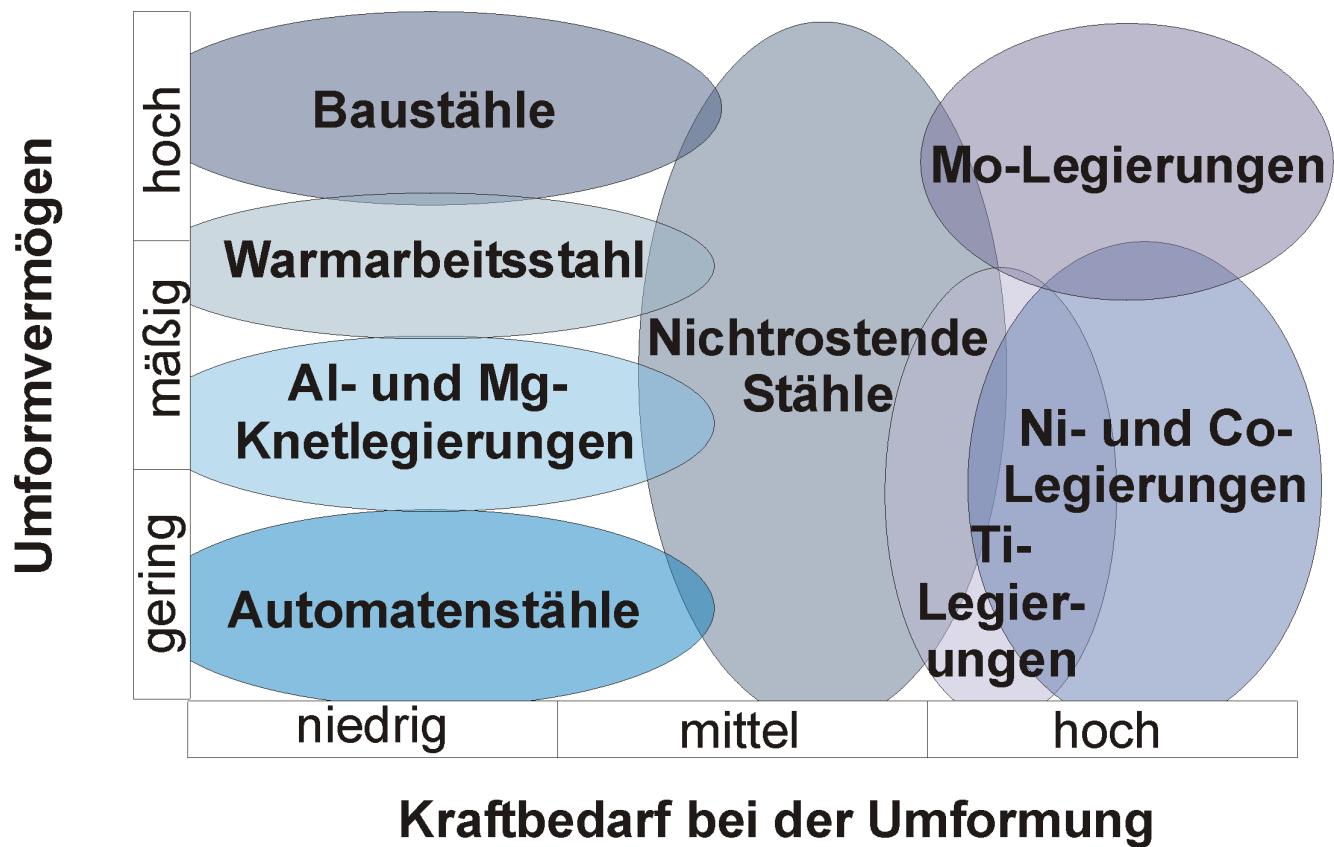


MSch 0340



- Fehler entstehen beim Ur- und Umformen.
- Äußere Belastungen verursachen Gleiten bzw. Versetzungsbewegung.
- Versetzungen und Hindernisse blockieren das Gleiten.





Quelle: Adlof, IDS



# **4. Umformen**

## **4.1 Einleitung**

- 4.1.1 Geschichte
- 4.1.2 Einteilung
- 4.1.3 Prozesse
- 4.1.4 Maschinen

## **4.2 Werkstoffkundliche Aspekte**

- 4.2.1 Aufbau der Metalle
- 4.2.2 Plastische Verformung

## **4.3 Umformverfahren**

- 4.3.1 Walzen
- 4.3.2 Schmieden/Stauchen
- 4.3.3 Fließpressen
- 4.3.4 Tiefziehen
- 4.3.5 Drückwalzen

Ber 0139



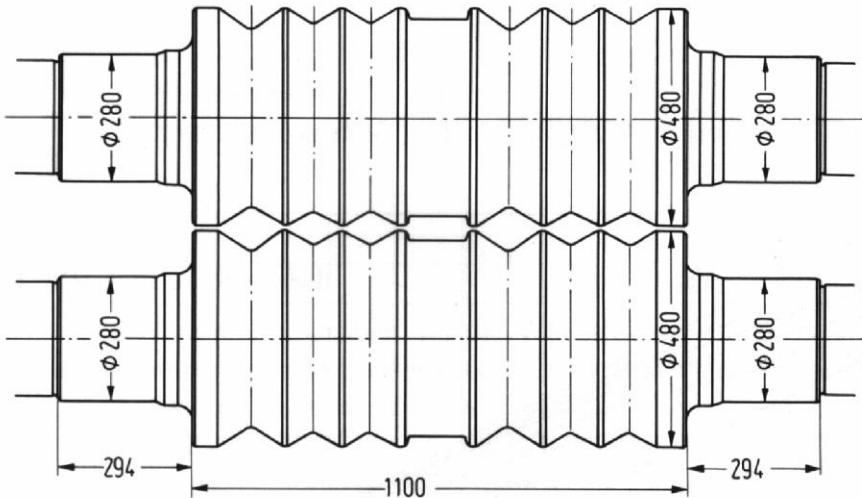
## 4.3 Umformverfahren (beispielhaft)

- Walzen
- Schmieden, Stauchen
- Fließpressen
- Tiefziehen
- Drückwalzen



Quelle: [geertstiefziehen.de](http://geertstiefziehen.de)

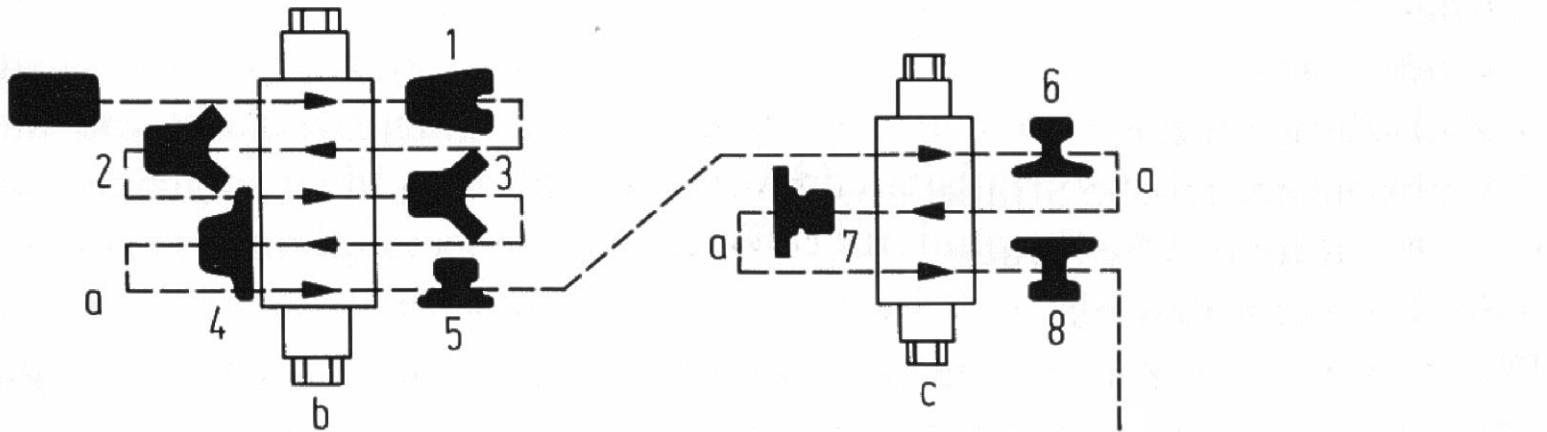




Walzenkörper mit sog.  
Rauten- und Kastenkälibern

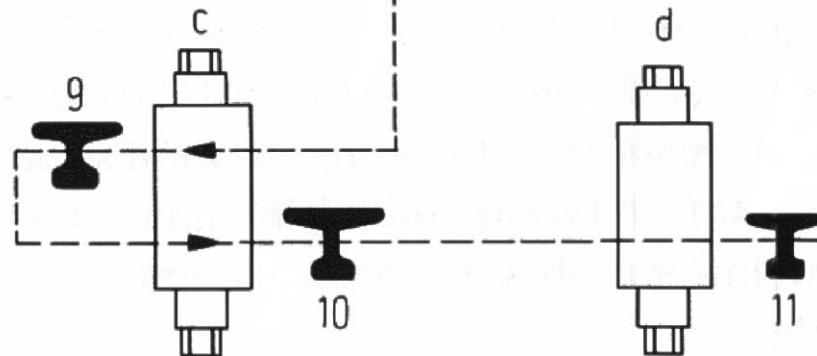
Stichzahl	Werk und Anstichquerschnitt				
	I	II	III	IV	V
1	◆	◆	■	◆	◆ ■
2	◆	◆	■	◆	◆ ■
3	◆	◆	■	◆	◆ ■
4	◆	◆	■	◆	◆ ■
5	◆	◆	■	◆	◆ ■
6	◆	◆	■	◆	◆ ■
7	◆	◆	■	◆	◆ ■
8	◆	◆	■	◆	◆ ■
9	◆	◆	■	◆	◆ ■
10	◆	◆	■	◆	◆ ■
11				◆	
12				◆	

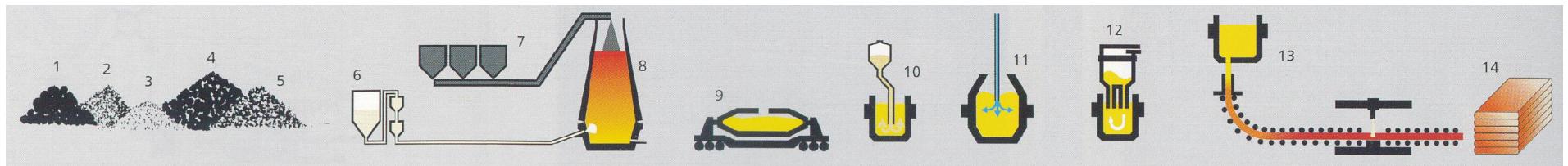
Umformstufen beim Walzen eines quadr.  
Knüppels (60 mm Kantenlänge) in  
Abhängigkeit vom Brammenquerschnitt



- a: Kanten
- b: Duo-Gerüst
- c: Trio-Gerüst
- d: Duo-Fertigerüst

1-11 Stichfolge



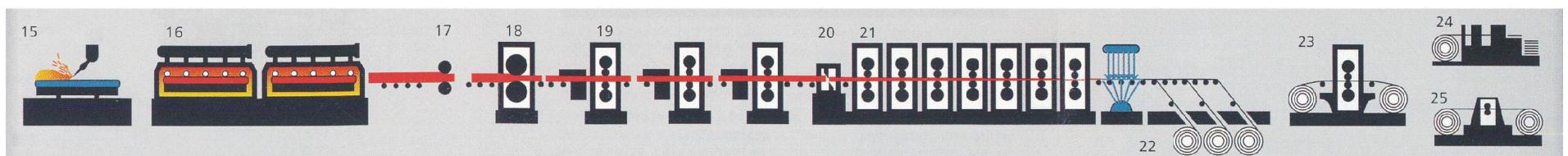


1 Pellets  
2 Feinerz  
3 Zuschläge  
4 Stückerz  
5 Erz

6 Kunstoffeinblasanlage  
7 Möllerbunker  
8 Hochofen

9 Roheisen-Transportwagen  
10 Roheisen-Entschwefelung  
11 LD-Konverter

12 Vakuumanlage  
13 Stranggießanlage  
14 Vorbrammen

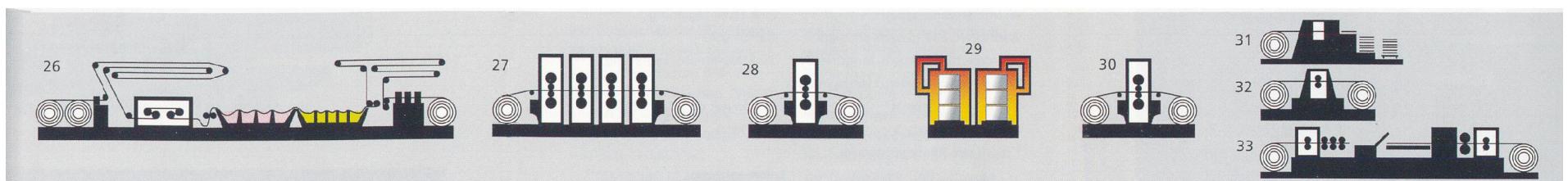


15Flämmmaschine  
16Hub balkenofen  
17Stauchgerüst

18 Duogerüst  
19 Quartogerüste

21 Fertigstrasse  
22 Unterflurhaspel

23 Warmbandaddressiergerüst  
24 Warmbandquerteilanlage  
25 Warmbandlängsteilanlage



26 Beizanlage

27 Tandemstrasse

28 90° Reversiergerüst  
29 Glühanlage  
30 Dressiergerüst

31 Querteilanlage  
32 Längsteilanlage  
33 Inspektions- und  
Besäumungsanlage

Quelle: Stahlwerke Bremen



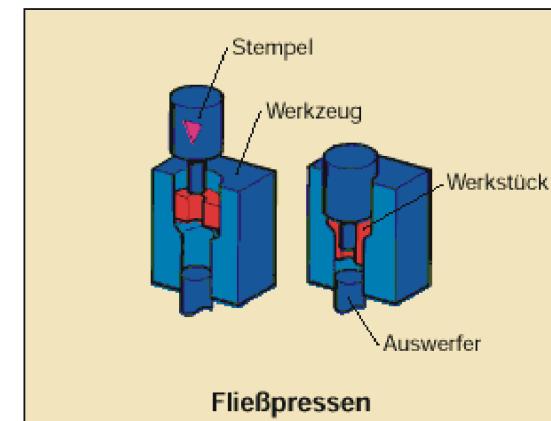
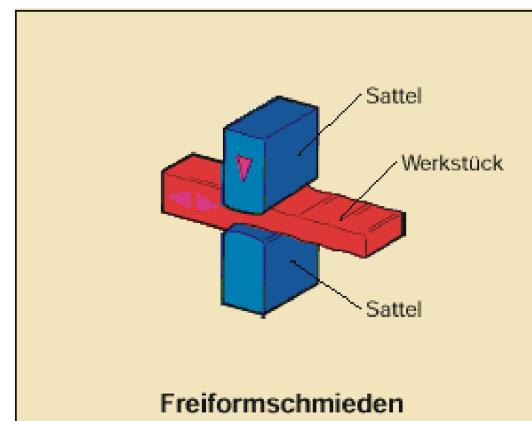
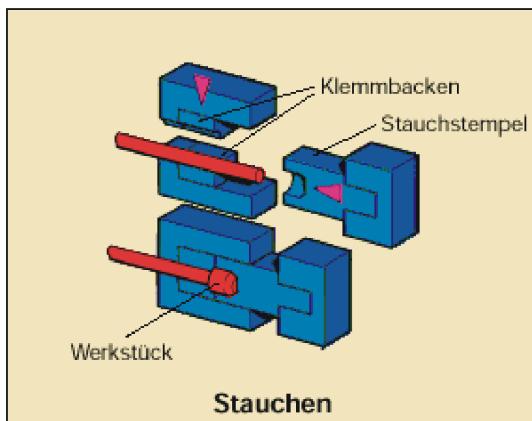
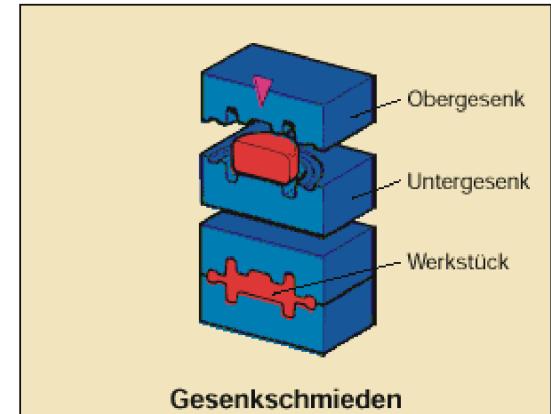
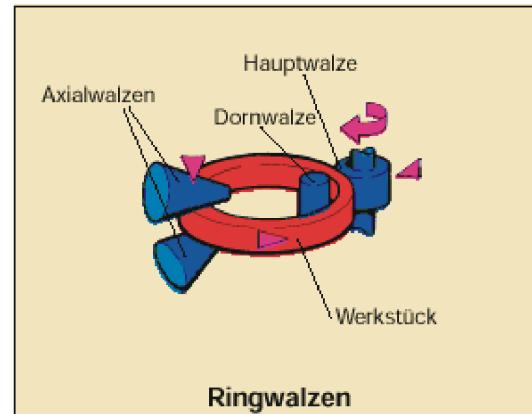
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Erzeugung von Flachprodukten/Blechen

MSch 0356

**Schmiedeteile werden im Wesentlichen durch folgende Verfahren hergestellt:**

- Stauchen
- Fließpressen
- Freiformschmieden und
- Ringwalzen



Quelle: Deutsche Schmiedetechnik



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

MSch 0312

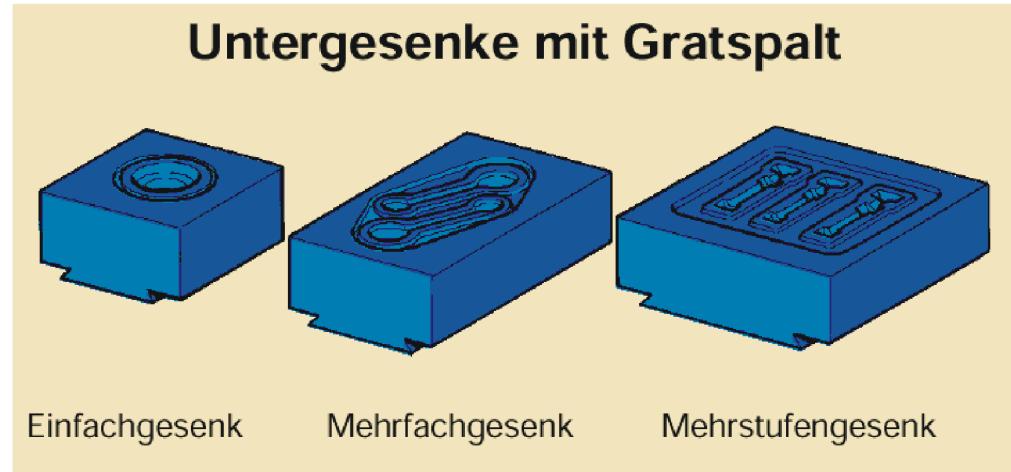
Einteilung der Schmiedeverfahren

**Der Gratspalt nimmt überschüssiges Material auf.**

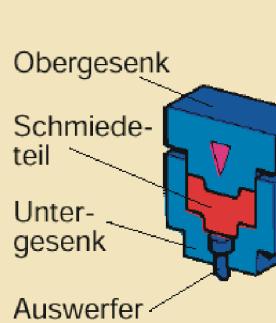
**Die Herstellung der Werkzeuge ist aufwendig und teuer.**

**Geschlossene Gesenke zur Herstellung einbaufertiger Teile erfordern höchste Genauigkeit bei Halbzeugzuschnitt und -positionierung.**

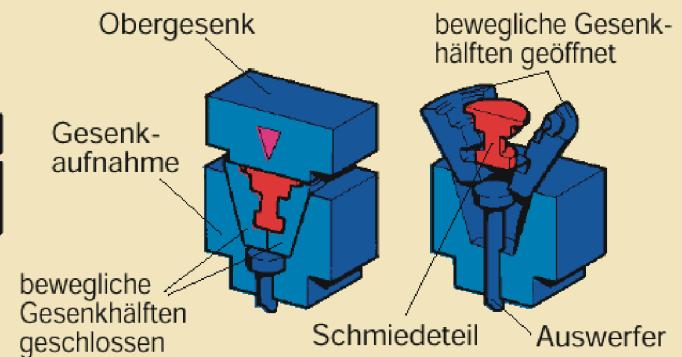
Typische Schmiedegesenke



**Geschlossenes Gesenk**



**Gesenk mit mehreren Teilfugen**



Quelle: VDS



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

MSch 0353

Werkzeuge beim Gesenkschmieden

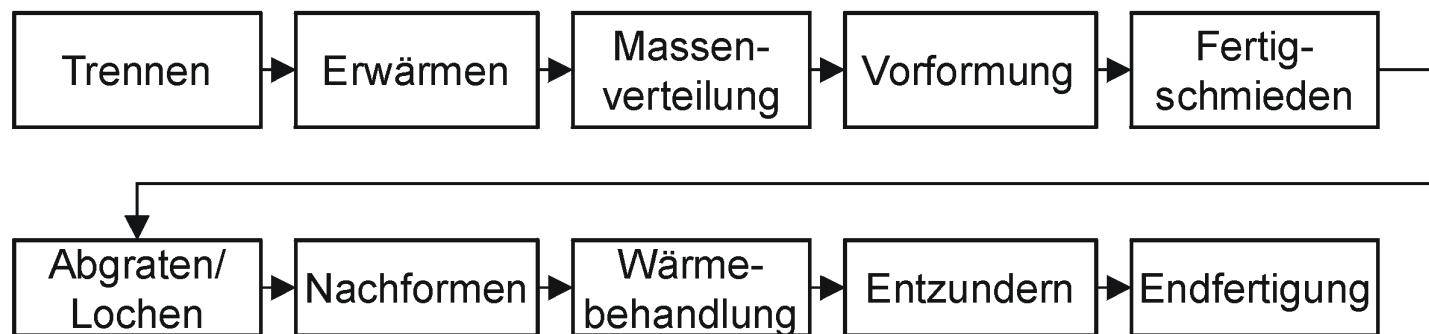
Ausgehend von  
einem gewalzten  
Knüppel wird eine  
12stufige  
Bearbeitung  
vorgenommen

Herstellung eines  
PKW-Schwenklagers



Die einzelnen  
Maschinen sind  
i. d. R. durch  
Transporteinrich-  
tungen verbunden

Typische  
Verfahrensschritte



MSch 0352



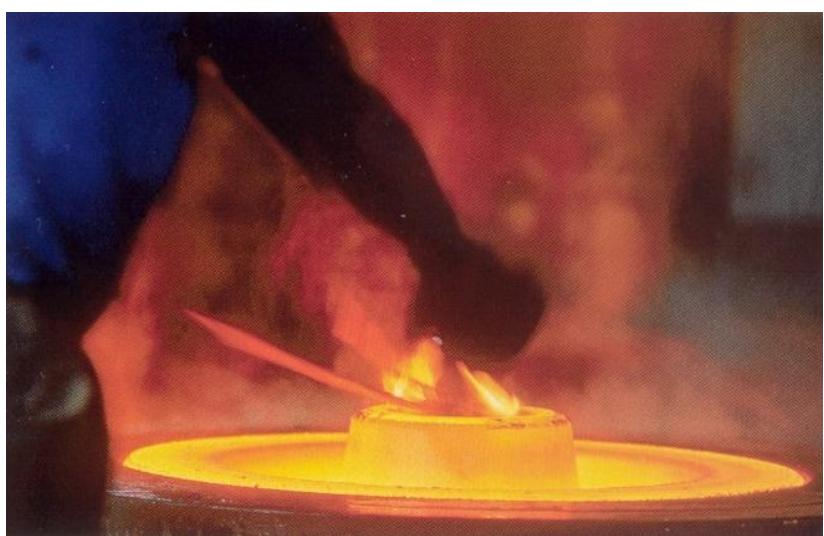
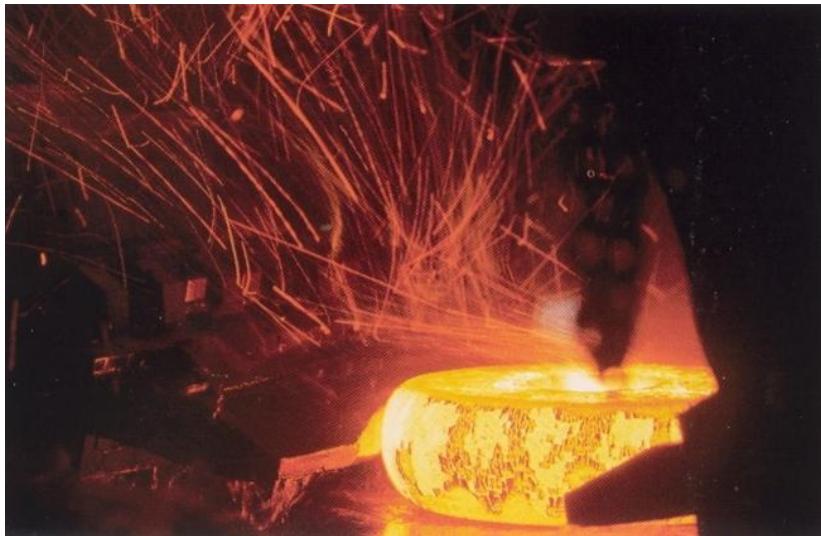
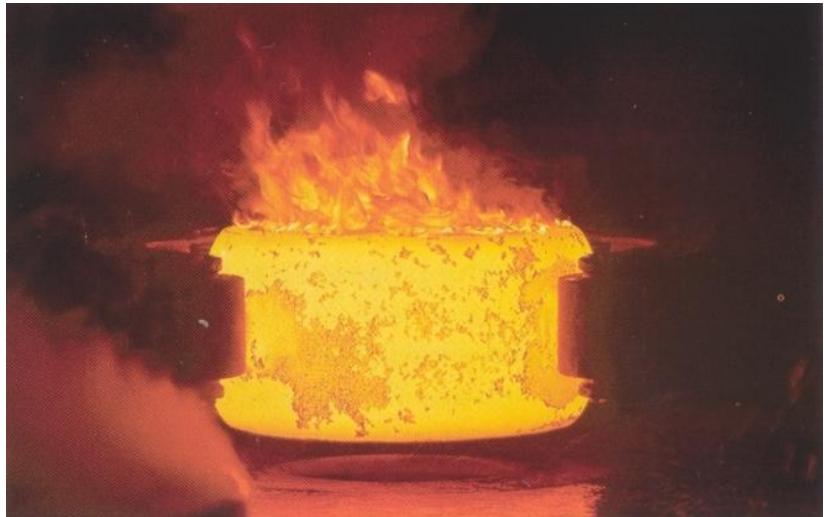
Durch Gesenkschmieden können komplizierte Formen hergestellt werden.



Fußrastenanlage  
eines Motorrads  
(im Endzustand)

MSch 0354





Quelle: Deutsche Bahn AG



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fan 0087

Umformprozess von Rädern



Quelle: Deutsche Bahn AG



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fan 0088

Umformprozess von Rädern



Quelle: Deutsche Bahn AG

Fan 0085



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Biegeprozess einer Bahnschiene



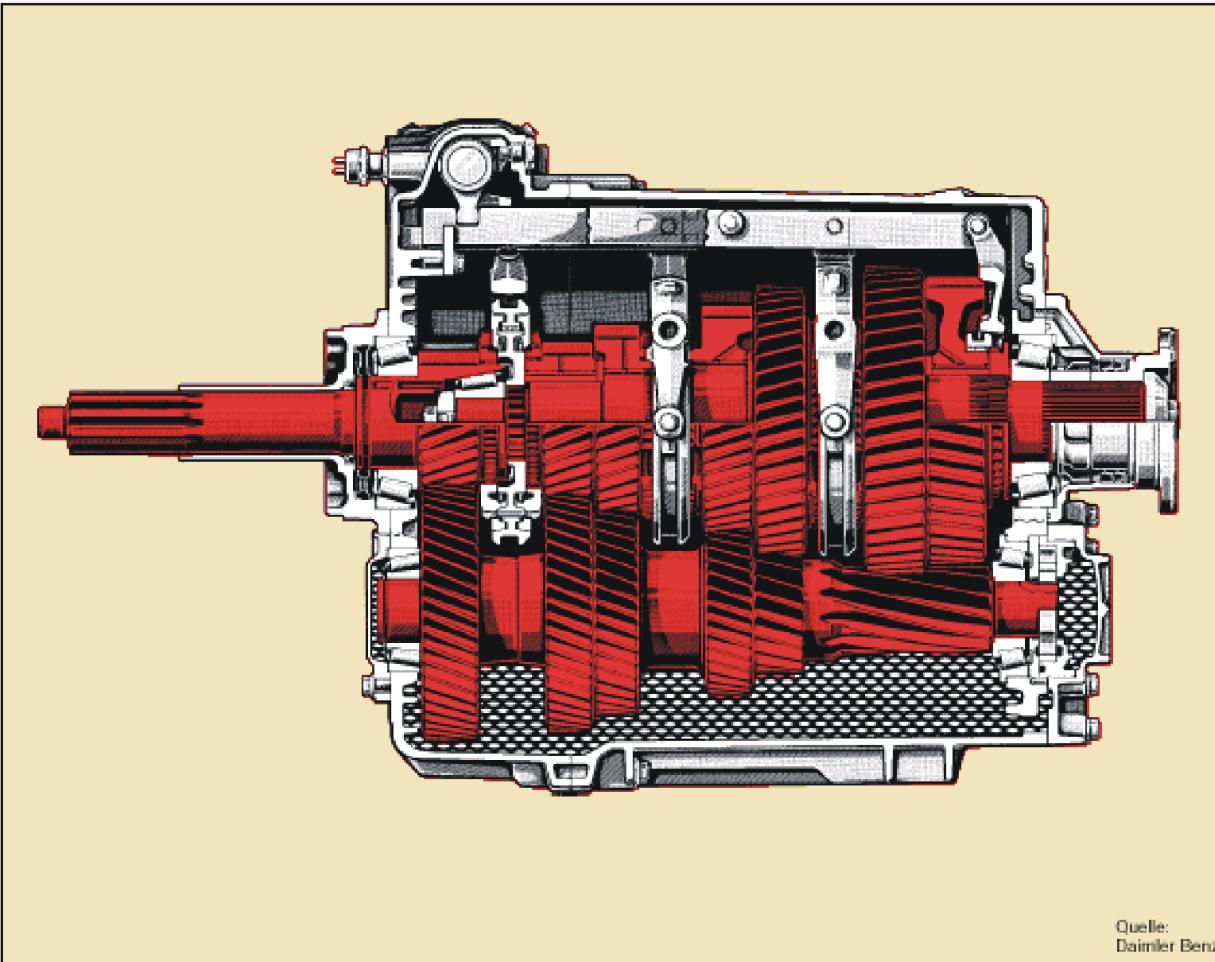
Quelle: Deutsche Bahn AG

Fan 0086



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Abkühlprozess einer Bahnschiene



Quelle:  
Daimler Benz

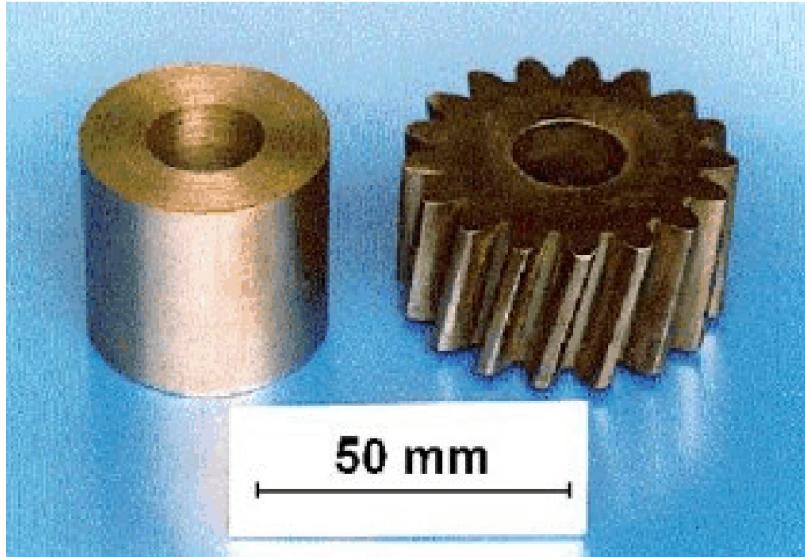
MSch 0313



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Geschmiedete Bauteile eines LKW-Getriebes

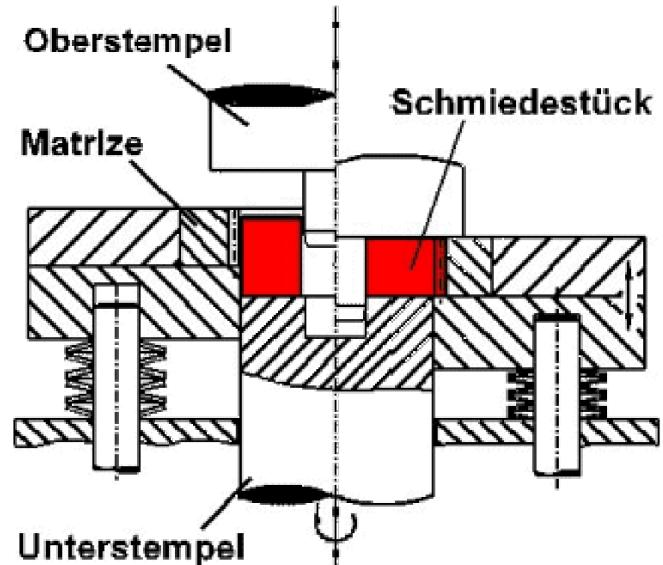
## Präzisionsgeschmiedetes Zahnrad



Rohling

Endprodukt

## Werkzeug zum Präzisionsschmieden



Prinzip der "schwimmenden"  
Matrize

Quelle: SFB 326, IFUM



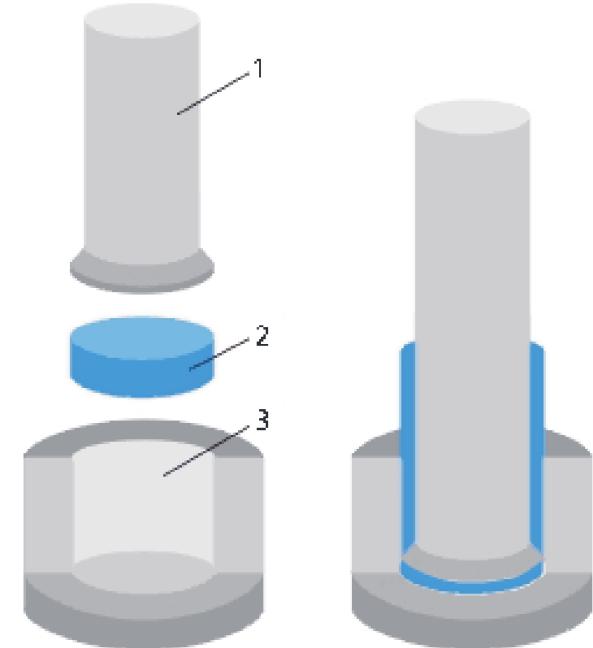
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

MSch 0484

Präzisionsschmieden

**Fließpressverfahren werden nach der Richtung des Stoffflusses in Vorwärts-, Rückwärts- und Querfließpressen eingeteilt.**

Weitere Klassifikation geschieht nach der Werkstückgeometrie: **Voll, Hohl oder Napf**



Fertigung einer sog. Riffelhülse durch Napf-Rückwärts-Fließpressen

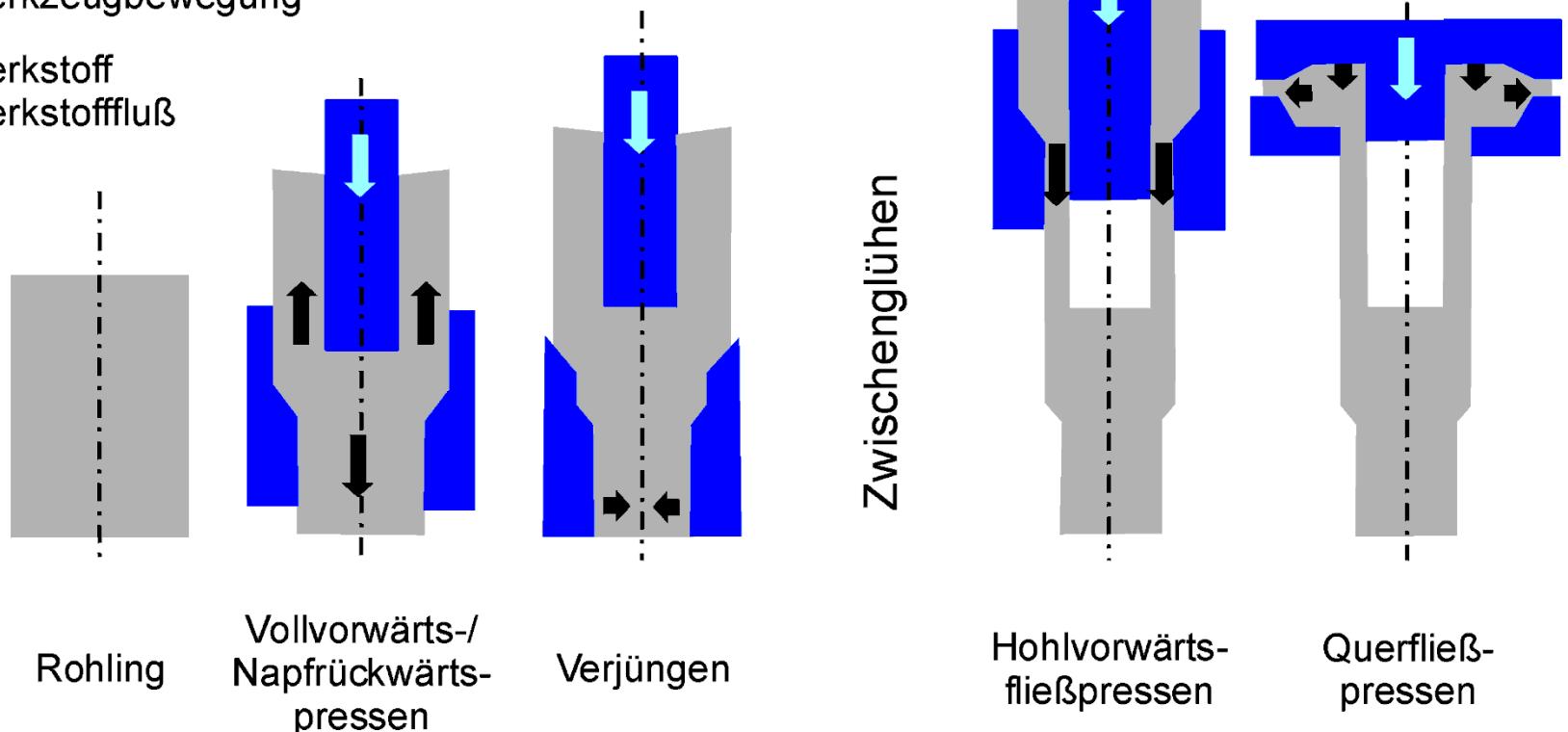
(1 Stempel, 2 Werkstück, 3 Pressbüchse)

MSch 0355



# Ausgleichsgetrieberadrohling (Vierstufiger Prozeß auf 4 Maschinen)

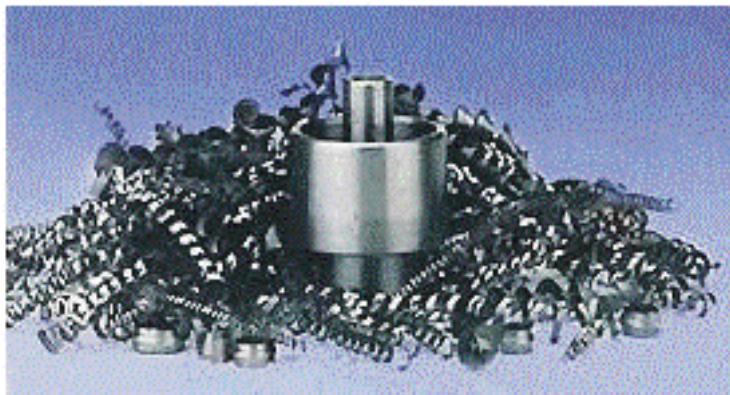
- Werkzeug
- ◀ Werkzeugbewegung
- Werkstoff
- ← Werkstofffluß



Quelle: nach LAFT



- Konventionelle Herstellung benötigt pro Stück 90 Gramm Stahl. Gut zwei Drittel davon sind Abfall.
- Leistung: Ein moderner Drehautomat produziert etwa 10 Stück pro Minute.
- Bei spanloser Produktion auf einem Hatebur Coldmatic Kaltformer (Waagerechtstauchmaschine) werden 120 Stück pro Minute erzeugt.
- Mehr als zehnfache Ausbringung als bei konventionellen Verfahren. Ohne Abfall!



Ventilgehäuse spanend hergestellt (oben) und umformend erzeugt (unten)

Quelle: Hatebur



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

MSch 0359

Verfahrensvergleich für die Herstellung eines  
ein Ventilgehäuse

**Bauteil:**

Gehäuse für ein Einspritzventil einer Kraftstoffpumpe von Benzинmotoren

**Maschine:**

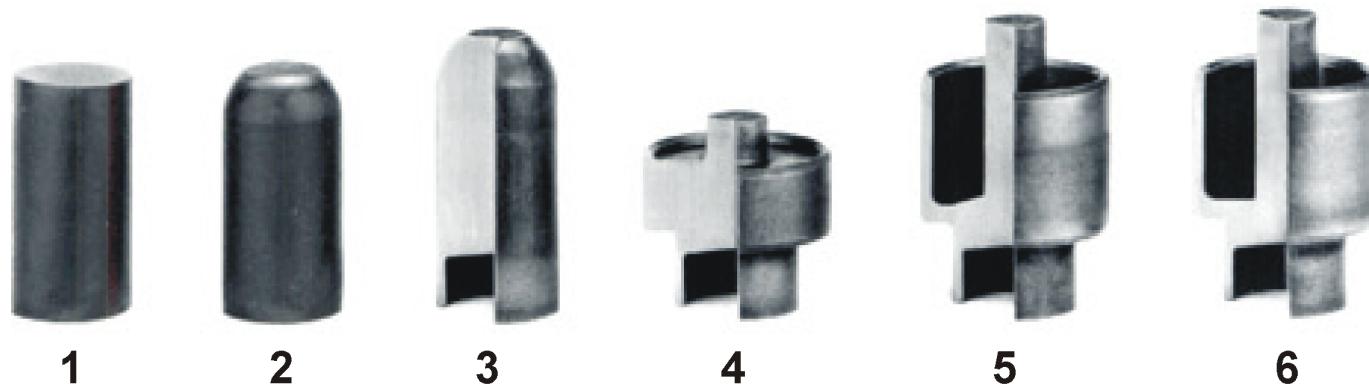
Hatebur "Coldmatic" mit Hochgeschwindigkeitsschersystem

**Werkstoff:**

Kaltgezogener phosphatisierter Draht in Ringen aus Stahl DIN QST36-6

**Umformung:**

Stauchen (2) Vorwärts-(3) und Rückwärtsfließpressen (4,5) werden kombiniert



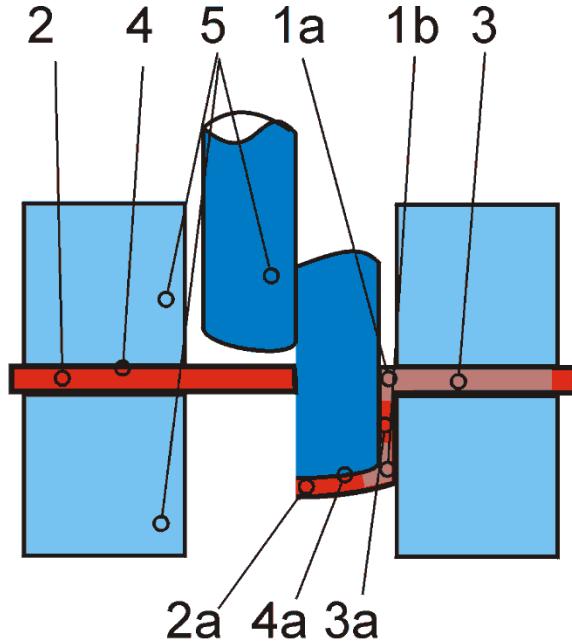
Quelle: Hatebur



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

MSch 0358

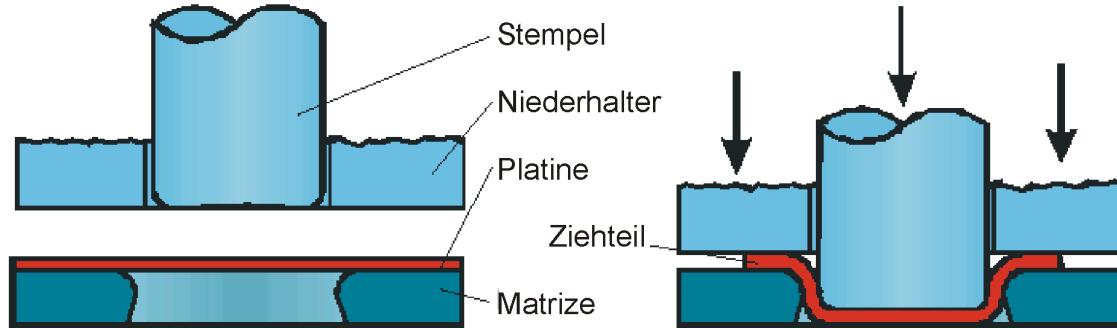
Verfahrenskombination bei der Herstellung  
eines Ventilgehäuses



- Verfahren der Zug-Druck-Umformung
- Überführung eines ebenen Querschnitts in eine Hohlform
- keine beabsichtigte Änderung der Blechdicke

MSch 0367





Ein Niederhalter ist erforderlich, wenn

$$\frac{d_0}{s_0} > 25 - 40$$

Ein Niederhalter ist nicht erforderlich, wenn

$$\frac{d_0}{s_0} < 25 - 40$$

$d_0$  = Rondendurchmesser

$s_0$  = Blechdicke

Quelle: Vieregge

MSch 0365



## Technische Daten

Nennpresskraft :

4.000 - 32.000 kN

Tisch- und Stößelspannfläche:

2.800 x1.600 - 7.000 x 2.800 mm

Werkzeugeinbauhöhe:

1.000 - 1.500 mm

Stößelhub:

500 - 1.120 mm

Hubzahlen:

stufenlos regelbar

8 bis 40 min<sup>-1</sup>



Quelle: Fa. Umformtechnik Erfurt

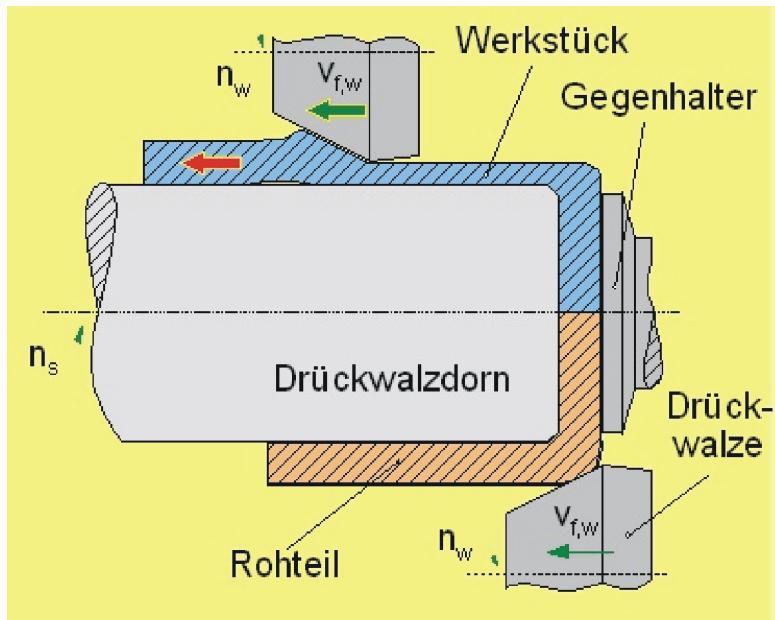
MSch 0370



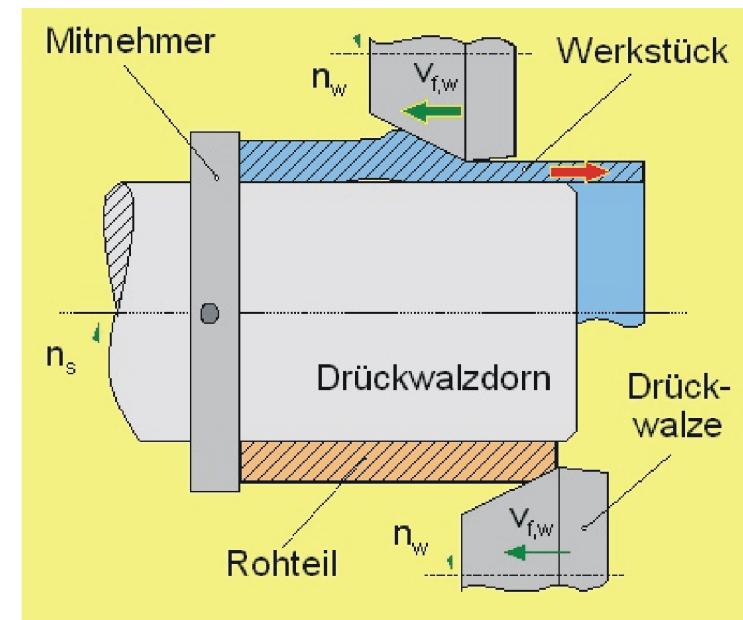
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Transferpresse für die Blechteilherstellung

## Gleichlaufwalzen



## Gegenlaufwalzen



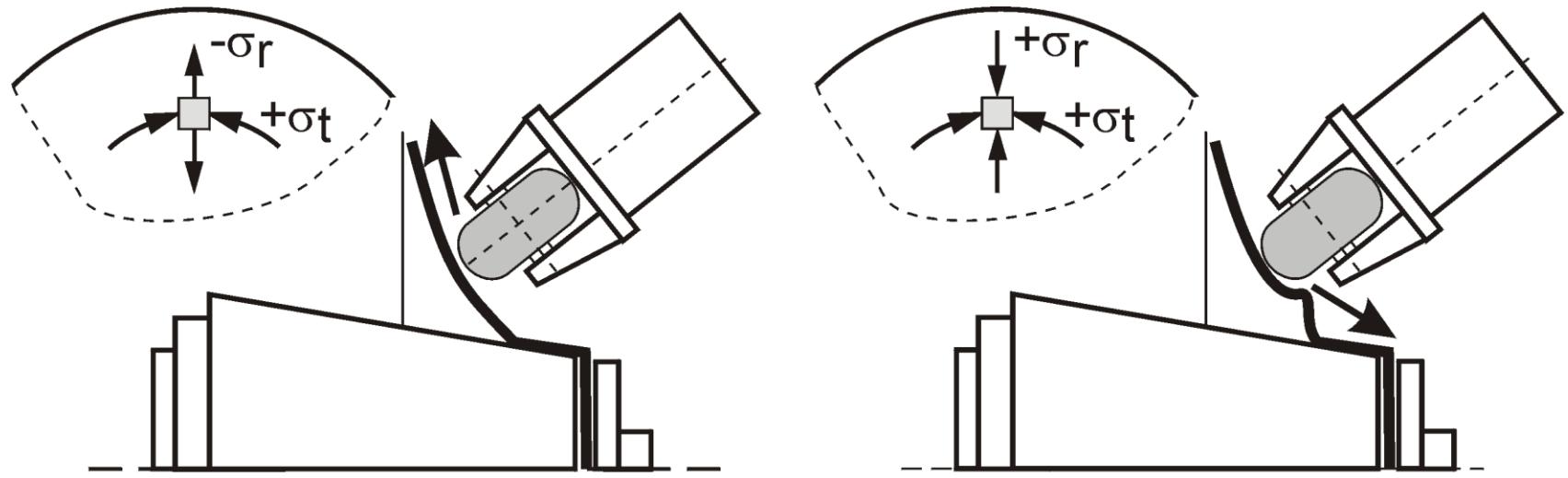
Quelle: Fa. Eckhold



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

MSch 0379

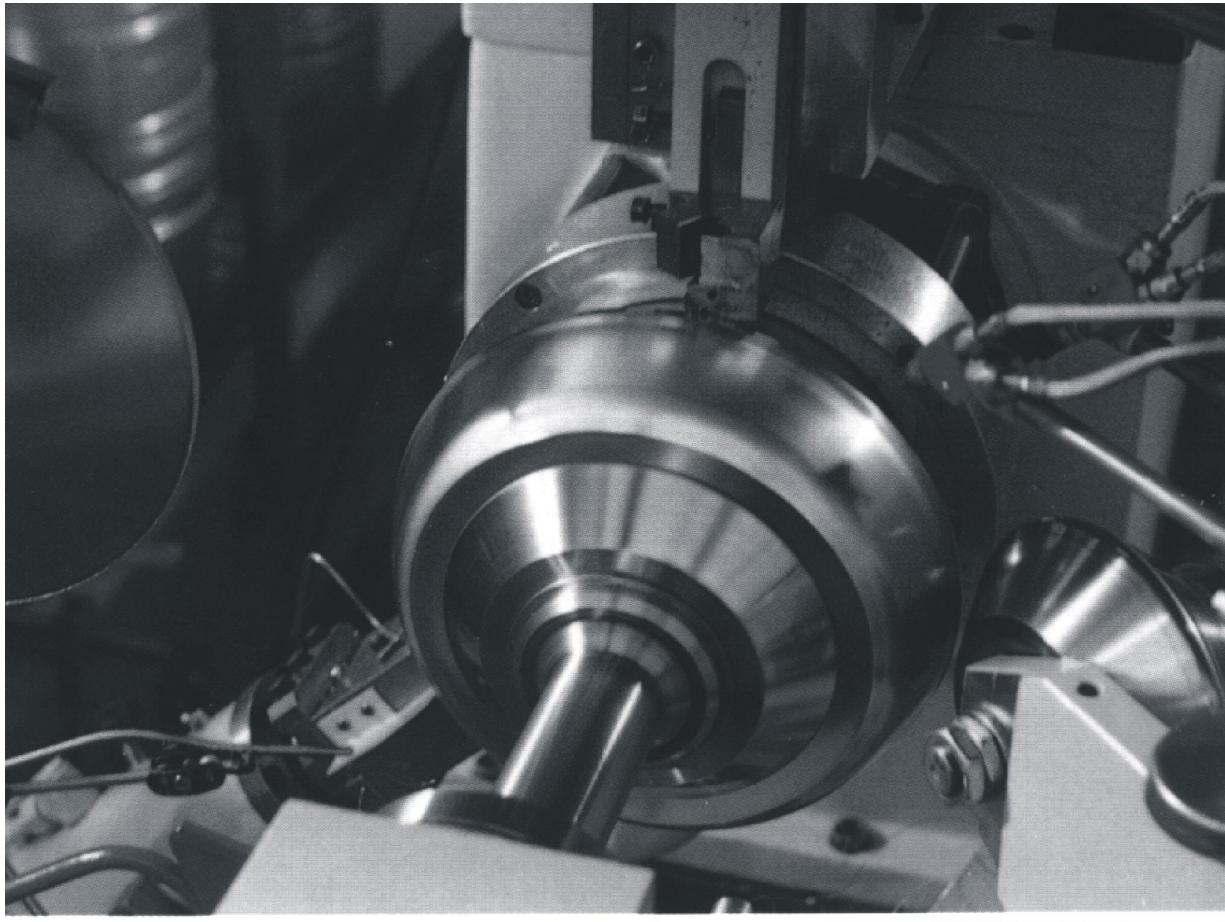
Drückwalzen: Verfahrensprinzip



$+σ_t$ : tangentiale Druckspannung

$-σ_r$ : radiale Zugspannung (Blechdickenverringerung)

$+σ_r$ : radiale Druckspannung (Blechdickenerhöhung)



Quelle: Runge, Leifeld GmbH & Co



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

MSch 0317

Prinzip des Drückwalzens



Quelle: Runge, Leifeld GmbH & Co

MSch 0316



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Produktspektrum beim Drückwalzen

- [1] **Dahl, W.**: Umformtechnik, Plastomechanik und Werkstoffkunde. Hrsg.: W. Dahl, Springer, Berlin, 1998, ISBN 3-540-56682-1
- [2] **Doege, E.; Behrens, B.-A.**: Handbuch Umformtechnik, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 2007
- [3] **Fritz, A. H.; Schulze, G.**: Fertigungstechnik, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 2007, 8. neue Auflage
- [4] **Klocke, F.; König, W.**: Fertigungsverfahren Band 4; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 2006, 5. Auflage
- [5] **Kopp, R.; Wiegels, H.**: Einführung in die Umformtechnik. 2 Auflage Augustinus Buchhandlung, 1999, Aachen, ISBN: 3-860-73821-6
- [6] **Lange, K.**: Umformtechnik, Handbuch für Industrie und Wissenschaft. Bd. 1-4, Hrsg.: Kurt Lange, 2. völlig neu bearb. Aufl.,: Springer-Verlag, 2002, Berlin, ISBN: 3-540-43686-3
- [7] **Rösler, J.; Harders, H.; Bäker, M.**: Mechanischer Verhalten der Werkstoffe, Vieweg+Teubener GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008, 3. Auflage
- [8] **Spur, G. & Stöferle, T.**: Handbuch der Fertigungstechnik, Band 2/1 – Umformen. Fachbuchverlag Leipzig, 1986
- [9] **Spur, G.**: Handbuch der Fertigungstechnik, Carl Hanser Verlag München Wien 1994
- [10] **Tschätsch, H.; Dietrich, J.**: Praxis der Umformtechnik: Arbeitsverfahren, Maschinen, Werkzeuge. 9. aktualisierte und erweiterte Auflage; Vieweg-Verlag, 2008, Braunschweig, ISBN: 3-8348-0324-5



# Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

Kapitel 5.1: Trennen  
mit geometrisch bestimmter Schneide

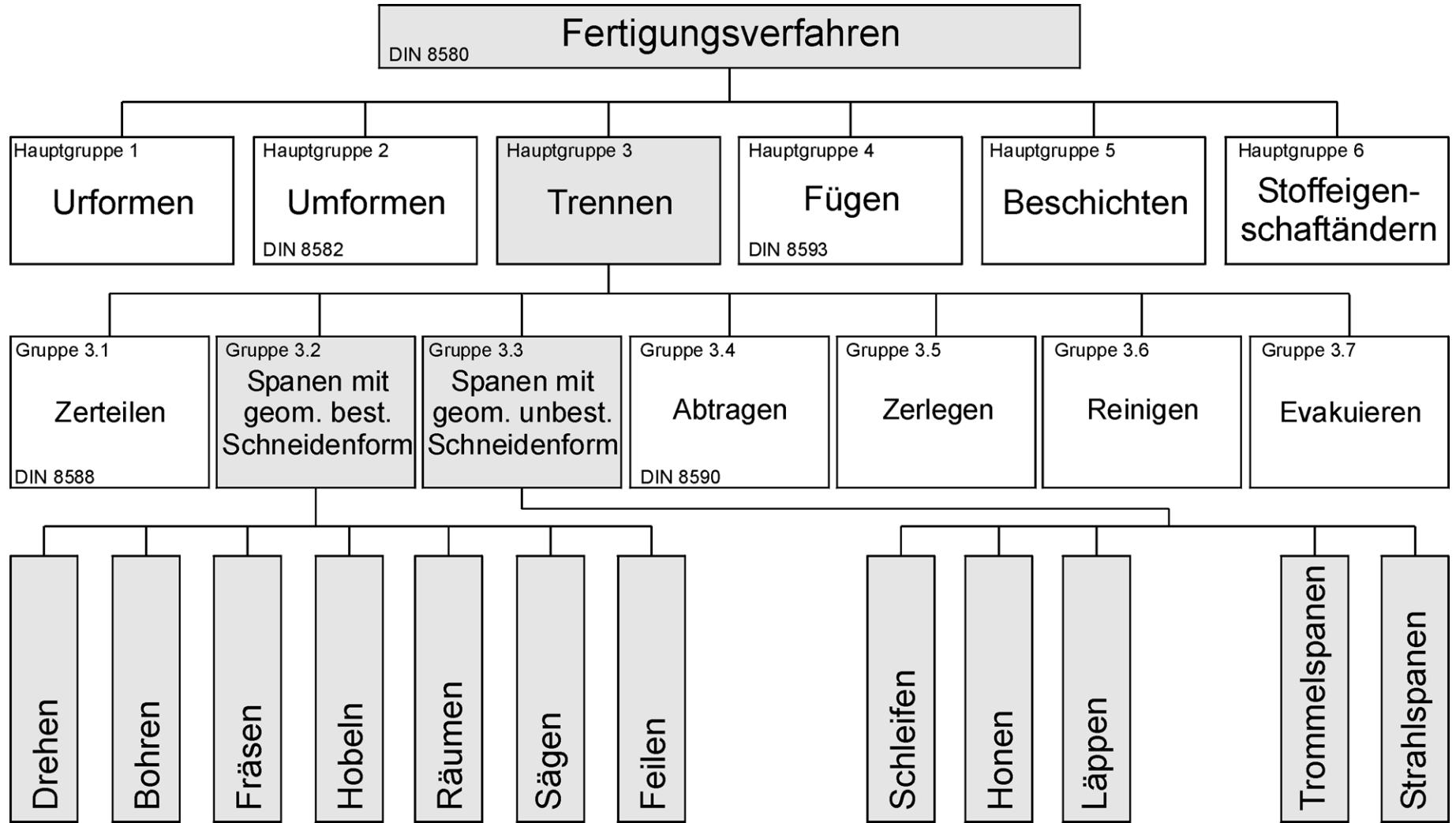


# Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

## **Kapitel 5.1.1 Definition und Einteilung**





Quelle: Spur





- **Sägen** der Halbzeuge
- **Bohren** diverser Bohrungen
- **Gewindedrehen** der Schraubverbindungen
- **Fräsen** von Halterungen
- **Drehen** der Wellen
- **Drehen und Bohren** der Rollenlager

Quelle: streetgadgets.com





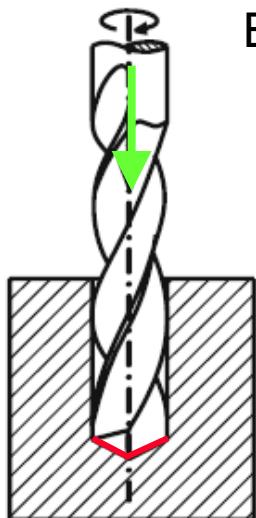
Quelle: wikimedia commons



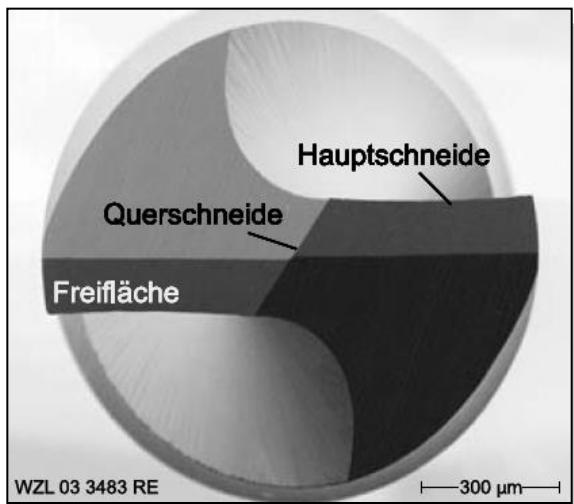
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Schoe 0055a

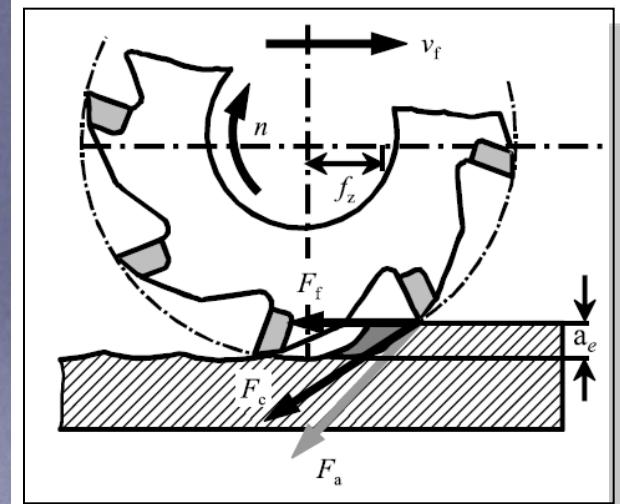
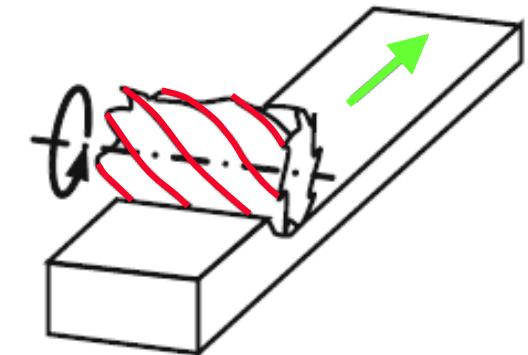
Bohr- und Fräswerkzeuge



Bohrer



Fräser



Quelle: wikipedia commons, Klocke/König



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Bohr- und Fräswerkzeuge

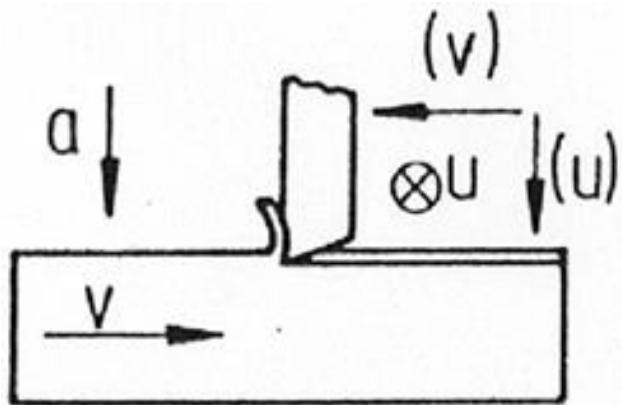
Schoe 0055b

Sollform der Fläche/ Erzeugungskinematik	Drehen	Bohren, Senken, Reiben	Fräsen	Hobeln, Stoßen	Räumen	Sägen	Feilen
<b>ebene Fläche</b>	Querplandrehen Längsplandrehen Querabstechdrehen	Plansenken	Umfangsplanfräsen Umfangsstirnfräsen	Planhobeln Planstoßen	Planräumen	Plansägen Schlitzsägen	Planfeilen
<b>kreiszylindrische Fläche</b>	Längsrunddrehen Schäldrehen Längsabstechdrehen Querrunddrehen	Tiefesenken Kernaufbohren Tiefaufbohren	Rundfräsen	Rundhobeln Rundstoßen	Rundräumen	Rundsägen	Rundfeilen Rollieren
<b>Schraubfläche (z.B. Gewinde)</b>	Gewindedrehen Gewindestrehlen Gewindeschneiden	Gewindebohren	Schraubfräsen Gewindefräsen	Schrauhobeln Schraubstoßen	Schraubräumen		
<b>Wälzfläche</b>	Wälzdrehen		Wälzfräsen	Wälzhobeln Wälzstoßen			
<b>durch Profilwerkzeug bestimmt</b>	Längseinstechdrehen Quereinstechdrehen Profilabstechdrehen	Profilbohren Profilsenken Profilreiben	Profilfräsen Profilrundfräsen	Profilhobeln Profilstoßen	Profilräumen		Profilfeilen
<b>durch gesteuerte Vorschubbeweg. bestimmt</b>	Formdrehen Nachformdrehen		Formfräsen Nachformfräsen	Formhobeln Nachformhobeln Formstoßen Nachformstoßen		Formsägen Nachformsägen	Formfeilen Nachformfeilen
<b>durch gest. Schnittbeweg. bestimmt</b>	Längsunrunddrehen Querunrunddrehen			Ungeradhobeln Ungeradstoßen	Ungeradräumen	Ungeradsägen	Ungeradfeilen
<b>durch Bewegungen von Hand bestimmt</b>	Handdrehen	Handbohren	Handfräsen	Handhobeln		Handsägen	Handfeilen

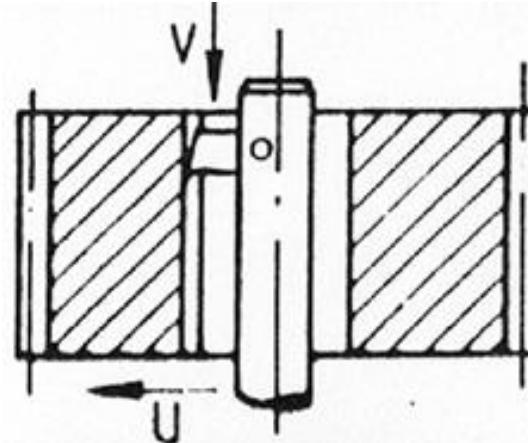
Quelle: Spur

Br 0742b

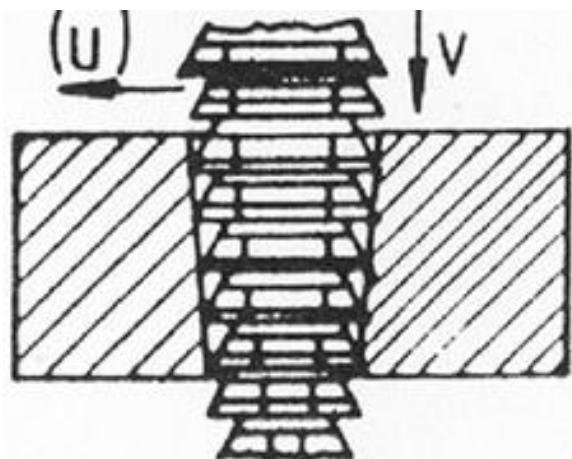




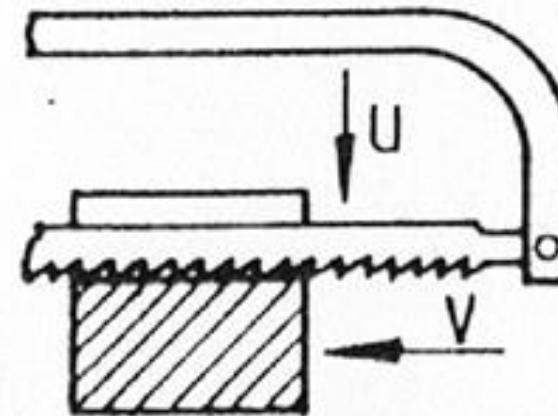
**Hobeln**  
WZ u, a;  
WST v  
  
**Stoßen**  
WZ v, a;  
WST u



**Ziehen**  
WZ: v, u



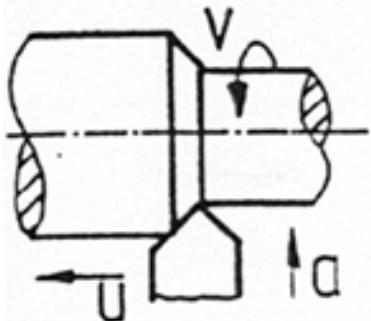
**Räumen**  
WZ: v (u)  
WST: (v)



**Sägen**  
WZ: v, u

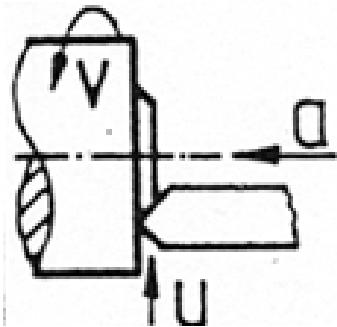
Quelle: nach IFW





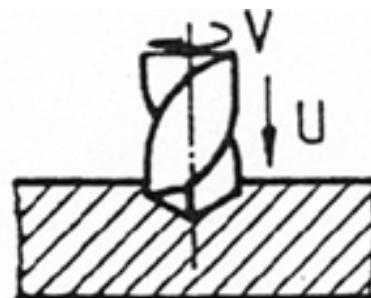
### Längsdrehen

WZ: u, a  
WST: v



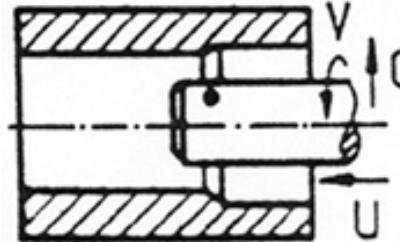
### Plandrehen

WZ: u, a  
WST: v



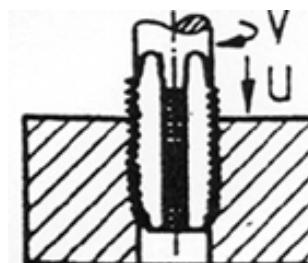
### Bohren

WZ: u, (v)\*  
WST: v



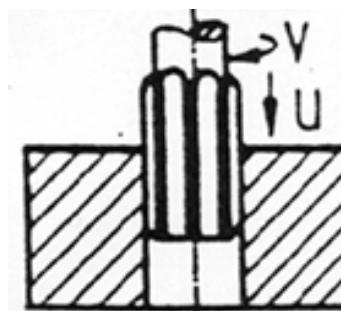
### Aufbohren

WZG: u, a, (v)\*  
WST: v



### Gewindeschneiden

WZ: u, (v)\*  
WST: v



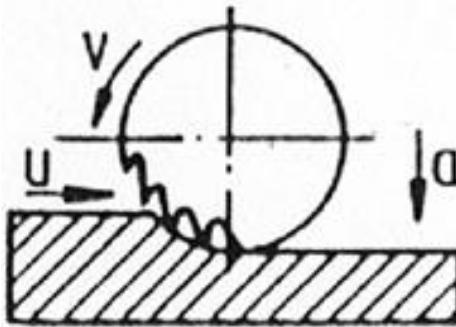
### Reiben/Senken

WZ: u, (v)\*  
WST: v

\* für Bohrmaschine



Quelle: nach IFW

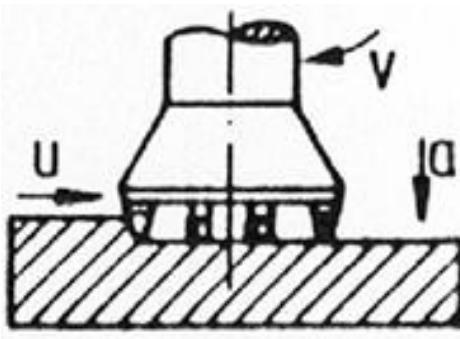


### Walzenfräsen

WZ:  $v, (u, a)^*$

WST:  $u, a$

\* Waagerecht-fräsmaschine

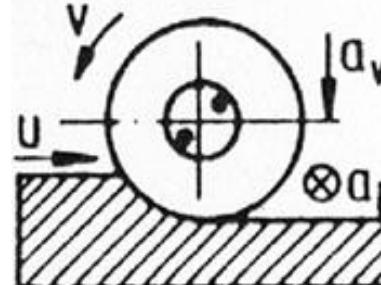


### Stirnfräsen

WZ:  $v, (u, a)^{**}$

WST:  $u, a$

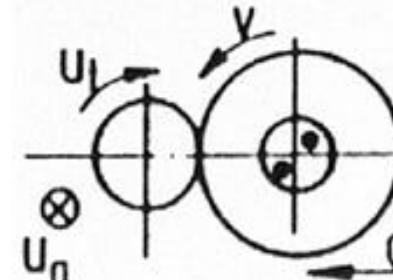
\*\* Senkrecht-fräsmaschine



### Flachschleifen (Umfangsschleifen)

WZ:  $v, a_v$

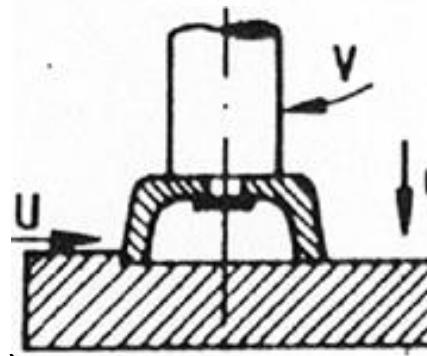
WST:  $u, a_h$



### Rundschleifen (Längsschleifen)

WZ:  $v, a$

WST:  $u_t, u_a$



### Flachschleifen (Stirnschleifen)

WZ:  $v, a$

WST:  $u$

geometrisch unbestimmte Zerspanung

Quelle: nach IFW



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Spanende Fertigungsverfahren  
**Zykloidische** Wirkbewegung

Br 1071

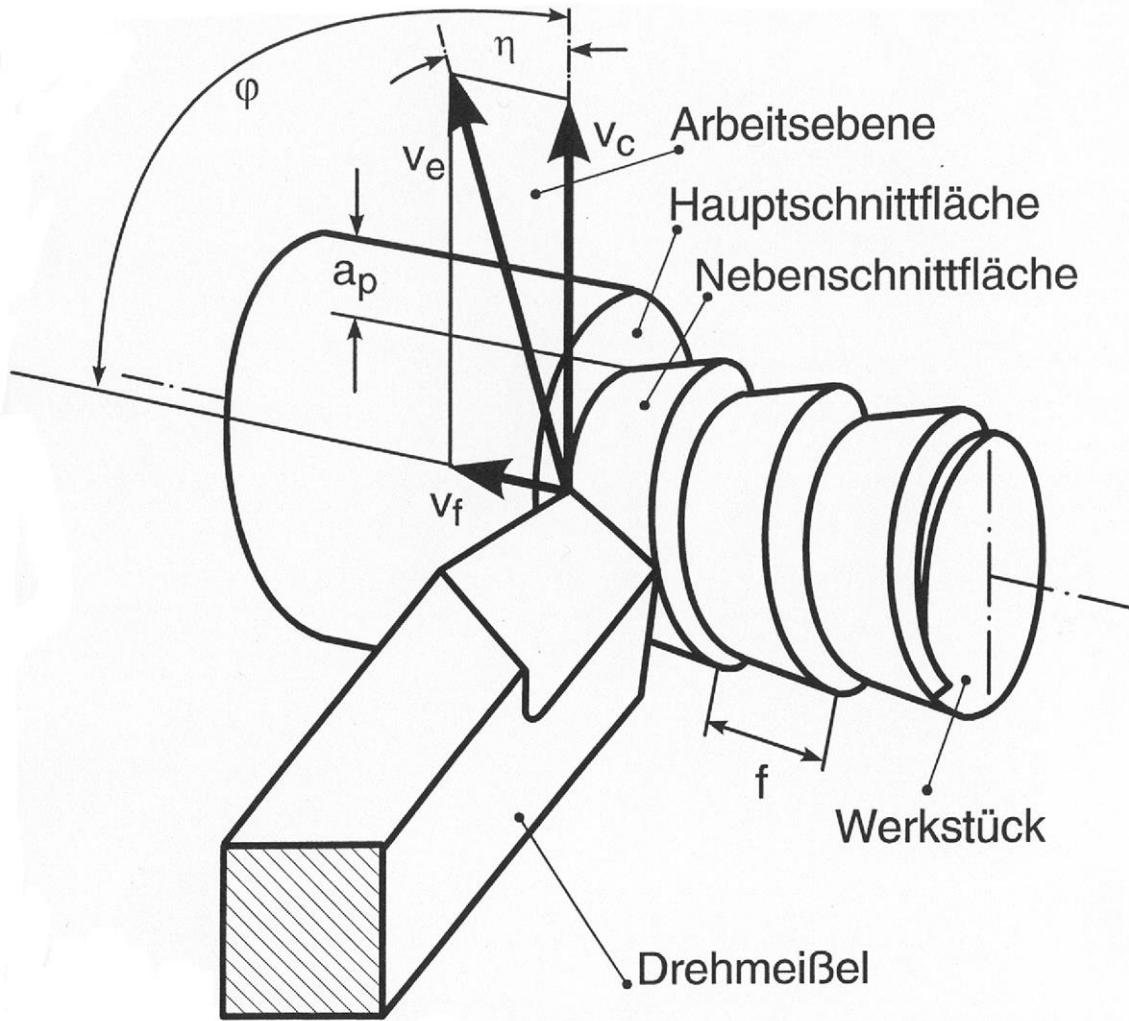
# Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

**Kapitel 5.1.2. Kinematische und  
technologische Grundlagen**

**Kapitel 5.1.2.1 Drehen**





Geschwindigkeiten

$v_f, v_c, v_e$

Vorschub

$f$

Schnitttiefe

$a_p$

Vorschubrichtungswinkel

$\varphi$

Wirkrichtungswinkel

$\eta$

Für alle Verfahren gilt allgemein:

$$\tan \eta = \frac{\sin \varphi}{\frac{v_c}{v_f} + \cos \varphi}$$

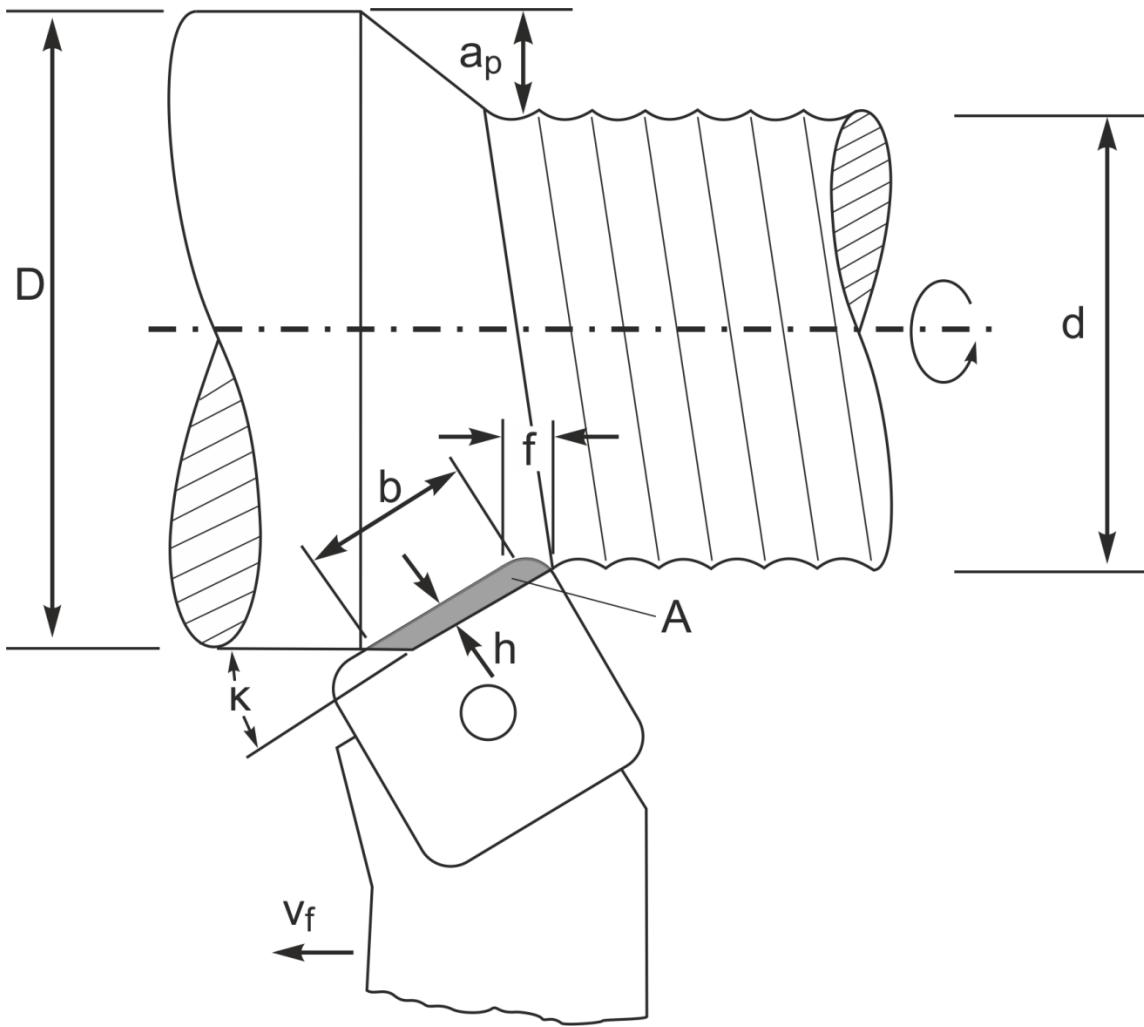
mit  $\varphi = 90^\circ$ :

$$\tan \eta = \frac{v_f}{v_c}$$

Quelle: Spur

Br 0730





- $a_p$  Schnitttiefe [mm]
- $b$  Spannungsbreite [mm]
- $A$  Spanungsquerschnitt [ $\text{mm}^2$ ]
- $h$  Spanungsdicke [mm]
- $h_{ch}$  Spandicke [mm]
- $f$  Vorschub [mm]
- $v_f$  Vorschubgeschwindigkeit [mm/min]
- $\kappa$  Einstellwinkel [°]

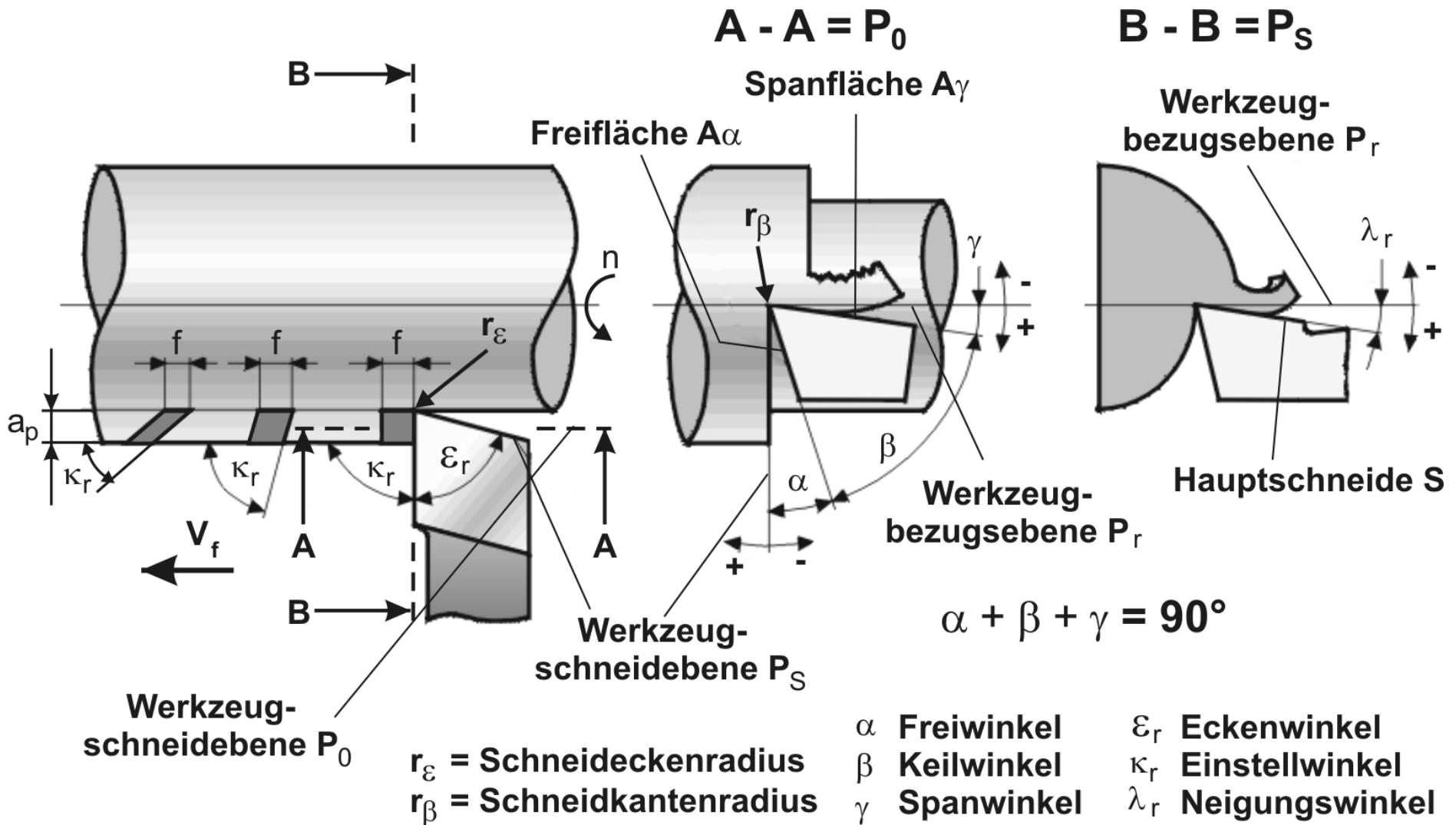
$$A = b * h = a_p * f$$

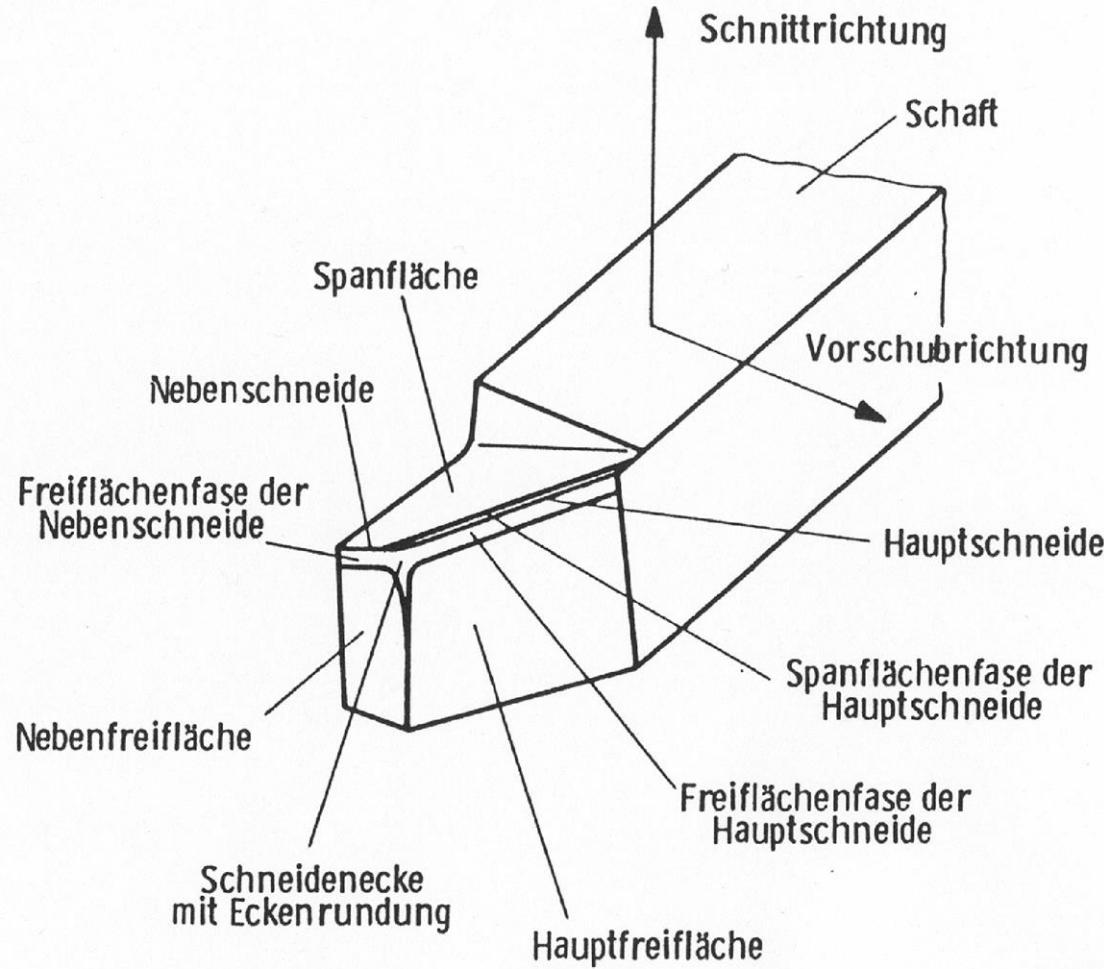
$$b = a_p / \sin \kappa$$

$$h = f * \sin \kappa$$

Quelle: Dubbel







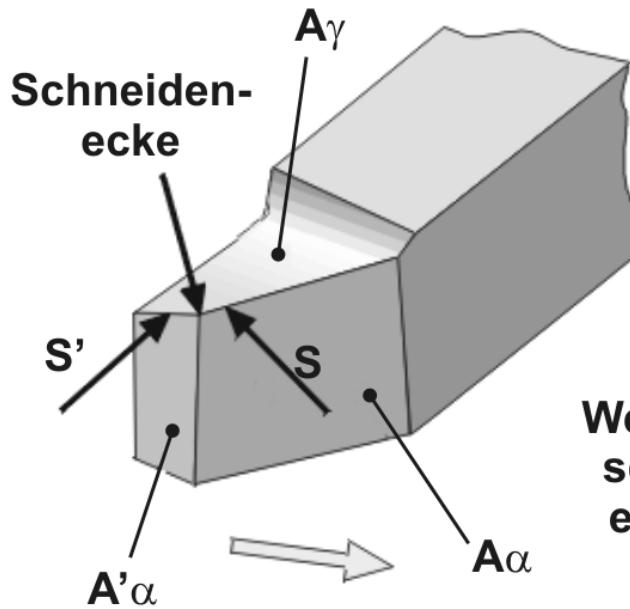
Quelle: König



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Br 0722

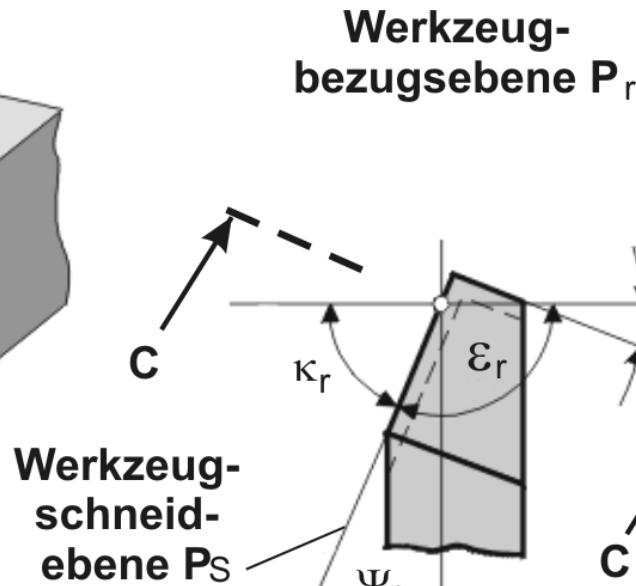
Flächen, Schneiden und Schneidenecken am  
Dreh- und Hobelmeißel (nach DIN 6581)



Vorschubrichtung

#### Schneidenbezeichnung:

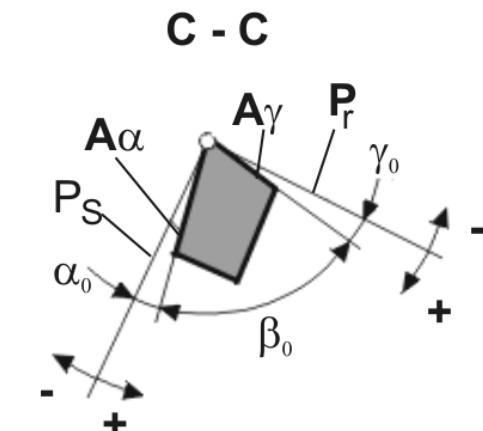
**S** Hauptschneide  
**S'** Nebenschneide



#### Flächenbezeichnung:

**Aα** Hauptfreifläche  
**A'α** Nebenfreifläche  
**Aγ** Spanfläche

#### Werkzeug-orthogonalebene P0



#### Winkelbezeichnung:

$\alpha$	<b>Freiwinkel</b>
$\beta$	<b>Keilwinkel</b>
$\gamma$	<b>Spanwinkel</b>
$\varepsilon_r$	<b>Eckenwinkel</b>
$\kappa_r$	<b>Einstellwinkel</b>
$\kappa'_r$	<b>Einstellwinkel von S'</b>
$\Psi_r$	<b>Ergänzungswinkel</b>

Rick 059



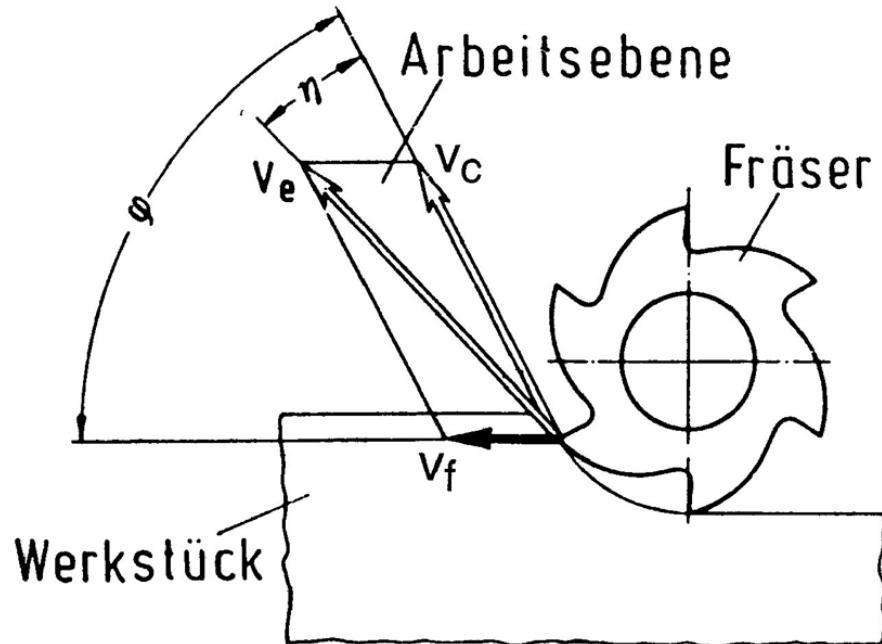
# Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

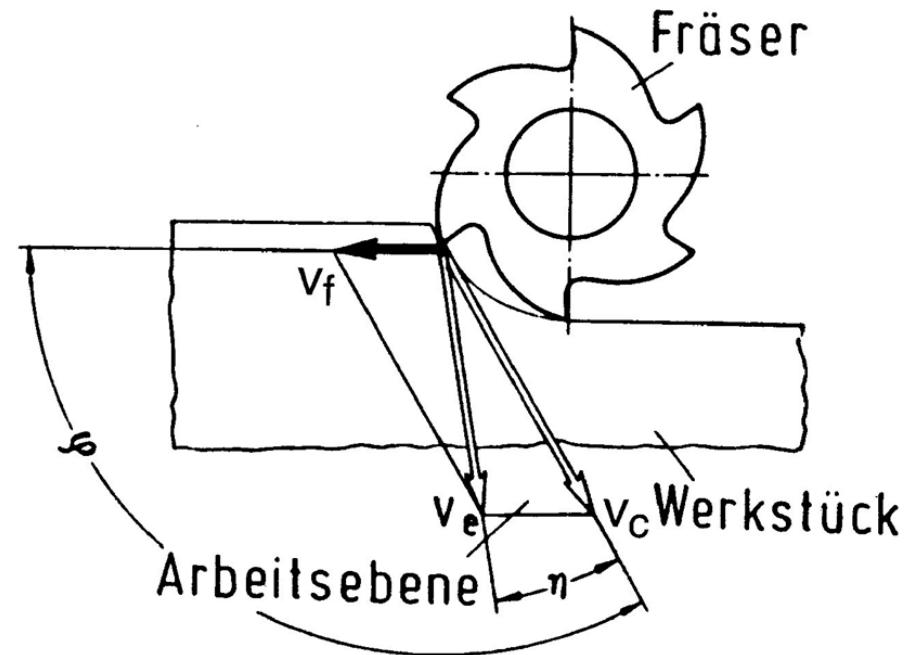
## Kapitel 5.1.2.2 Fräsen



## Gegenlauffräsen



## Gleichlauffräsen



Quelle: Spur

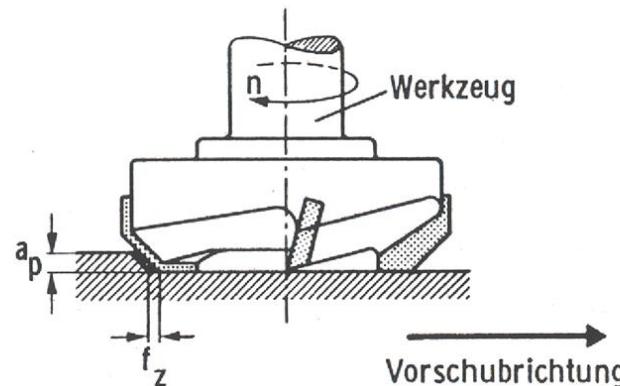
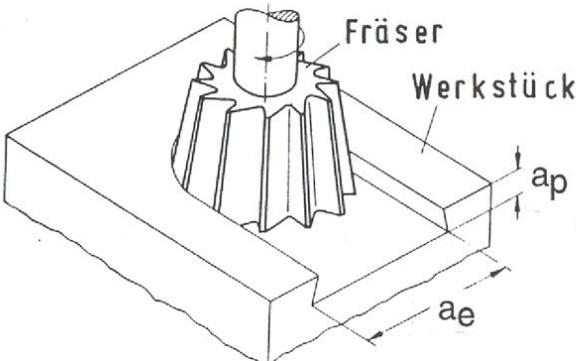


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Bri 0731

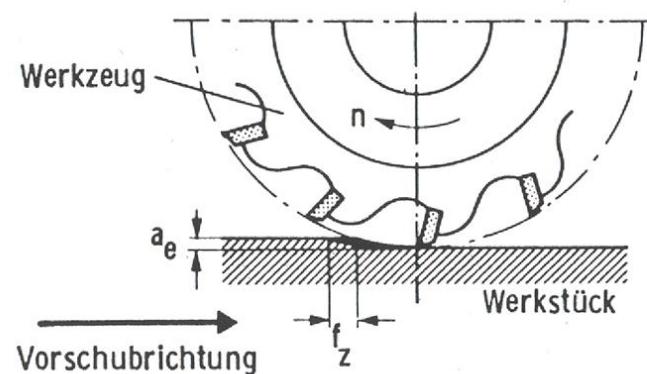
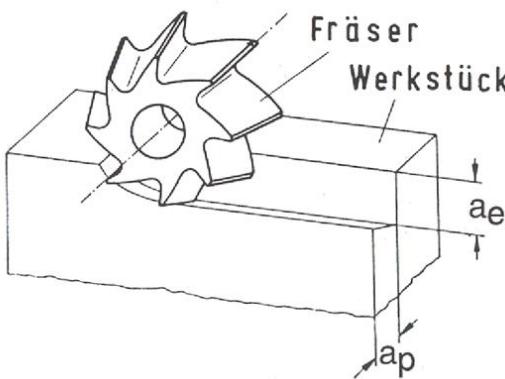
Kinematik beim Gegenlauf- und Gleichlauffräsen

## Stirnfräsen



Vorschub je Zahn,  $f_z$

## Umfangsfräsen



Eingriffsgröße,  $a_e$ :

- Größe des Eingriffs der Schneide je Hub oder Umdrehung
- in der Arbeitsebene und senkrecht zur Vorschubrichtung gemessen

Quelle: Spur/König

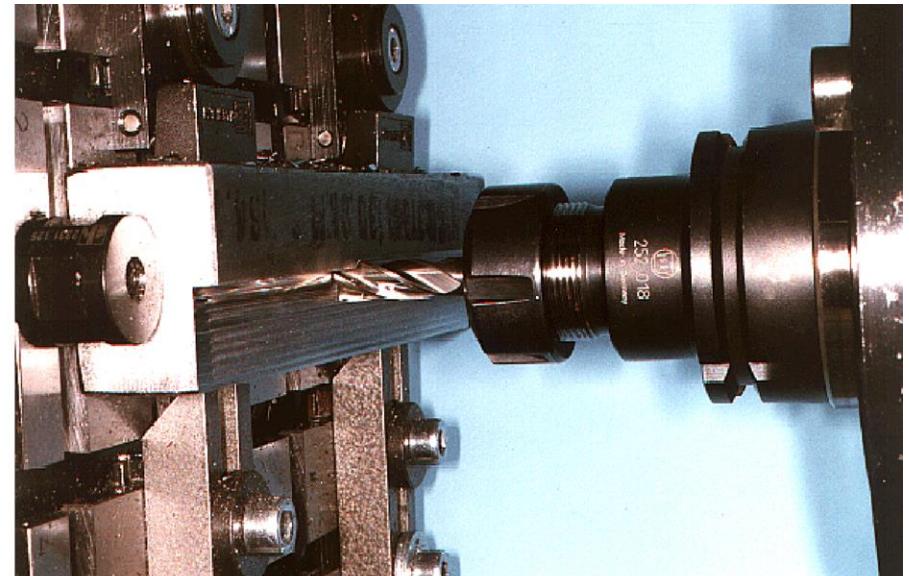
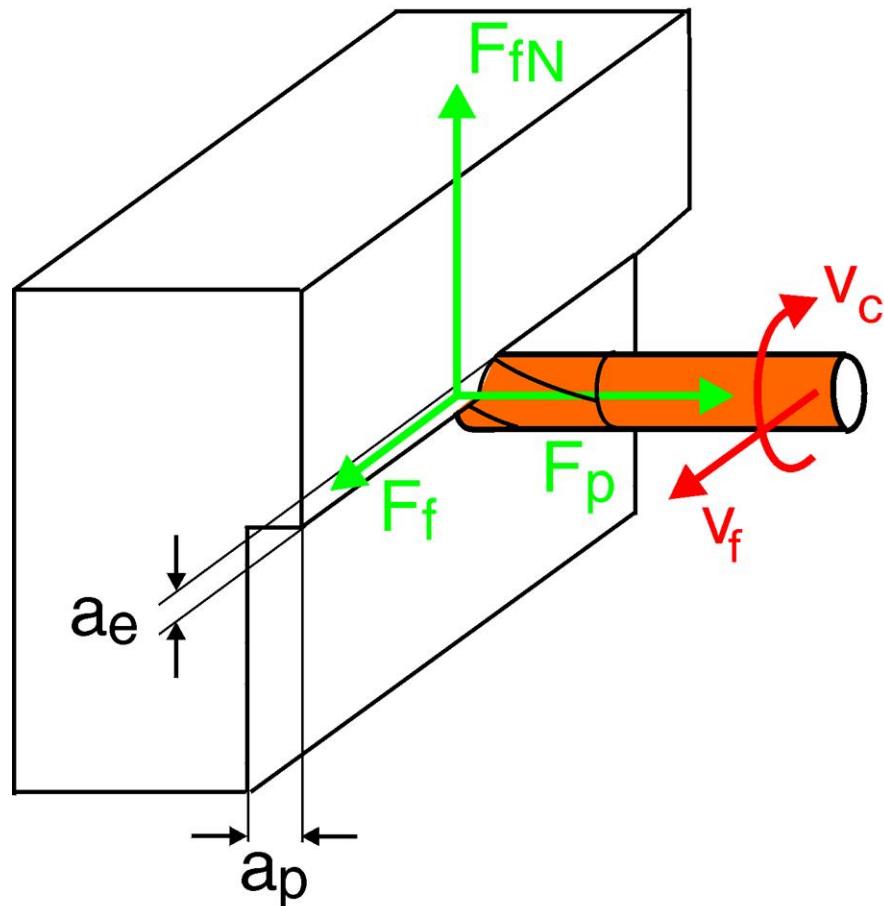


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Br 0741

Schnittgrößen beim Stirn- und Umfangsfräsen





Beispiel: Zeilenfräsen an TiAl6V4

$v_c$  : Schnittgeschwindigkeit [m/min]

$v_f$  : Vorschubgeschwindigkeit [mm/min]

$a_e$  : Eingriffsbreite [mm]

$a_p$  : Schnitttiefe [mm]

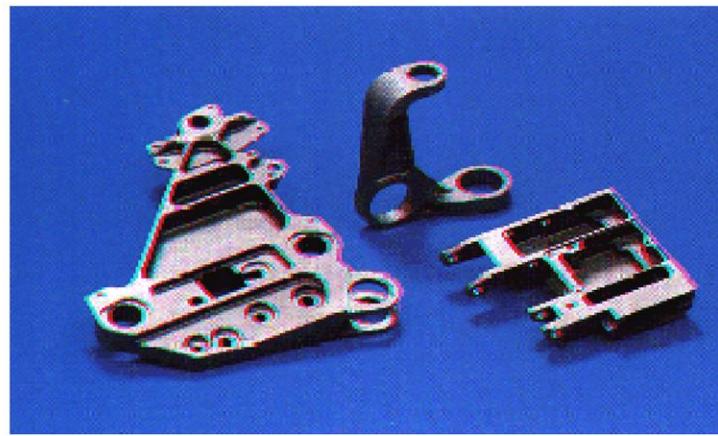
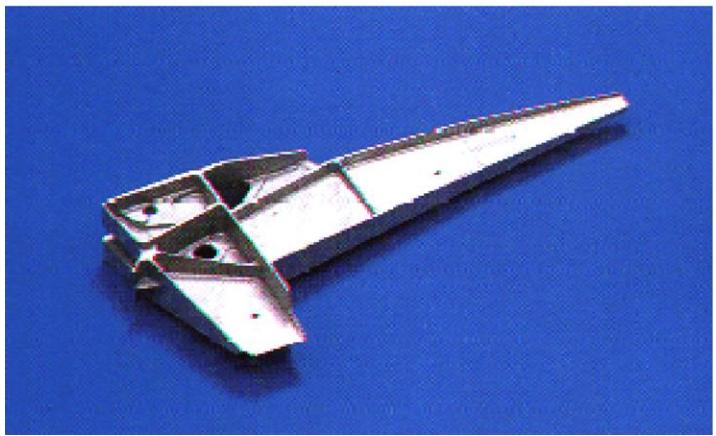
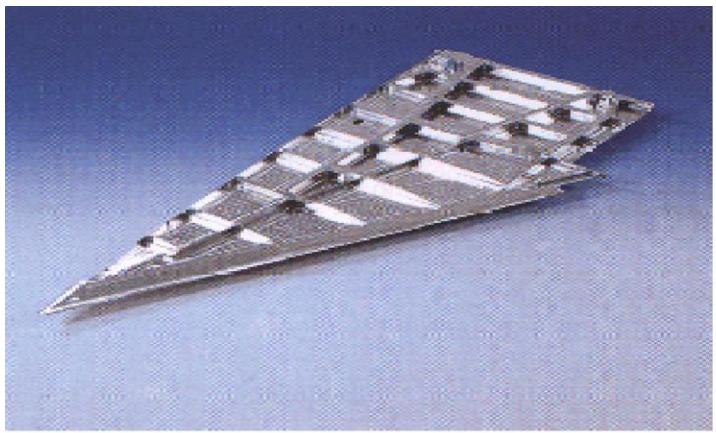
$F_f$  : Vorschubkraft [N]

$F_{fN}$  : Vorschubnormalkraft [N]

$F_p$  : Passivkraft [N]

JA 0287u





Quelle: DASA Airbus

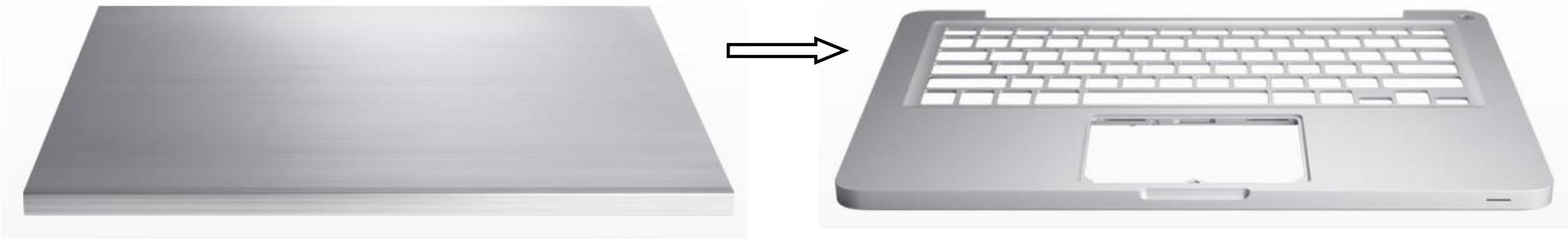


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

JA 0310u

Strukturauteile aus dem Flugzeugbau

## Fräsen des Chassis aus dem Vollen



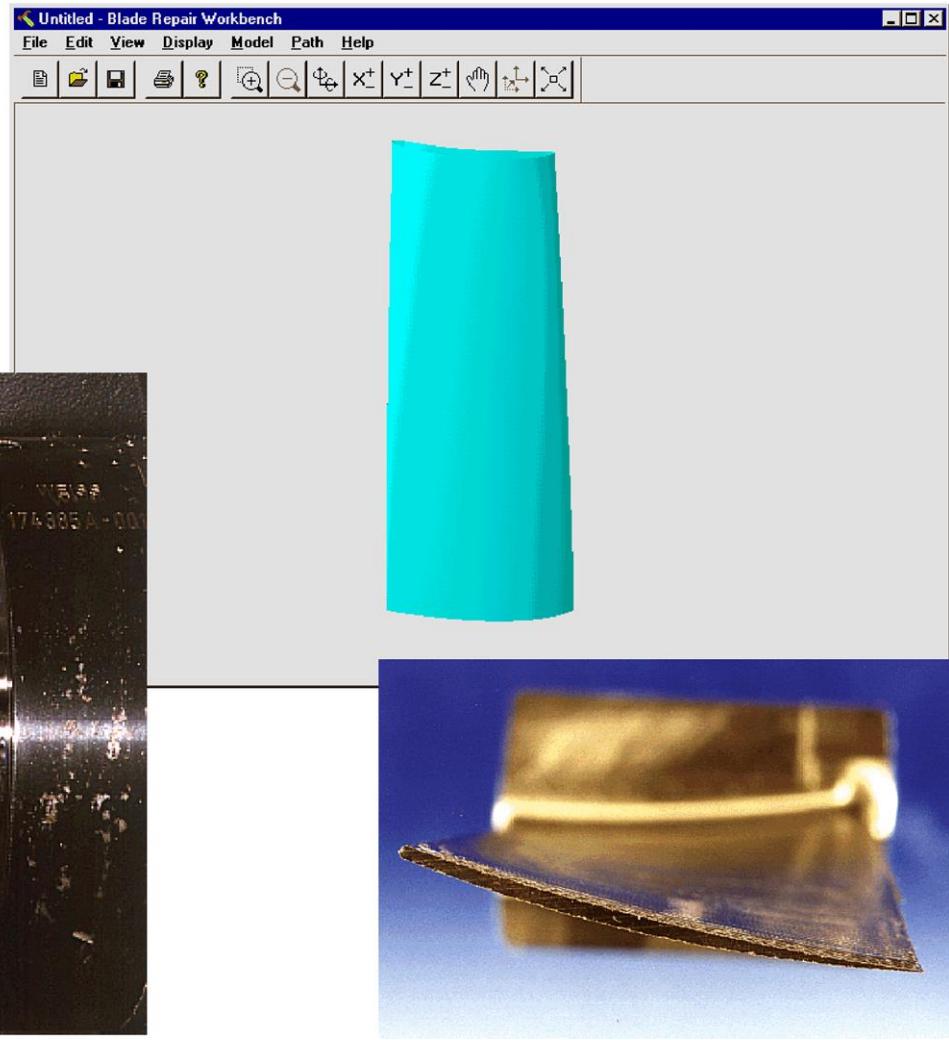
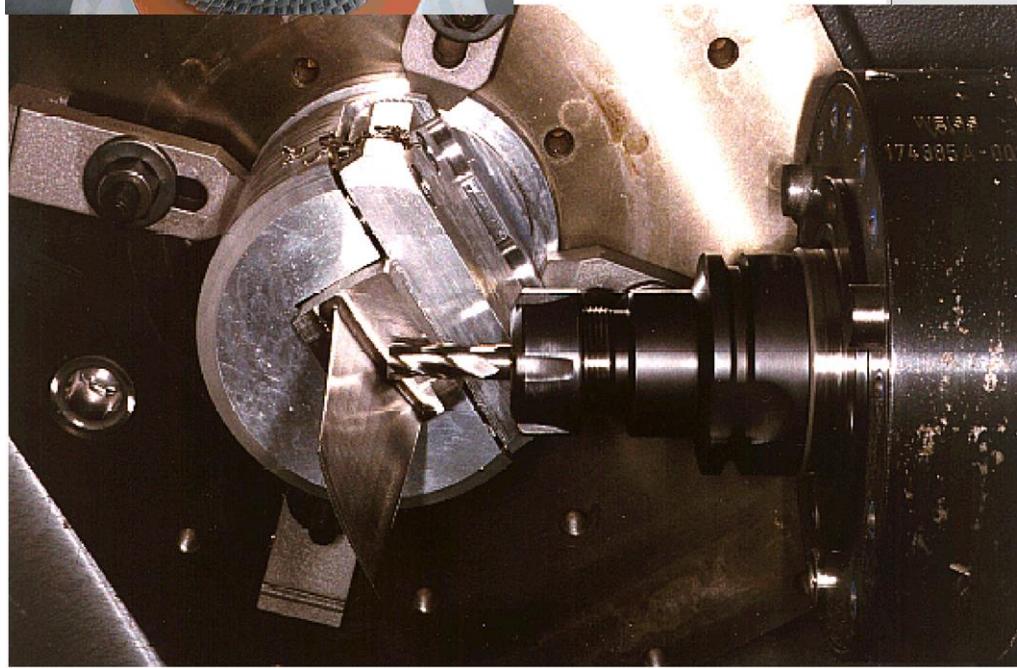
Quelle: Apple Inc.



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Lor 0007

Gehäuse eines Laptops



JA 0290u



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

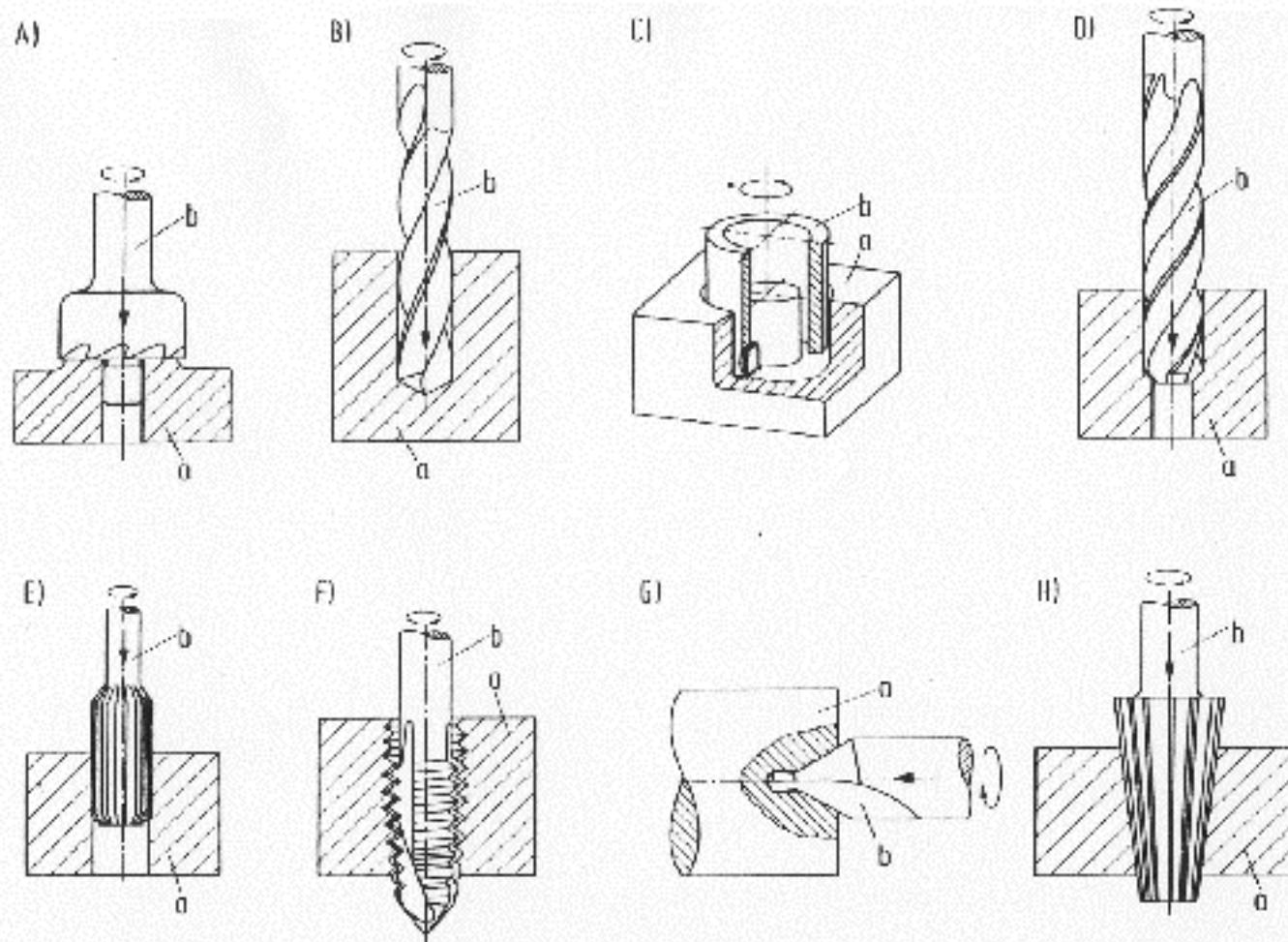
Fräsen von Freiformflächen aus TiAl6V4

# Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

## Kapitel 5.1.2.3 Bohren



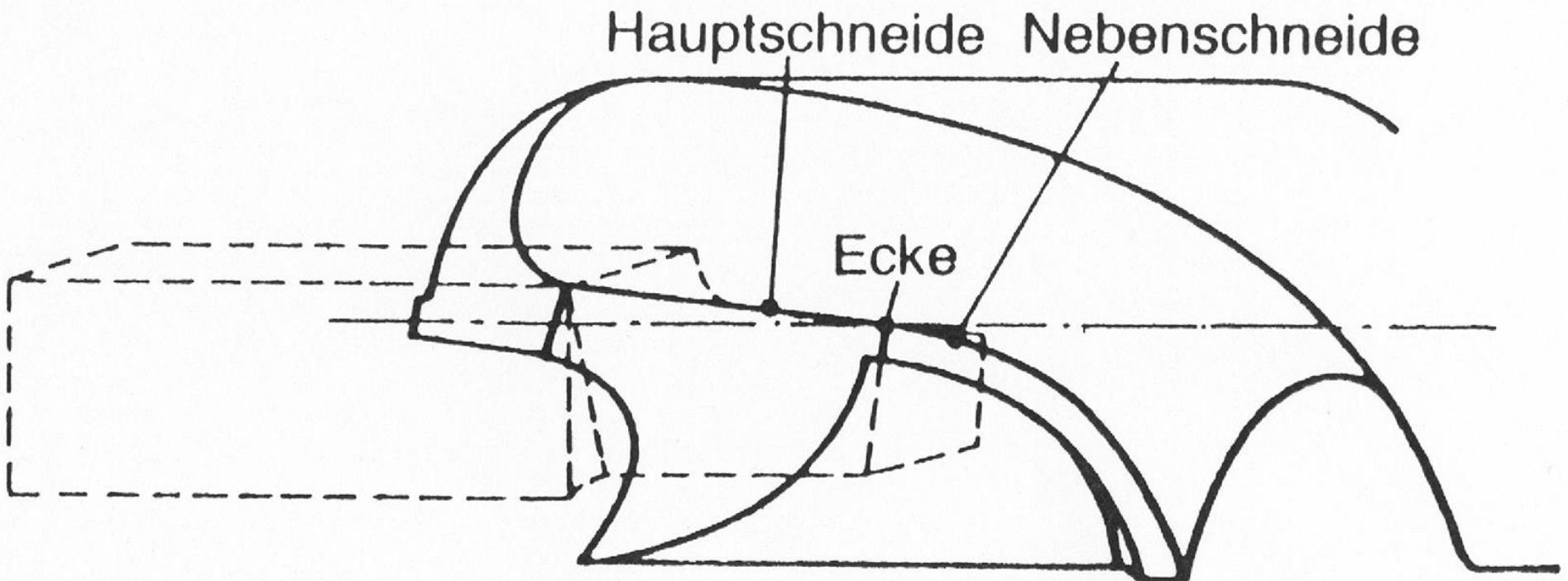


A) Plansenken, B) Bohren ins Volle mit Wendelbohrer, C) Kernbohren, D) Aufbohren, E) Reiben, F) Gewindebohren, G) Profilbohren ins Volle, H) Profilstreben

Quelle: nach Entwurf DIN 8589 Teil 2

Br 1002





Quelle: Vieregge

Br 1044



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

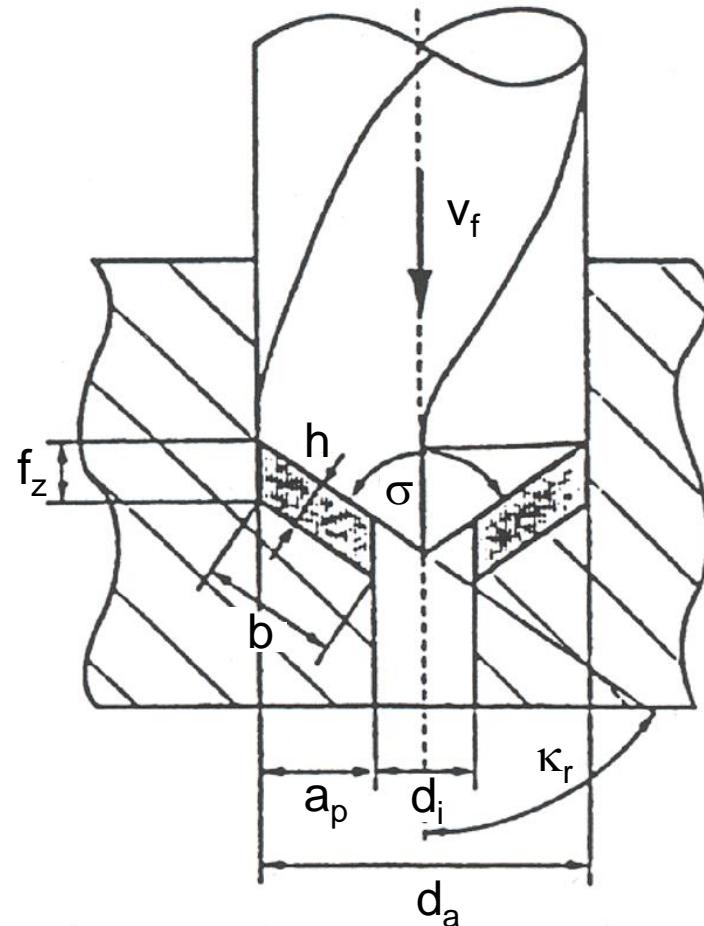
Ähnlichkeit zwischen einer Bohrer-  
und einer Drehmeißelschneide

$\sigma$ : Spitzenwinkel

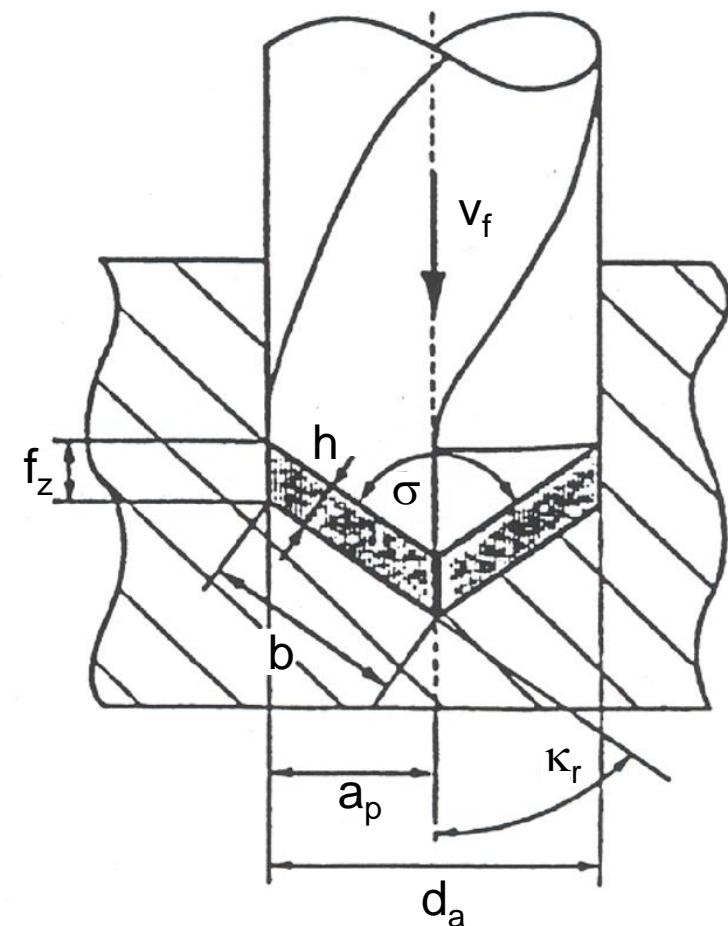
$\kappa_r$ : Einstellwinkel

$f_z$ : Vorschub / Zahn

$v_f$ : Vorschubsgeschwindigkeit



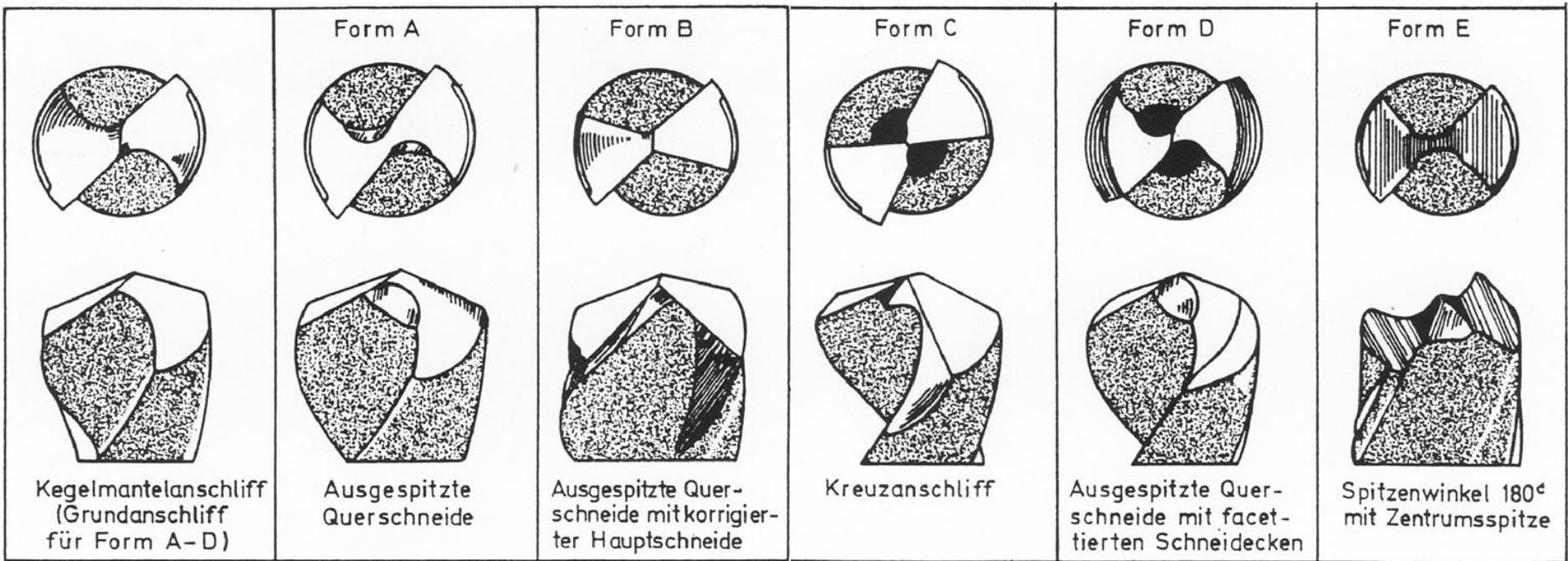
Spanungsquerschnitt  
beim Aufbohren



Spanungsquerschnitt  
beim Bohren ins Volle

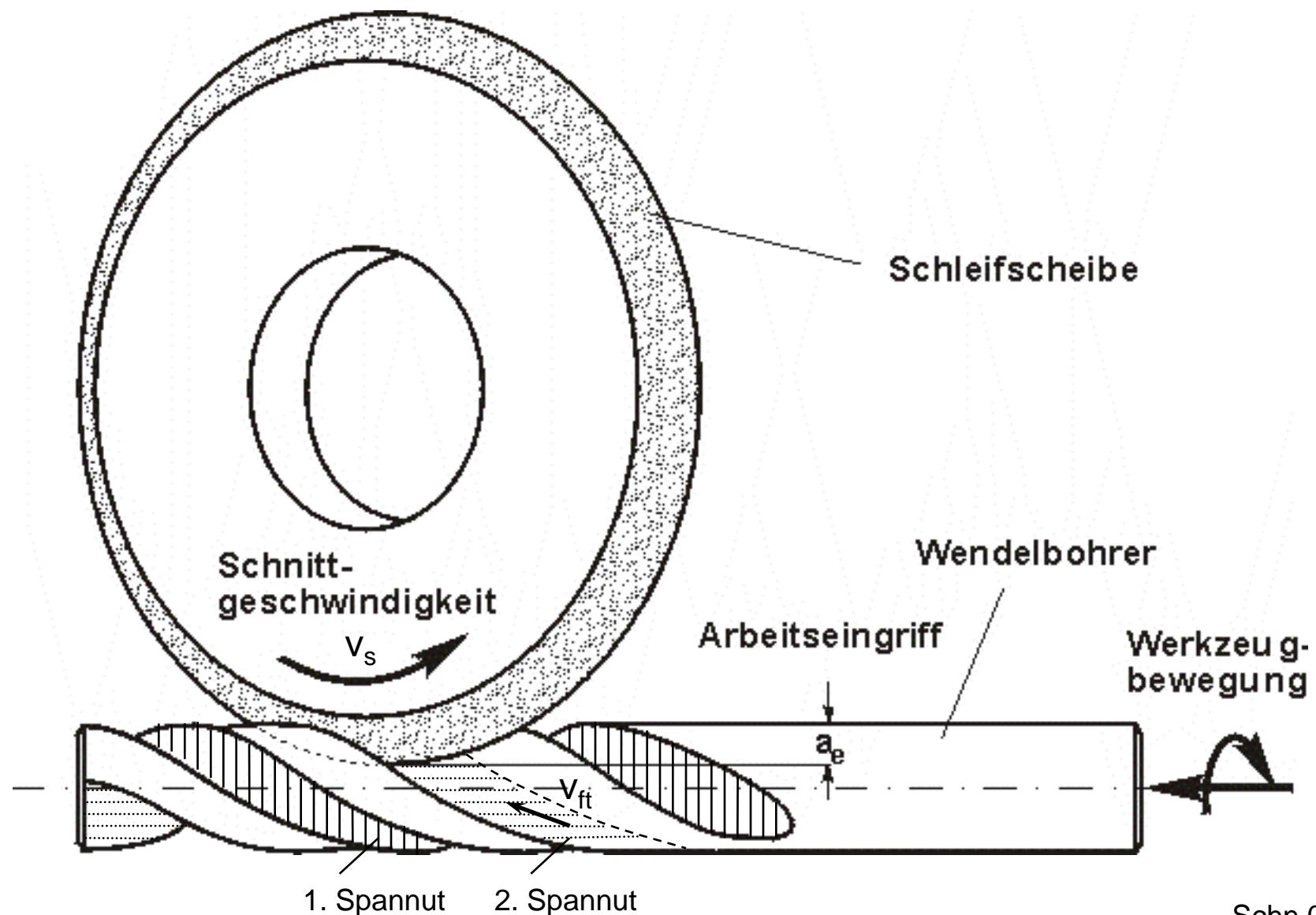
Br 1025





Quelle: nach DIN 1412





Schn 052a

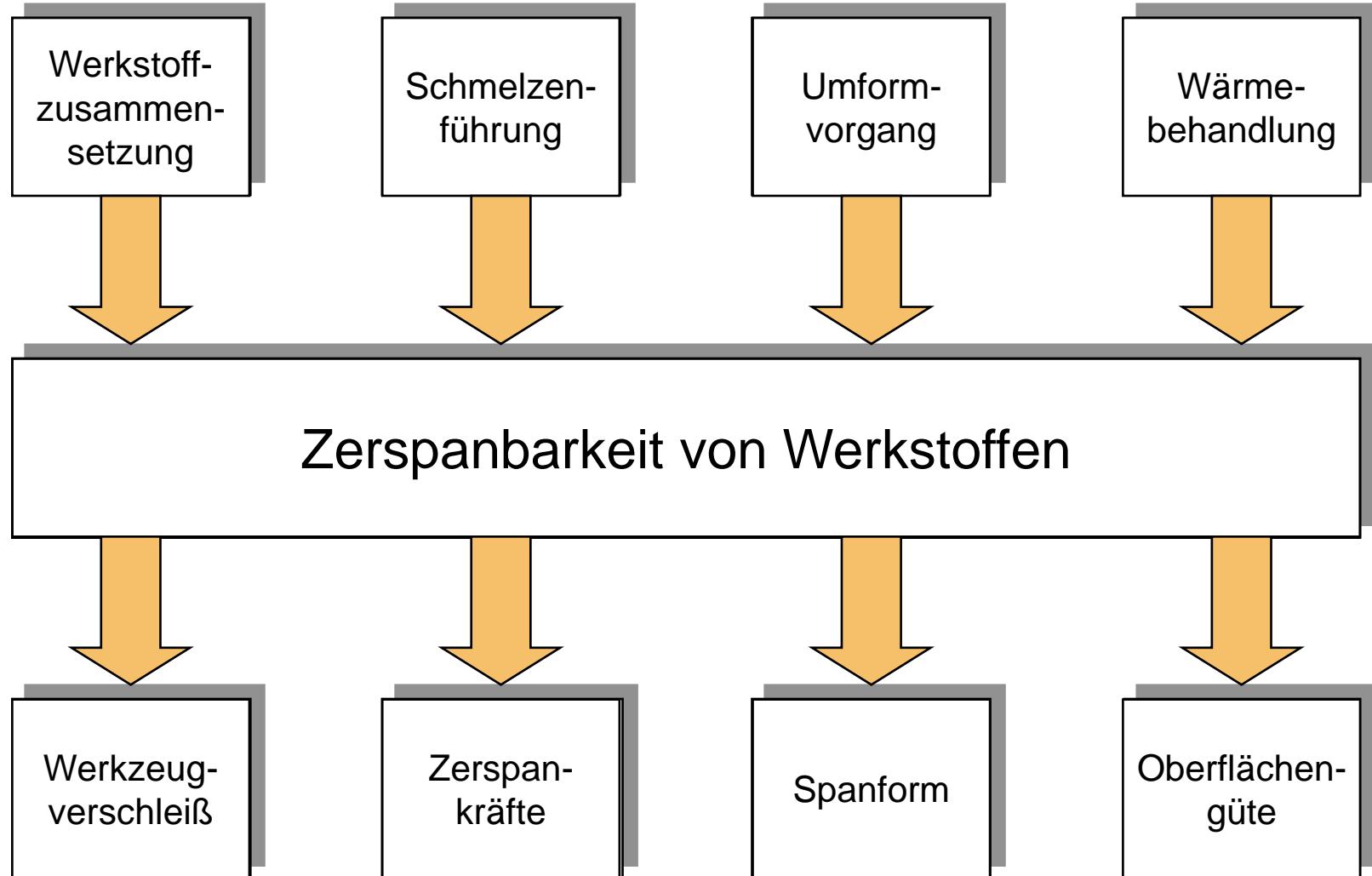


# Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

**Kapitel 5.1.3.1 Oberflächengüte**



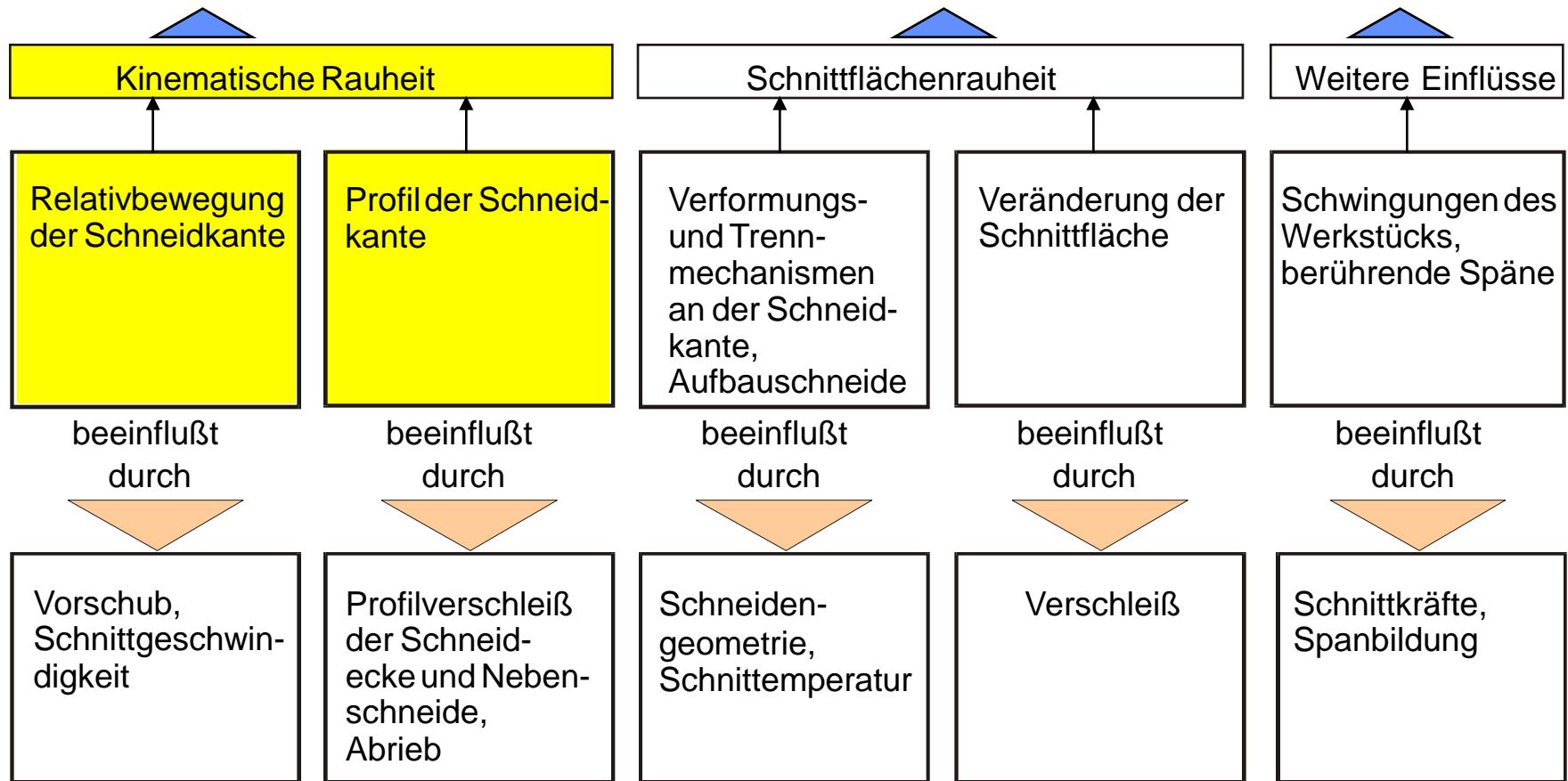


Quelle: Vieregge

DIE 0169b



## Einflussgrößen auf die Oberflächenbeschaffenheit in der Metallzerspanung



Quelle: nach König



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Br 1240

Einflussgrößen auf die Oberflächengüte  
bei der Metallzerspanung

$$R_t = r_\varepsilon - \sqrt{r_\varepsilon^2 - \frac{f^2}{4}}$$

oder

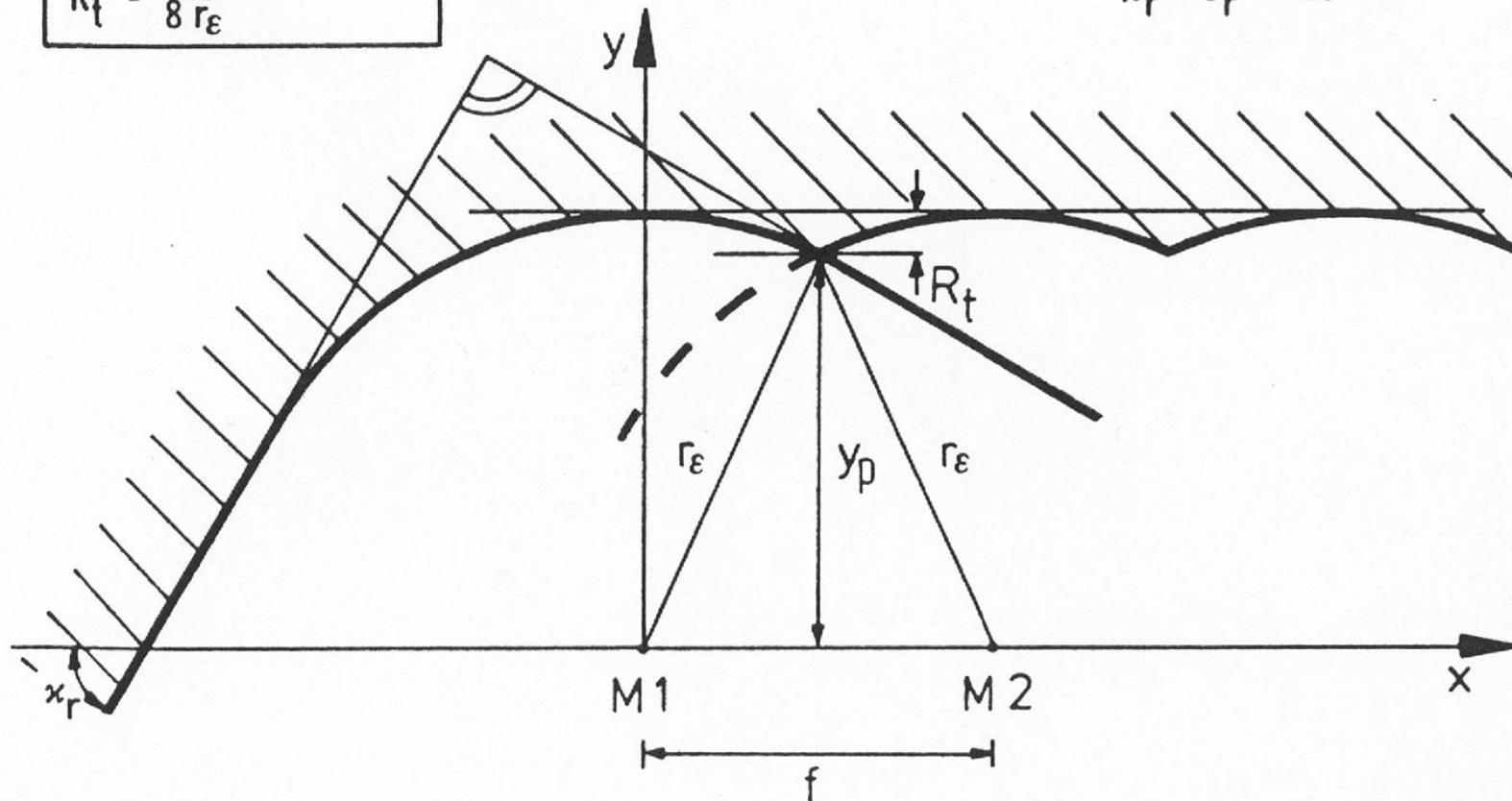
$$R_t = \frac{f^2}{8 r_\varepsilon}$$

Gültigkeitsbereich

$$f \leq 2 r_\varepsilon \cos(x_r + \varepsilon_r - 90^\circ)$$

und

$$x_r + \varepsilon_r < 180^\circ$$



Br 0753

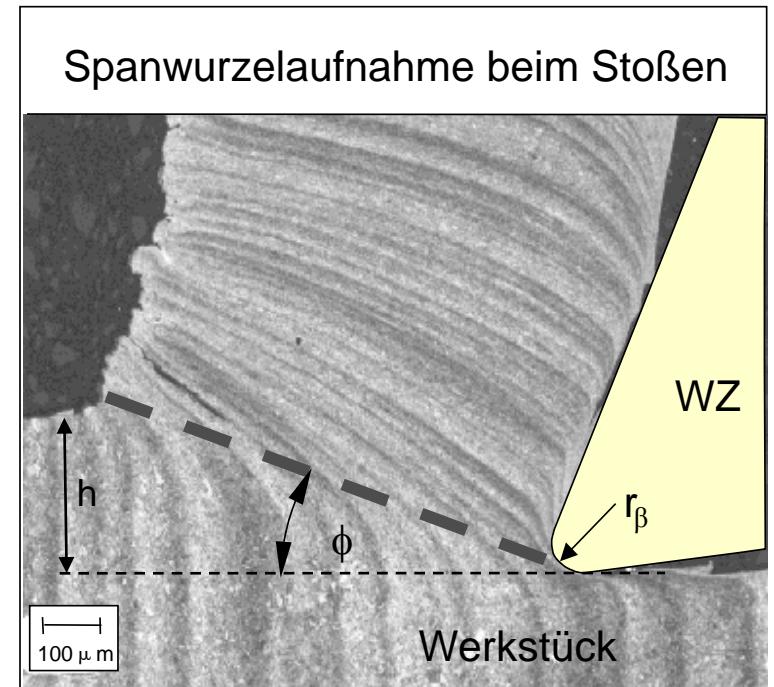
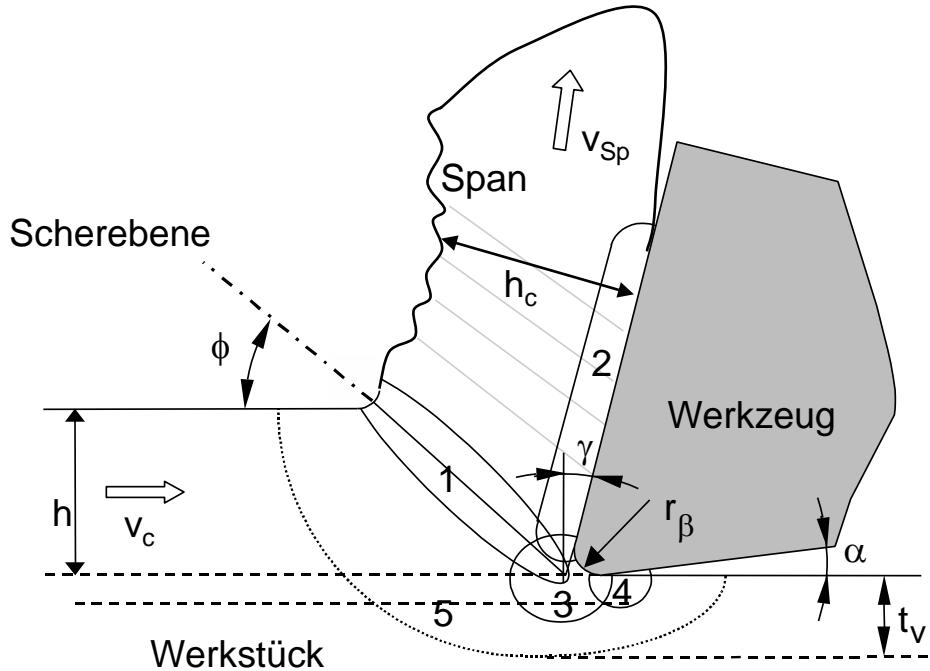


# Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

## Kapitel 5.1.3.2 Spanbildung und Spanformung





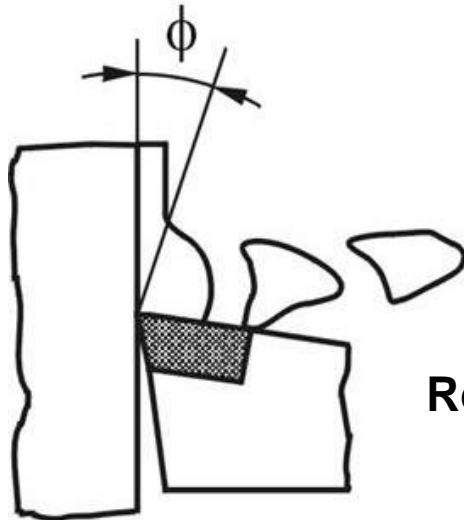
- Wirkzonen:**
- 1: primäre Scherzone
  - 2: sekundäre Scherzone an der Spanfläche
  - 3: sekundäre Scherzone an der Stau- u. Trennfläche
  - 4: sekundäre Scherzone an der Freifläche
  - 5: Verformungsvorlaufzone

- $\alpha$ : Freiwinkel  
 $\beta$ : Keilwinkel  
 $\gamma$ : Spanwinkel  
 $\Phi$ : Scherwinkel  
 $t_v$ : Verformungstiefe

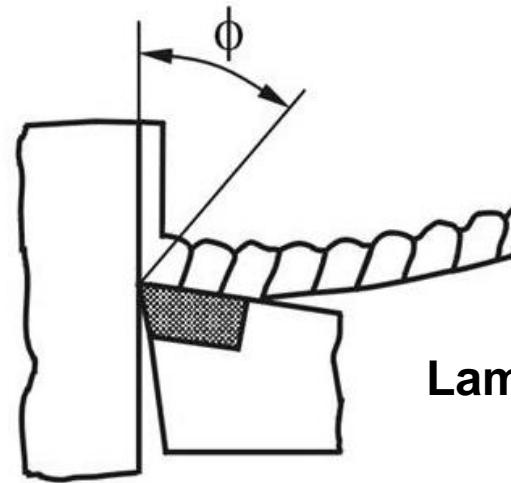
Quelle: nach König, Tönshoff, Warnecke

Die 232b

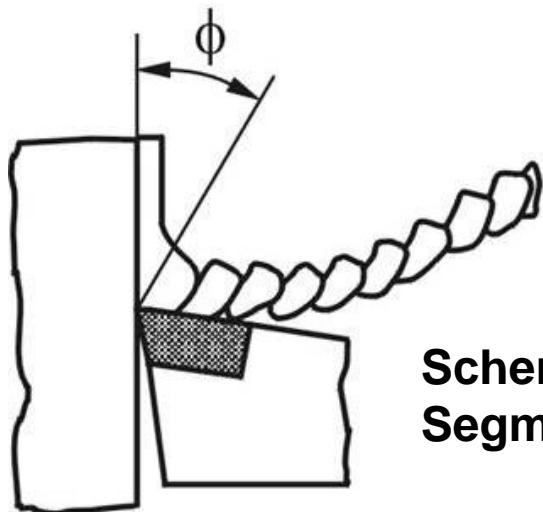




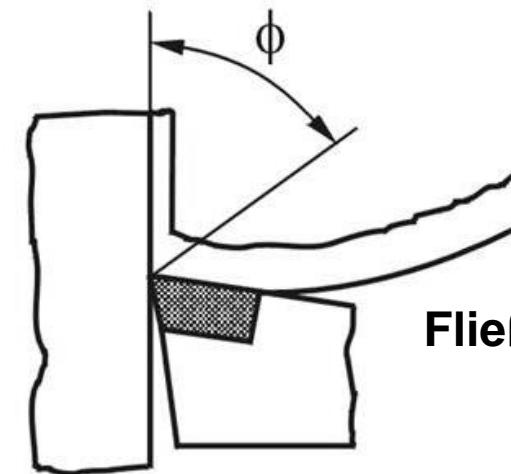
Reißspan



Lamellenspan



Scherspan/  
Segmentspan



Fließspan

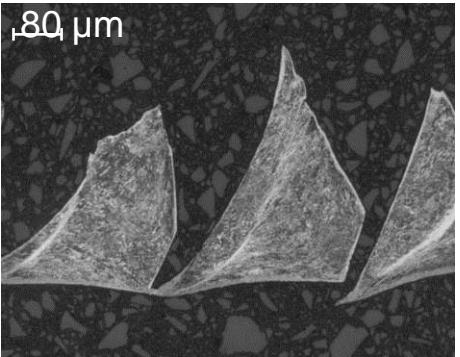
Quelle: Fritz / Schulze



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

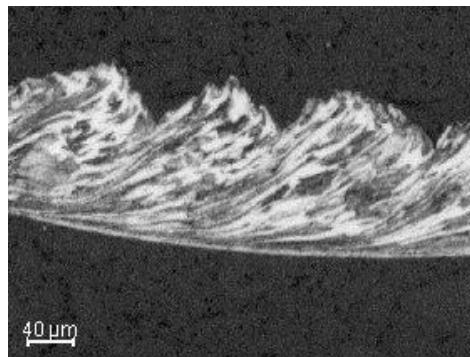
Br 0822

Spanarten



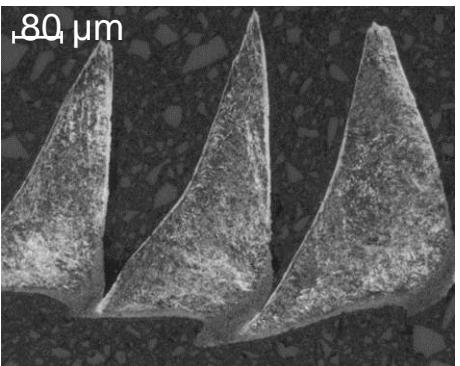
**Reißspan**

C 45 gehärtet  
 $v_c = 30 \text{ m/min}$   
 $a_p = 1 \text{ mm}$   
 $f = 0,2 \text{ mm}$   
Härte: 55 HRC



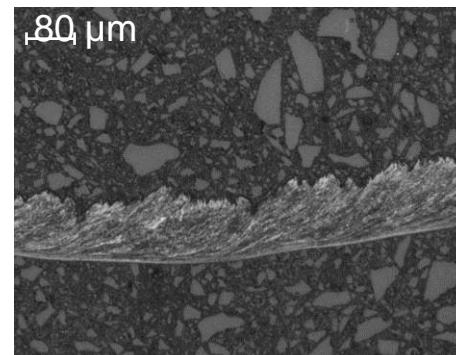
**Lamellenspan**

C 45  
 $v_c = 500 \text{ m/min}$   
 $a_p = 1 \text{ mm}$   
 $f = 0,2 \text{ mm}$   
Härte: 190 HV<sub>10</sub>



**Segmentspan**

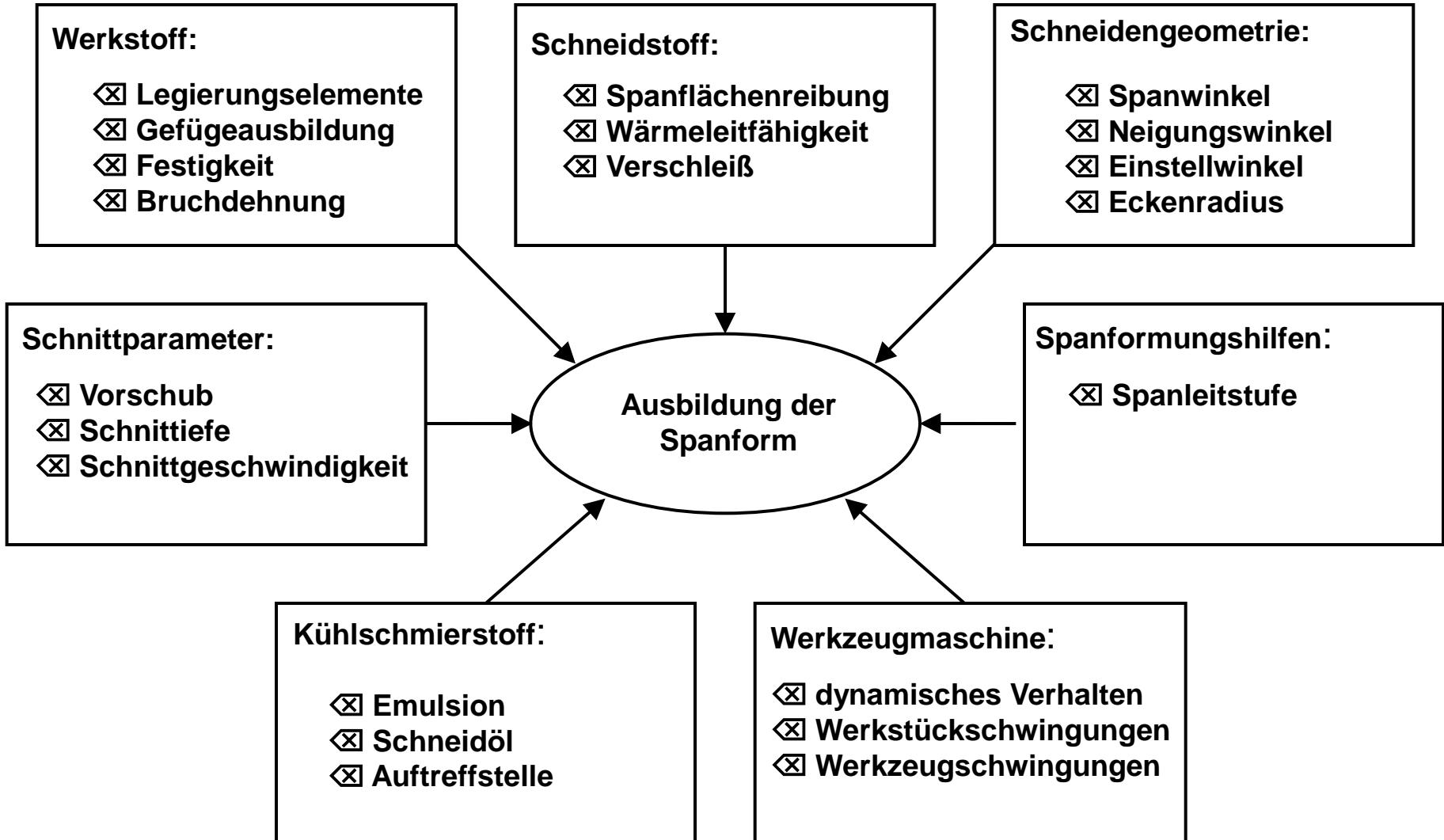
C 45 gehärtet  
 $v_c = 50 \text{ m/min}$   
 $a_p = 1 \text{ mm}$   
 $f = 0,2 \text{ mm}$   
Härte: 55 HRC



**Fließspan**

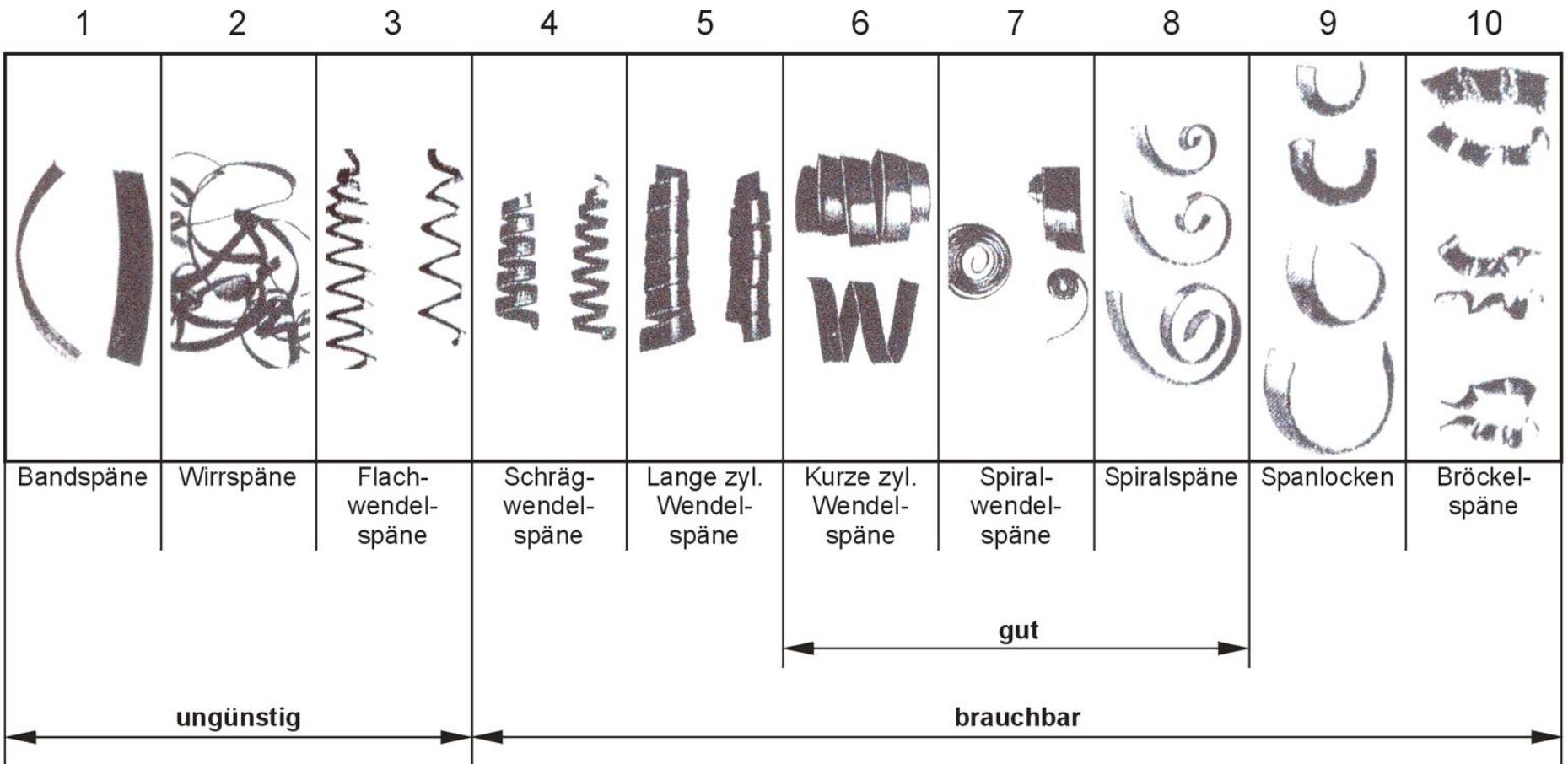
C 45 gehärtet  
 $v_c = 20 \text{ m/min}$   
 $a_p = 1 \text{ mm}$   
 $f = 0,2 \text{ mm}$   
Härte: 55 HRC





Die 544





Quelle: Schedler

Br 0829



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

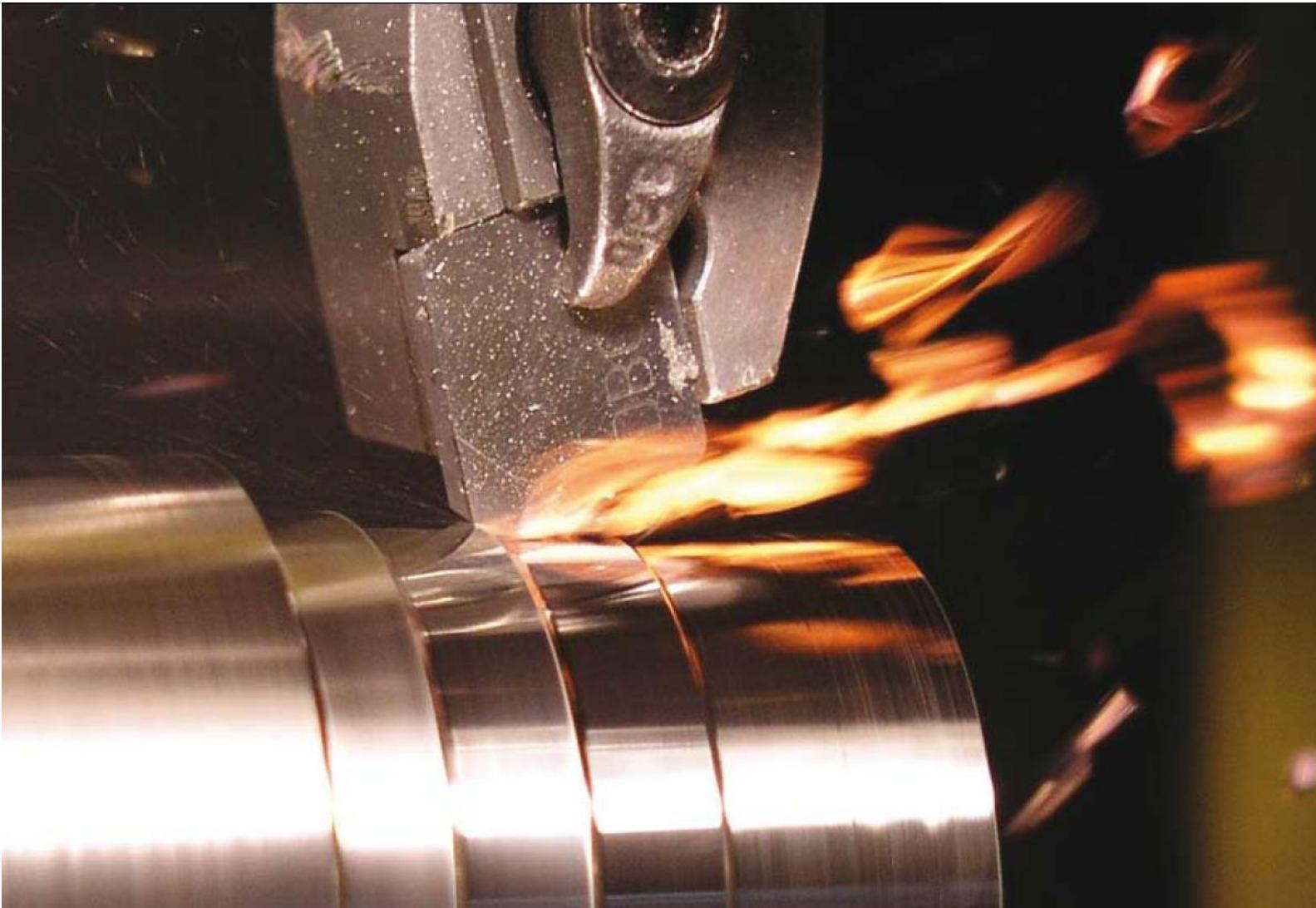
# Klassifizierung von Spanformen nach INFOS

Spanform		Spanraumzahl RZ	Beurteilung
Bandspäne		$\leq 90$	
Wirrspäne			ungünstig
Wendelspäne	 lang	$\leq 50$	brauchbar
	 kurz	$\leq 25$	
Spiralspäne		$\leq 8$	gut
Spanbruchstücke		$\leq 3$	brauchbar

Quelle: Fritz / Schulze

Br 0823





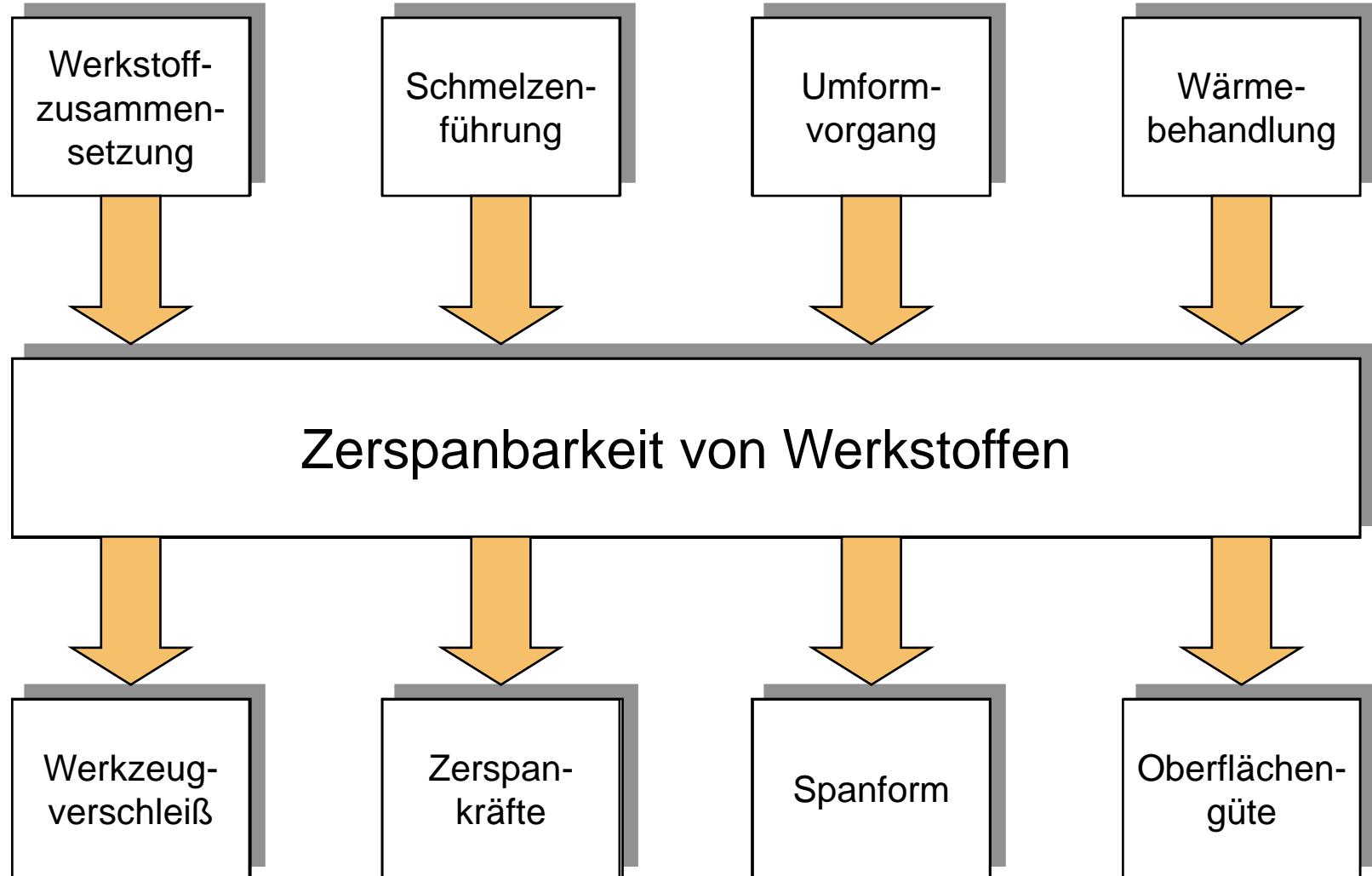
Quelle: FUTUR 2/2008, Fraunhofer IPK

Schoe 0059



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Wärmeabfuhr durch Späne beim Drehen



Quelle: Vieregge

DIE 0169b

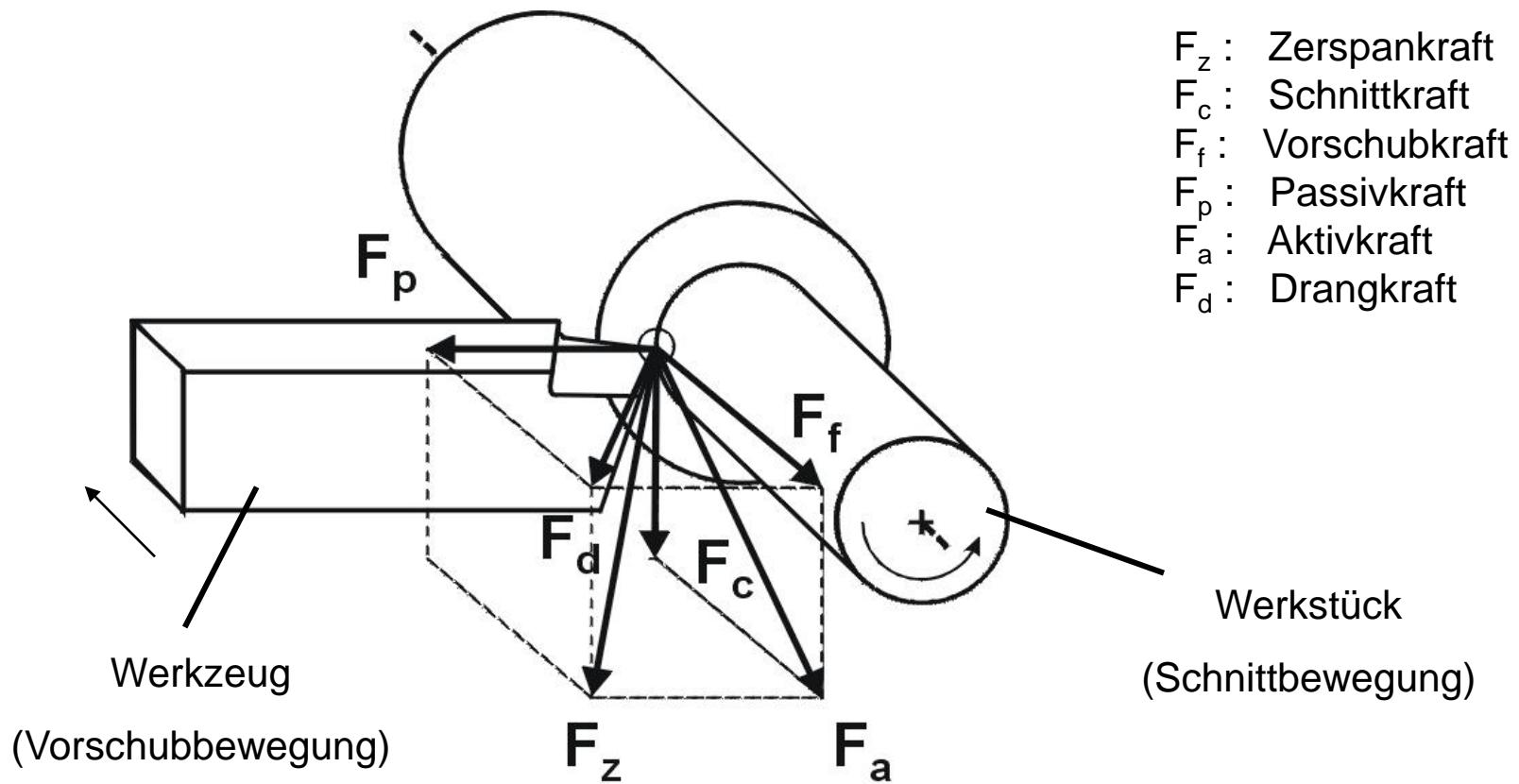


# Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

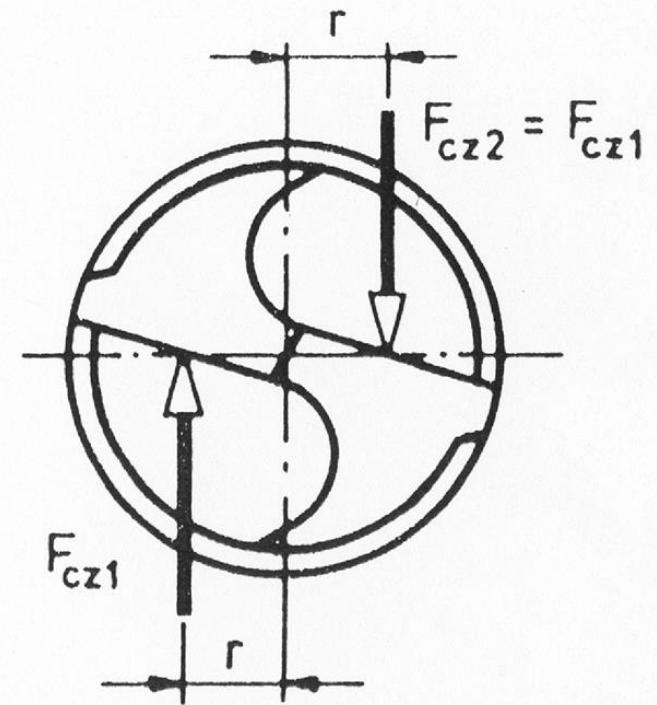
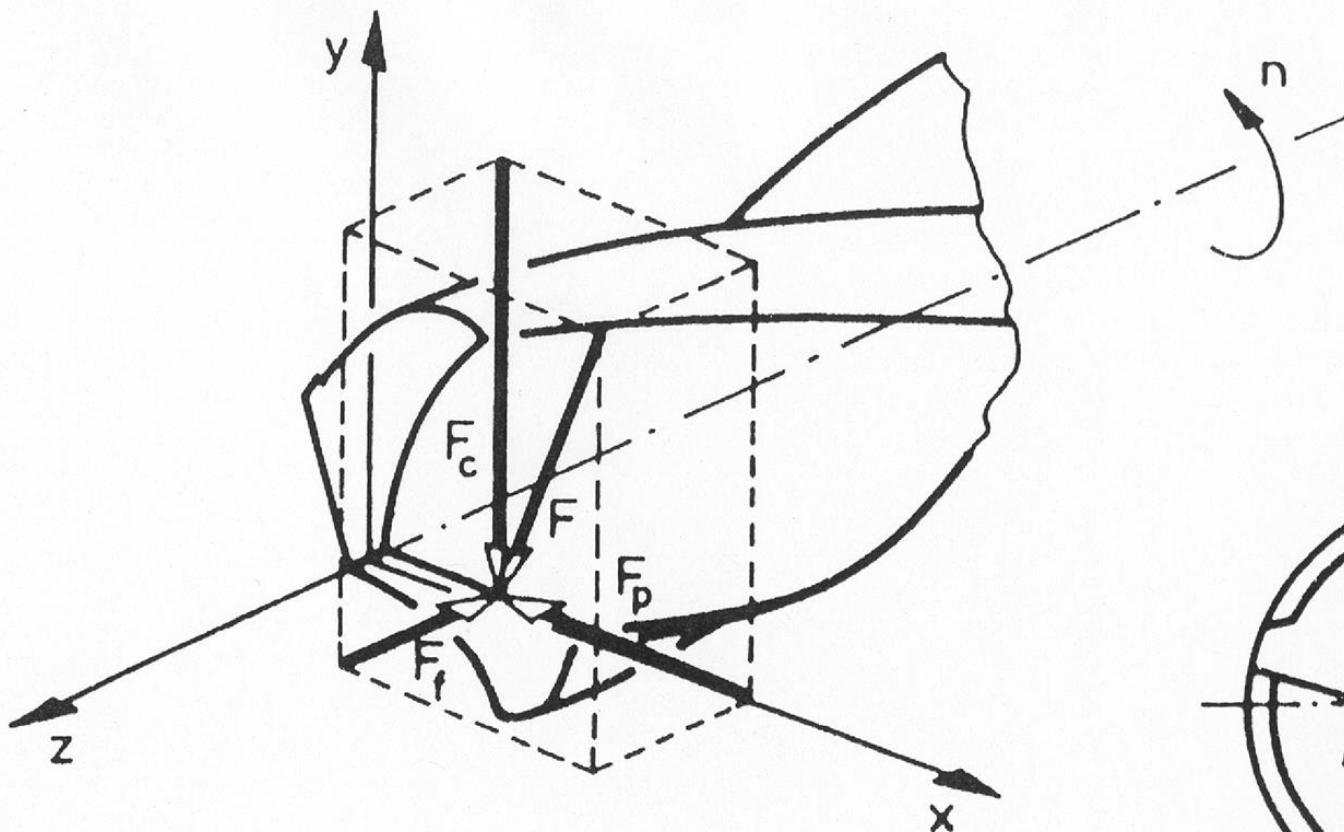
## Kapitel 5.1.3.3 Zerspankräfte





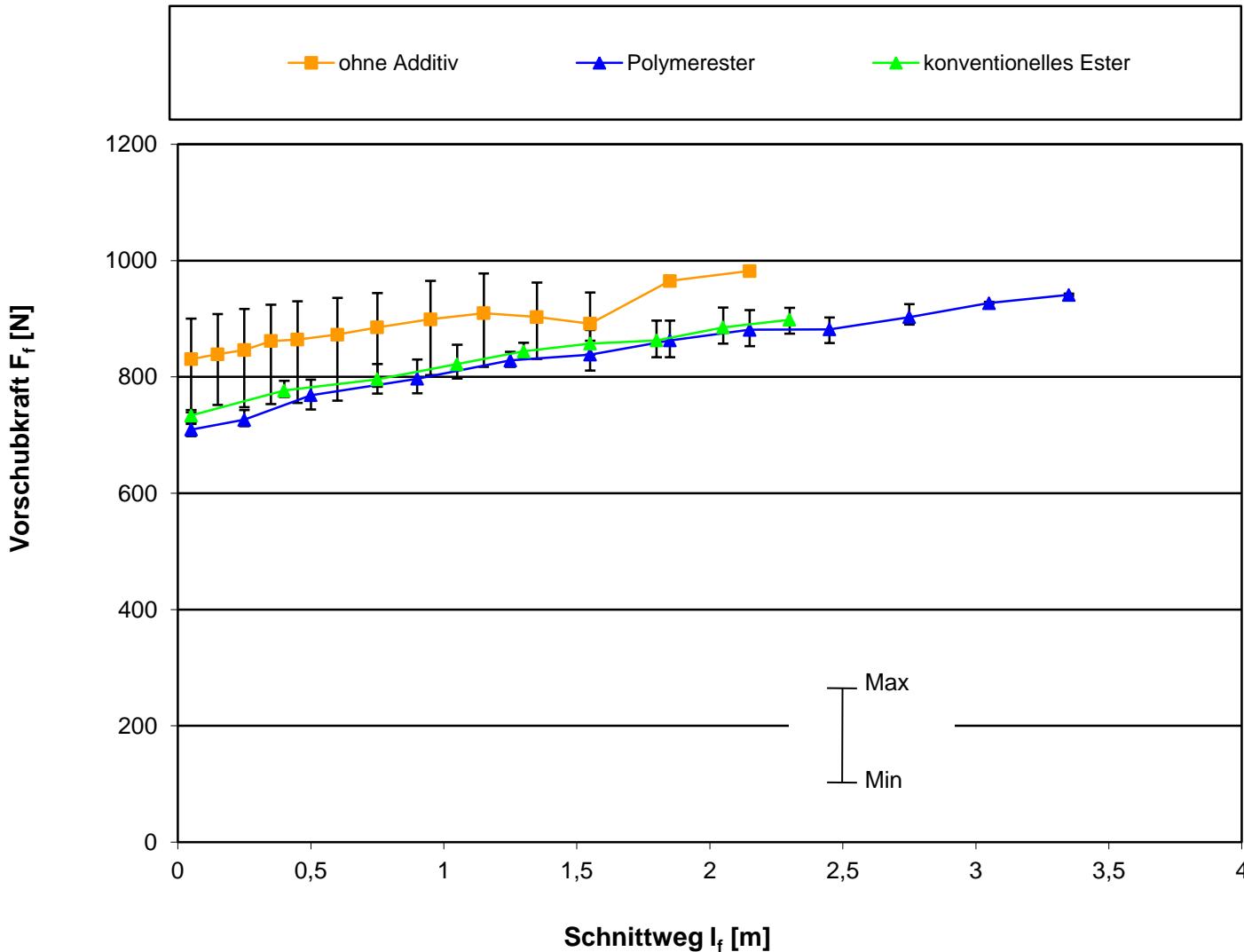
Die 0305c





Br 1020b



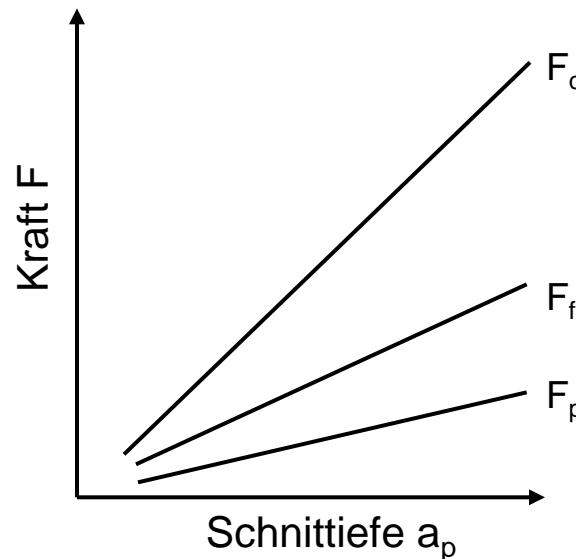
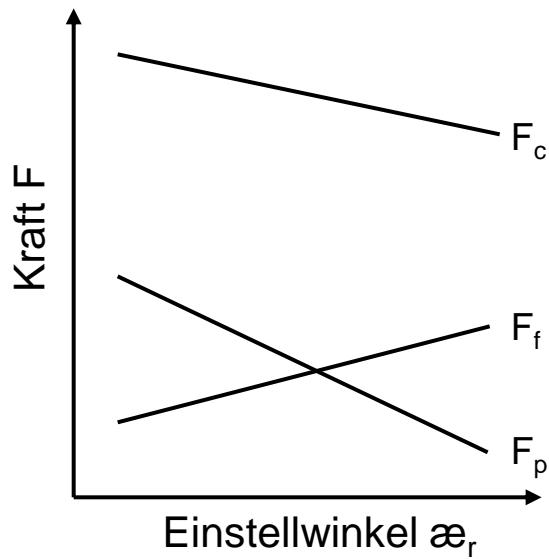
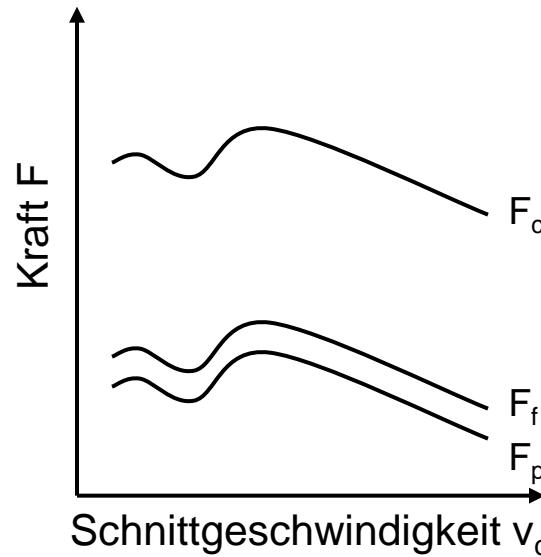
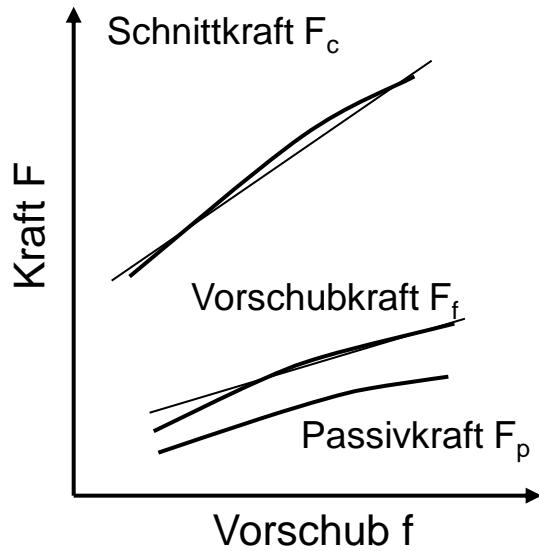


Werkstück:  
17CrNiMo6  
Härte: 25 HRC

Werkzeug:  
DIN 338 HC/TiN  
 $d = 6,8 \text{ mm}$

Schnittbedingungen  
Bohren  
 $n = 1170 \text{ min}^{-1}$   
 $f = 0,16 \text{ mm}$   
 $v_c = 25 \text{ m/min}$   
 $l = 50 \text{ mm}$





Die 0306



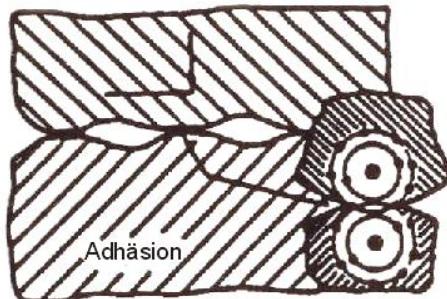
# Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

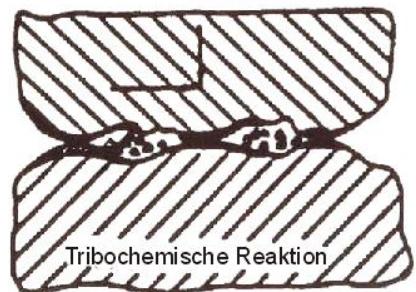
## Kapitel 5.1.3.4 Werkzeugverschleiß



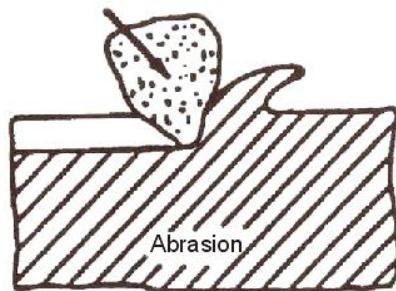
“Verschleiß ist der fortschreitende Materialverlust aus der Oberfläche eines festen Körpers, hervorgerufen durch mechanische Ursachen, d.h. Kontakt und Relativbewegung eines festen, flüssigen oder gasförmigen Gegenkörpers” (DIN 50 320)



- Adhäsion



- Tribochemische Reaktion



- Abrasion

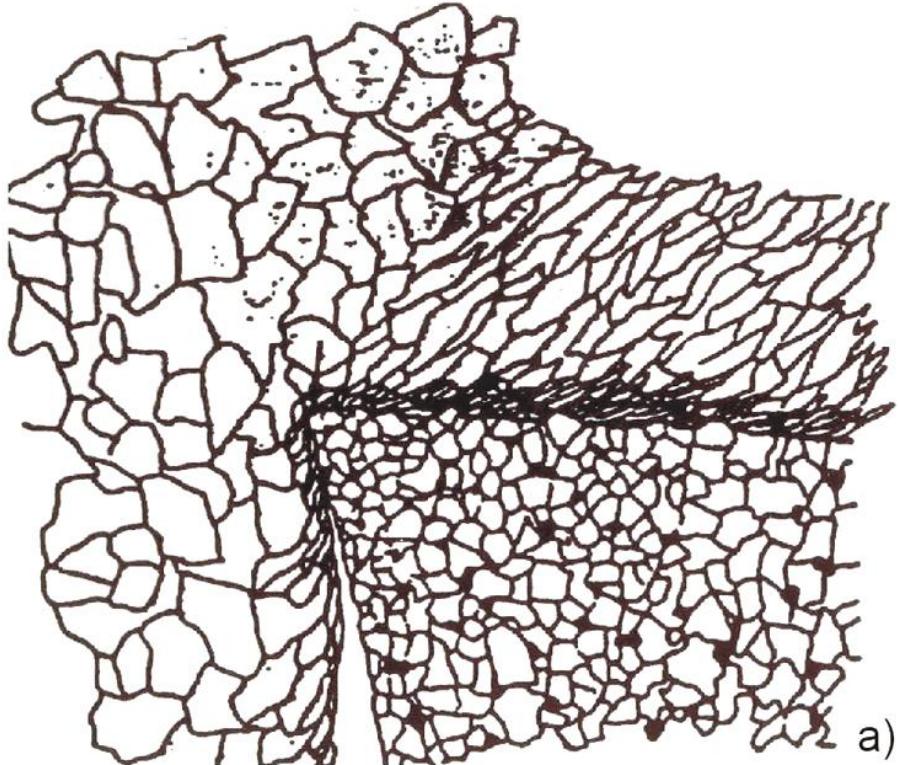


- Oberflächenzerrüttung

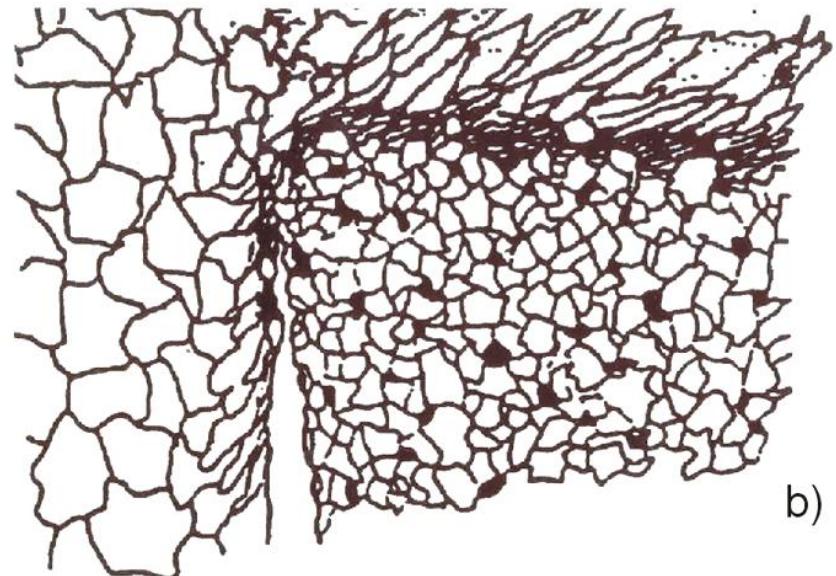
Quelle: H. Grewe, „Reibung und Verschleiß“, 1992, S.11

Or 007

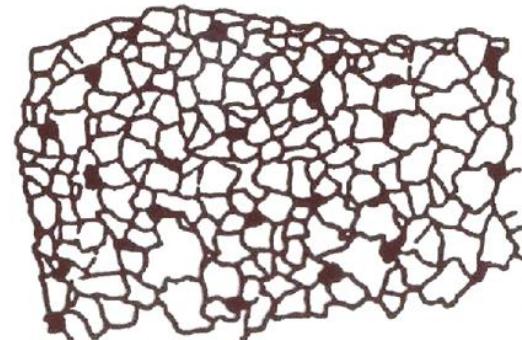




a)



b)



c)

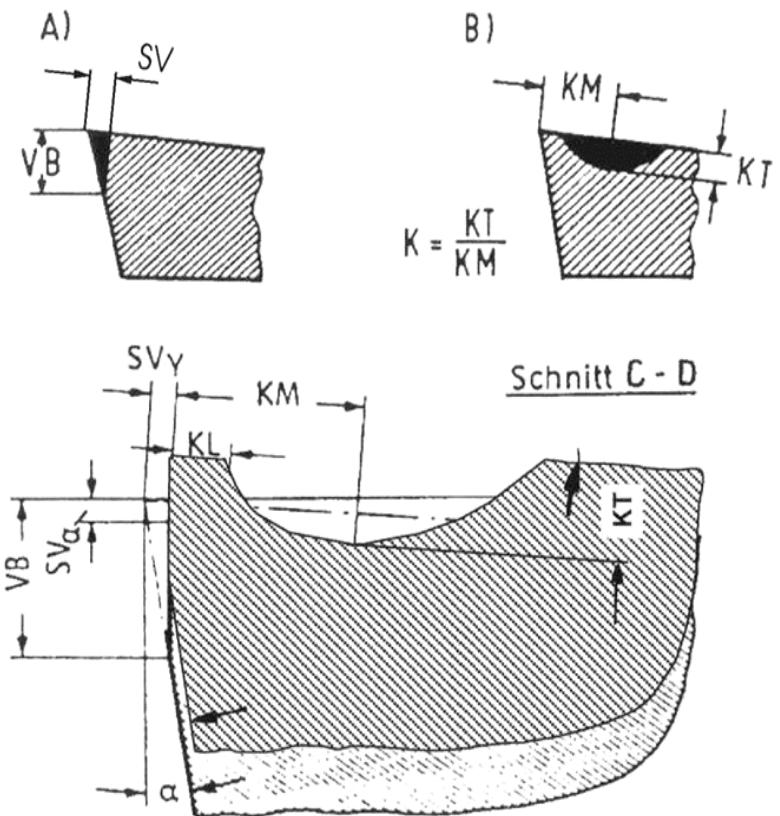
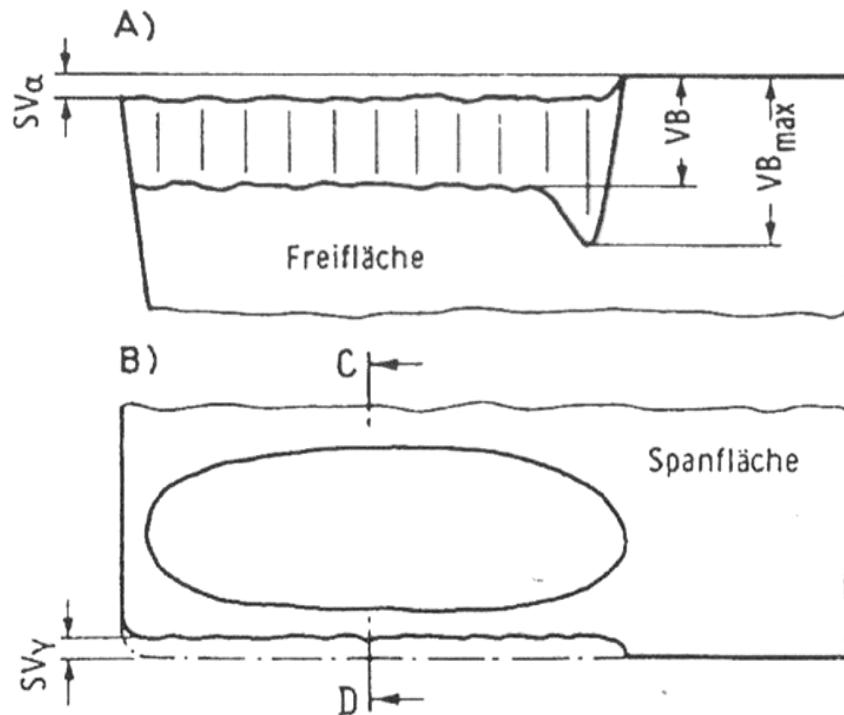
Quelle: Vieregge



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Br 0879

Werkzeugverschleiß durch Abrieb (schematisch)



$\alpha$  Freiwinkel,  $\gamma$  Spanwinkel,  $SV_\alpha$  Schneidenversatz in Richtung Spanfläche,  $SV_\gamma$  Schneidenversatz in Richtung Freifläche, KL Kolklippenbreite, KM Kolkmittenabstand, KT Kolktiefe, VB Verschleißmarkenbreite

Quelle: Spur



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Verschleißgrößen am Werkzeug

# Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

**Kapitel 5.1.4 Werkzeuge**

**5.1.4.1 Ausführungsformen**





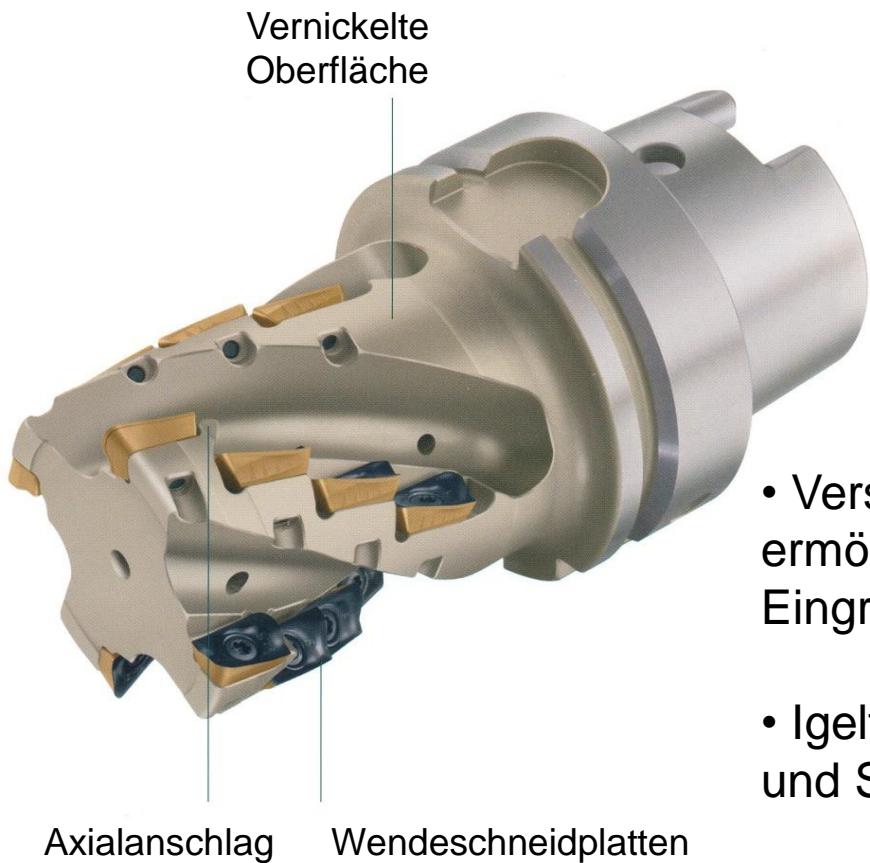
Quelle: Sandvik



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

WA 0449

Drehwendeschneidplatten



- Versetzt angebrachte Wendeschneidplatten ermöglichen hohe Laufruhe durch allmählichen Eingriff ins Werkstück
- Igelfräser zum Schruppen und Semi-Schlüchten
- Anwendungsbeispiel: Gehäusebau (Getriebe, Tank)



Quelle: Walter

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Mut 0044

Igelfräser mit Wendeschneidplatten



- Octagonfräser zum Planfräsen
- Hohe Produktivität durch 8 Schneidkanten je Wendeplatte
- Anwendungsgebiet: Planfräsen von Zylinderkopf (Verbrennungsmotor)



Quelle: Walter

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Mut 0045

Octagonfräser mit Wendeschneidplatten

## Justierschrauben für axiale Konzentrität



- Scheibenfräser zum Fräsen von Nuten
- Anwendungsbeispiel: Generatoren  
(Wicklungs- und Luftnuten)

Quelle: Walter



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Mut 0046

Scheibenfräser mit Wendeschneidplatten



Quelle: Ingersoll



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Mut 0047

Wendeschneidplatten zum Stech- und Formdrehen

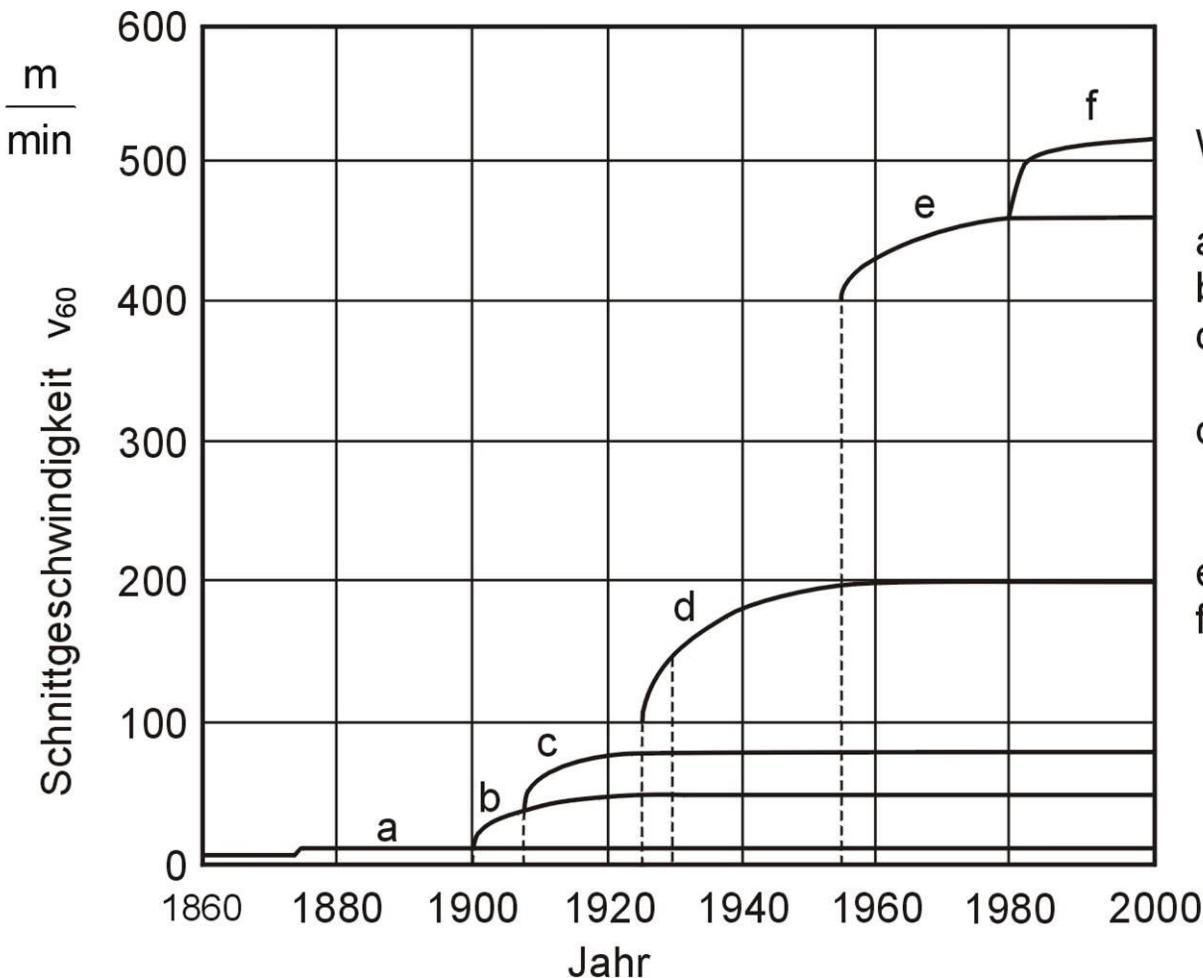
# Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

**Kapitel 5.1.4 Werkzeuge**

**5.1.4.2 Schneidstoffe**





Weiterentwicklung der Schneidstoffe:

- a Werkzeugstahl (1875 Mushet)
- b Schnellarbeitsstahl (1900 Taylor)
- c gegossenes Hartmetall (Stellite) (1907 Haynes)
- d Sinterhartmetall (1925 Wolfram-Karbide, 1930 Wolfram-Titan-Karbide)
- e Schneidkeramik (1955)
- f CBN

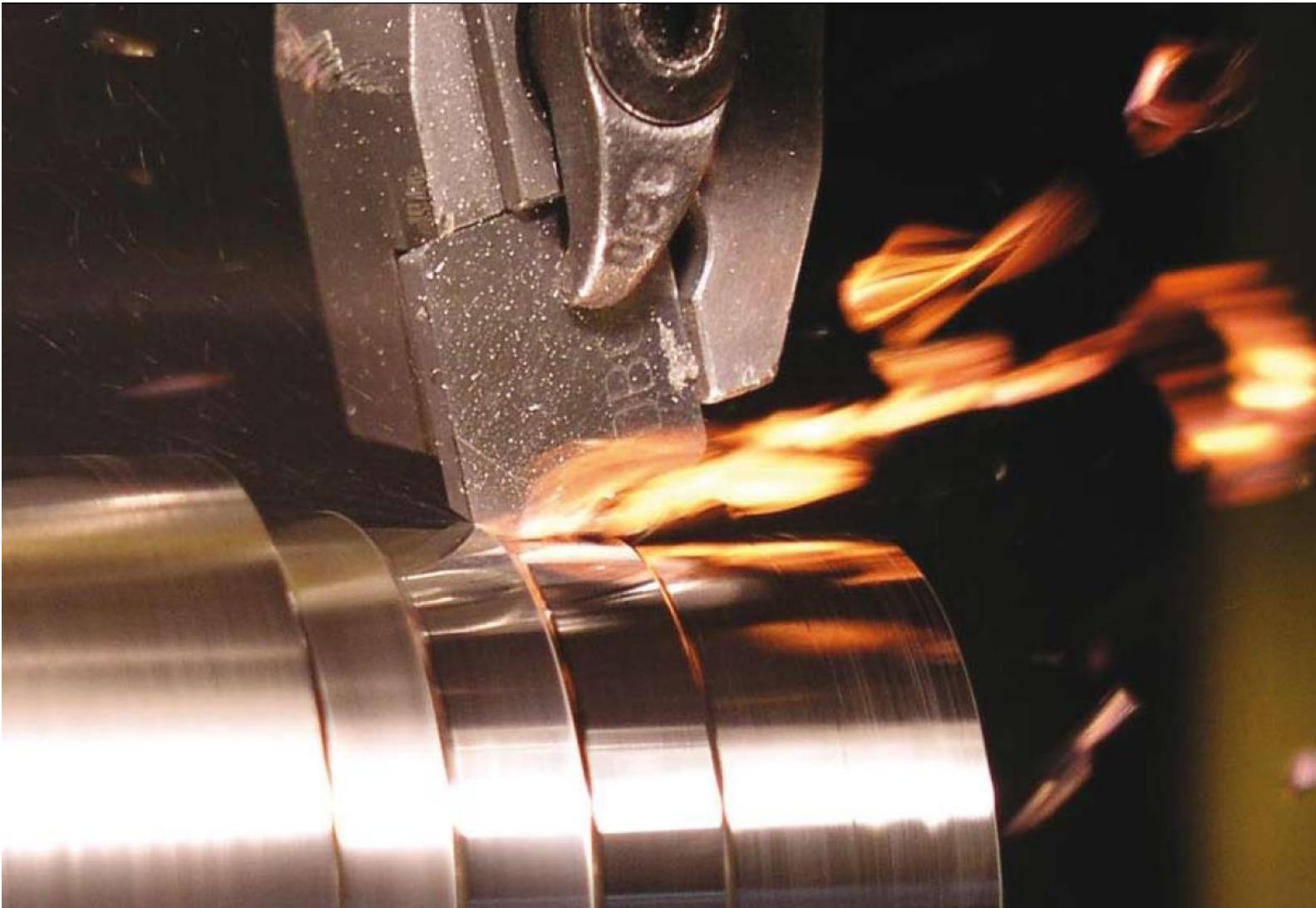
Quelle: Spur



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Br 0726

Steigerung der Schnittgeschwindigkeiten beim Drehen



Quelle: FUTUR 2/2008, Fraunhofer IPK

Schoe 0059



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Wärmeabfuhr durch Späne beim Drehen

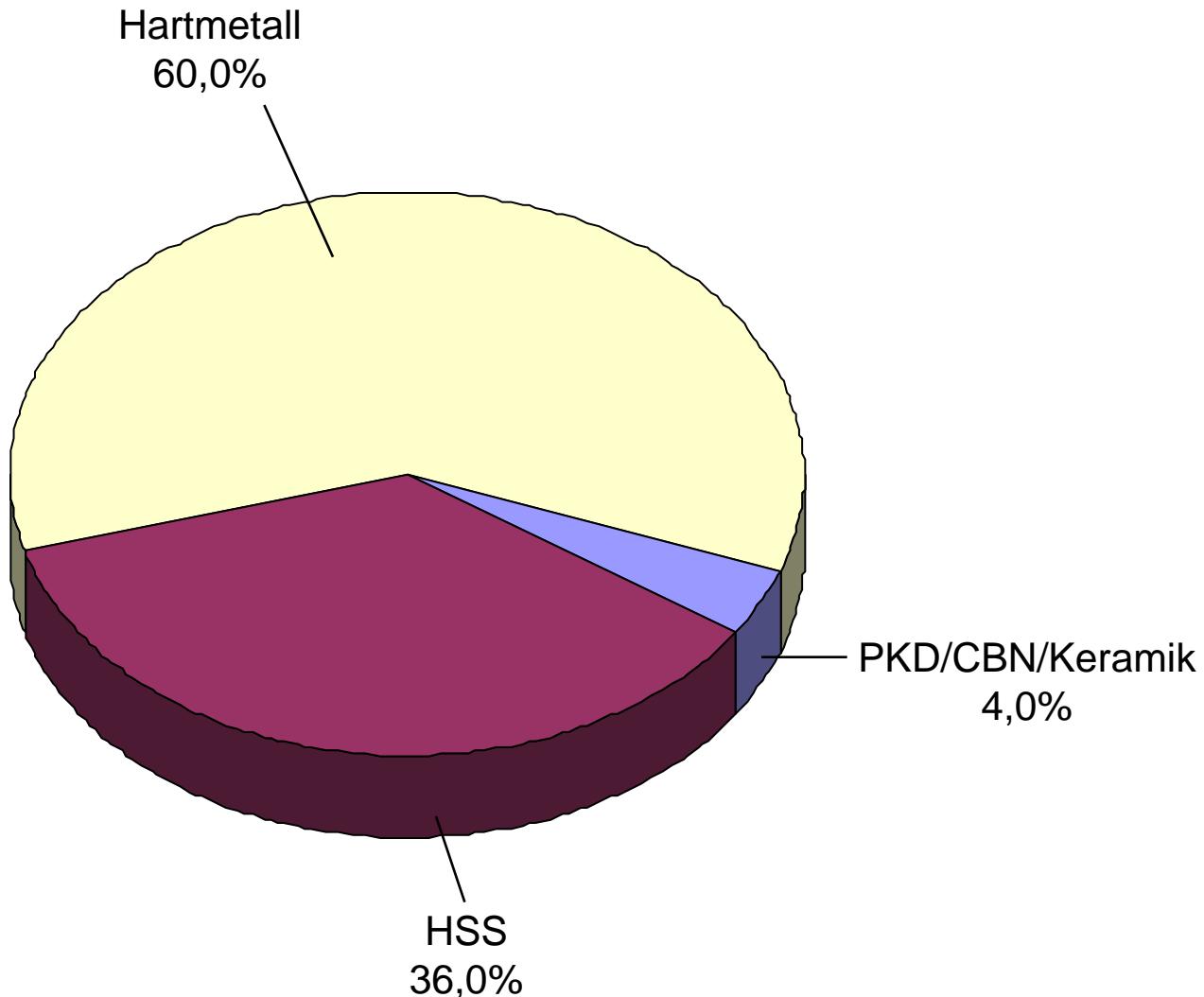
Stahlgruppe	Kurzname W - Mo - V - Co	Zur Bearbeitung von Stahl			
		bei mittlerer Beanspruchung < 850 N/mm <sup>2</sup>		bei höchster Beanspruchung > 850 N/mm <sup>2</sup>	
Schruppen	Schlichten				
18% W	HS 18 - 0 - 1	+	-	-	-
	HS 18 - 1 - 2 - 5	-	-	+	-
12% W	HS 12 - 1 - 4 - 5	-	-	( + )	+
	HS 10 - 4 - 3 - 10	-	-	( + )	+
6% W + 5% Mo	HS 6 - 5 - 2	-	+	-	-
	HS 6 - 5 - 3	-	-	( + )	+
	HS 6 - 5 - 2 - 5	-	-	+	-
2% W + 9% Mo	HS 2 - 9 - 1	+	-	-	-
	HS 2 - 9 - 2	-	+	-	-
	HS 2 - 10 - 1 - 8	-	-	+	-

+ = gut geeignet - = nicht geeignet ( + ) = eingeschränkt geeignet

Quelle: König

Br 0910





Quelle: WIDIA

WA 0456

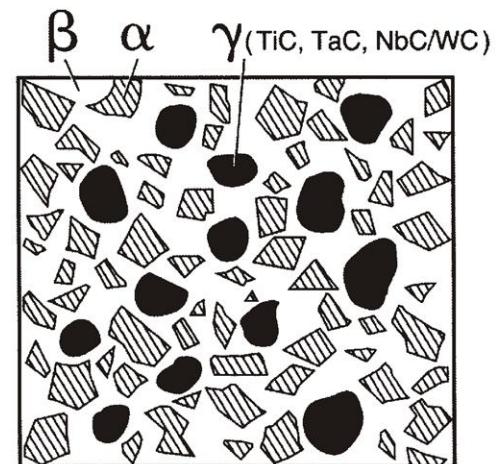
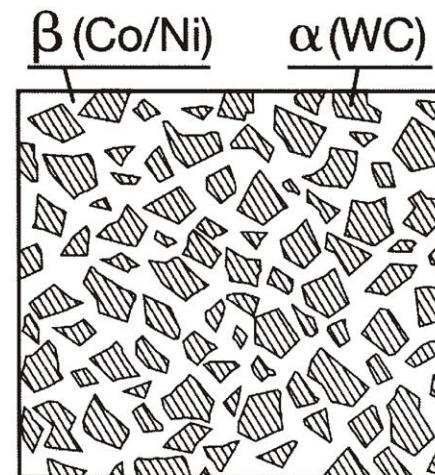
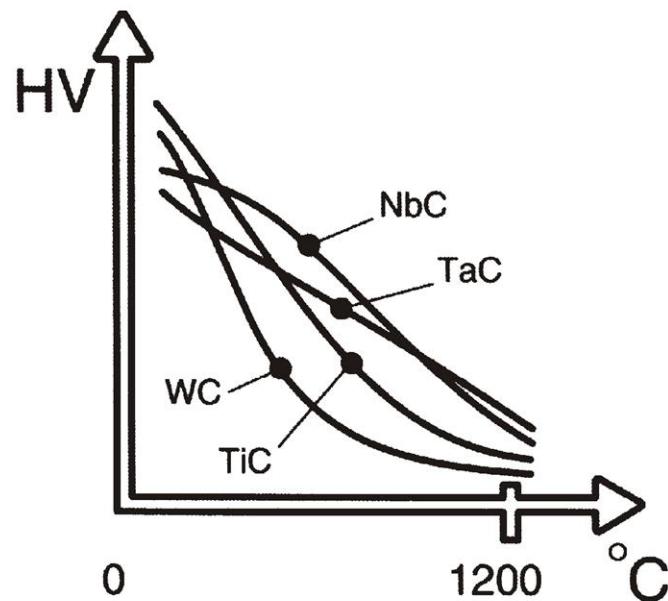


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Markt für Zerspanwerkzeuge (1995)

HV (20°C)

$\alpha$	WC	2000
$\gamma$	TiC	3000
	TaC	1700
	NbC	2000



Quelle: Sandvik



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

WA 0444

Hartmetalle

# Fertigungstechnik

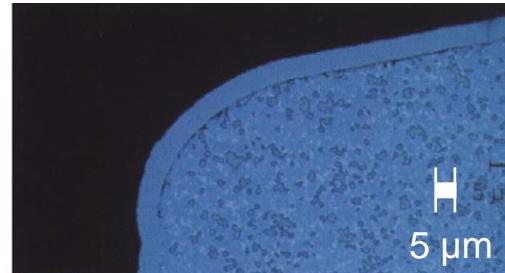
Modul Produktionstechnik

**Kapitel 5.1.4 Werkzeuge**

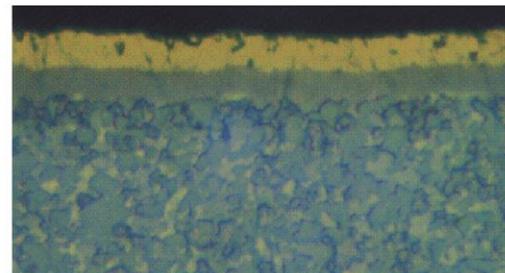
**5.1.4.3 Beschichtungen**



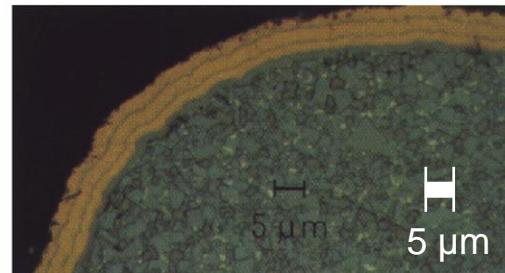
## **Einzelbeschichtungen**



## **Doppelbeschichtung**



## **Mehrfachbeschichtung**



Quelle: Sandvik



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

WA 0448

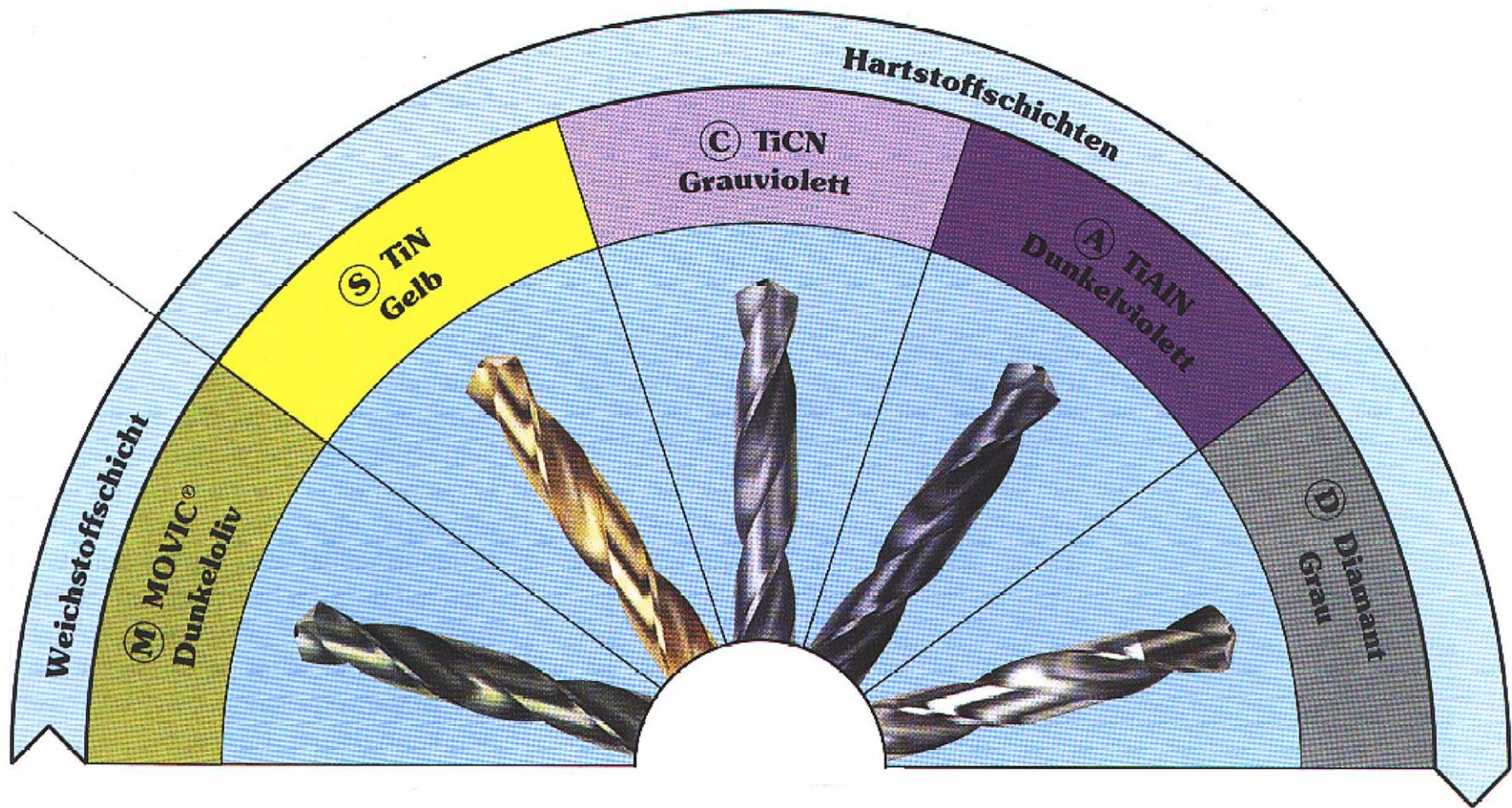
Beschichtungen von Hartmetallen

Merkmal	TiN	TiAlN	TiCN	Diamant	MOVIC
<b>Prozess</b>	PVD	PVD	PVD	CVD	PVD
<b>Substrat</b>	Schnellstähle, Hartmetalle	Schnellstähle, Hartmetalle	Schnellstähle, Hartmetalle	HM mit < 6% Co	Cermet, HM, Schnellstähle
<b>Farbe</b>	gold	schwarzviolett	grauviolett	grau	dunkeloliv
<b>Dicke [µm]</b>	1,5 - 3	1,5 - 3	4 - 8	3 - 10	0,2 - 0,5
<b>Härte [HV 0,05]</b>	2200	3300	3000	10.000	20 - 50
<b>Reibungskoeffi- zient gegen Stahl</b>	0,4	0,3	0,25	keine Bearbeitung möglich	0,05 - 0,15
<b>Wärmeübertra- gung [kW/mK]</b>	0,07	0,05	0,1	2	< 0,1
<b>Max. Anwen- dungstem- peratur [°C]</b>	< 600	< 800	< 450	< 600	< 800
<b>Bevorzugt bearbeitbare Werkstoffe</b>	universell	Guss, GGG, AISI	Stahl	Graphit, Al, AISI- Legierungen	Al, AISI- Legierungen, Stahl
<b>typische Zerspanungsart</b>	alles	Drehen, Bohren	Fräsen, Bohren, Gewinde- schneiden	Drehen, Bohren	Bohren, Gewinde- schneiden, Reiben, Fräsen
<b>Besonderheit</b>	kostengünstig	Trockenbear- beitung	schlagfest	im Entwicklungs- stadium	verhindert Aufbauschneiden

Quelle: Gühring

WA 0357





Quelle: Gühring

WA 0354



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

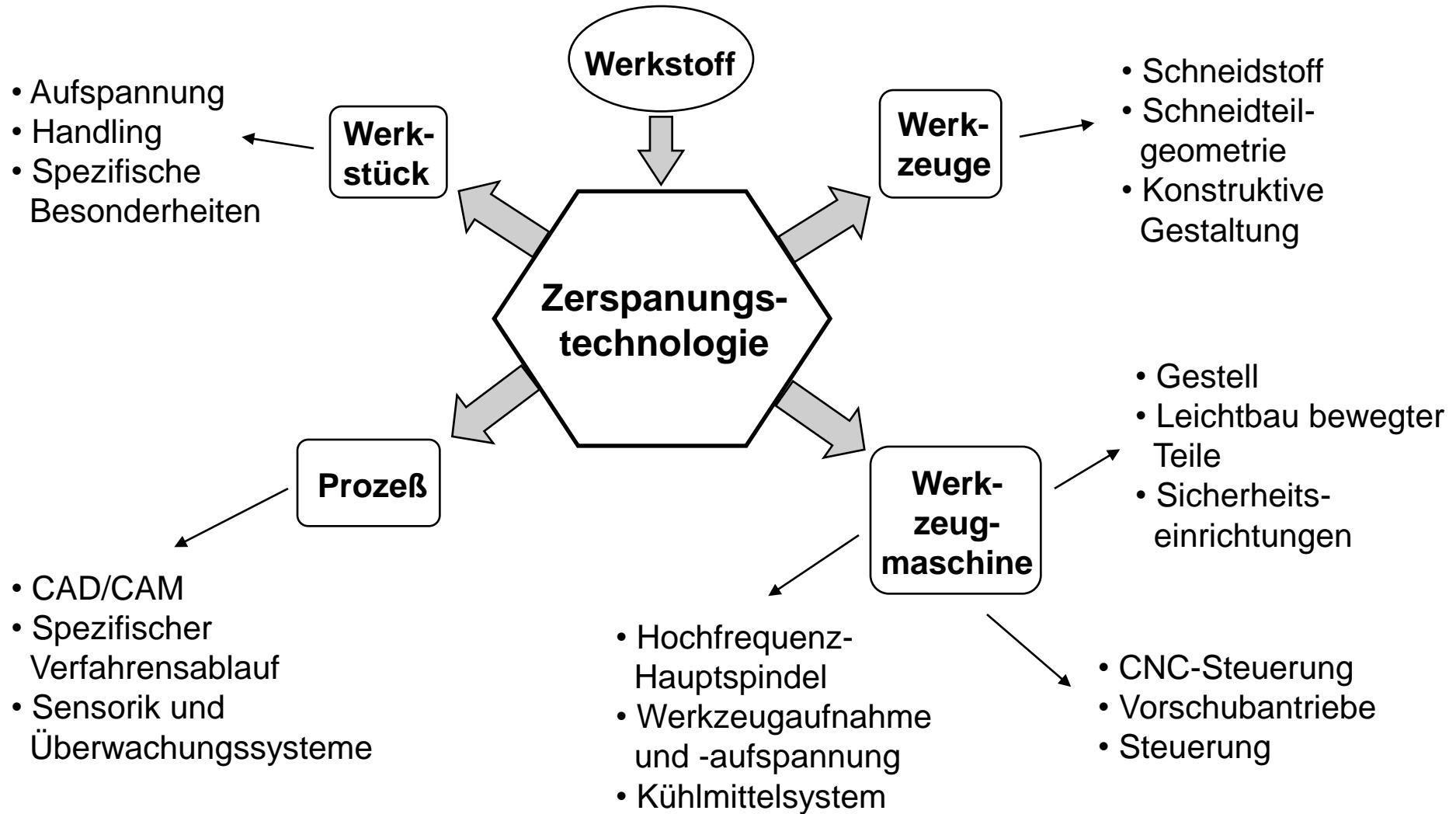
Schichten für Werkzeuge zum Bohren

# Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

## Kapitel 5.1.5 Werkzeugmaschinen





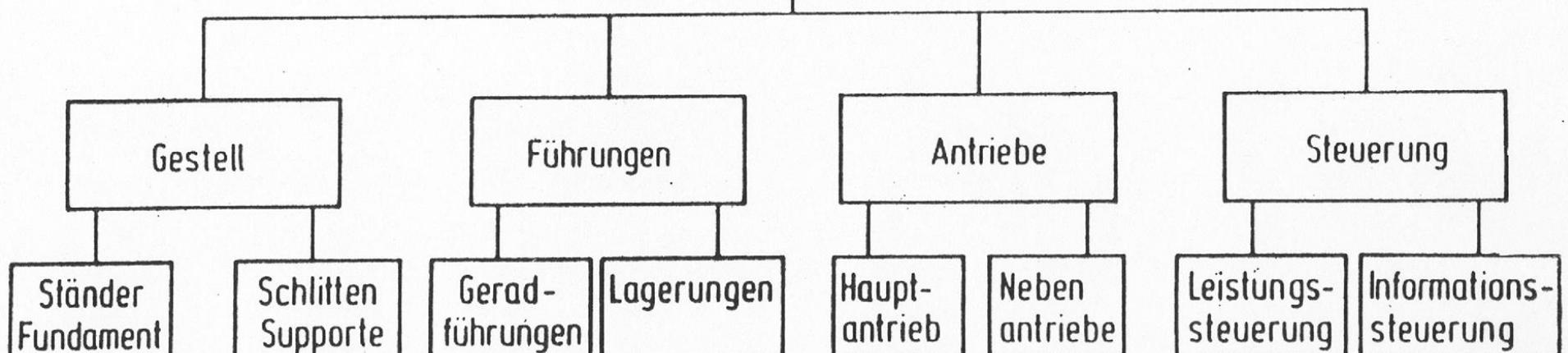
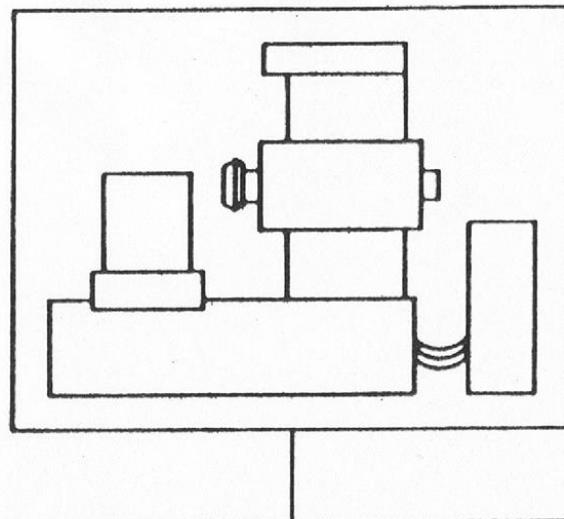
Quelle: Schulz



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Die 0094

Ganzheitliche Betrachtung von Prozess und Maschine



Quelle: Schulz

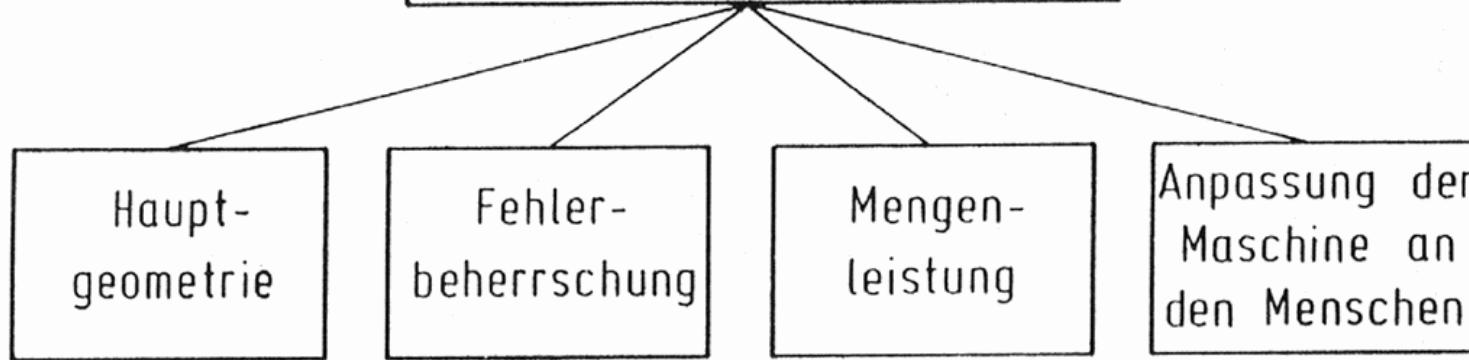
Br 1072



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Elemente einer Werkzeugmaschine

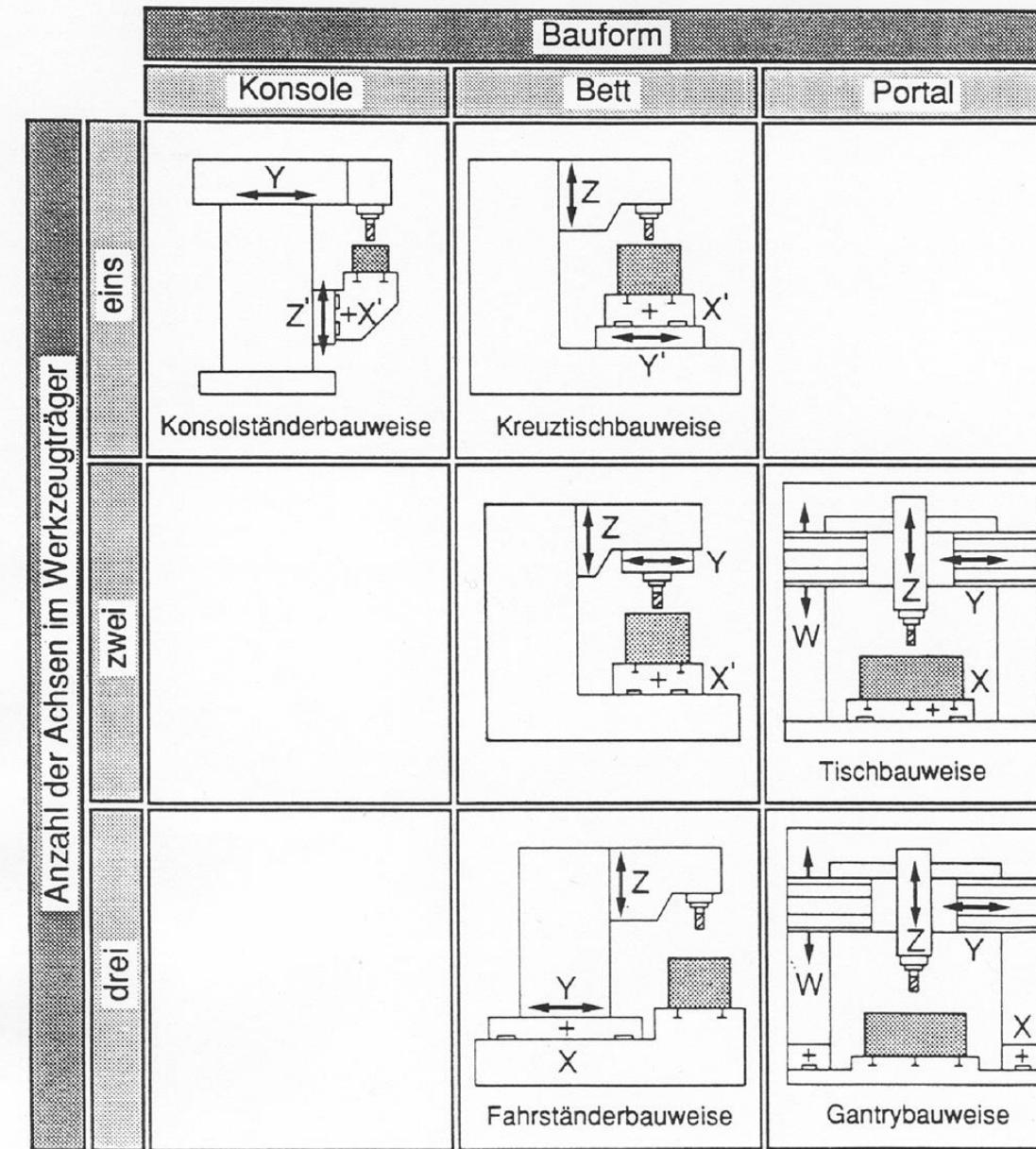
## Anforderungen an Spanende Werkzeugmaschinen



Quelle: IFW

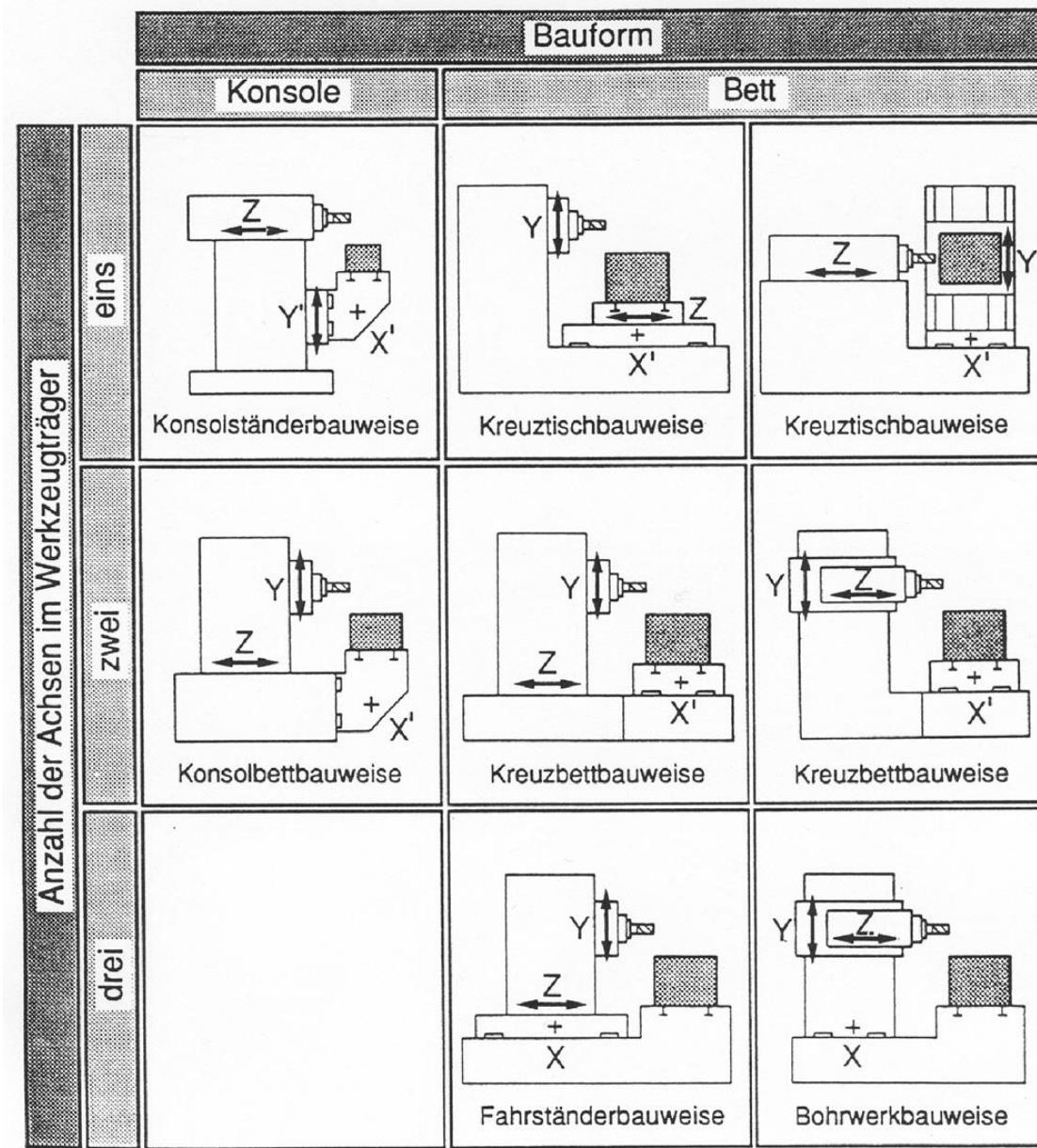
Br 1036





Quelle: Weck





Quelle: Weck





Verfahrweg X-Y-Z: 630(875)-500-500 mm

Leistung (40%ED): 11 kW

Drehmoment: 390 Nm

Drehzahl: 20 - 7000 U/min

Vorschubgeschw.: 15000 mm/min

Eilvorschub: 15 m/min

Werkzeugmagazin: 16 Plätze

Werkzeugaufn.: SK 40

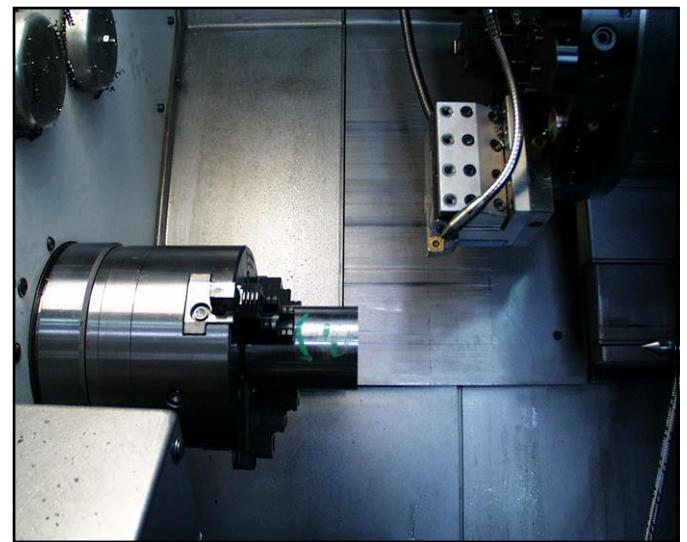
Steuerung: Heidenhain TNC 426

JA 0412u





- Max. Drehzahl: 6.000 U/min
- Max. Leistung: 11.5 kW
- Äußere MMKS/KSS-Zufuhr
- Schnittkraftmessung



Die 0432u

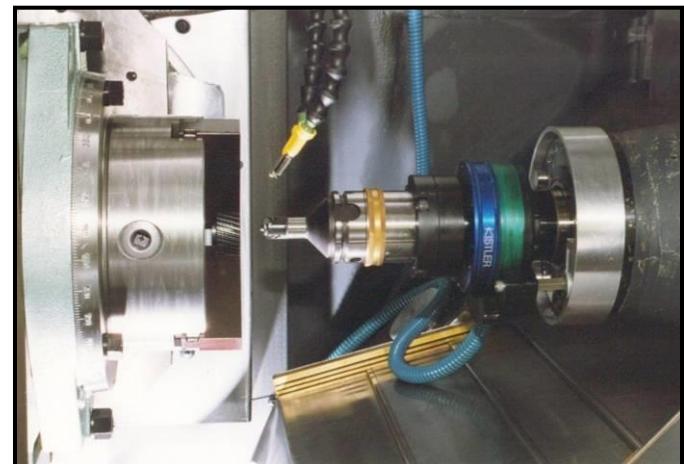


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

CNC-Drehzentrum Fa. Weiler



- Zuführung der Werkstücke über Paletten
- Werkzeugmagazin
- Innere / äußere KSS-Zufuhr
- max. 18.000 U/min



Die 221u





Quelle: Weck, Schumacher

Die 0104



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Die Hexapod-Maschine zur Realisierung der  
Hochgeschwindigkeitsbearbeitung



Hexapod „MiniHex“, Quelle: TU Dresden

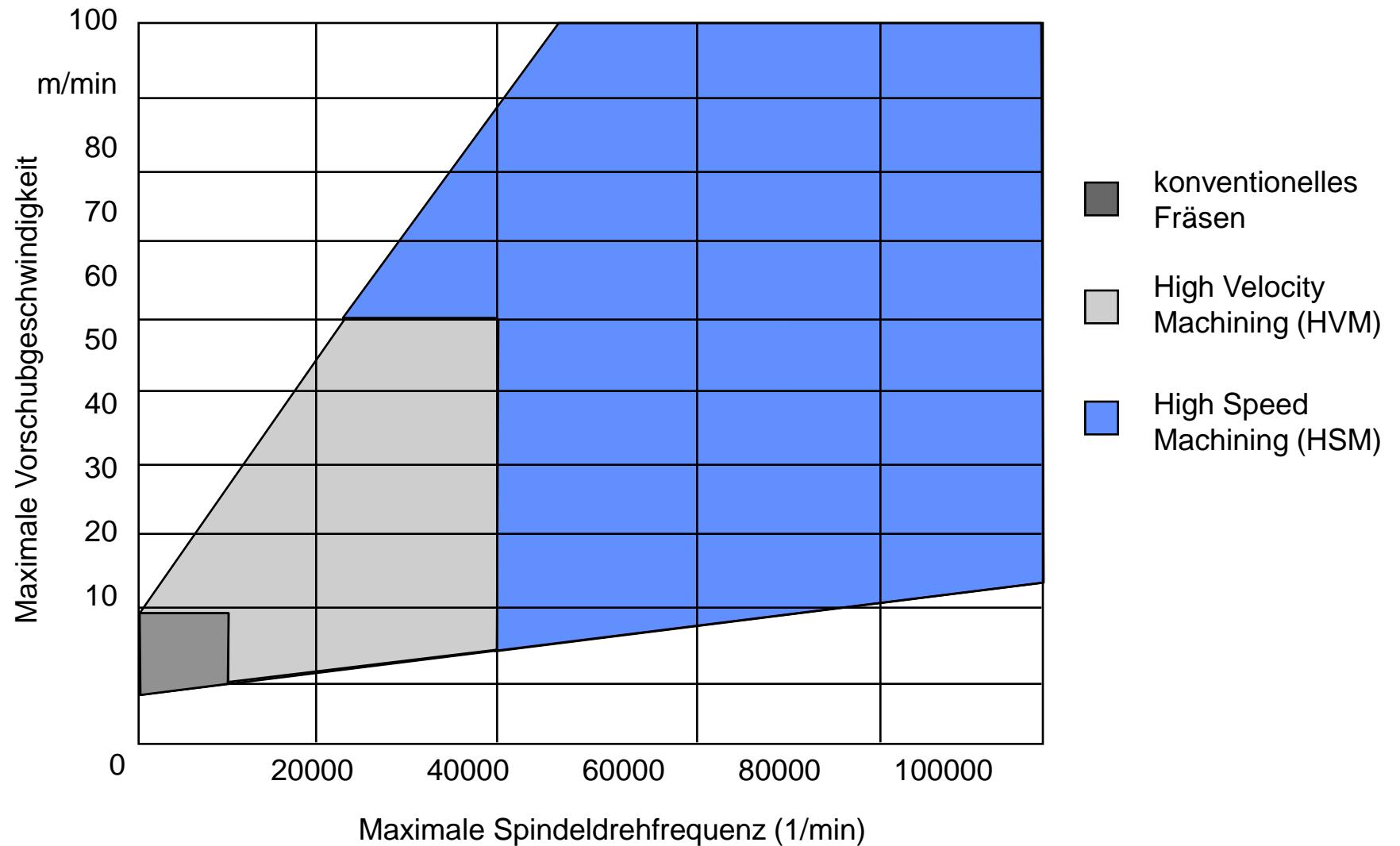


Quelle: Fraunhofer Vision  
Lor 0008



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Parallelkinematische Maschinen



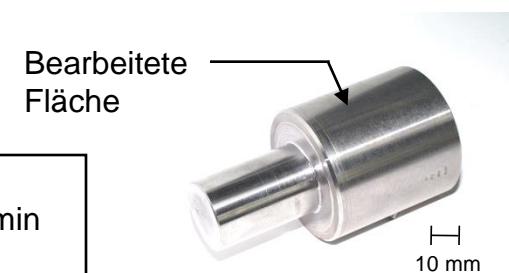
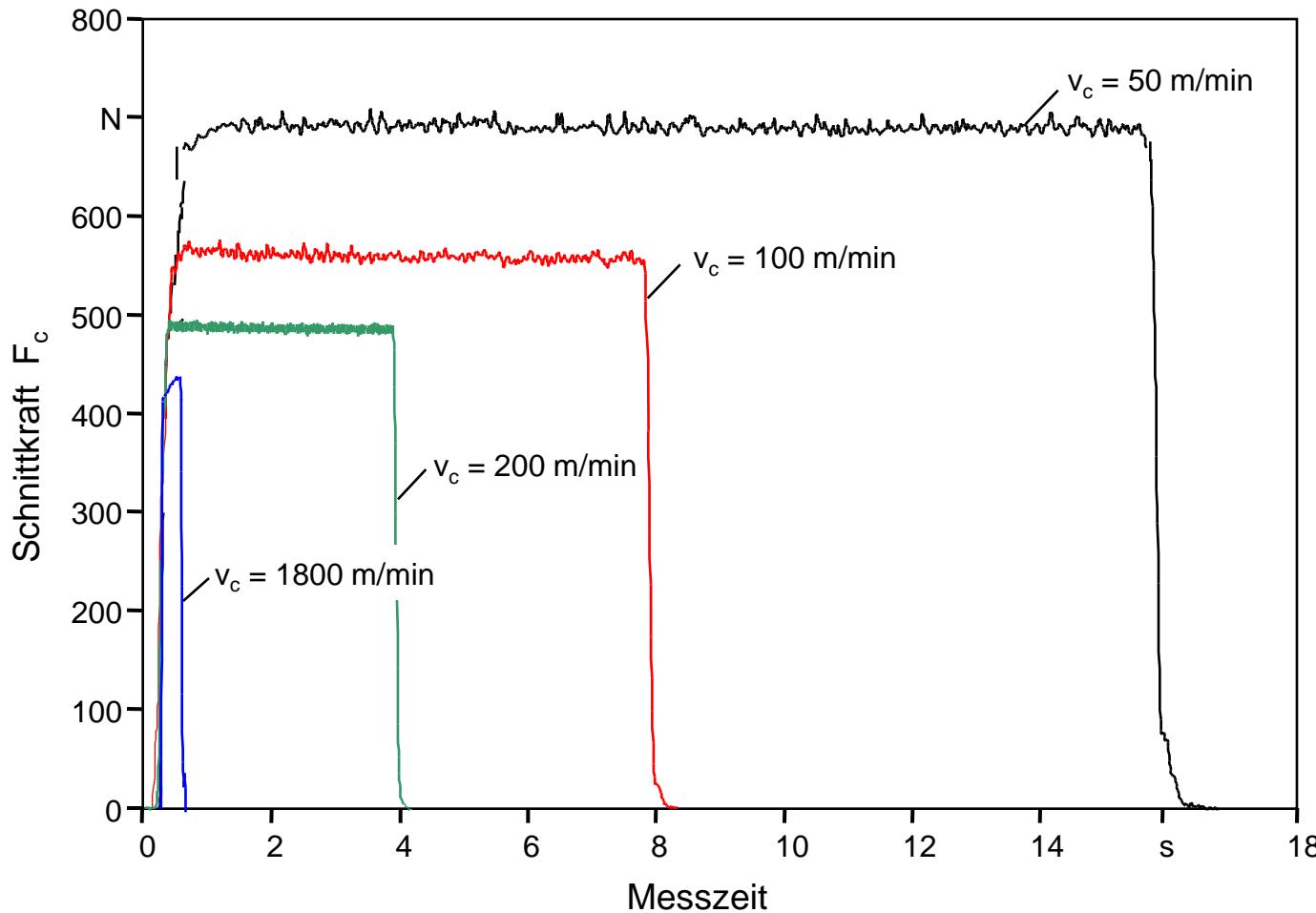
Quelle: Schulz

Die 0100



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Klassifizierung von Fräsmaschinen



**Verfahren:**  
 $f = 0,2 \text{ mm}$   
 $a_p = 1 \text{ mm}$   
 Bearbeitungslänge: 20 mm  
 Probendurchmesser: 45 mm  
 Kühlung: trocken

**Werkstück:**  
 C15  
 Härte: 105 HV10

**Werkzeug:**  
 Schneidstoff: CM  
 Geometrie: PCLNL1616H12

**Schneidengeometrie:**  
 Einstellwinkel  $\chi = 95^\circ$   
 Spanwinkel  $\gamma = 3^\circ$   
 Freiwinkel  $\alpha = 7^\circ$   
 Neigungswinkel  $\lambda = -7^\circ$   
 Eckenradius  $r_e = 0,8 \text{ mm}$



# Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

Kapitel 5.2: Trennen  
mit geometrisch unbestimmter Schneide



## Gliederung:

### 5.2 Trennen mit geometrisch unbestimmter Schneide

- 5.2.1 Definition des Spanens mit geometrisch unbestimmter Schneide und Einteilung der Verfahren
- 5.2.2 Schleifen – Verfahrensvarianten und Eingriffsverhältnisse
  - Nomenklatur der Schleifverfahren
  - Eingriffsverhältnisse und Verfahrensvarianten beim Umfangs-Plan-schleifen
  - Kenngrößen zur Beschreibung der Produktivität des Schleifprozesses
- 5.2.3 Schleifen-Werkzeuge
  - Schleifwerkzeuge und deren Aufbau
  - Aufbau von Schleifscheiben
  - Schleifstoffe
  - Bindungssysteme
  - Verschleißmechanismen
- 5.2.4 Einsatzvorbereitung von Schleifscheiben
  - Begriffe der Einsatzvorbereitung
  - Auswuchten von Schleifscheiben
  - Abrichtverfahren und -werkzeuge



## Gliederung:

### 5.2 Trennen mit geometrisch unbestimmter Schneide

- 5.2.5 Bearbeitungsbeispiele für das Schleifen
  - Innen- und Außen-Rundschleifen
  - Profilschleifen
  - Formschleifen von Keramik und Glas
- 5.2.6 Beispiele für Schleifmaschinenkonzepte
- 5.2.7 Beispiele aus Forschungsarbeiten
- 5.2.8 Weitere Verfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide
  - Honen – Definition, Kinematik und Verfahrensvarianten
  - Besondere Merkmale des Honens
  - Läppen – Definition, Kinematik und Verfahrensvarianten
  - Oberflächenausbildung beim Läppen



## **Abstract:**

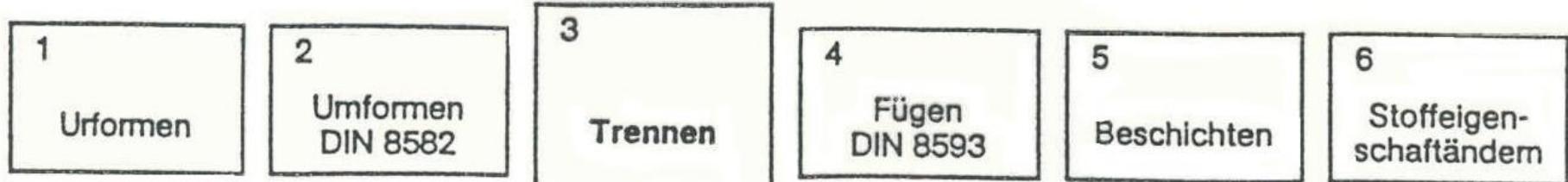
In dieser Vorlesungseinheit werden die Grundkenntnisse des Zerspanens mit geometrisch unbestimmter Schneide wie Schleifen, Honen und Läppen ausführlich vorgestellt. Nach der Definition und Verfahrenseinteilung werden die verschiedenen Varianten des Schleifens und die Eingriffsverhältnisse diskutiert. Schwerpunkt der Vorlesungseinheit bildet der Aufbau der Schleifwerkzeuge und die Charakterisierung der verschiedenen Schleifstoffe und Bindungssysteme. Aus dem Aufbau der Schleifkörper resultiert die Notwendigkeit der Einsatzvorbereitung, deren Techniken detailliert vorgestellt werden. Nachfolgend werden aktuelle Bearbeitungsbeispiele und Maschinenkonzepte der Schleiftechnik aufgezeigt. Ein weiterer Schwerpunkt der Lehreinheit ist die Darstellung der Feinbearbeitungsverfahren Honen und Läppen.

## **Literaturquellen**

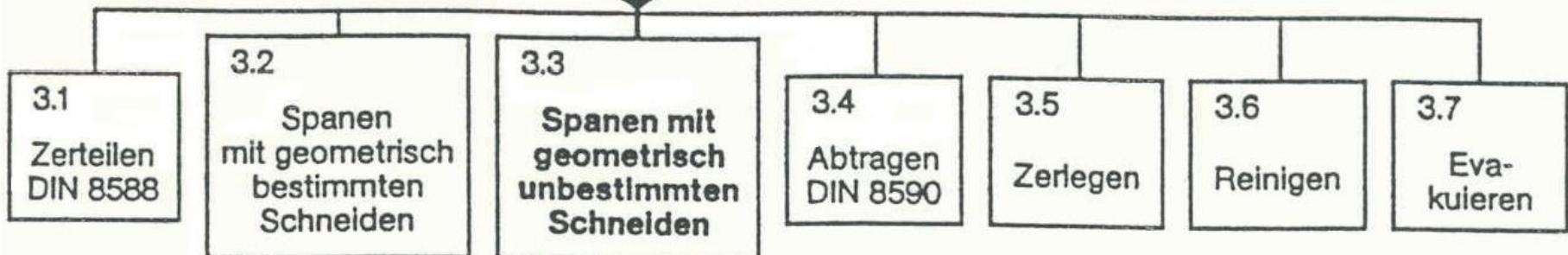
- Feldhusen, J/ Dubbel, H/ Grote, K.-H, Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau, Springer-Verlag, Berlin 2011, 23. Auflage
- DIN 8589, Fertigungsverfahren Spanen: Bohren, Senken, Reiben. Beuth-Verlag GmbH, Berlin 1982
- König, W., Klocke, F., Fertigungsverfahren Band 1 – Drehen, Fräsen, Bohren. VDI-Verlag, Düsseldorf 2008, 8. Auflage
- Pauksch, E., Zerspantechnik. Vieweg-Verlag, 2008, 12. Auflage
- Tschaetsch, H, Praxiswissen Zerspantechnik. Vieweg-Verlag, Reichenhall 1991
- Spur, G.; Stöferle, T., Handbuch der Fertigungstechnik. Bd. 1/3. Hanser-Verlag, München/Wien, 1997
- Tönshoff, H.K., Spanen: Grundlagen. Springer-Verlag, Berlin 2004, 2. Auflage
- Warnecke, G., Spanbildung bei metallischen Werkstoffen. Technischer-Verlag Resch, München 1974



## Hauptgruppen



## Gruppen

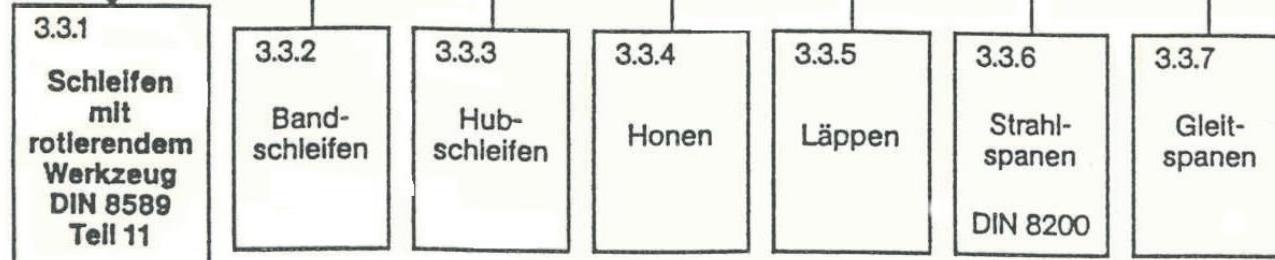


## Untergruppen

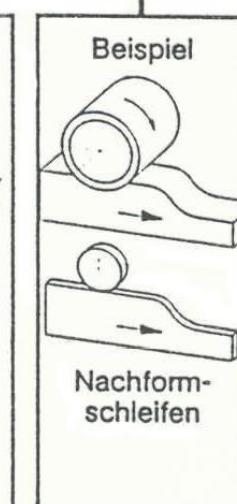
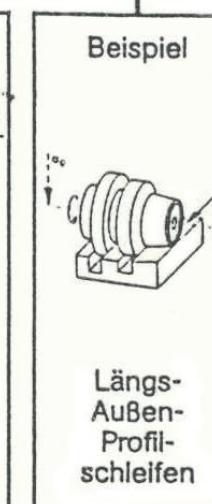
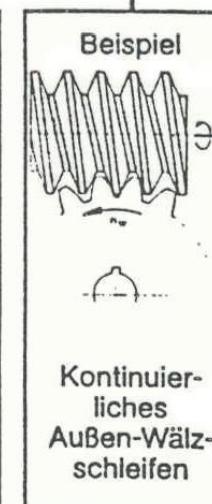
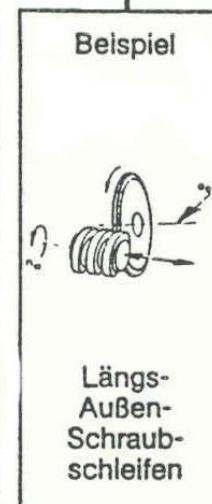
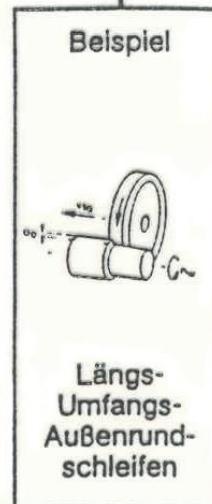
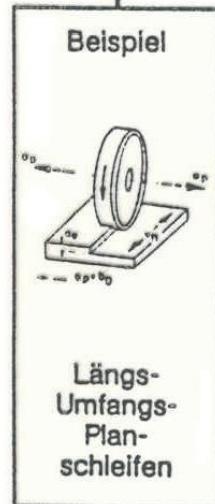
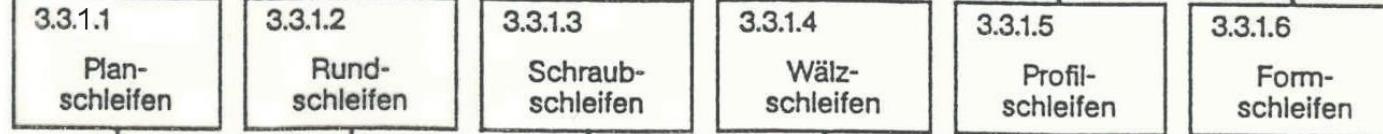
Br 1065a1



## Untergruppen

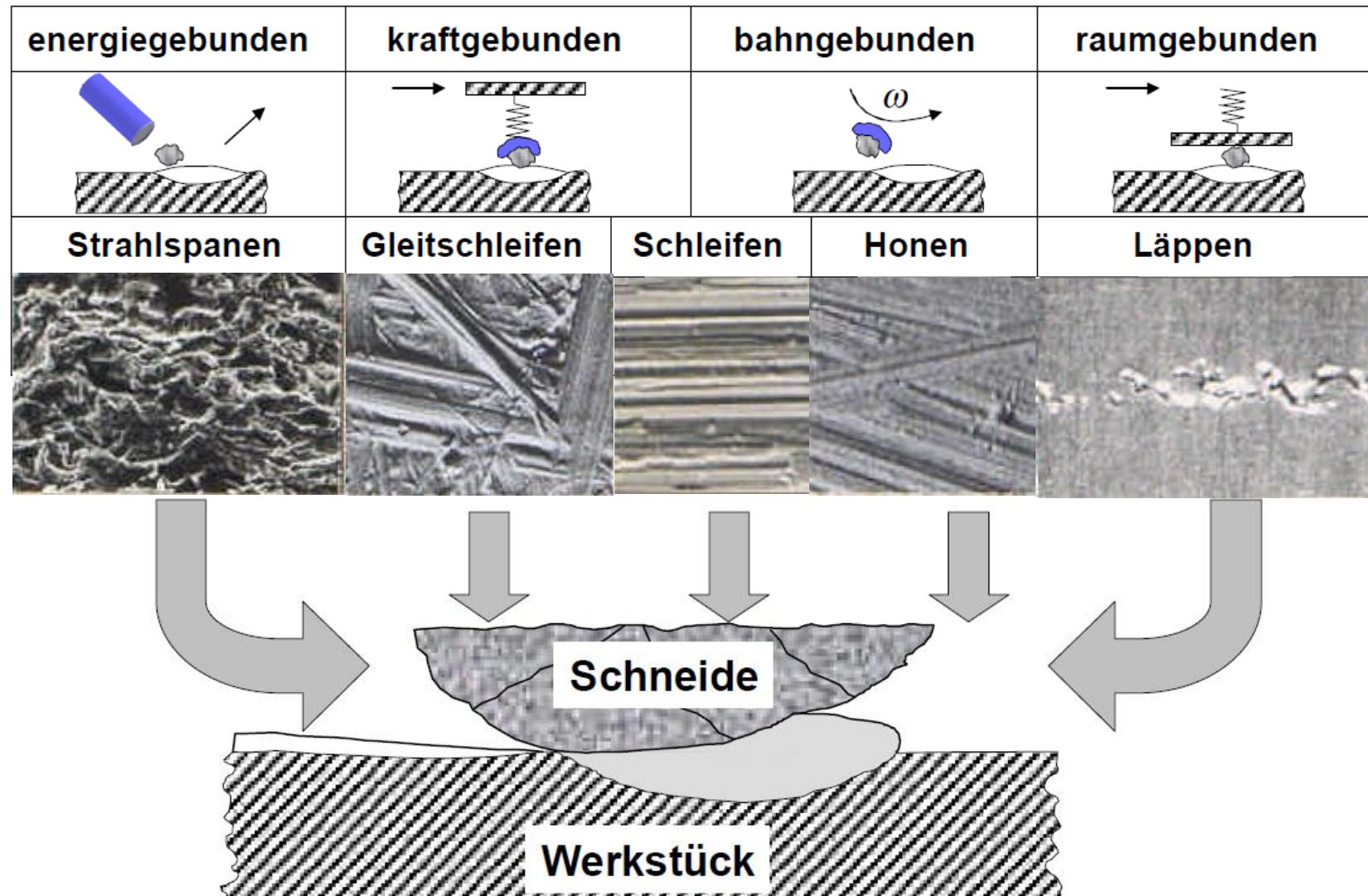


## Gliederung nach DIN 8589 Teil 11



Br 1065a2





Quelle: WZL RWTH Aachen, Fraunhofer Institut Produktionstechnologie

Hue 0006

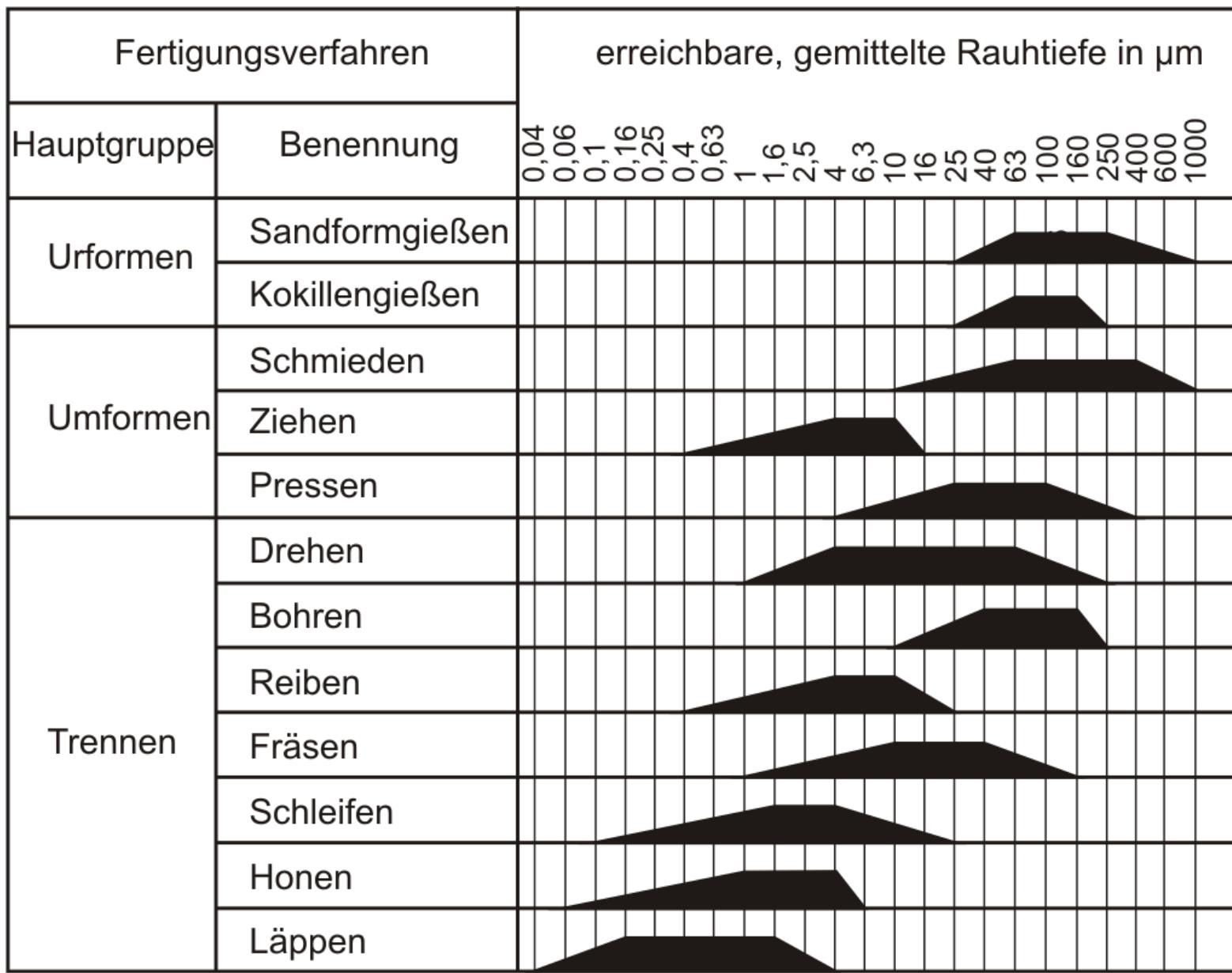


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

## Wirkprinzipien bei der Zerspanung mit geometrisch unbestimmten Schneiden

	<b>Werkzeug</b>	<b>Besonderheiten</b>
<b>Schleifen</b>	- gebundene Körner	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hohe Geschwindigkeit der Schneidkörner</li> <li>- meist keine ständige Berührung zwischen Werkstück und Schleifkorn</li> </ul>
<b>Honen</b>	- gebundene Körner	<ul style="list-style-type: none"> <li>- niedrige Geschwindigkeit der Schneidkörner</li> <li>- ständige Berührung zwischen Werkstück und Schleifkorn</li> </ul>
<b>Läppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- loses Korn</li> <li>- Läppgemisch (Körner in Flüssigkeit oder Paste)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- formübertragendes Gegenstück (Läppwerkzeug)</li> <li>- ungerichtete Schleifbahnen</li> </ul>
<b>Trommelspanen</b>	- loses Korn	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Werkstücke und Schleifkörner in einem Behälter</li> <li>- unregelmäßige Relativbewegungen</li> </ul>
<b>Strahlspanen</b>	- loses Korn	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einsatz von Strahlmitteln</li> </ul>





Br 0434



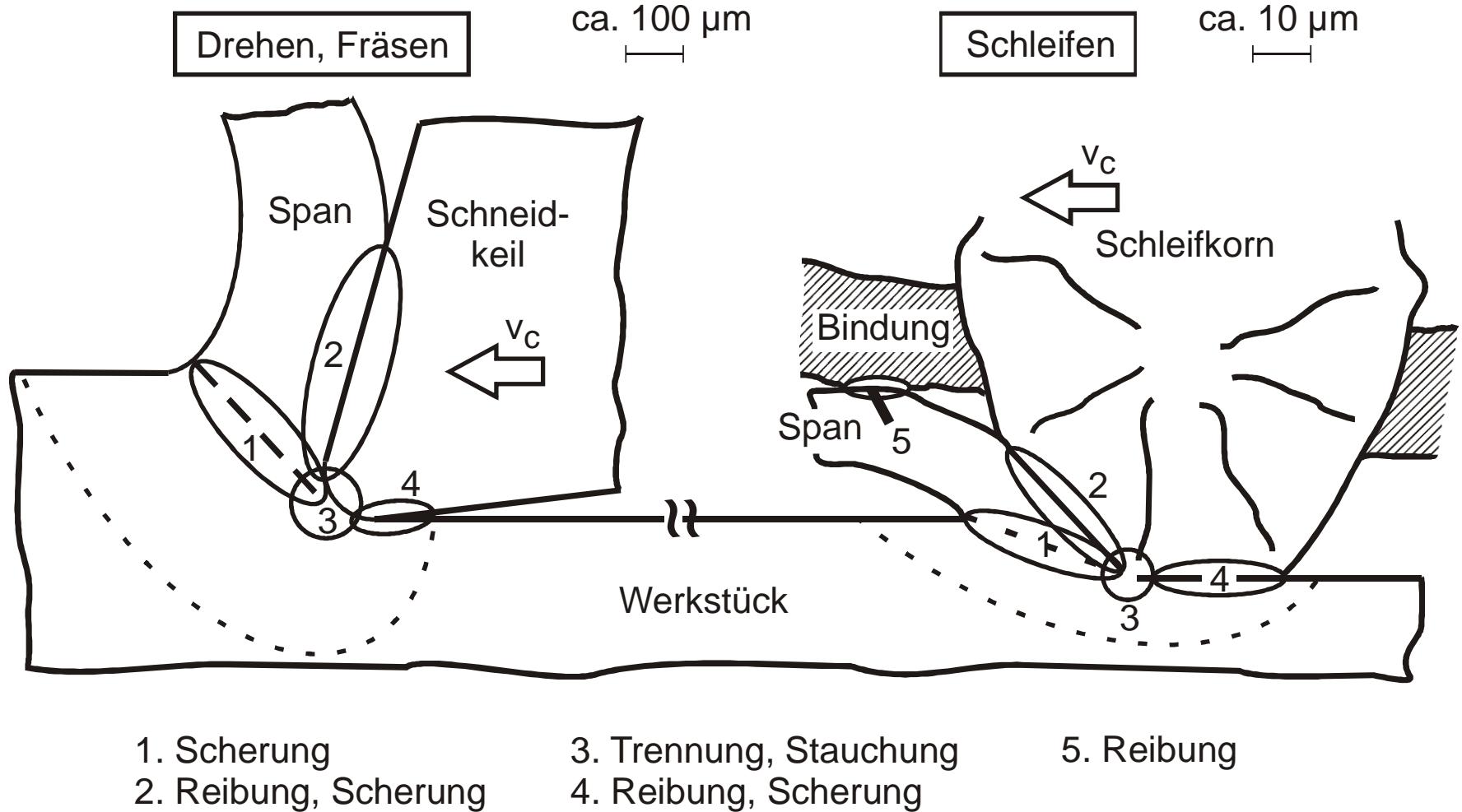
**Schleifen mit rotierendem Werkzeug (Schleifen)** ist ein spanendes Fertigungsverfahren mit vielschneidigen Werkzeugen, deren geometrisch unbestimmte Schneiden von einer Vielzahl gebundener Schleifkörner aus natürlichen oder synthetischen Schleifmitteln gebildet werden und mit hoher Geschwindigkeit,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



- + feinbearbeitendes Verfahren,  $R_a < 1 \mu\text{m}$
- + Form- und Oberflächengebung von harten Werkstoffen
- + hochpräzise Formgebung
- + Verfahrensbandbreite
  - > Ultrapräzisionsschleifen ( $R_a \approx 10 \text{ nm}$ )
  - > Hochleistungsschleifen (Zeitspanvolumen  $Q_w' > 1000 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm} \cdot \text{s}}$  )
- zeitaufwendige Einsatzvorbearbeitung der Werkzeuge
- kostenintensive Maschinen
- hochqualifiziertes Personal erforderlich
- geringe Universalität der Werkzeuge
- Wärmeentwicklung im Prozess, daher immer KSS erforderlich

Lor 0012



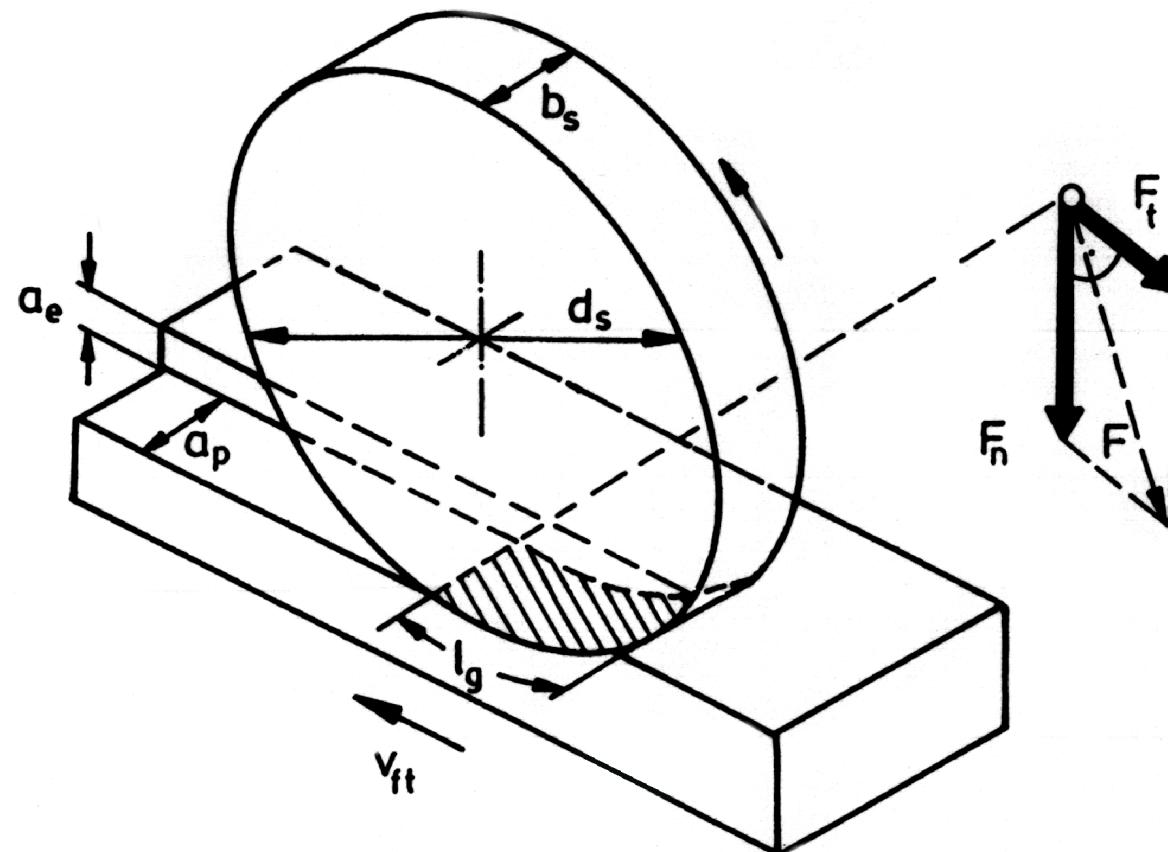


	Außenrund	Innenrund	Plan	Dreh
<b>Umfang - Querschleifen</b>				
<b>Umfang - Längsschleifen</b>				
<b>Selten - Querschleifen</b>				
<b>Selten - Längsschleifen</b>				

Quelle: DIN 8589

Giw 308





$a_e$  = Zustellung[mm]

$a_p$  = Eingriffsbreite[mm]

$b_s$  = Schleifscheibenbreite[mm]

$d_s$  = Schleifscheibendurchmesser[mm]

$l_g$  = geom.Kontaktlänge[mm]

$n_s$  = Schleifscheibendrehzahl[min<sup>-1</sup>]

$v_c$  = Schnittgeschwindigkeit[m·s<sup>-1</sup>]

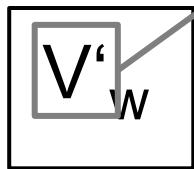
$v_{ft}$  = Werkstück - Vorschubgeschwindigkeit[m·s<sup>-1</sup>]

$F_n$  = Normalkraft[N]

$F_t$  = Tangentialkraft[N]

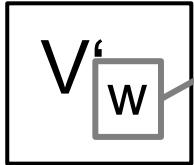
Br 0534





Formelz.	Dimension	Deutsch	Englisch
b	mm	Breite	width
d	mm	Durchmesser	diameter
f	mm	Vorschub	feed
F	N	Kraft	force
l	mm	Länge	length
n	min <sup>-1</sup>	Drehzahl	no. of revolutions
Q <sub>w</sub>	mm <sup>3</sup> /s	Zeitspannungsvolumen	material removal rate
t	s	Zeit	time
U	-	Überdeckungsgrad	overlap ratio
v	m/s; mm/min	Geschwindigkeit	velocity
V	mm <sup>3</sup>	Zerspanungsvolumen	material removal
q	-	Geschwindigkeitsquotient	speed ratio
F'	N/mm	Bezogene Kraft	specific force
V'	mm <sup>3</sup> /mm	Bezogenes Zerspanungsvolumen	specific material removal
Q <sub>w</sub> '	mm <sup>3</sup> /s·mm	bezogenes Zeitspannungsvolumen	specific material removal rate
a <sub>e</sub>	µm	Zustellung, Schnitttiefe	depth of cut
a <sub>p</sub>	µm	Eingriffsbreite	width of cut
Δr <sub>s</sub>	µm	Radialverschleiß	radial wear
G	-	Verschleißverhältnis = V <sub>w</sub> /V <sub>s</sub>	grinding ratio

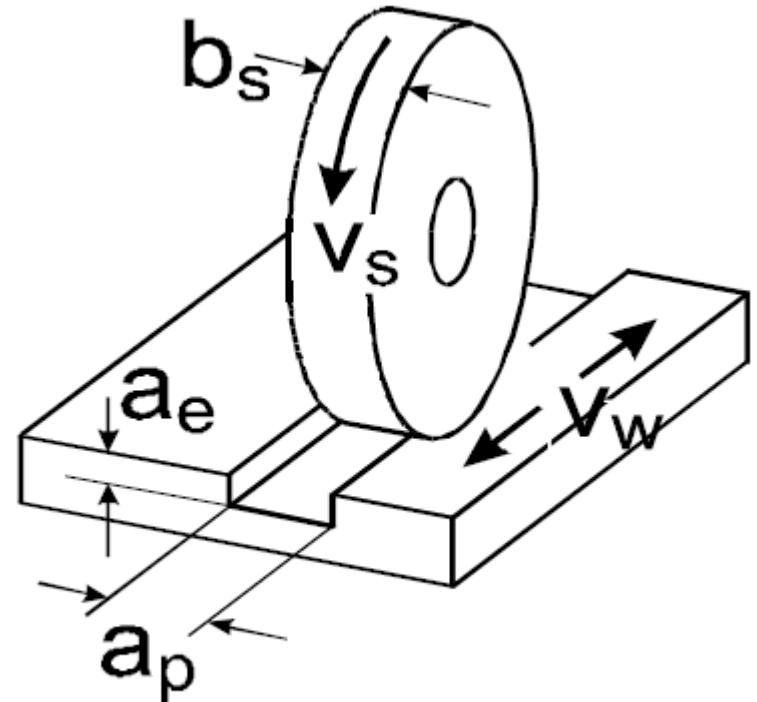




Index	Deutsch	Englisch
a	Axialrichtung	axial
c	Schnitt	cutting
d	Abrichten	dressing
f	Vorschub	feed
n	Normalenrichtung	normal
r	Radialrichtung	radial
R	Rotierendes Abrichtwerkzeug	roller
s	Schleifscheibe	grinding wheel
t	Tangentialrichtung	tangential
w	Werkstück	workpiece

# Eigenschaften des Planschleifens

- Viele Verfahrensvarianten
- Herstellung von Nuten und Profilen, großen ebenen Oberflächen
- Bearbeitung im Tief- und Pendelschliff
- Schwierigkeiten:
  - Hohe Wärmeeinbringung beim Tiefschleifen
  - Je nach Geometrie schlechte Spanabfuhr



Quelle: WZL RWTH Aachen, Fraunhofer Institut Produktionstechnologie

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Eigenschaften des Planschleifens

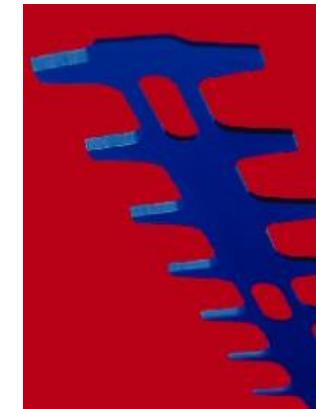
Hue 0007

# Flach-/Planschleifen – Anwendungsbeispiele

- Führungsbahnen
- Turbinenschaufel
- Heckenscheren
- Pleuelstangen
- und vieles mehr...



Turbinenschaufel



Heckenscheren



Pleuelstange



Führungsbahnen

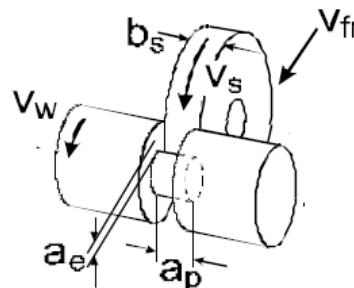
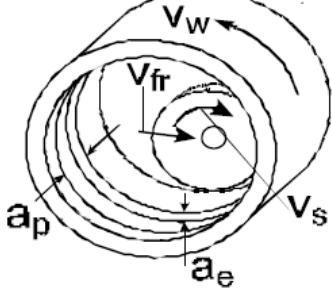
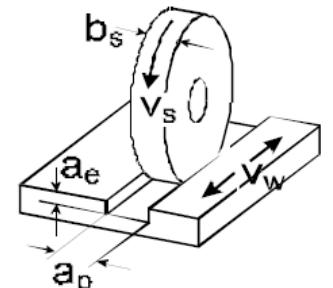
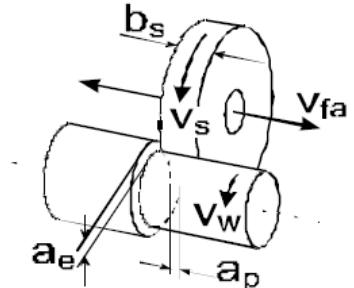
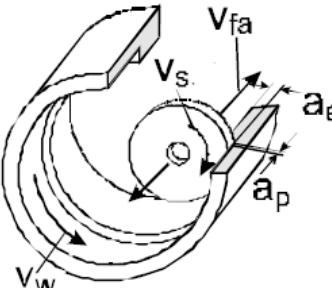
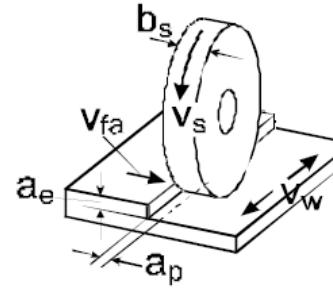


Quelle: Efesis, WZL RWTH Aachen, Fraunhofer Institut Produktionstechnologie

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Hue 0008

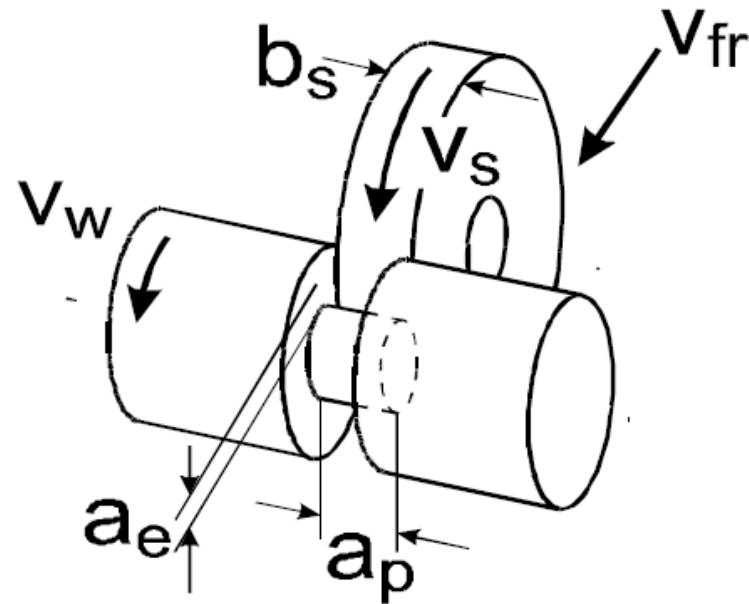
Flach-/Planschleifen - Anwendungsbeispiele

	Rund		Plan
	Außenrund	Innenrund	Plan
Umfangsschleifen	<b>Umfangs-Quer-Schleifen</b> 		
Umfangsschleifen	<b>Umfangs-Längs-Schleifen</b> 		



Quelle: WZL RWTH Aachen, Fraunhofer Institut Produktionstechnologie

- Erzeugung rotationssymmetrischer Werkstückkonturen
- Stirnseitige Zentrierung
- In der Regel Bearbeitung im Gegenlauf
- Einsatz von Lünetten, um hohe Werkstückdurchbiegungen zu vermeiden
- Schwierigkeiten:
  - Werkstückaufnahme: Zentrierung muss einwandfreien Rundlauf garantieren
  - Durchbiegung durch hohe Schnittkräfte bei langen dünnen Werkstücken
  - Rattern



## Bearbeitung von:

- Lagersitzen, Wellenabsätzen, Nuten
- Druckwalzen, Walzen von Papierherstellern
- Stahlwalzwerken



---

Quelle: Efesis, WZL RWTH Aachen, Fraunhofer Institut Produktionstechnologie

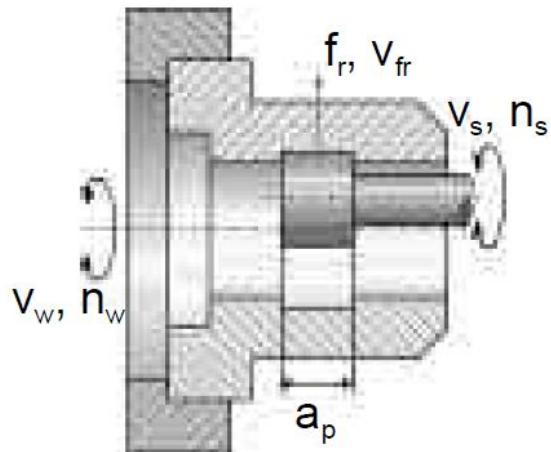
Hue 0011



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Anwendungsgebiete des Außenrundschleifens

## Einstechschleifen

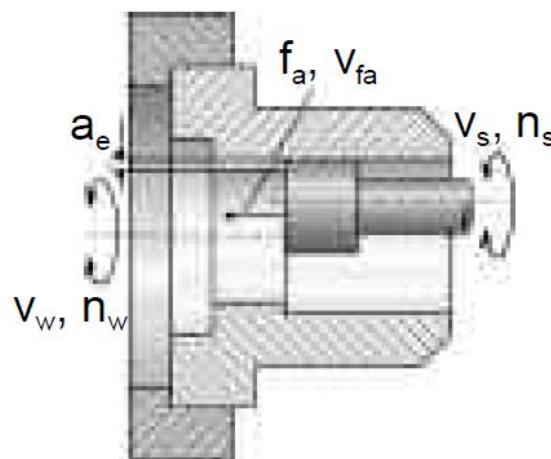


- **Kinematik entspricht der des Außenrundschleifens zwischen Spitzen**

- **Besonderheiten des Innenrundschleifens**

- große Kontaktlänge
  - schwieriger Abtransport der Späne
  - schlechte Zugänglichkeit für Kühlsmierstoff
  - hohe thermische Belastung
  - offenporige, grobkörnige Schleifscheiben

## Längsschleifen



- kleiner Schleifscheibendurchmesser
  - hoher Radialverschleiß
  - nur geringe Zeitspannungsvolumina realisierbar
  - keine hohen Schnittgeschwindigkeiten erreichbar
  - Vorteile hoher  $v_s$  (geringe Kräfte, Rauheiten und Verschleiß) nicht realisierbar



Quelle: WZL RWTH Aachen, Fraunhofer Institut Produktionstechnologie

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Hue 0012

Kinematik und Eigenschaften des Innenrundschleifens

# Innenrundschleifen – Anwendungen

- Wälzlagerringe
- Spindelaufnahmen
- Gangräder
- Kugelgewindemuttern
- ....



Gewindemutter



PKW-Gangrad



Lagerinnenring



Lageraußenring

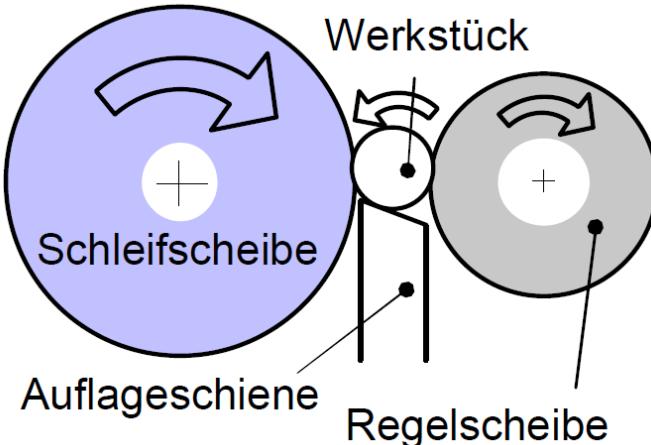
Quelle: WZL RWTH Aachen, Fraunhofer Institut Produktionstechnologie

Hue 0013



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Innenrundschleifen - Anwendungen



- Erzeugung rotationssymmetrischer zylindrischer, konischer oder balliger Werkstücke
- Werkstücke werden auf dem Umfang gelagert
- Vermeidung der Durchbiegung bei schlanken Bauteilen
- Werkstücke werden nicht gespannt/zentriert
- Leichter Werkstückwechsel, dadurch gut automatisierbar



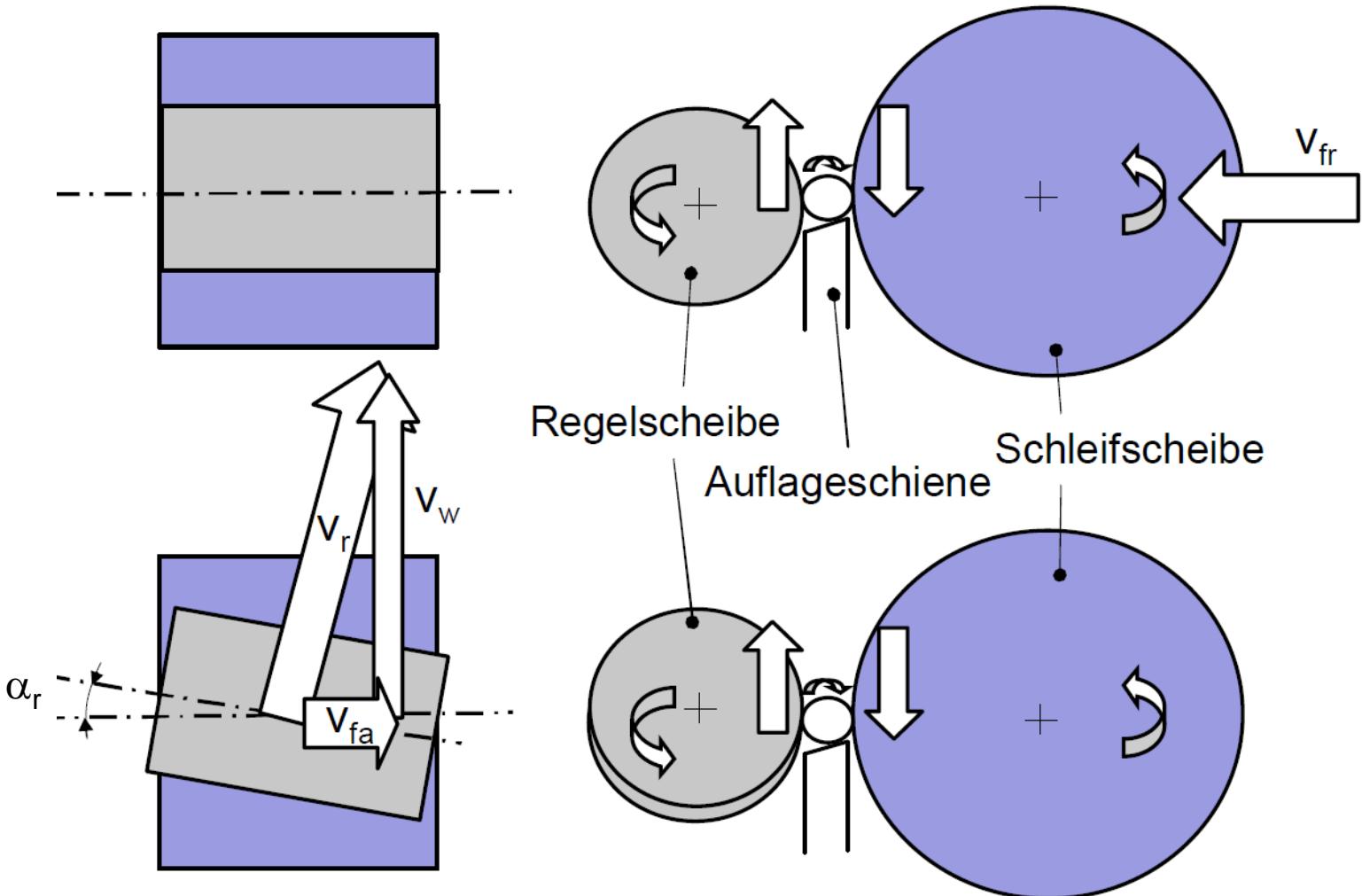
Quelle: WZL RWTH Aachen, Fraunhofer Institut Produktionstechnologie

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Hue 0014

Spitzenlossschleifen - Eigenschaften und Kinematik

- Einstechschleifen  
Außenrund-  
Querschleifen
- Durchlaufschleifen  
Außenrund-  
Längsschleifen



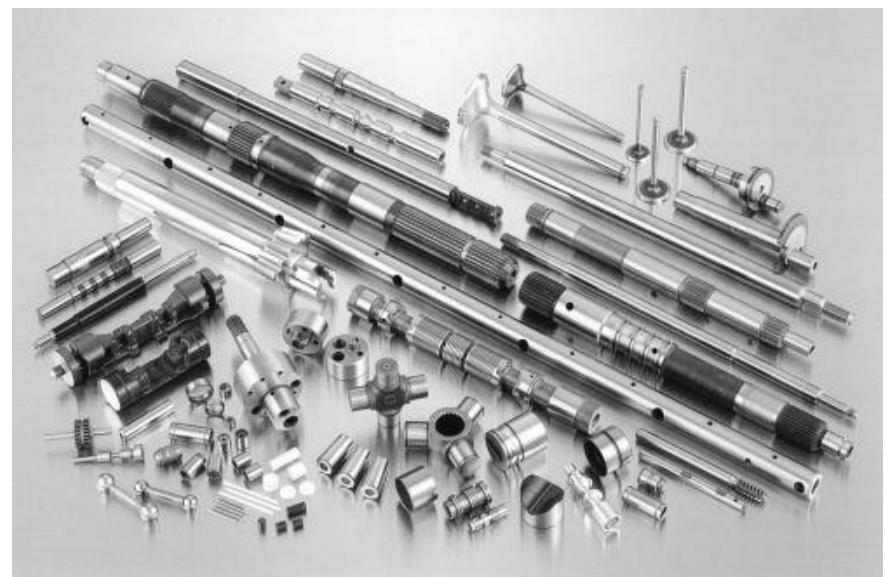
Quelle: WZL RWTH Aachen, Fraunhofer Institut Produktionstechnologie

Hue 0015



## Spitzenlosschleifen - Anwendungen

- Hauptanwendungsgebiet:  
Großserienfertigung
- Bolzen, Wellen, Wälzlagerelemente
- Lagersitze
- Düsenadeln, Rotorachsen, Kugelzapfen
- Stangen, Rohre, Schreibwalzen



Crystec Technology Trading GmbH

Hue 0016

Quelle: WZL RWTH Aachen, Fraunhofer Institut Produktionstechnologie



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Spitzenlosschleifen - Anwendungen

## Anwendungsbeispiel: Schleifen von Nadellager-Nadeln

- Durchmesser 2,2 - 3,5 mm
- Länge 10 - 20 mm
- Aufmaß 0,06 - 0,15 mm
- Werkstoff 100Cr6, 60-62 HRC
- Schleifscheibe kunstharzgebundenes cBN
- Mengenleistung 100-180 Stück/min
- Rauheit  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$
- Lebensdauer SLS ca. 100 Mio. Stück



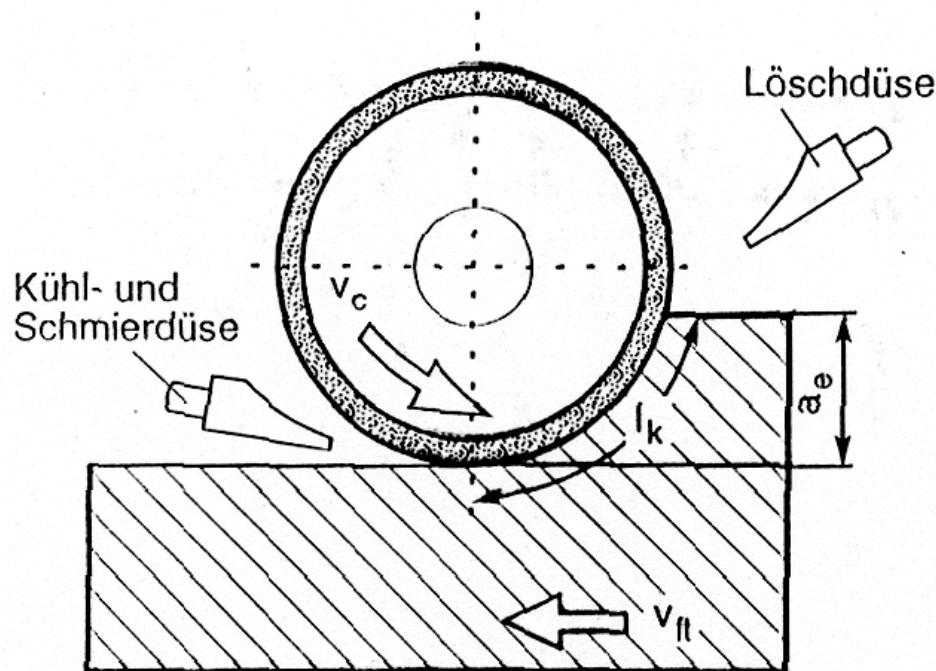
Quelle: WZL RWTH Aachen, Fraunhofer Institut Produktionstechnologie

Hue 0017

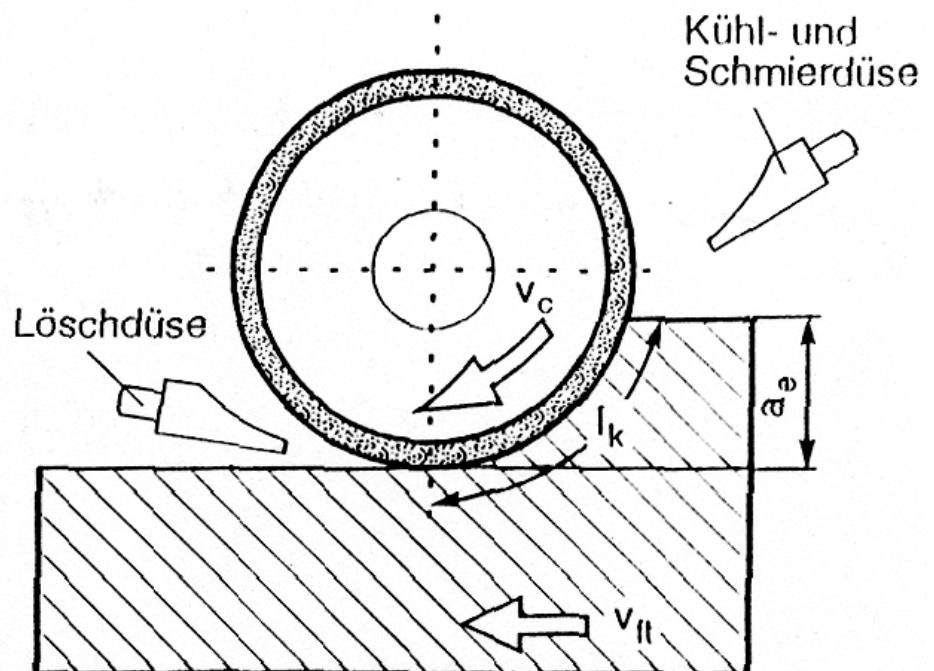
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Anwendungsbeispiel: Schleifen von Nadellager-Nadeln

## Gegenlaufschleifen



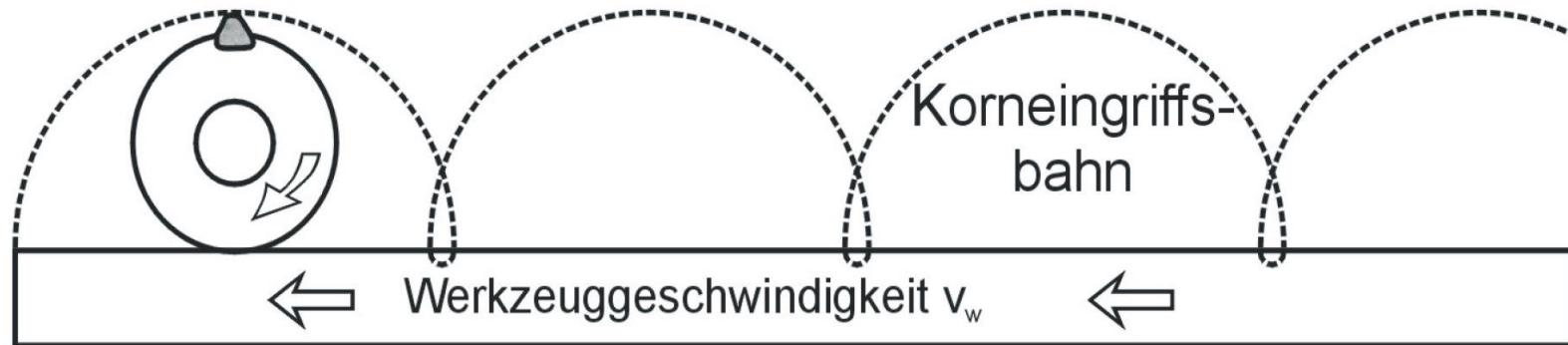
## Gleichlaufschleifen



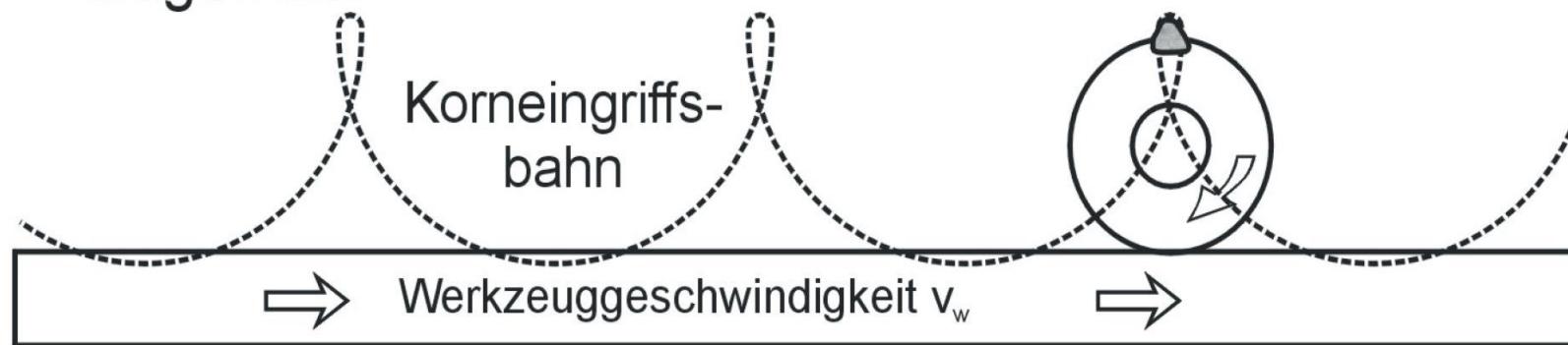
F 0230



Gleichlauf



Gegenlauf



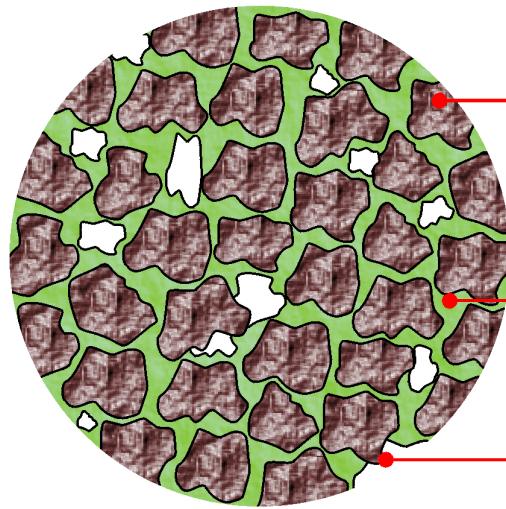
Quelle: Klocke, König

BI 0548



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Zykloidenbahnen eines Schleifkorns im Gleich- und Gegenlauf

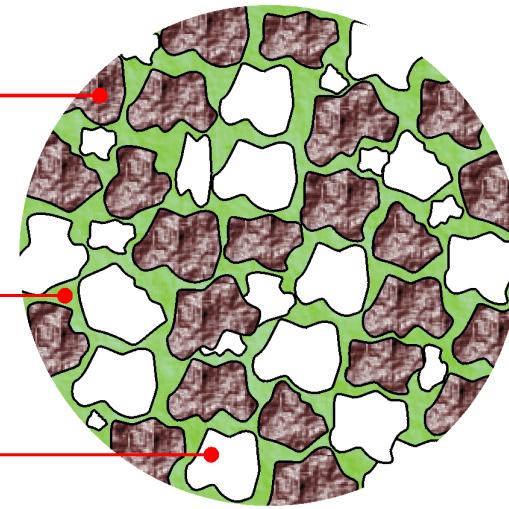


geschlossene  
Struktur

Schleifkörner

Bindungs-  
brücken

Poren



offene  
Struktur

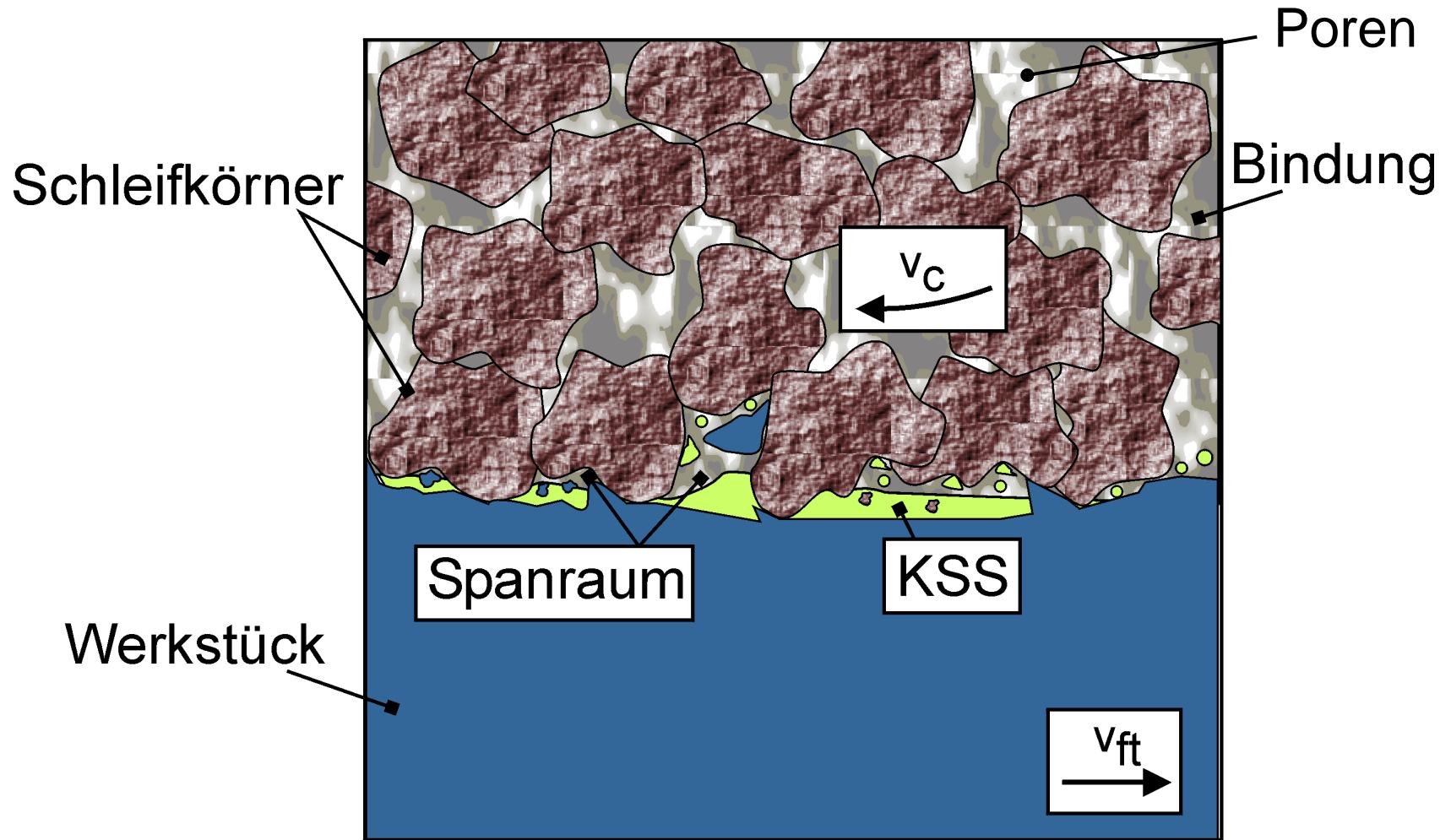


Quelle: Vieregge

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Boe459

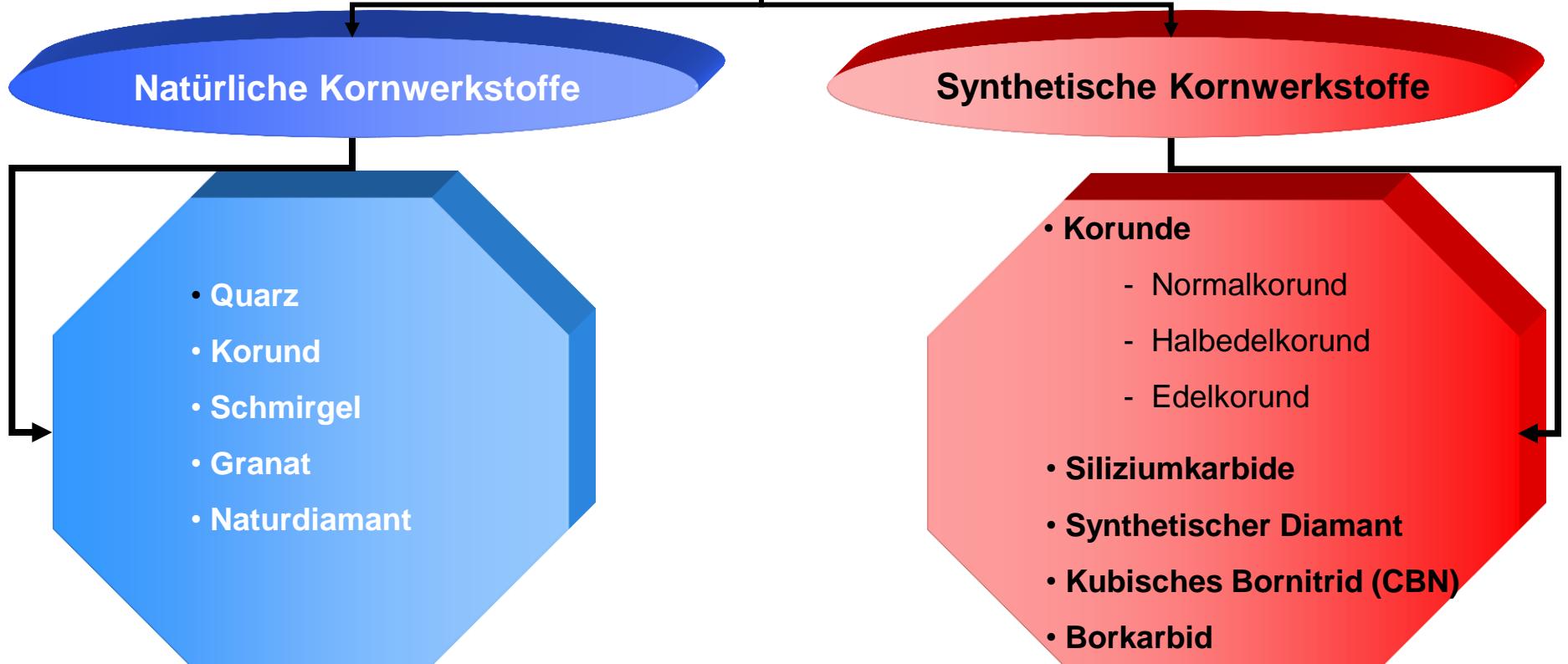
Strukturformen von Schleifkörpern



Boe428



## Natürliche und synthetische Kornwerkstoffe für das Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden



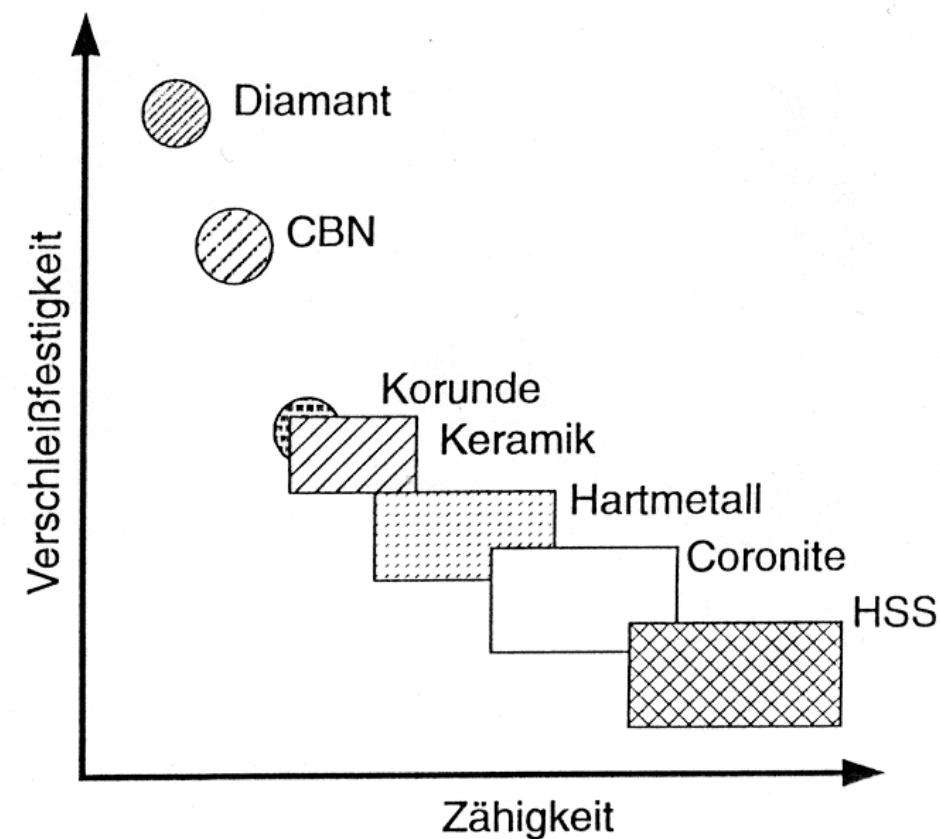
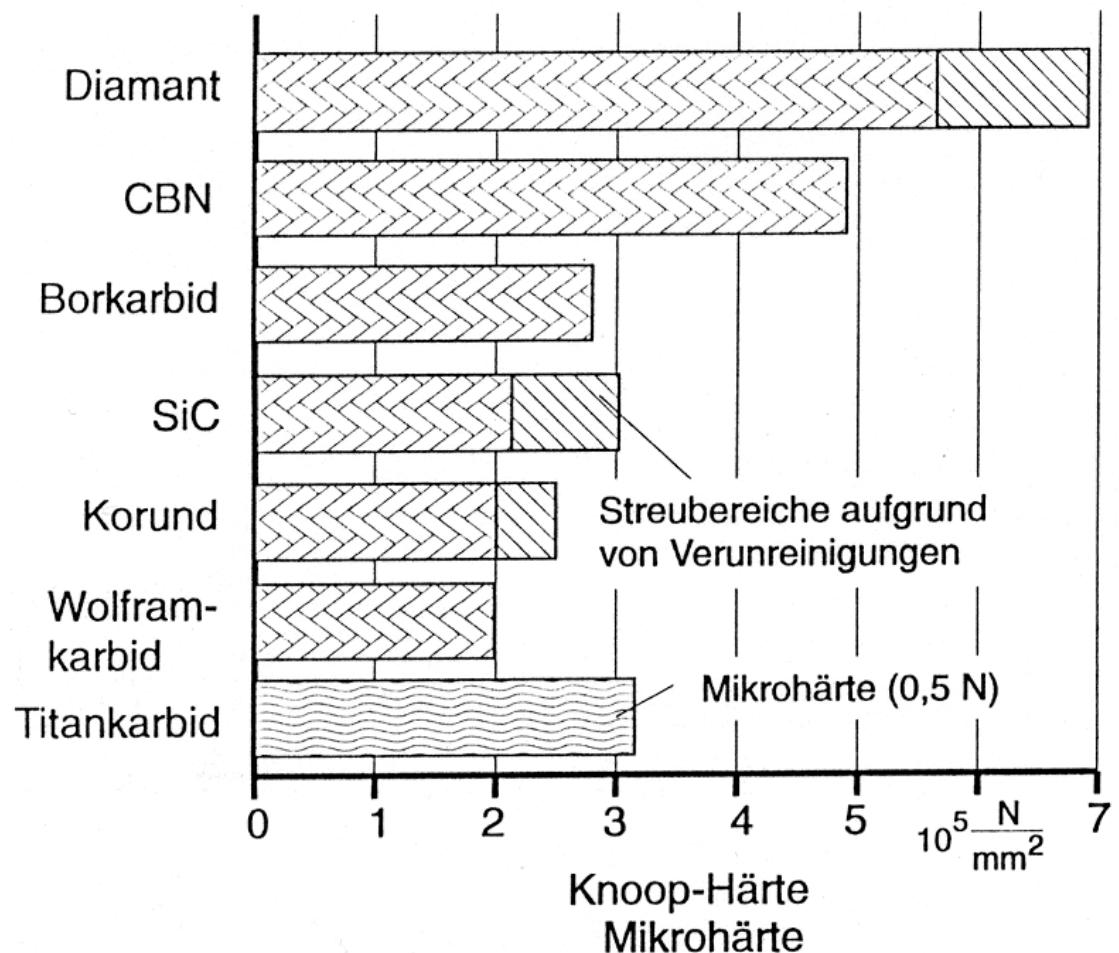
Quelle: Nach König



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Kornwerkstoffe

Gri 030



Quelle: König, Christoffel

F 0205

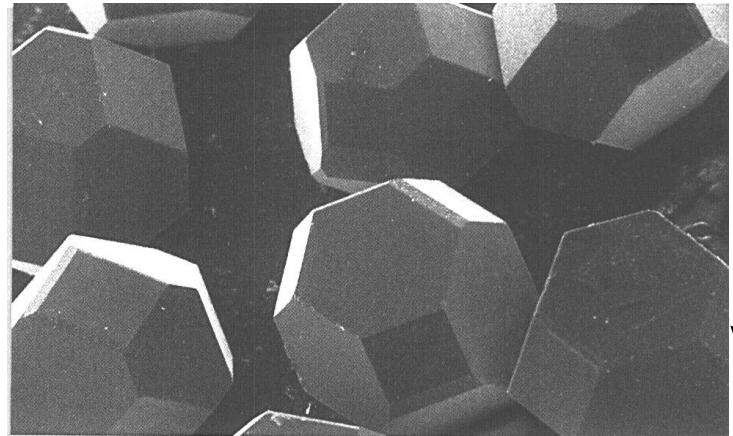


Typische chemische Analyse	Normalkorund [%]	Halbedelkorund [%]	Edelkorund [%]	Zirkonkorund [%]
$\text{Al}_2\text{O}_3$	95,83	97,69	99,50	72,65
$\text{ZrO}_2$	-	-	-	25,90
$\text{SiO}_2$	0,60	0,38	0,05	0,15
$\text{TiO}_2$	3,12	1,45	0,02	0,39
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,10	0,15	0,05	0,64
$\text{Na}_2\text{O}$	-	-	0,30	0,12
$\text{CaO}$	0,05	0,03	0,05	0,06
$\text{MgO}$	0,20	0,15	0,01	0,09
Andere	0,10	0,15	0,02	-

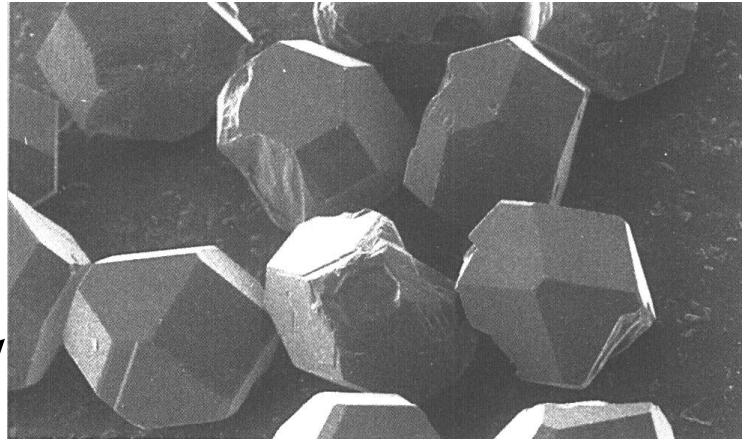
Quelle: Nach Lonza-Werke GmbH

Gri 031

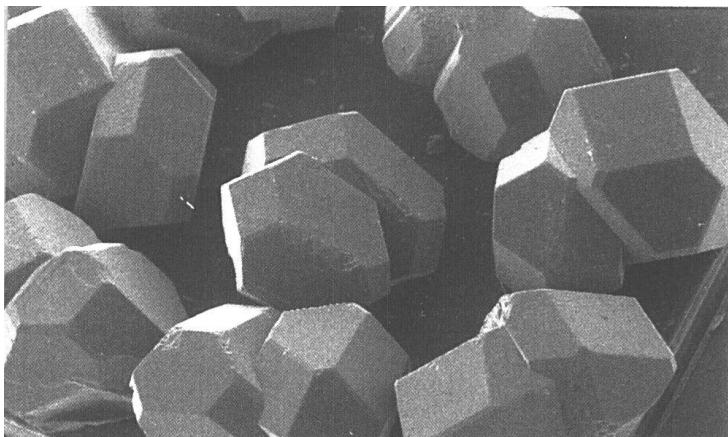




Kubisch-oktaedrische Kristallform

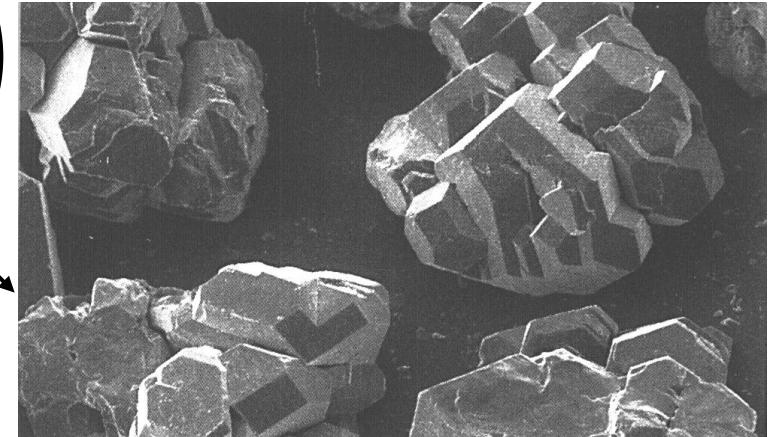


Eckige, blockige Kristallform



Zusammengewachsenes Kristallpaar

**Kristallit-  
formen  
synthetischen  
Diamants**



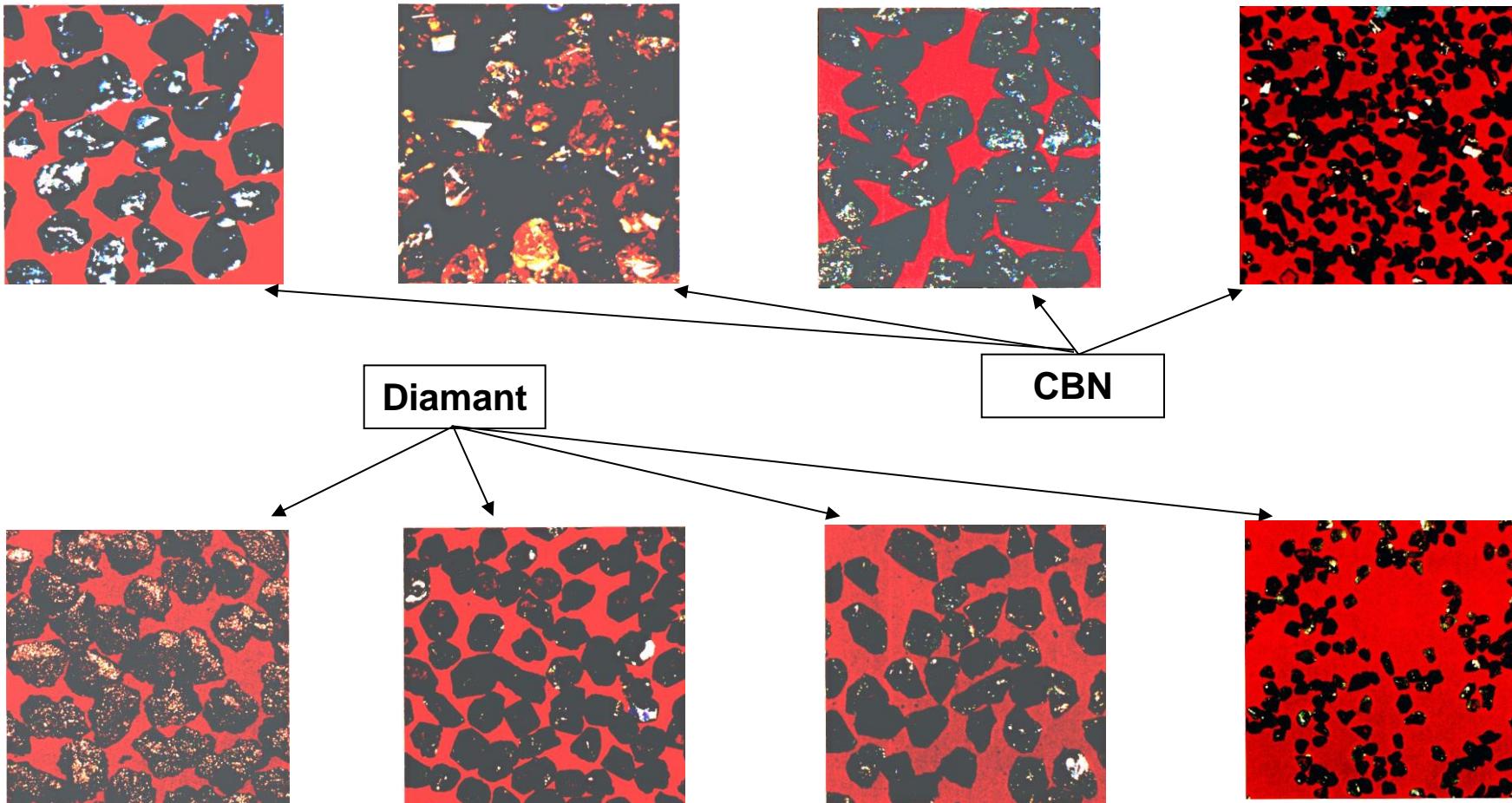
Quelle: GE Superabrasives



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Gri 013

Unterschiedliche Diamantkristallformen



Quelle: GE Superabrasives

Gri 015



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Unterschiedliche Diamant- und CBN-Modifikationen  
für unterschiedliche Anwendungsfelder

**A**

Korund  
aluminium oxide

**C**

Siliciumcarbid SiC  
silicon carbide SiC

**B**

Kubisches Bornitrid CBN  
*cubic boron nitride CBN*

**D**

Diamant  
*diamond*



## Anwendungsgebiete der Schleifkörnungen

## Application of abrasives



Korund  
aluminium  
oxide



langspanend  
long chipping



CBN



SiC



kurzspanend  
short chipping



Diamant  
diamond



Stahl  
steel



Ni-Basis  
Ni-base



HM  
CC



Gestein  
stone



Glas  
glass



TYROLIT COLLEGE  
THE WAY TO PERFECTION

© by TYROLIT

1.2  
701

Kro 00051



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Anwendungsgebiete verschiedener Schleifstoffe

## Vergleich von konventionellen und Superschleifmitteln Comparison of conventional and superabrasives

Kornbedarf, um  $0,02m^2$

Beton zu schneiden:

*grain need for cutting  
 $0,02m^2$  concrete:*

Diamant

*diamond*



↔  
*equivalent*

0,008 gr

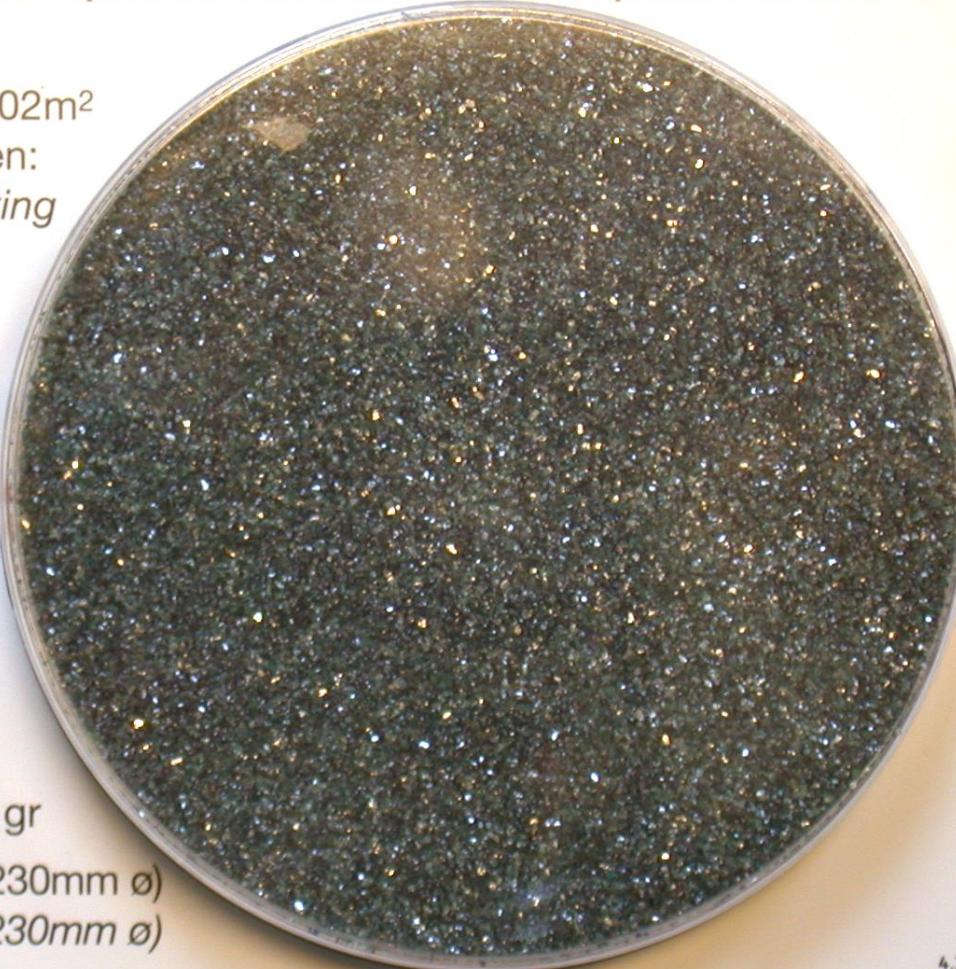
= 0,04 ct

SiC

150 gr

(= 1 Trennscheibe 230mm ø)

(= 1 cut-off wheel 230mm ø)



TYROLIT COLLEGE™  
THE WAY TO PERFECTION

© by TYROLIT

4.3  
701

Kro 00061



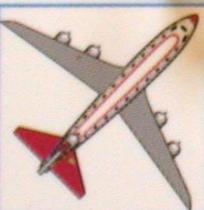
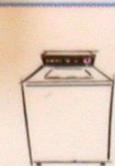
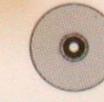
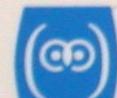
6

30

70

240

1200

Flugzeug  
aeroplaneHaus  
houseAuto  
carWaschmaschine  
washing machineCD  
CDErbse  
peaTYROLIT COLLEGE  
THE WAY TO PERFECTION

© by TYROLIT

1.4  
701

Kro 0003!

- Korngöße wichtig für Oberflächengüte
- Korngröße konventioneller Schleifmittel SiC und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ist mit Kennzahlen in „mesh“ nach amerikanischem Standard ASTM bezeichnet
- Körnungskennzahl in „mesh“ entspricht der Maschenzahl je Zoll bei der Siebung des Schleifmittels
- Klassierung durch Siebung mit zunehmend engeren Öffnungen
- Körnung F60 wird mit Sieb von 60 Maschen je Zoll (Siebteilung 0,42 mm) aus Korngemisch abgezogen
- Schleifkörner liegen in Fraktionen mit typischen Korngrößenverteilungen (auch abhängig von Kornform) vor
- Körnungskennzahl in „mesh“ stellt daher Mittelwert dar
- Gröbste Körnung F4 ( $d_{km} = 4550 \mu\text{m}$ ), feinste Körnung F1200 ( $d_{km} = 3,0 \mu\text{m}$ )
- Korngrößen bis F220 werden durch Siebung mit Drahtsieben, sehr feine Körnung > F220 durch optische Sedimentation aus Suspensionen

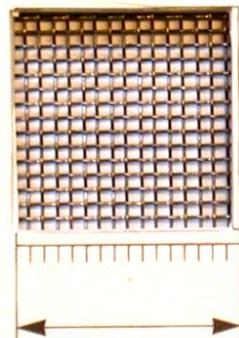
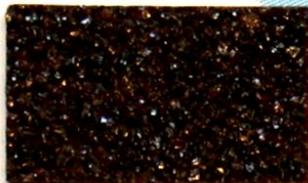


Quelle: König/Klocke, Tönshoff, DIN 69 100, DIN 69 101

Will 0882

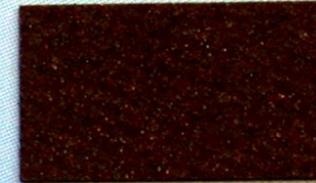
# Definition mesh

16 mesh



16 Öffnungen/1Zoll  
16 gaps/1 inch

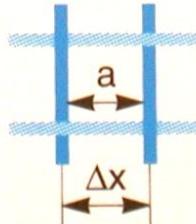
80 mesh



Verkleinerung der Sieböffnung  
durch die Drahtstärke

mesh	$\Delta x$ (mm)	a (mm)
16	1,59	1,18
80	0,32	0,18

*reduction of the sieve gap  
by the wire thickness*



1 Zoll  
1 inch

80 Öffnungen/1Zoll  
80 gaps/1 inch



TYROLIT COLLEGE  
THE WAY TO PERFECTION  
1998  
© by TYROLIT

1.3  
898

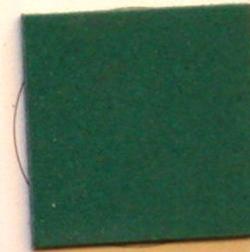


# Gebundene Schleifwerkzeuge Bonded abrasives

Metall/metal

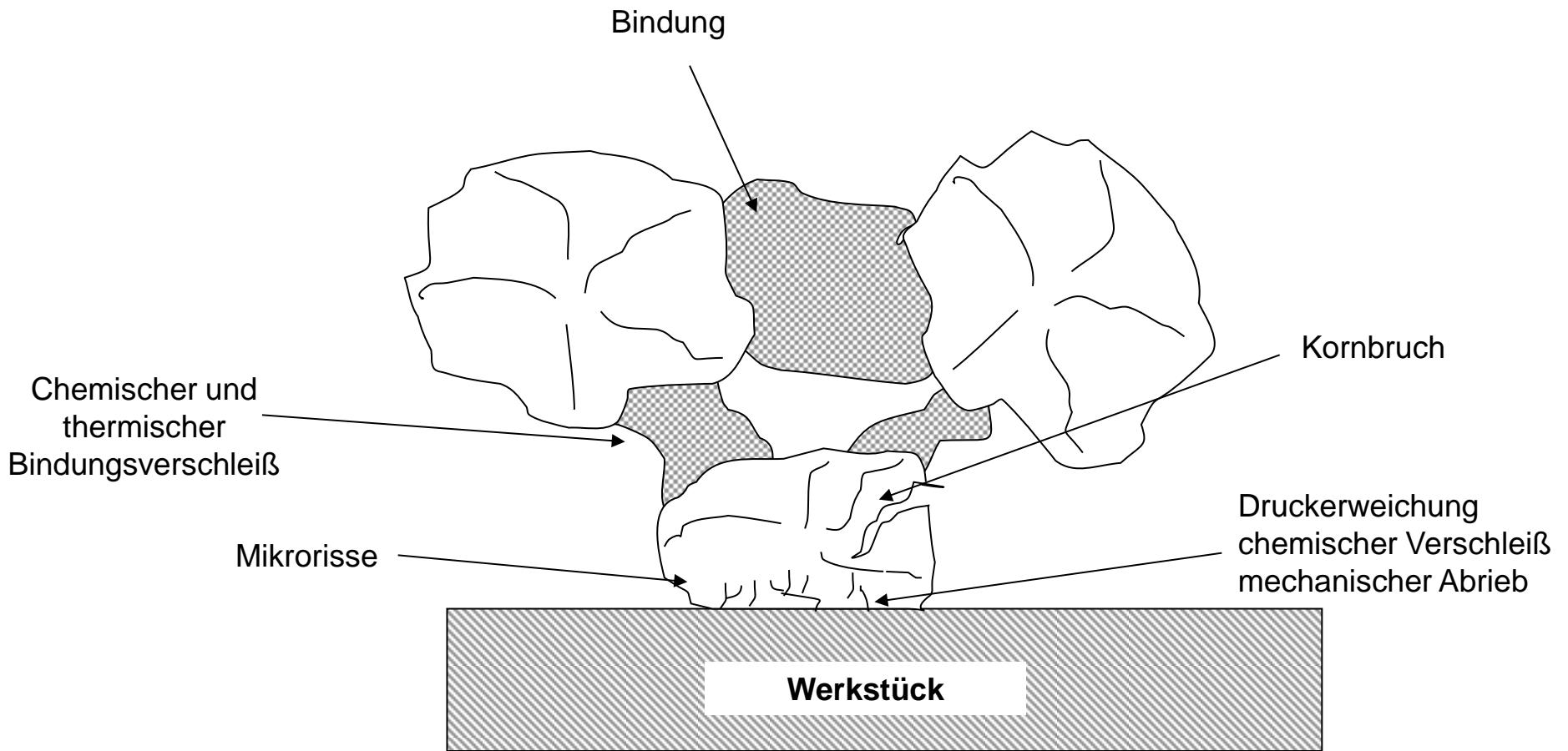
galvanisch  
*galvanic*gesintert  
*sintered*Keramik  
*vitrified*Kunstharz  
*resin*

Elastic

Profilhaltigkeit/*profile stability*Dämpfung/*damping*formgebend/*shape giving*formfolgend  
*shape following*6.3  
701TYROLIT COLLEGE™  
THE WAY TO PERFECTION

© by TYROLIT





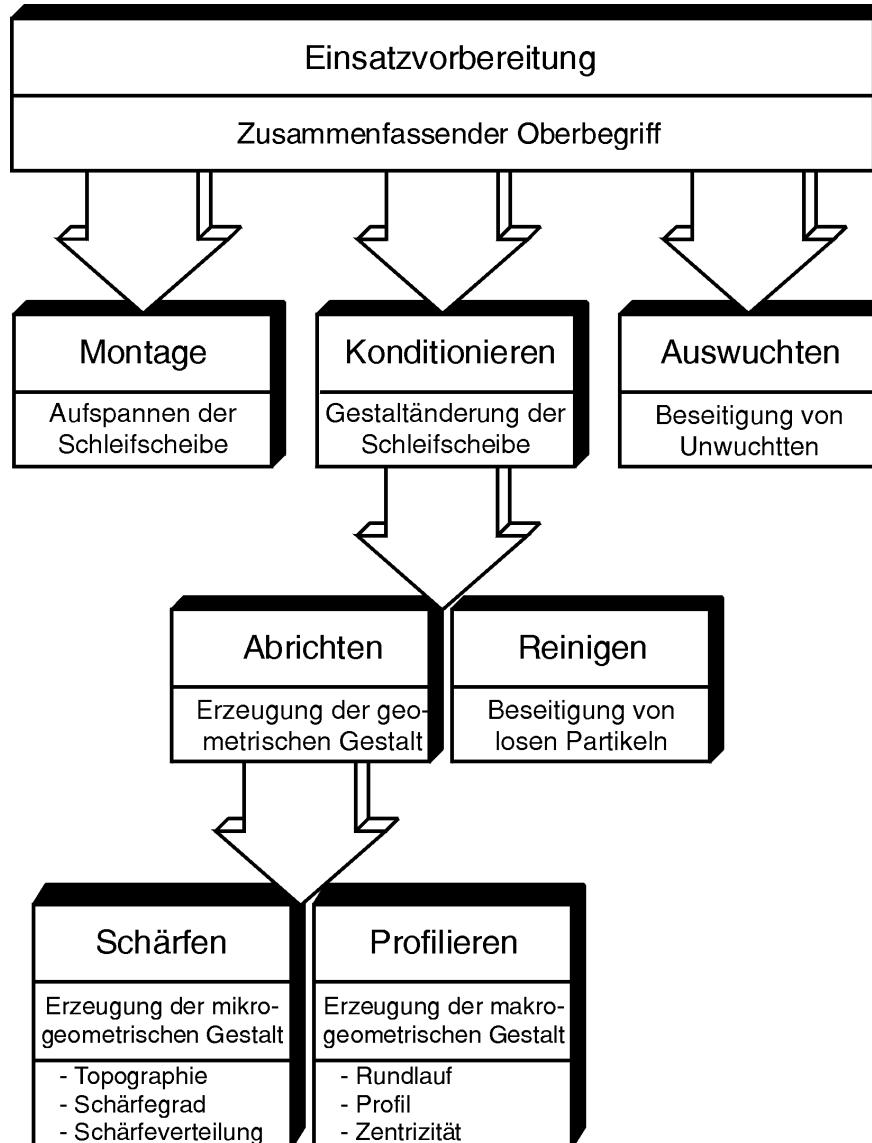
Quelle: Nach König



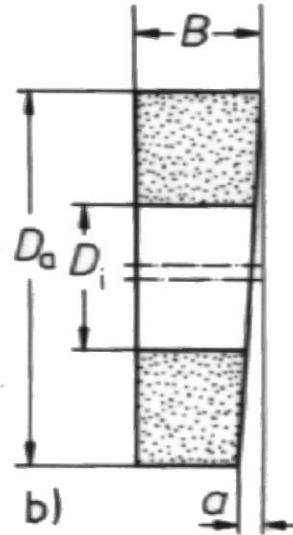
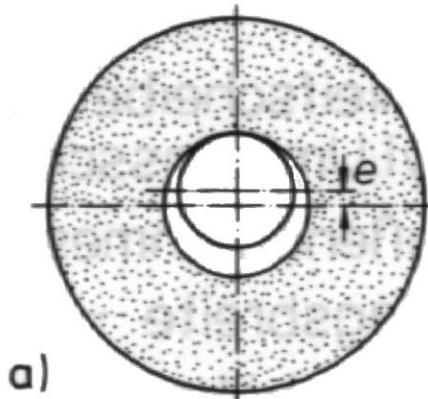
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Gri 032

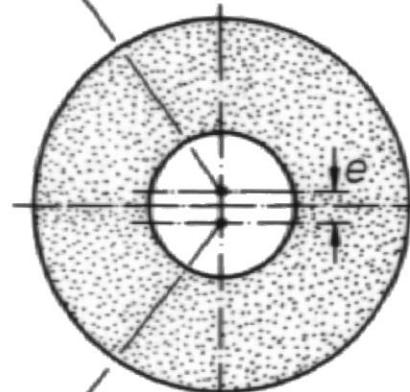
Beanspruchung und Verschleiß an Korn und  
Bindung



Unwucht (formbedingt)

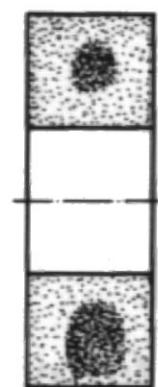
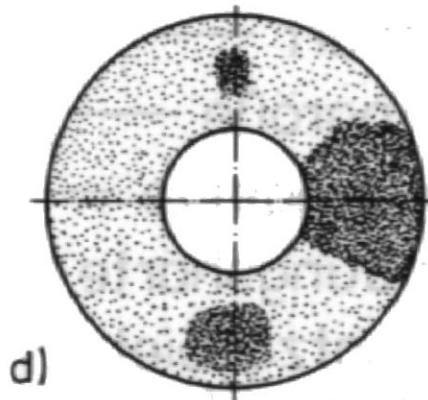


Schwerpunkt



Drehachse  
c)

Unwucht (strukturbedingt)



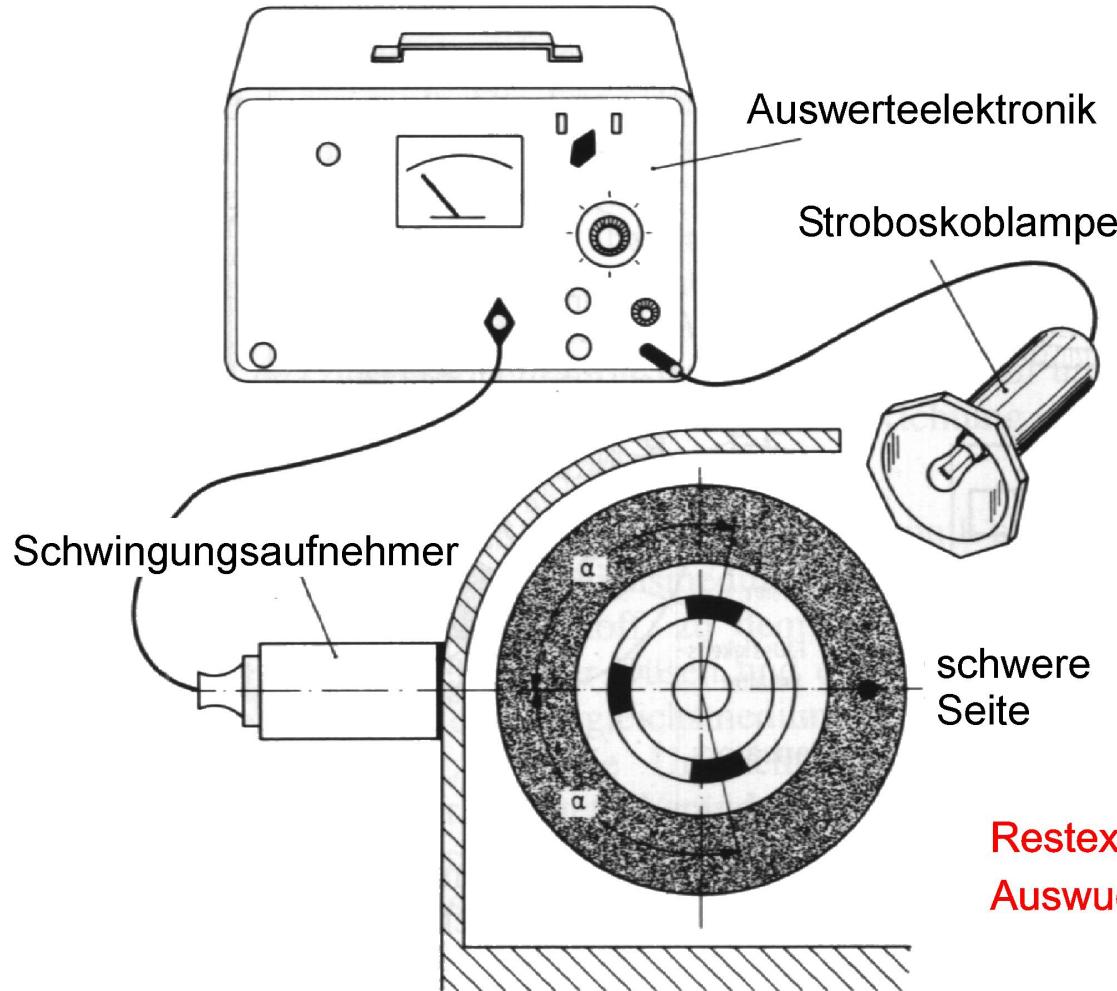
Quelle: Fritz, Schulze

Stö 0376



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Ursachen für Schleifscheibenunwuchten



Restexzentrizität: 3-6  $\mu\text{m}$   
Auszugzeit mit Rüstzeit: 20 min

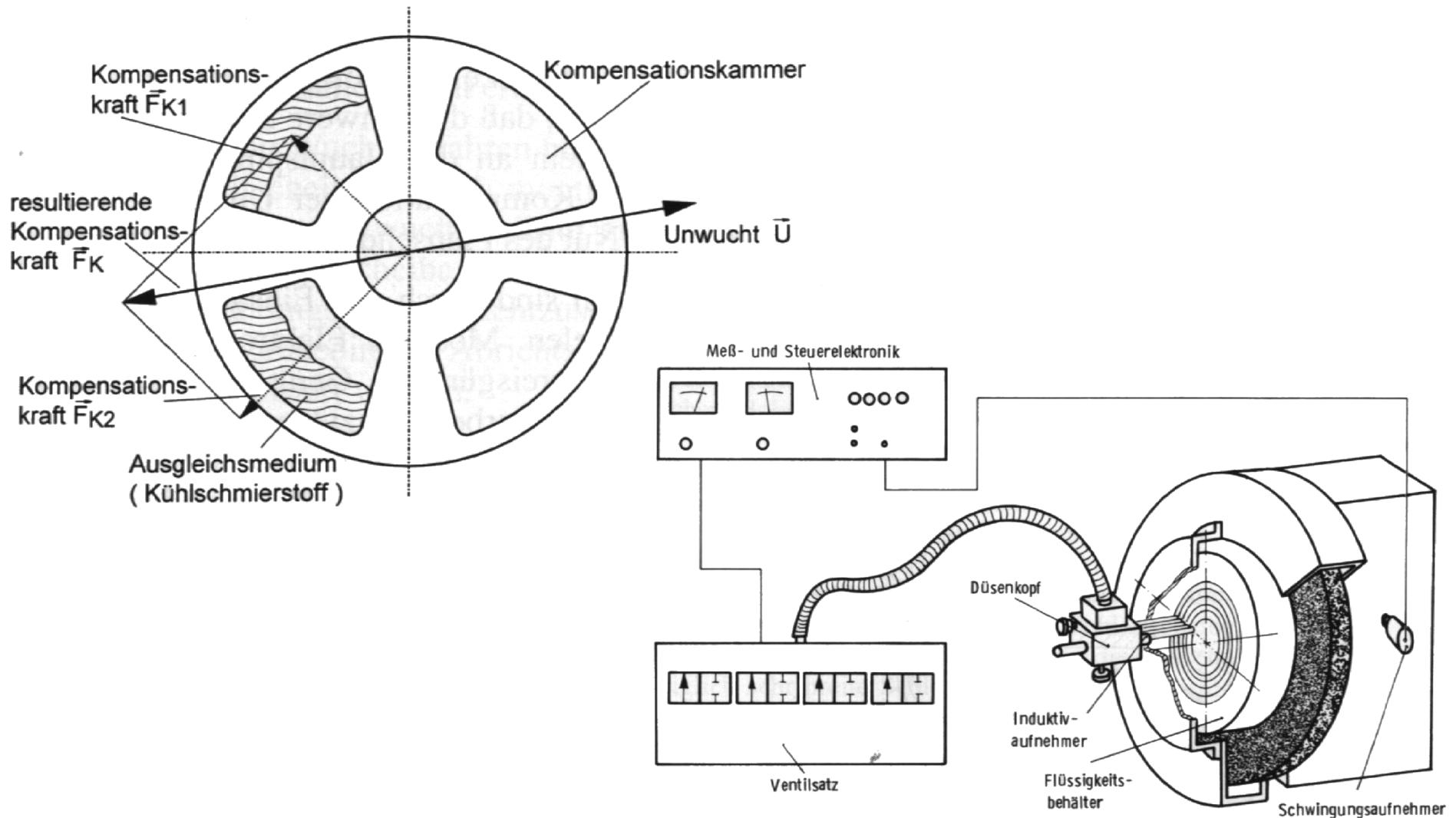
Quelle: König



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Stö 0377

Prinzip eines Stroboskopauswuchtgerätes



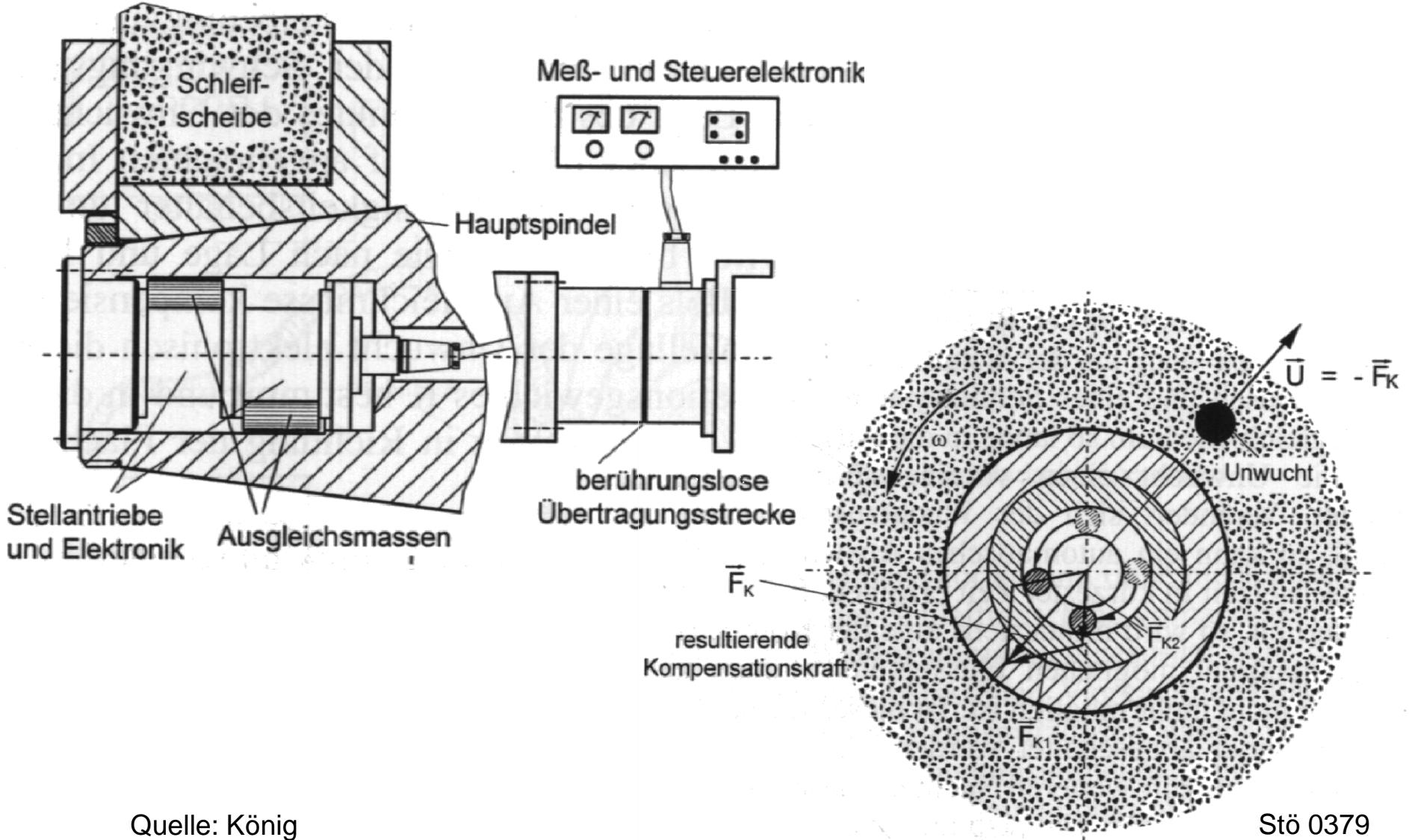
Quelle: König



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

## Aufbau eines Hydrokompenators

Stö 0378



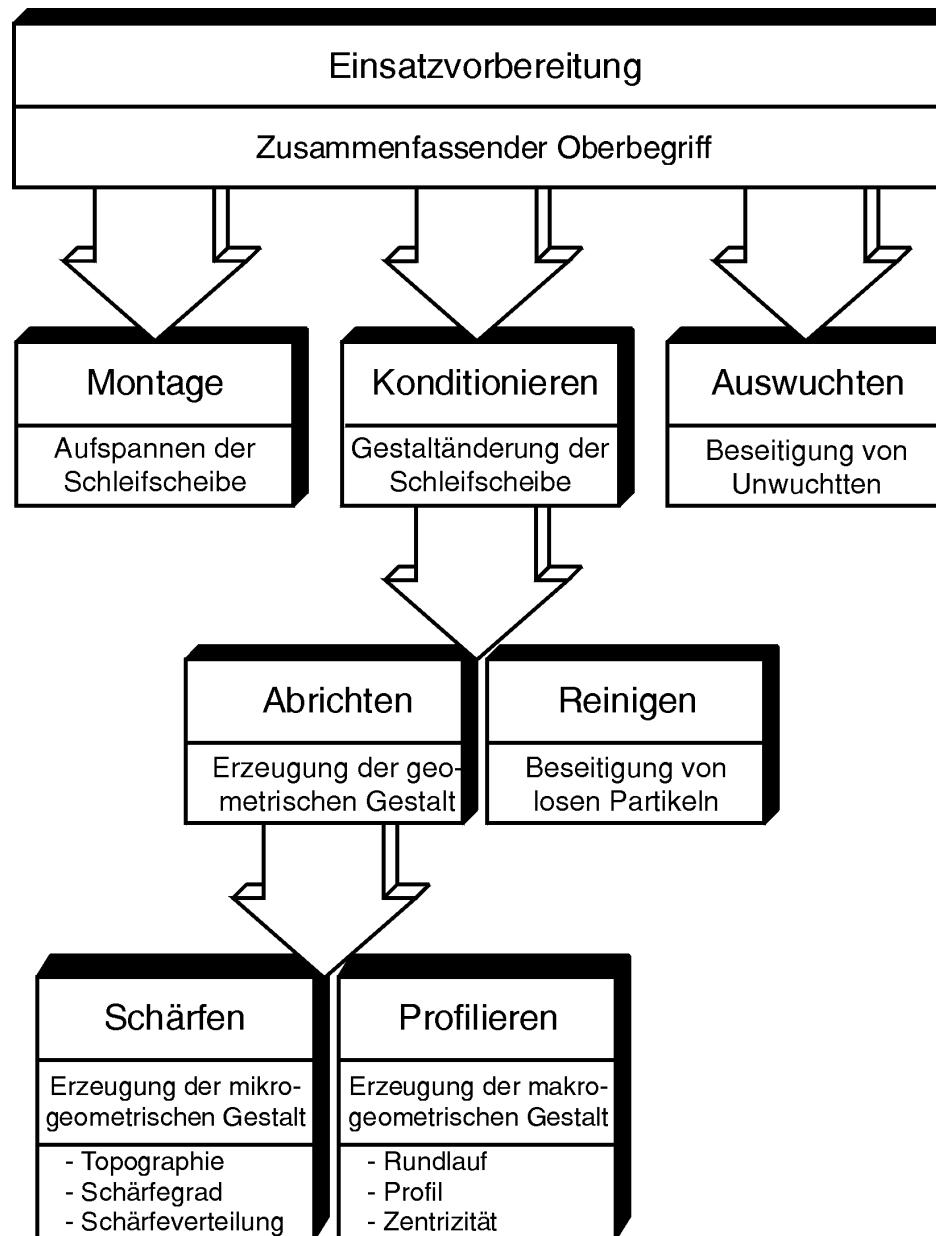
Quelle: König



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Aufbau und Funktionsweise eines elektromechanischen,  
spindelintegrierten Wuchtsystems

Stö 0379

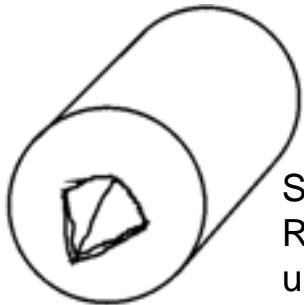


Quelle: Warnecke



## ***Einschneidige Diamant-Abrichtwerkzeuge***

**Einkorndiamant**



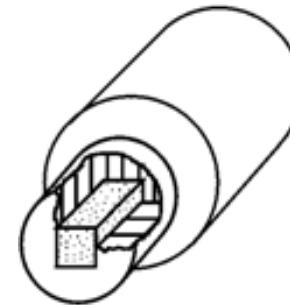
Schneidelement:  
Rohdiamant,  
ungeschliffen

**Profilabrichter**



Schneidelement:  
Naht-Dreieck-  
diamant, geschliffen

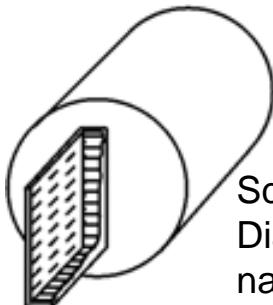
**Blockdiamant**



Schneidelement:  
Diamant, geometrisch  
bestimmt, geschliffen

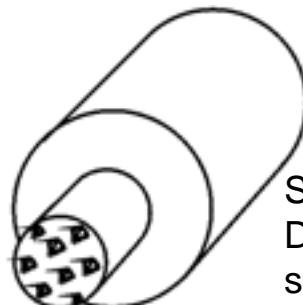
## ***Mehrschneidige Diamant-Abrichtwerkzeuge***

**Nadelplatte**



Schneidelemente:  
Diamantnadeln,  
nach Setzschemata

**Vielkornabrichter**



Schneidelemente:  
Diamantkorn,  
stochastisch verteilt

**Blockplatte**

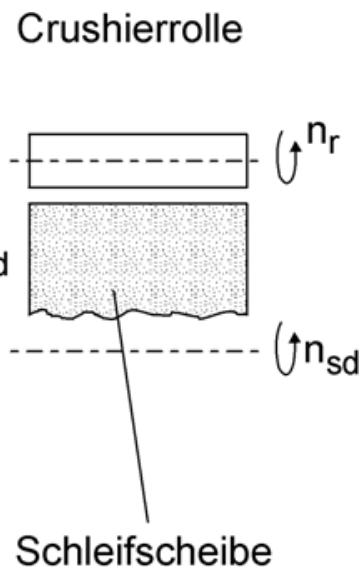
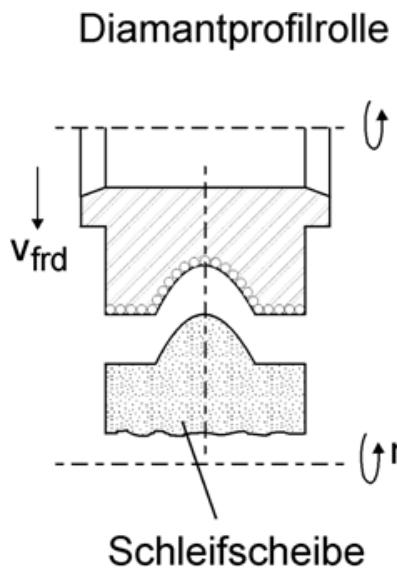


Schneidelemente:  
Diamant, geom. best.,  
nach Setzschemata

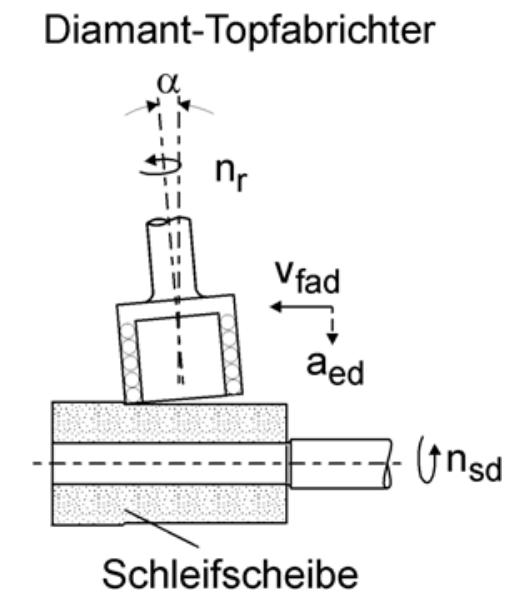
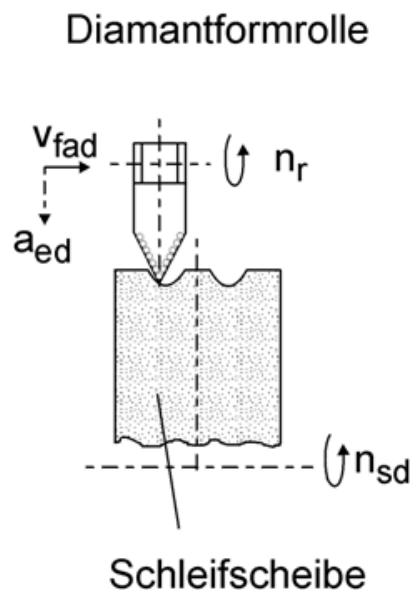
Mi 0516b



## **Profilieren**



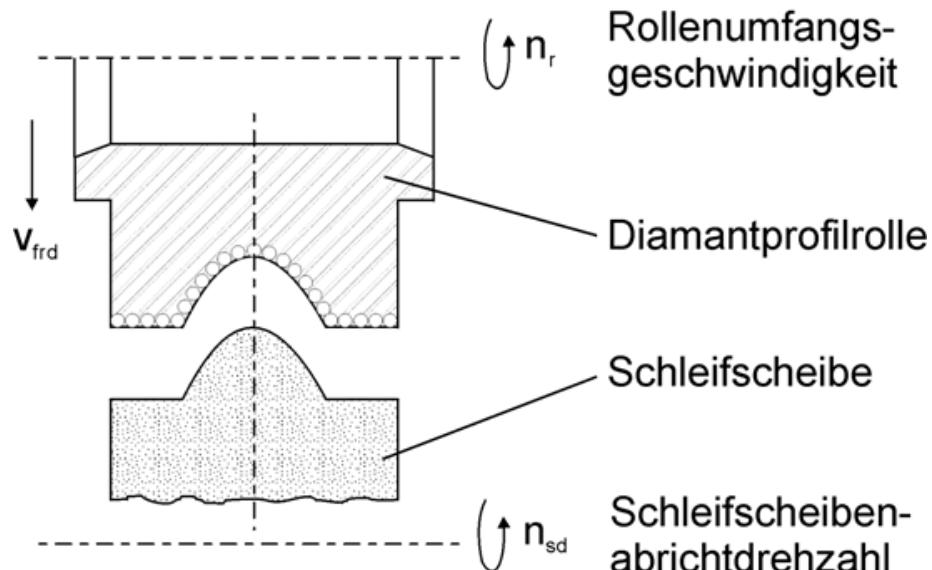
## **Formen**



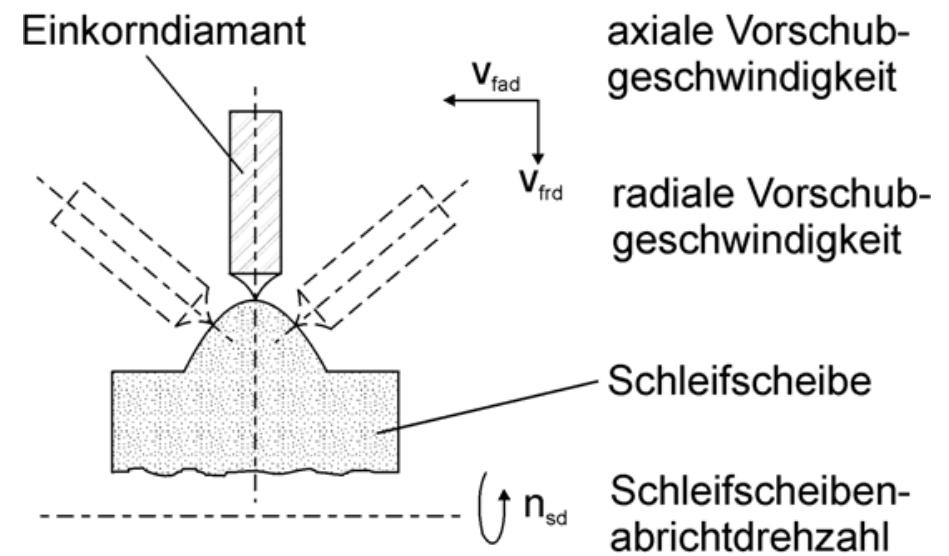
Mi 0505b

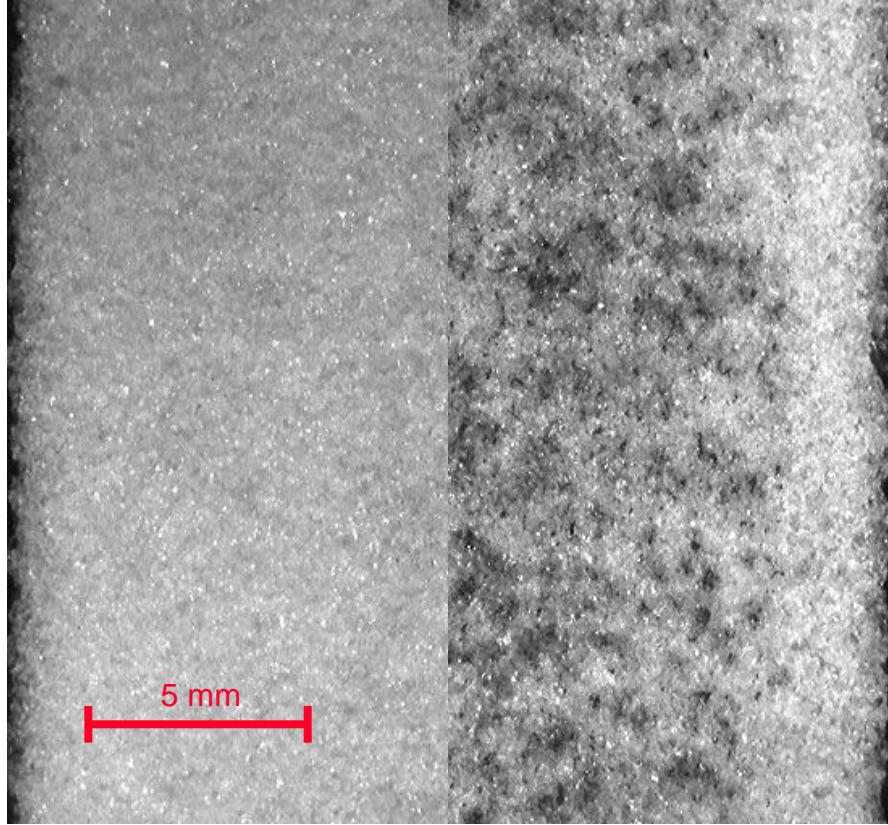


## Profilieren



## Formen

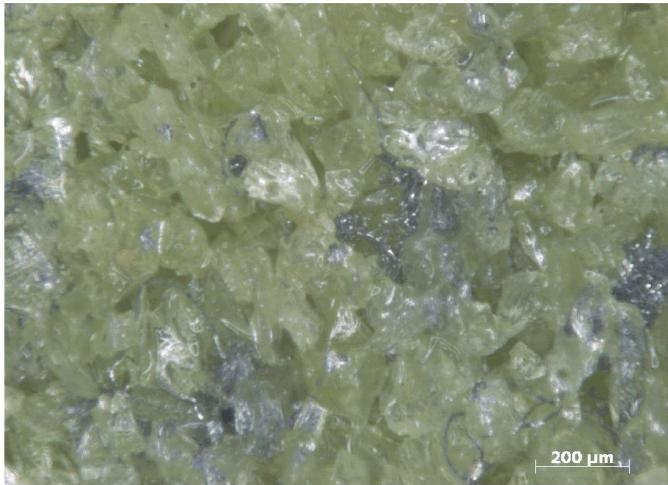




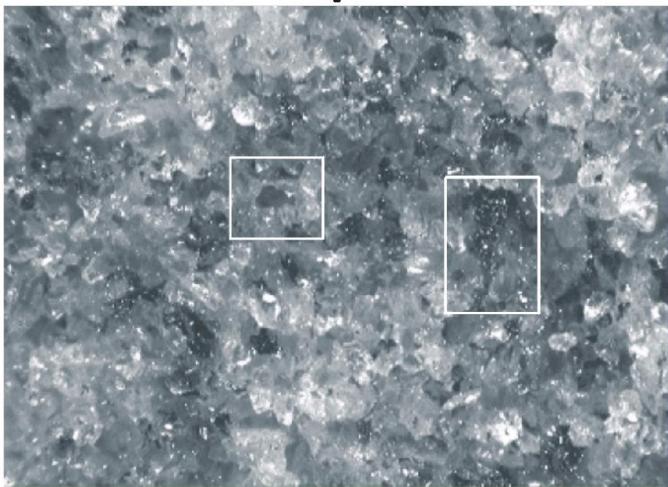
BI 0515h



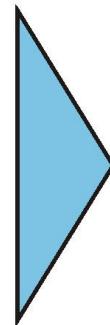
# Lichtmikroskop



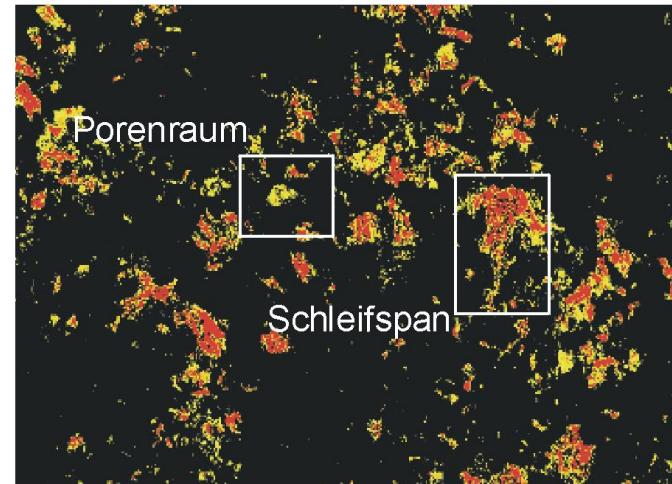
Vergleich  
↔

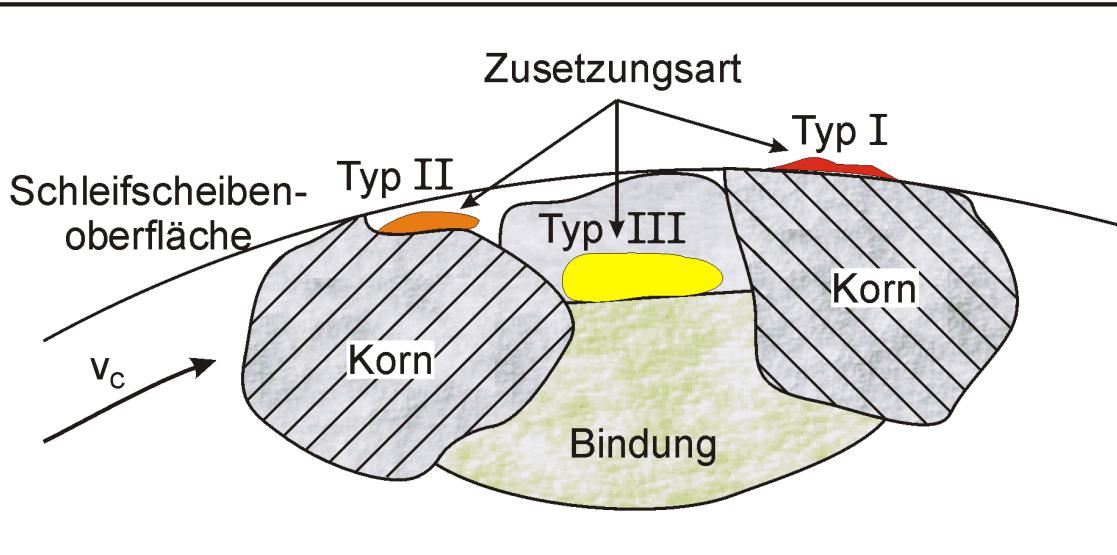


Infrarot-Aufnahme



## optische Analyse





Typ I: Aufschweißung



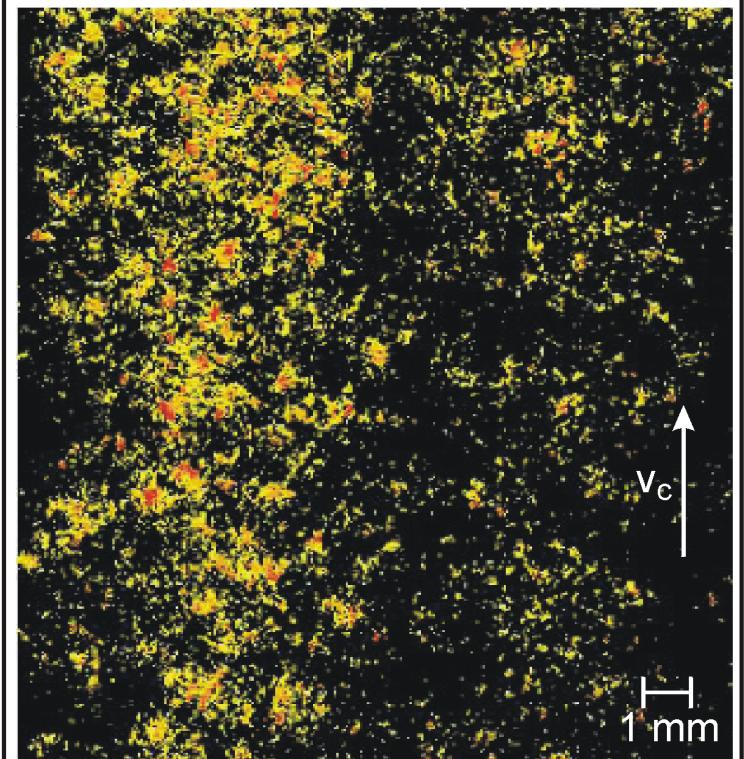
Typ II: oberflächennahe Spannester und Schleifspäne



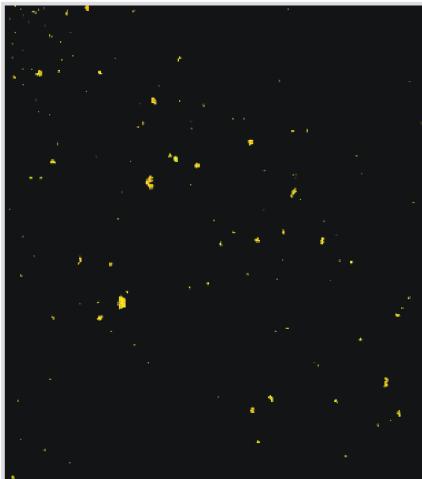
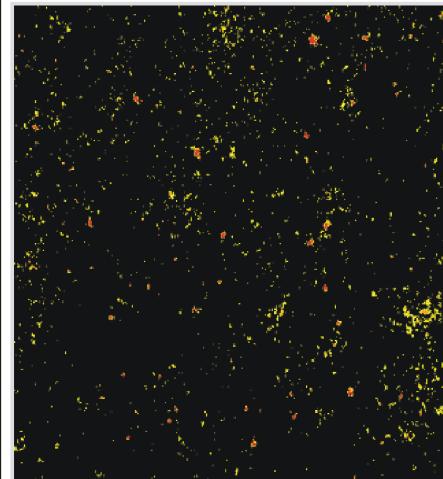
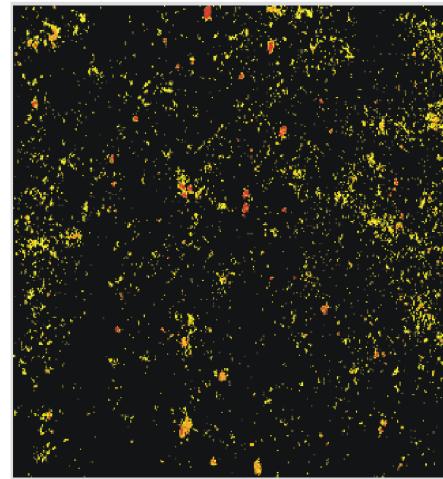
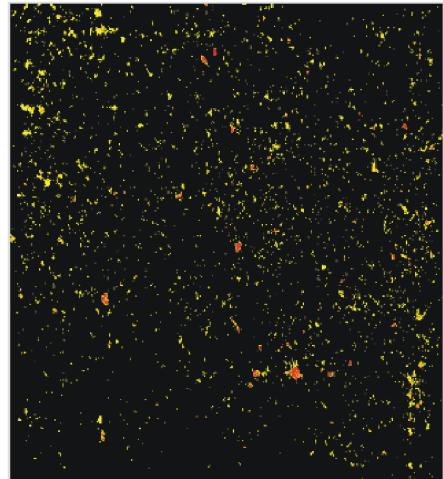
Typ III: tiefer in der Schleifscheibenstruktur liegende Spannester und Schleifspäne



nach Zusetzungsarten analysiertes Schleifwerkzeug nachdem Schleifbrand aufgetreten ist (Draufsicht)



## mit der Auswertesoftware ermittelte Ergebnisse der Reinigungswirkung

Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
			
$p = 28 \text{ bar}$ $a_{wz-d} = 29,5 \text{ mm}$ $Q_{KSS} = 20,9 \text{ l/min}$ $\text{Typ I} = 0,00 \%$ $\text{Typ II} = 0,08 \%$ $\text{Typ III} = 0,31 \%$ $a_{e, \text{ges}} = 2030 \mu\text{m}$	$p = 14 \text{ bar}$ $a_{wz-d} = 29,5 \text{ mm}$ $Q_{KSS} = 14,8 \text{ l/min}$ $\text{Typ I} = 0,15 \%$ $\text{Typ II} = 0,22 \%$ $\text{Typ III} = 2,14 \%$ $a_{e, \text{ges}} = 2030 \mu\text{m}$	$p = 7 \text{ bar}$ $a_{wz-d} = 29,5 \text{ mm}$ $Q_{KSS} = 10,5 \text{ l/min}$ $\text{Typ I} = 0,24 \%$ $\text{Typ II} = 0,77 \%$ $\text{Typ III} = 4,25 \%$ $a_{e, \text{ges}} = 1820 \mu\text{m}$	$p = 14 \text{ bar}$ $a_{wz-d} = 41 \text{ mm}$ $Q_{KSS} = 14,8 \text{ l/min}$ $\text{Typ I} = 0,13 \%$ $\text{Typ II} = 0,35 \%$ $\text{Typ III} = 3,68 \%$ $a_{e, \text{ges}} = 1830 \mu\text{m}$

BI 0565b





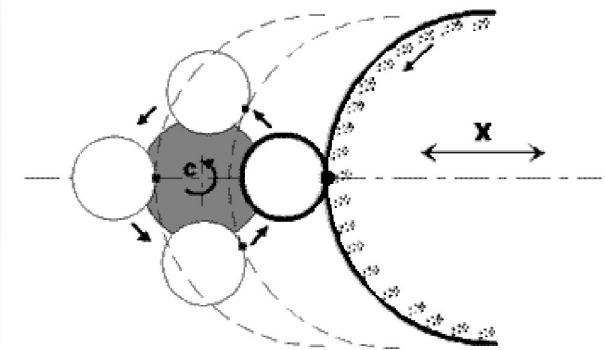
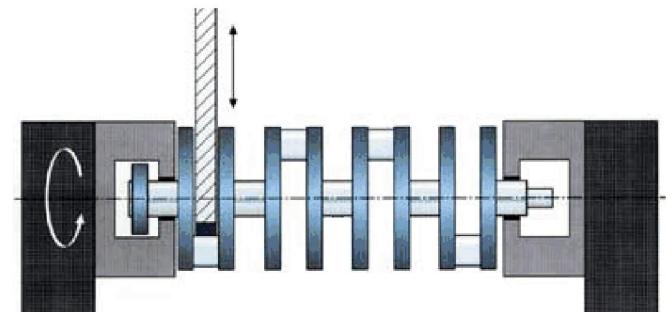
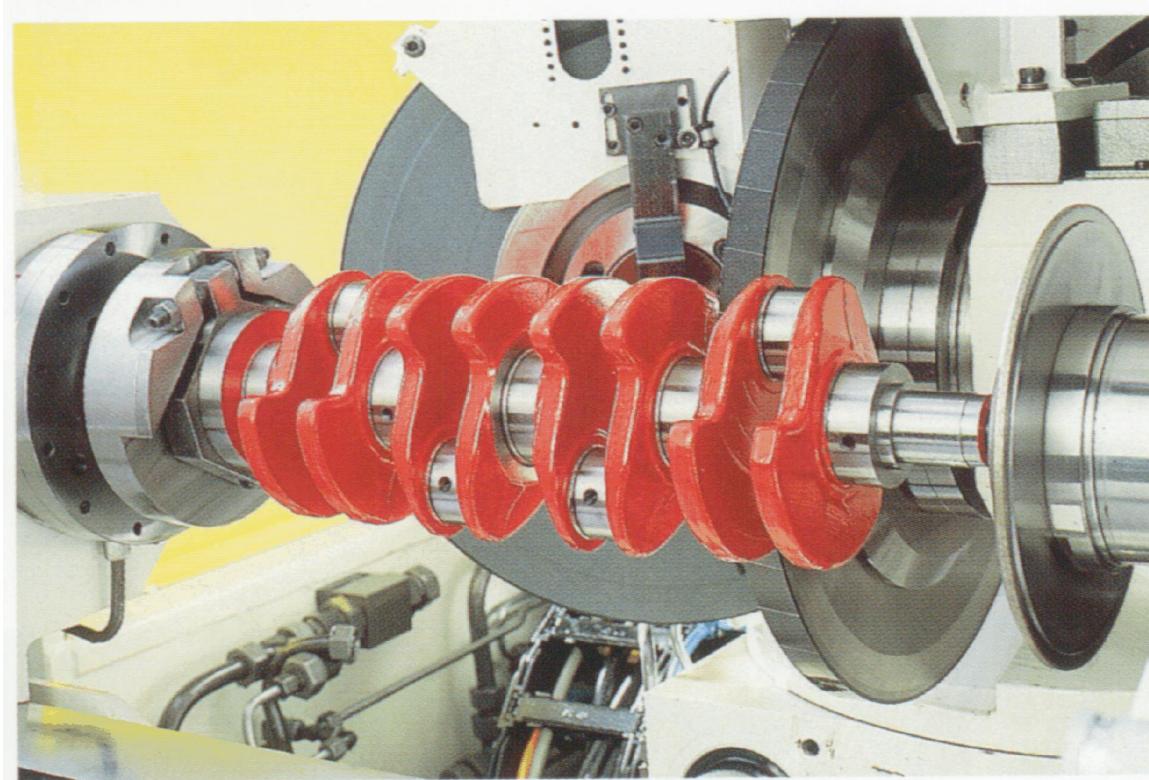
Quelle: Schaudt



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Giw 437b

Innenrund-Schleifen eines Getrieberades



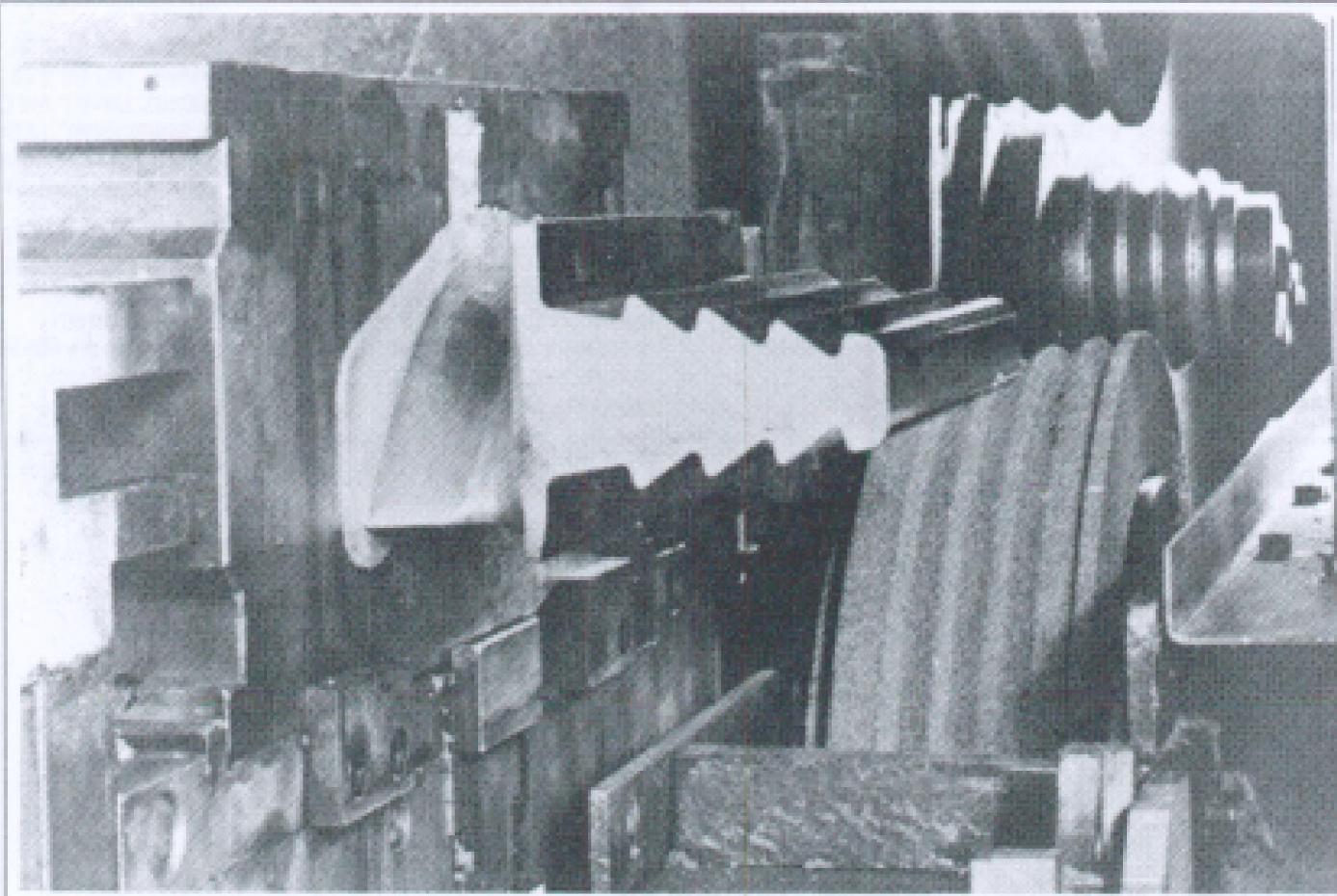
Quelle: Junker



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Stö 0381

Außenrund-Schleifen eines Kurbelwellenhubzapfens



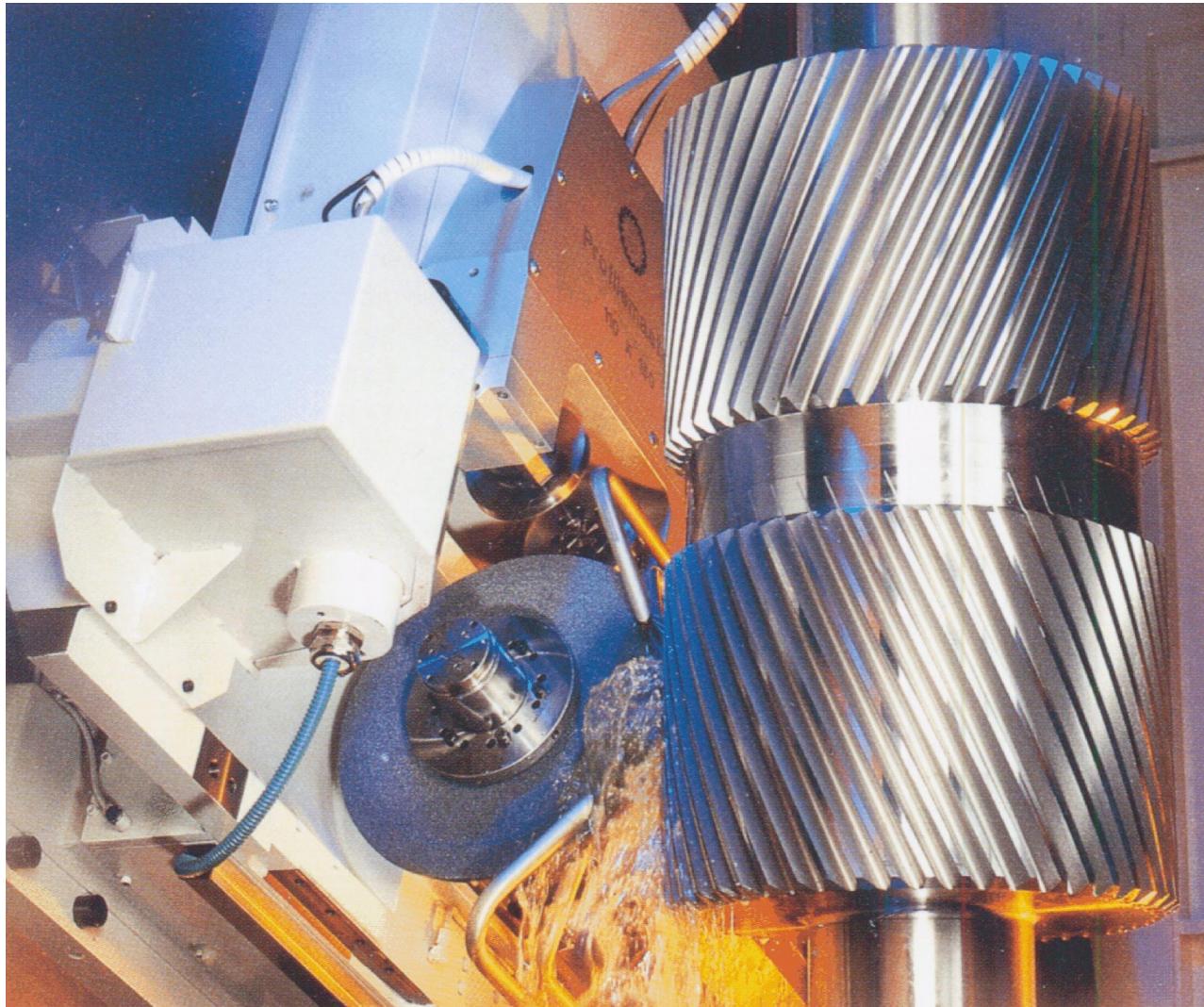
Quelle: Siemens / KWU

Giw 436b



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

CD-Schleifen einer Turbinenschaufel



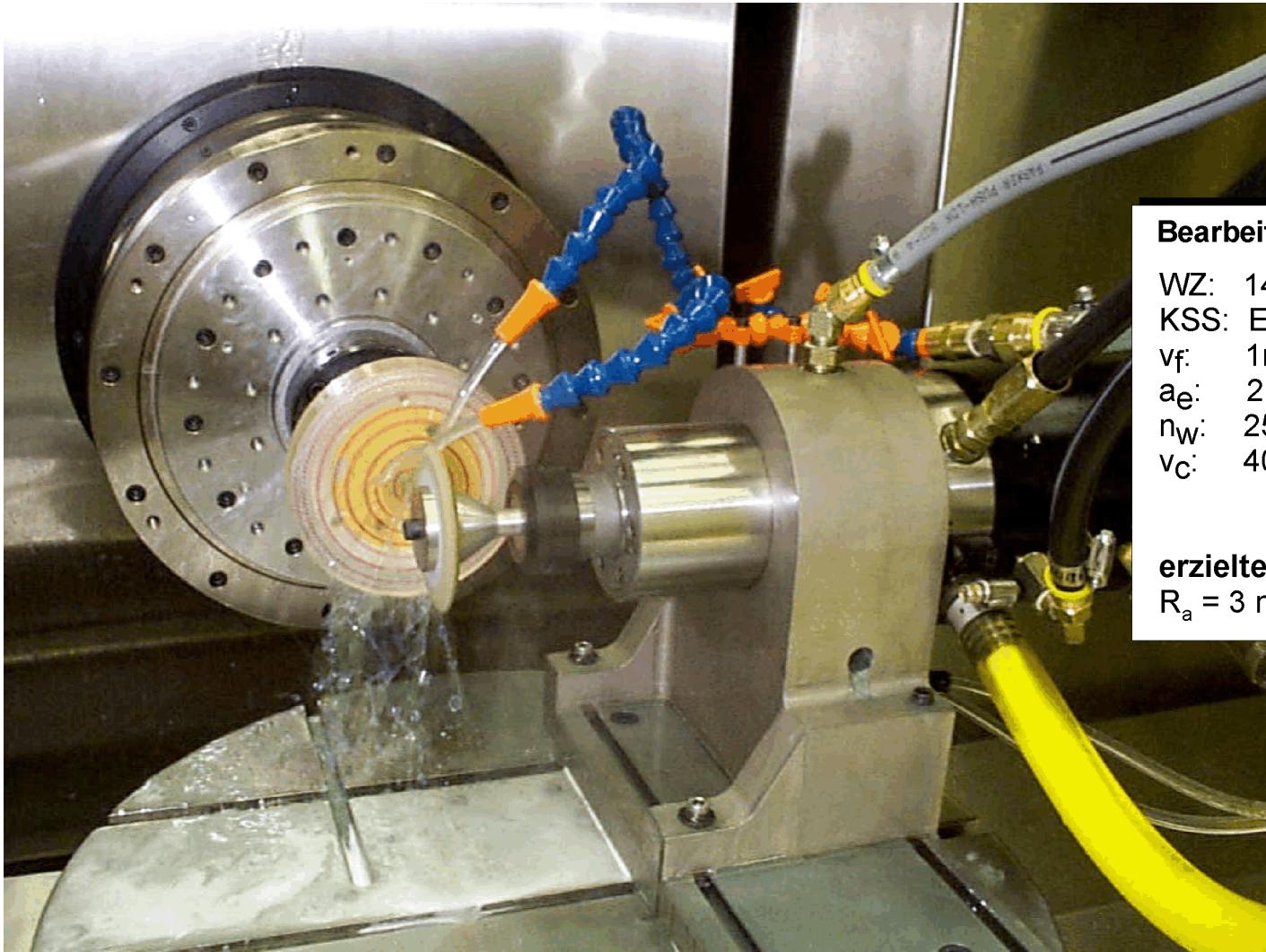
Quelle: Gleason-Pfauter

Giw 438



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Verzahnungsschleifen

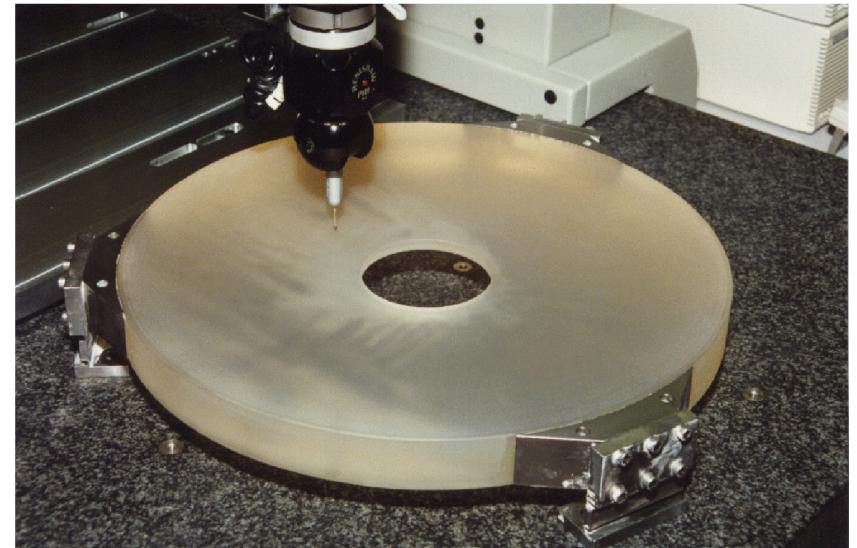
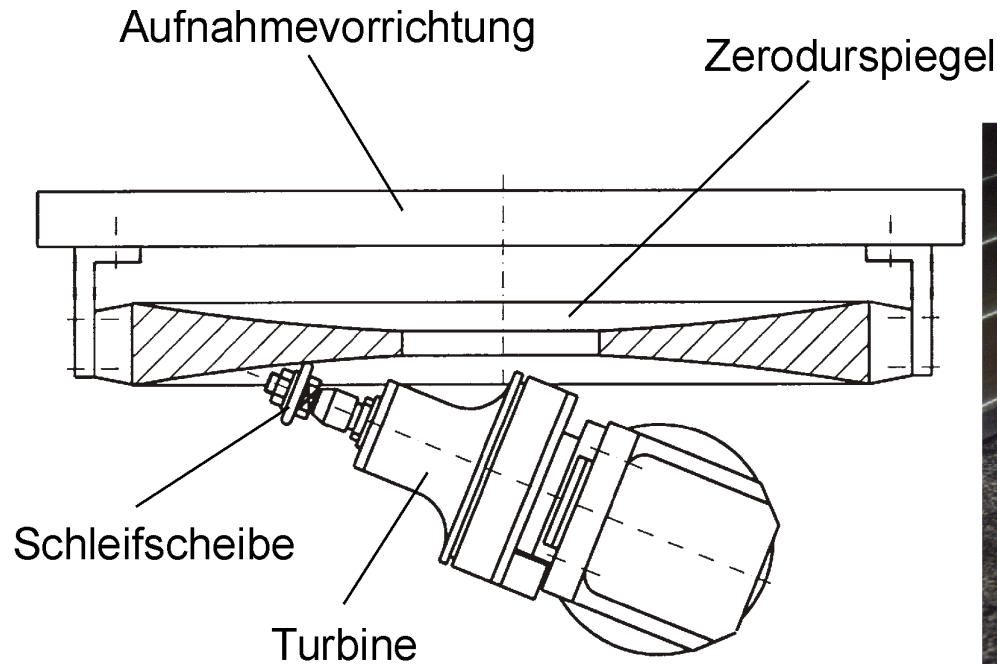


#### Bearbeitungsparameter

WZ: 14E1 D3 K-plus 888F C100  
KSS: Emulsion 3%  
 $v_f$ : 1mm/min  
 $a_e$ : 2 µm  
 $n_w$ : 250 1/min  
 $v_c$ : 40 m/s

erzielte Oberflächengüte  
 $R_a = 3 \text{ nm}$

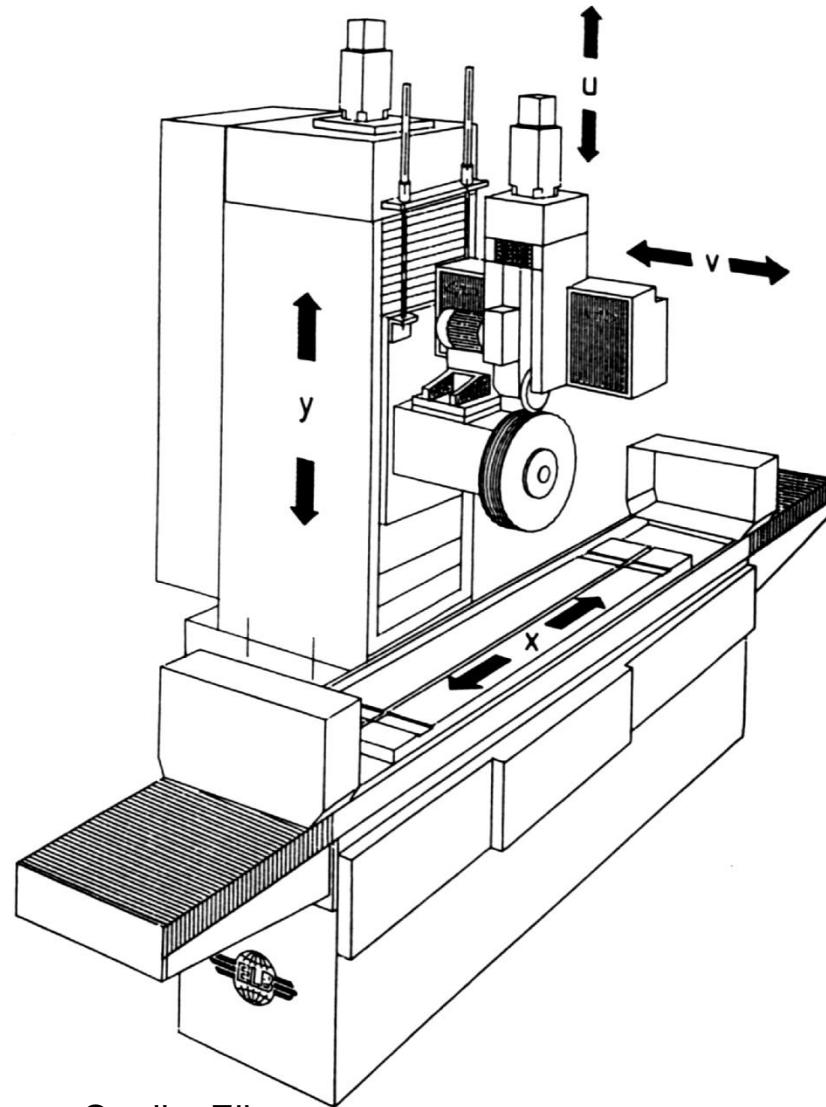




Spiegeldurchmesser: 450 mm  
erzielte Formtreue: 2,9 µm  
Fertigungszeit: 165 min

Ma 0127q





x, y: translatorische Bewegungen der Schleifscheibe

u, v: translatorische Bewegungen des Abrichtwerkzeugs

Quelle: Elb

Giw 307



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Aufbau einer Planschleifmaschine

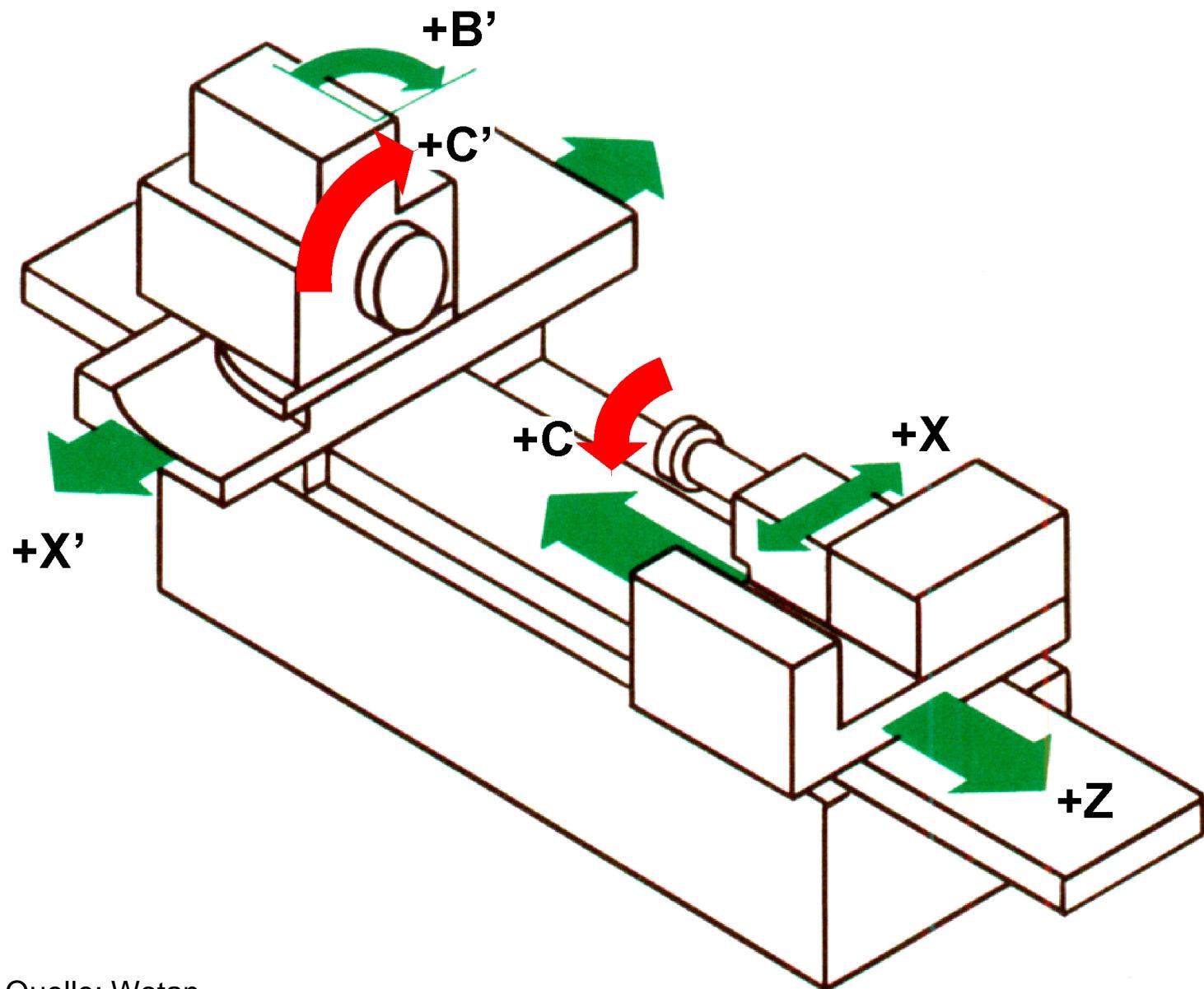


Ber 0150



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Maschinenbrand (2010)



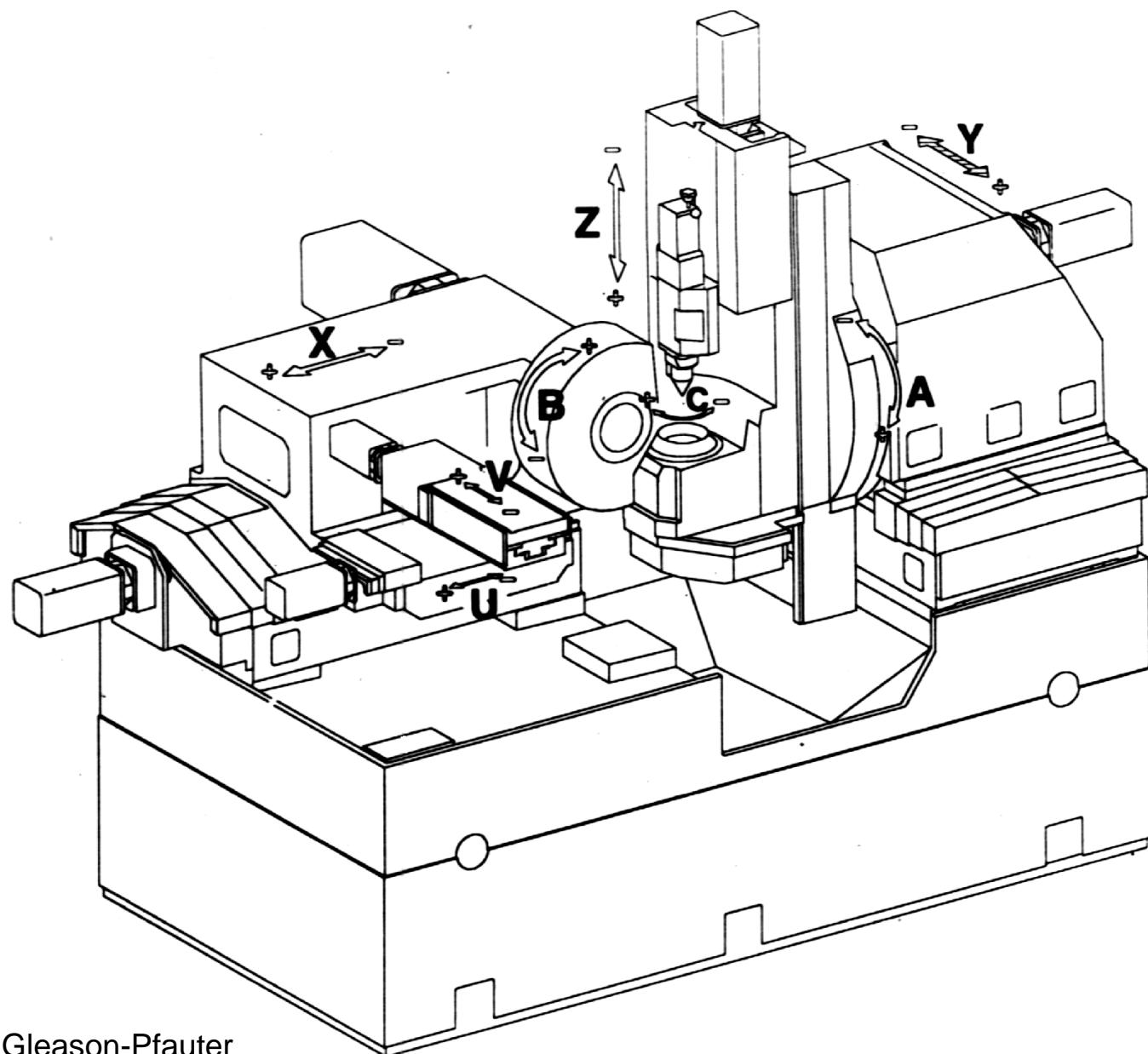
Quelle: Wotan



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Giw 440b

Konzept einer Werkzeugmaschine  
zum Innenrund-Schleifen



Quelle: Gleason-Pfauter

Giw 439



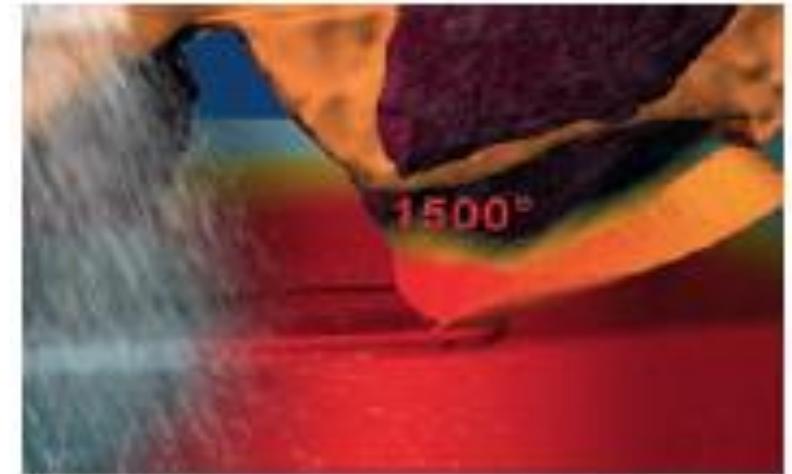
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Konzept einer Werkzeugmaschine  
zum Verzahnungsschleifen

**Schleifbrand** ist ein Sammelbegriff  
für temperaturverursachte Schädigungen an geschliffenen Flächen.

Örtliche Temperaturen bis zu 1500°C

- Schädigungen bzgl. der Härte
- Schädigung bzgl. des Gefüges
- Ausbildung der Zug-Eigenspannung an der Oberfläche



Quelle: SCHAEFFLER GRUPPE

Lor 0013



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Schleifbrand – Was ist das?

Das lokale Einwirken hohen Temperatoren auf der Bauteiloberfläche

→ Volumenverringerung der überhitzen Zonen

Volumenausgleich durch Ausdehnen der obersten Schicht

→ Spannung-Zugspannung → Risse



Temperatureinwirkung → „Anlassen“

→ Härtereduktion / Gefügeänderung

→ „Neuhärten“ → „weiße Schicht“



Quelle: SCHAEFFLER GRUPPE



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Lor 0014

Schleifbrand - Ursachen

## Möglichkeiten zur Vermeidung von Schleifbrand:

- Kühlschmierung

- schnelle und sichere Abfuhr der erzeugten Wärme
- Reduzierung der Reibung → Reduzierung der Wärmemenge

- Schleifscheibentopographie

- gute Splitterfähigkeit des Korns
- geeignetes Zurücksetzen der Bindung
- gute Haltekräfte der Bindung

→ Selbstschärfung      → Abrichten

- Schleifvorschübe

zu hohe Vorschübe → überquellende Spanräume → erhöhte Reibung

- Schnittgeschwindigkeiten

hohe Umfangsgeschwindigkeit → Verringerung der Spanungstiefe

→ geringe Rautiefe ABER Anstieg der erzeugten Wärmemenge

Quelle: SCHAEFFLER GRUPPE

Lor 0015



## Zerstörungsfreie Prüfmethoden:

- **Schleifbrandätzen mit verdünnter Salpetersäure**

Nachweis der Änderung der Gefügezustände

- **Magnetpulverprüfung**

Nachweis von Rissen an der Werkstückoberfläche

- **Wirbelstromprüfung**

Nachweis von Gefügeänderung

- **Barkhausen-Rauschen**

Nachweis von Zug-Eigenspannung und Gefügeänderung

## **Tiefätzen mit Salzsäure**

- zerstörendes Prüfverfahren
- Nachweis von Zug-Eigenspannung

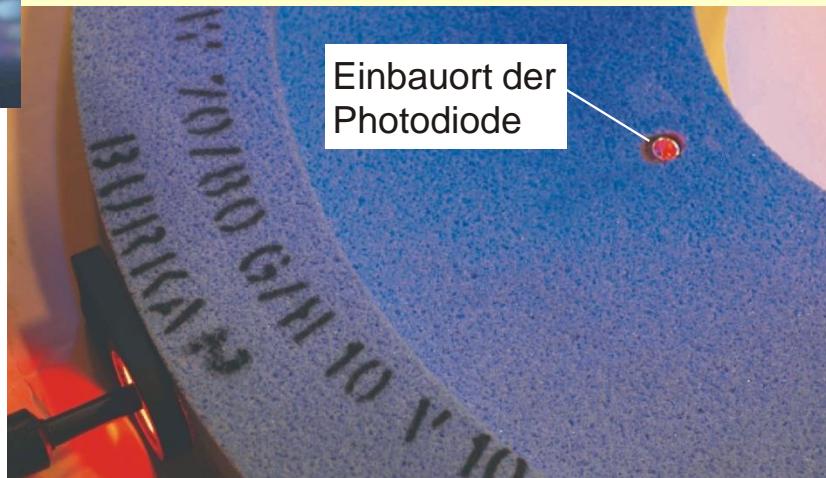
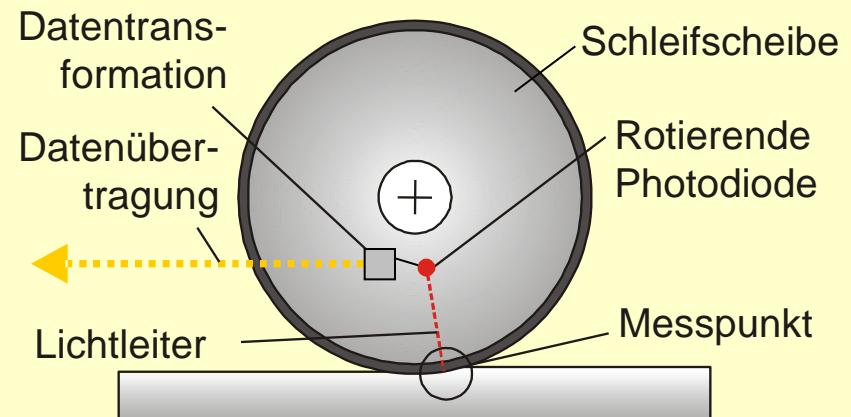
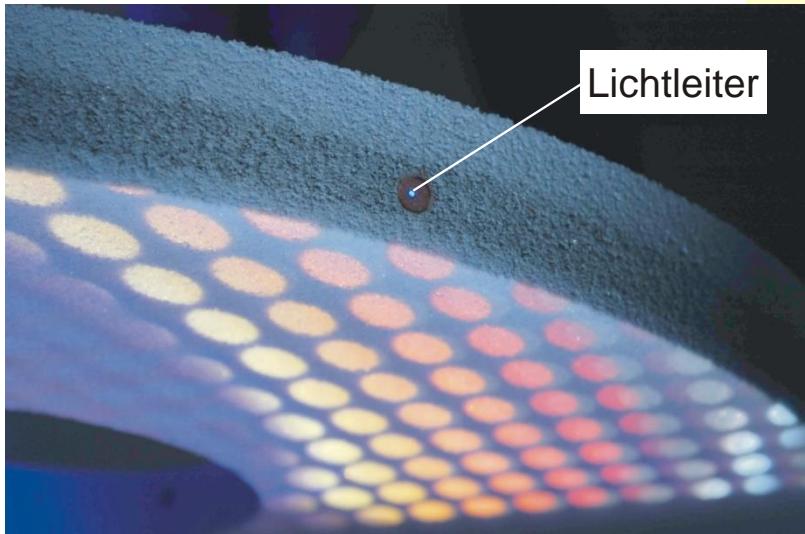
Quelle: SCHAEFFLER GRUPPE

Lor 0016



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Schleifbrand - Prüfmethoden



Schacht-Audorf  
Schleswig-Holstein  
Deutschland

Boh 0012

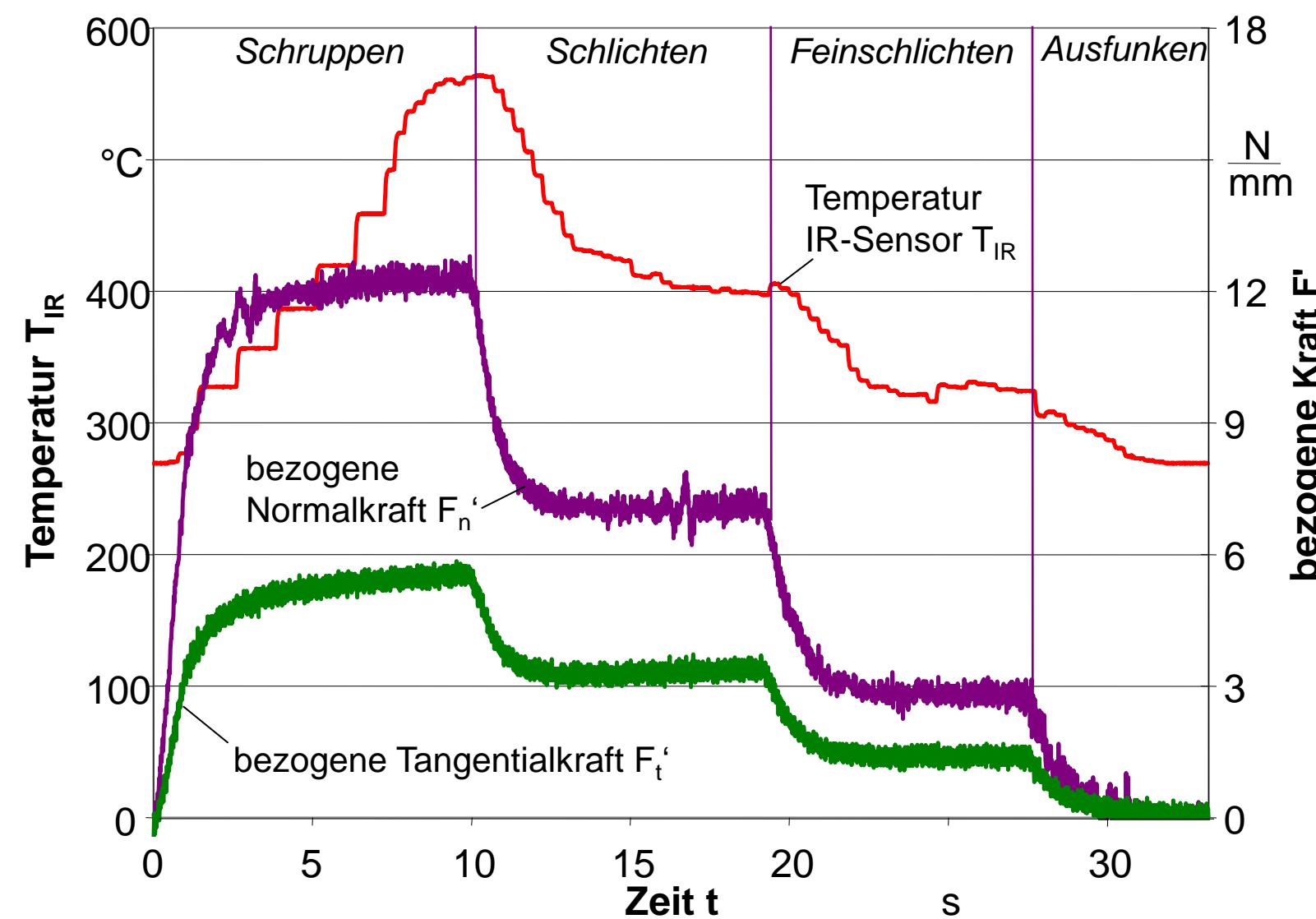


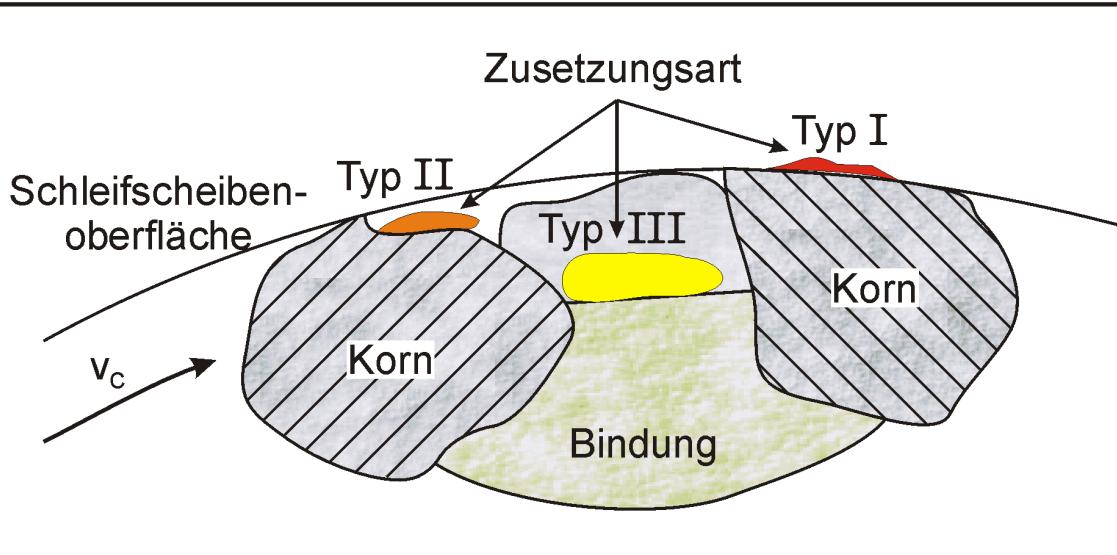
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Aufbau einer werkzeugintegrierten  
Temperaturmessung mit Photodiode

**Werkstück:**  
 18 CrNiMo 7-6  
 $d_w = 96,22 \text{ mm}$   
 $b = 15 \text{ mm}$   
**Schleifscheibe:**  
 EKw 80 K 8 V 10  
**Prozess:**  
 Außenrund  
 $v_c = 30 \text{ m/s}$   
 $n_w = 80 \text{ min}^{-1}$   
**Schruppen:**  
 $v_{fr} = 1,5 \text{ mm/min}$   
 $a_{e.schr} = 0,40 \text{ mm}$   
**Schlitten:**  
 $v_{fr} = 0,8 \text{ mm/min}$   
 $a_{e.schl} = 0,16 \text{ mm}$   
**Feinschlitten:**  
 $v_{fr} = 0,3 \text{ mm/min}$   
 $a_{e.fschl} = 0,04 \text{ mm}$   
**Ausfunken:**  
 $t = 8 \text{ s}$   
**KSS:**  
 $Q_{KSS} = 8,5 \text{ l/min}$   
**Mineralöl**

AWI0091





Typ I: Aufschweißung



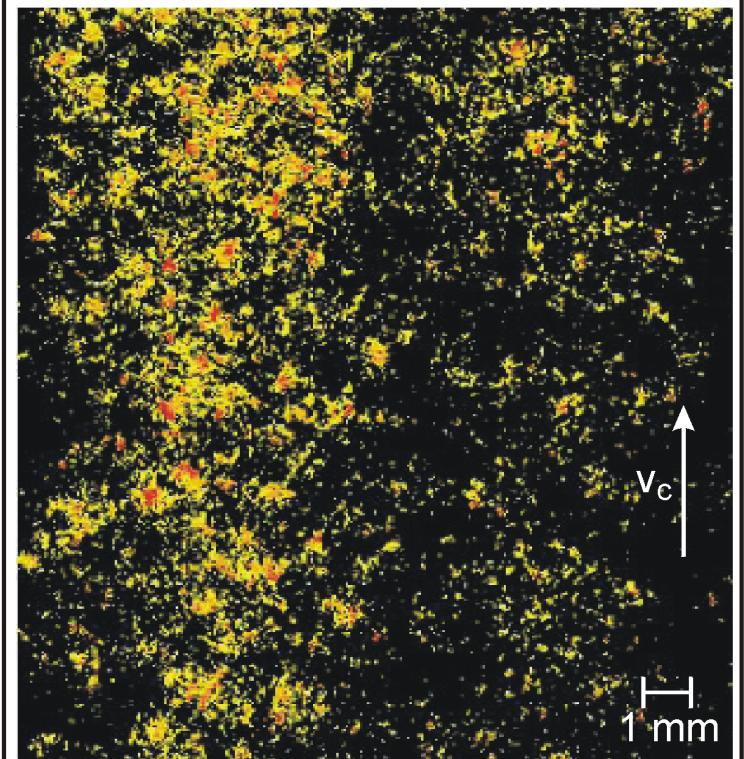
Typ II: oberflächennahe Spannester und Schleifspäne

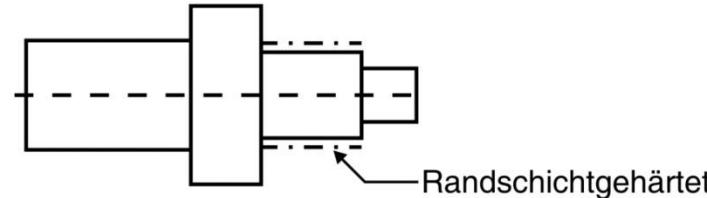


Typ III: tiefer in der Schleifscheibenstruktur liegende Spannester und Schleifspäne

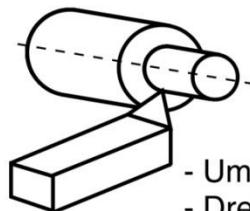


nach Zusetzungsarten analysiertes Schleifwerkzeug nachdem Schleifbrand aufgetreten ist (Draufsicht)





### Weichbearbeitung

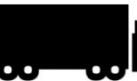


- Umformen
- Drehen
- Fräsen
- Verzahnen
- u. a.

### Wärmebehandlung



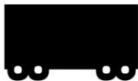
- Lagern
- Transportieren



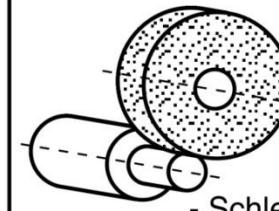
### Hartbearbeitung



- Lagern
- Transportieren

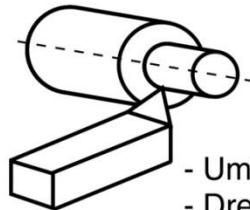


### Hartbearbeitung



- Schleifen
- Honen
- Hartdrehen
- u. a.

### Weichbearbeitung



- Umformen
- Drehen
- Fräsen
- Verzahnen
- u. a.

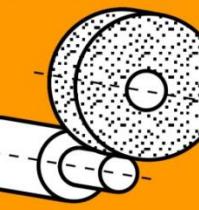
### Schleifhärten



- Lagern
- Transportieren

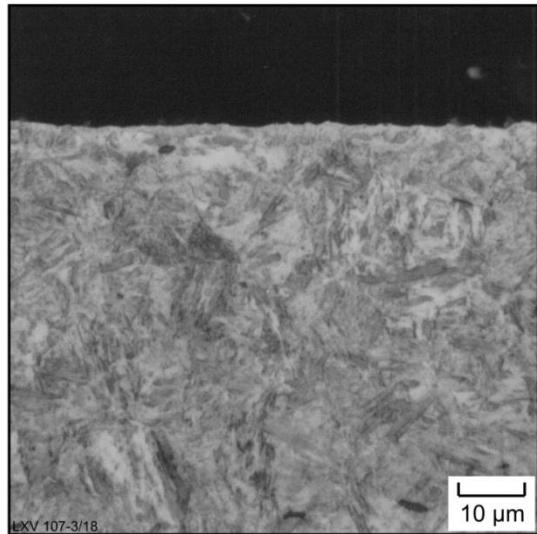
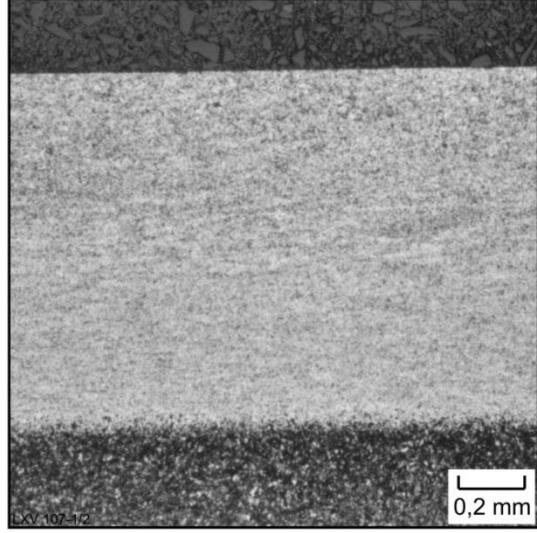


### Schleifhärten



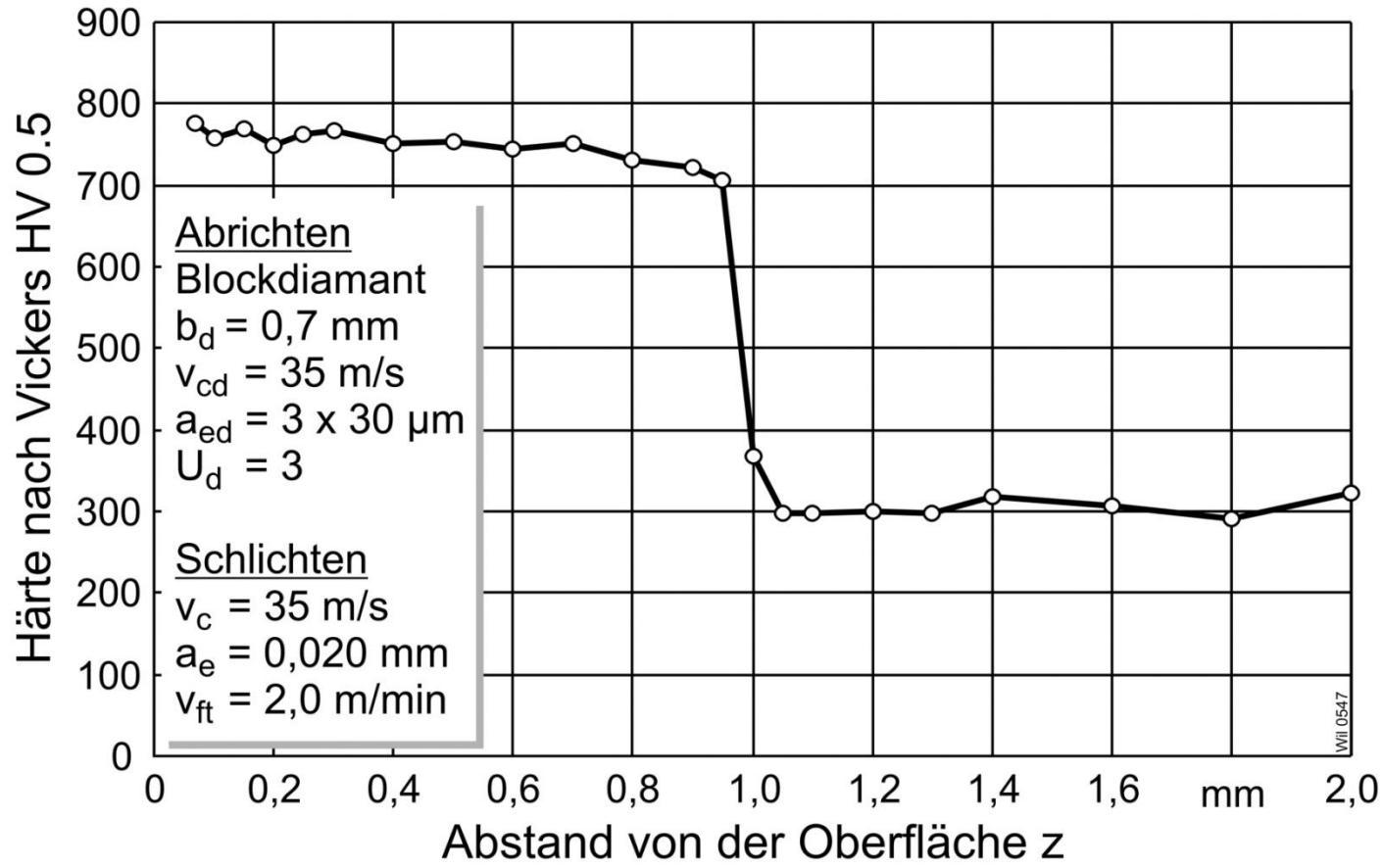
Schleifhärten,  
und Finishen

**Zeit- und Kostenreduzierung**



Ätzmittel: 3%ige alk. HNO<sub>3</sub>

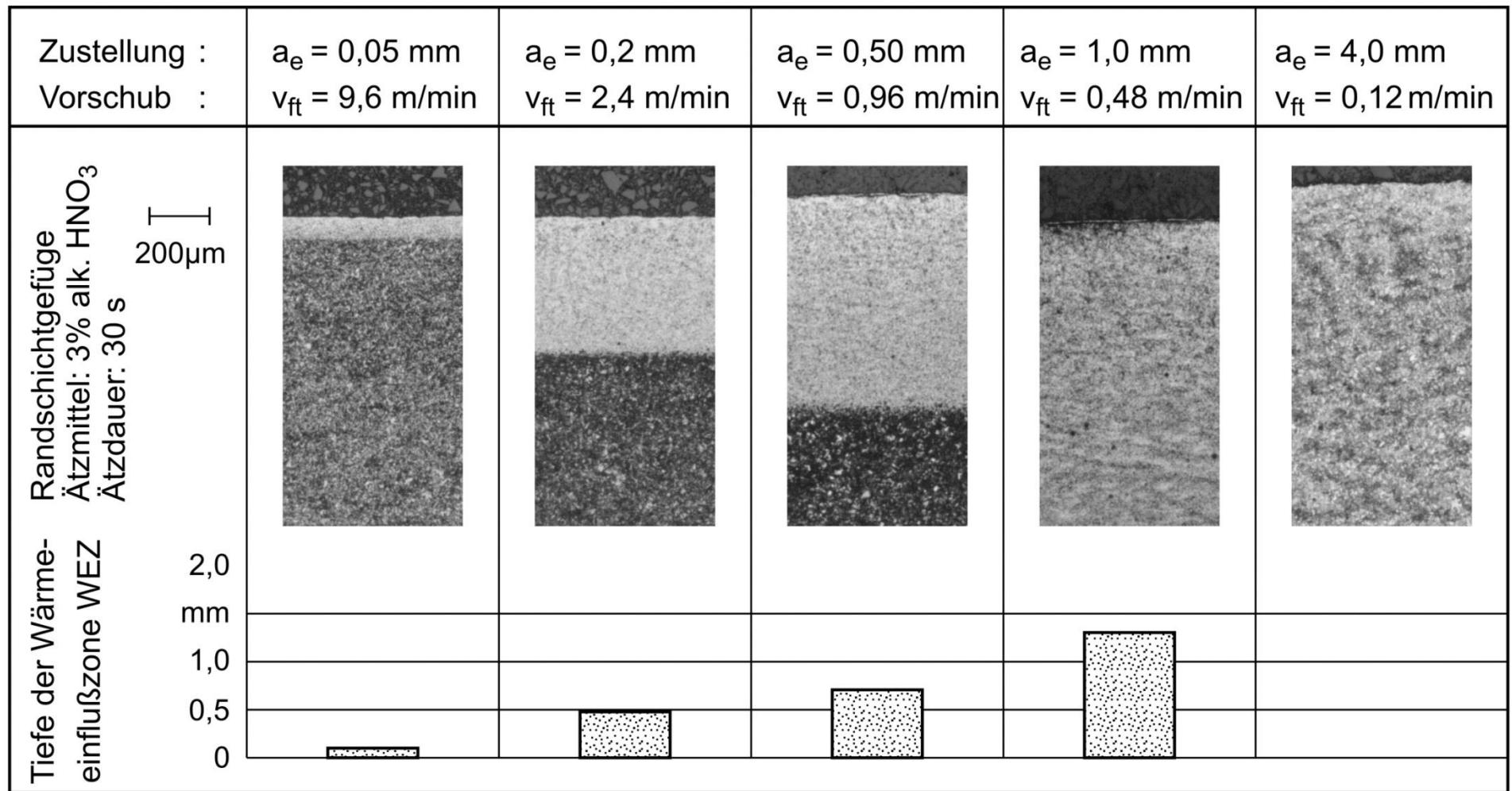
Prozeß: Plan-Umfangs-Querschleifen Werkstoff: 42CrMo4, 26 HRC  
Schleifscheibe: HK 80 Jot9 V Schnittgeschw.:  $v_c = 35 \text{ m/s}$   
Kühlschmierstoff: Emulsion; 4,5% Zustellung:  $a_e = 0,5 \text{ mm}$   
KSS-Volumenstrom:  $Q_{\text{KSS}} = 60 \text{ l/min}$  Vorschubgeschw.:  $v_{ft} = 0,6 \text{ m/min}$



Wil 0547

Wil 0547

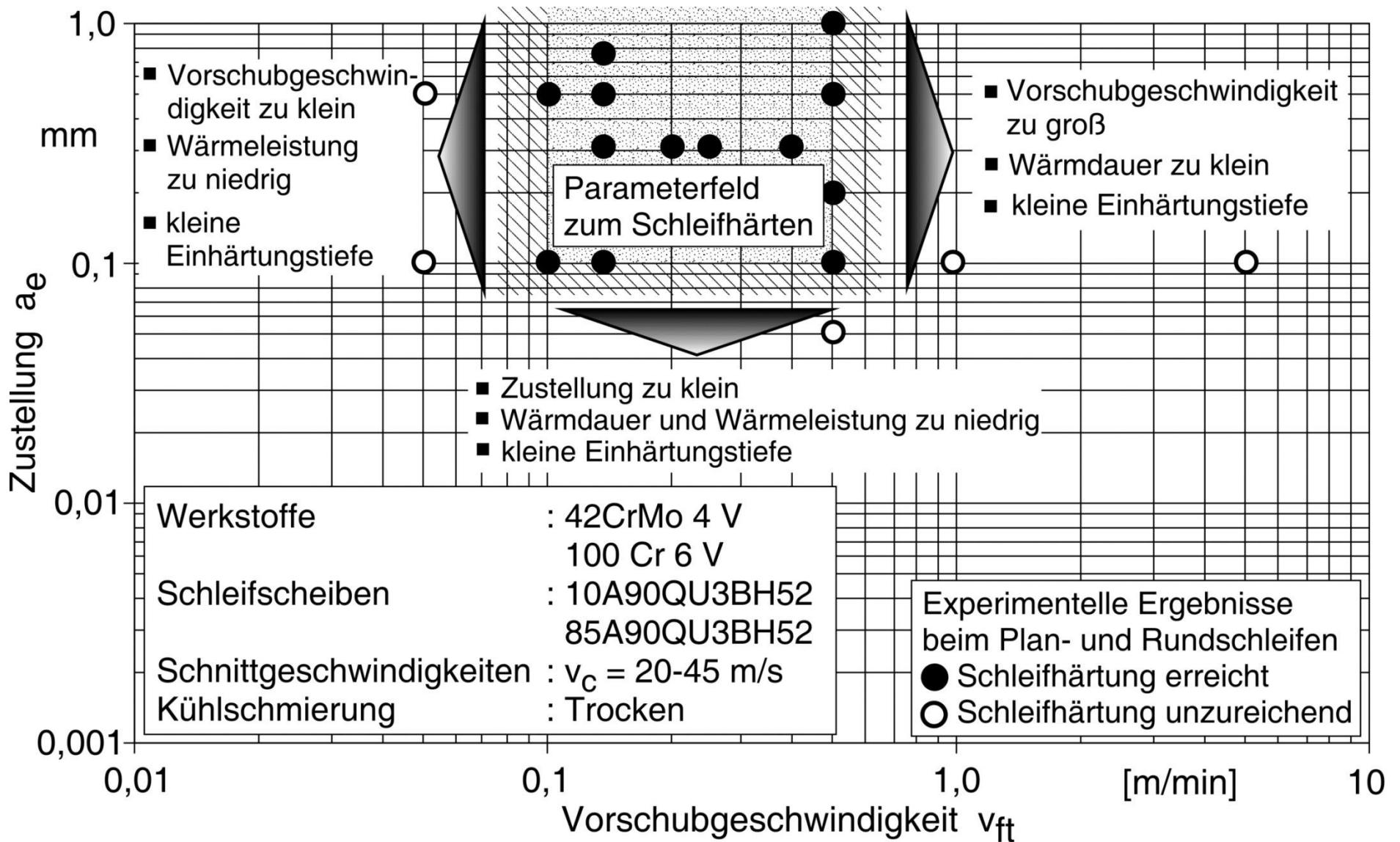




Prozeß : Planschleifen      Schnittgeschwindigkeit :  $v_c = 35 \text{ m/s}$   
 Werkstoff : 42CrMo4 (26 HRC)      bez. Zeitspanvolumen :  $Q'_w = 8,0 \text{ mm}^3/(\text{mm} \cdot \text{s})$   
 Schleifscheibe : A 1201 L5 B      Kühlschmierstoff : Emulsion 4,5 %

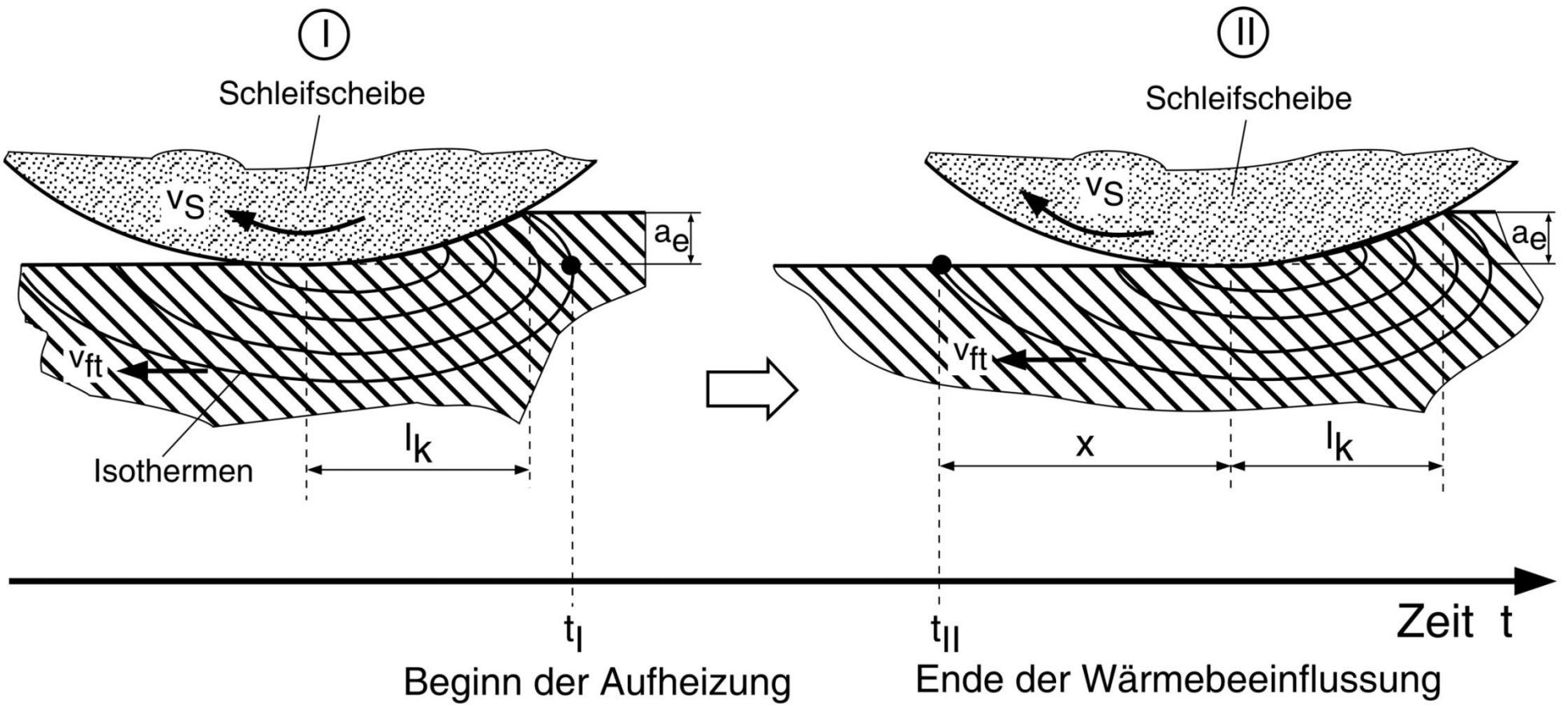
Wil 0328





Bro 0365





$$WD = t_{II} - t_I \approx \frac{l_k + x}{v_{ft}}$$

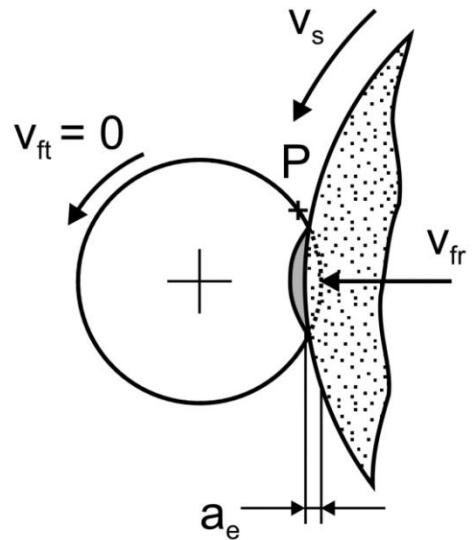
$v_{ft}$  : Vorschubgeschwindigkeit [variabel]

$l_k$  : Kontaktlänge, Fkt.( $a_e$ ,  $d_{eq}$ ) [variabel]

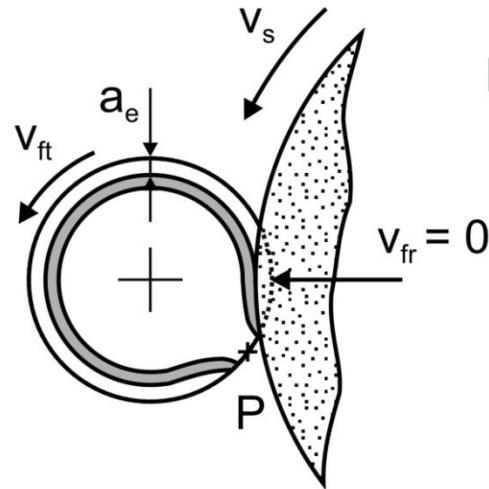
$x$  = Fkt.( $\lambda$ ,  $c$ ,  $a_e$ ,  $v_{ft}$ , ...) [komplexer Zusammenhang]

Bro 0362

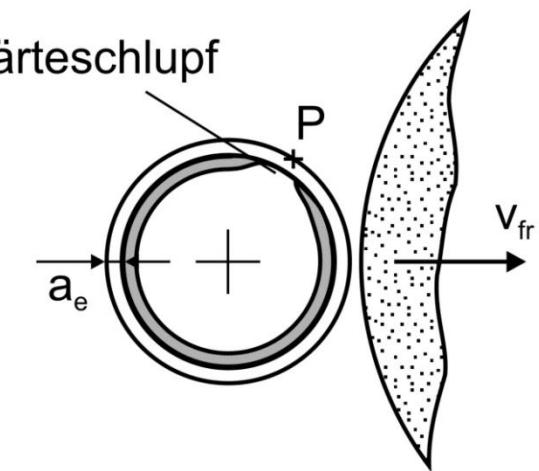




1. Einstechen



2. Schleifhärten  
des Umfangs



3. Härteschlupf im  
Überlappungsbereich



wärmebehandeltes  
Gefüge

# Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

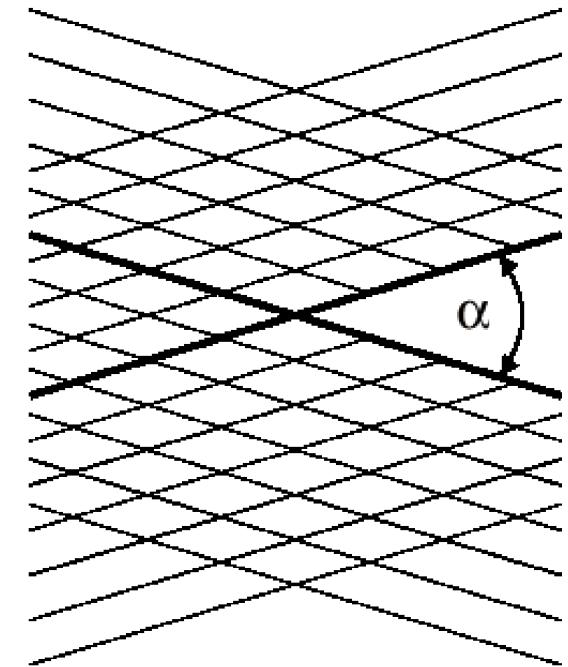
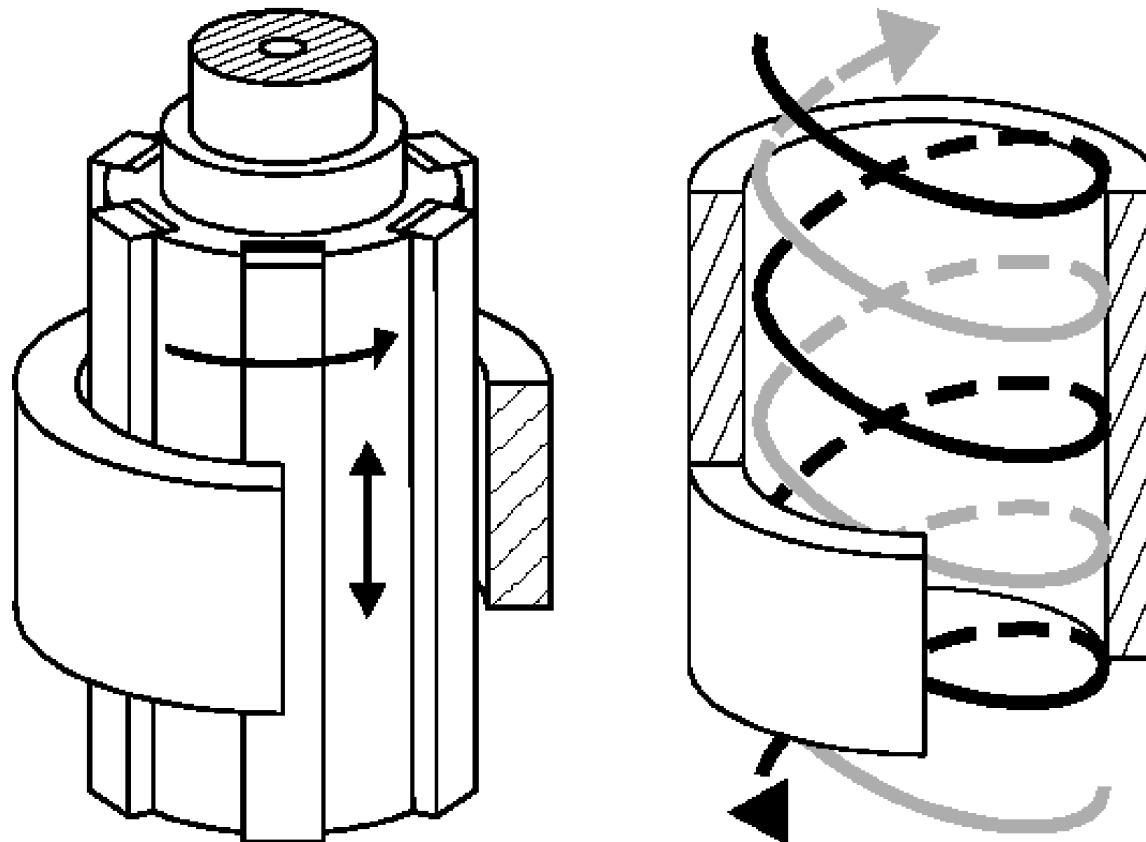
Kapitel 5.2: Trennen  
mit geometrisch unbestimmter Schneide



Das 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, so dass die bearbeitete Oberfläche definiert überkreuzende Spuren aufweist.

Br 1076

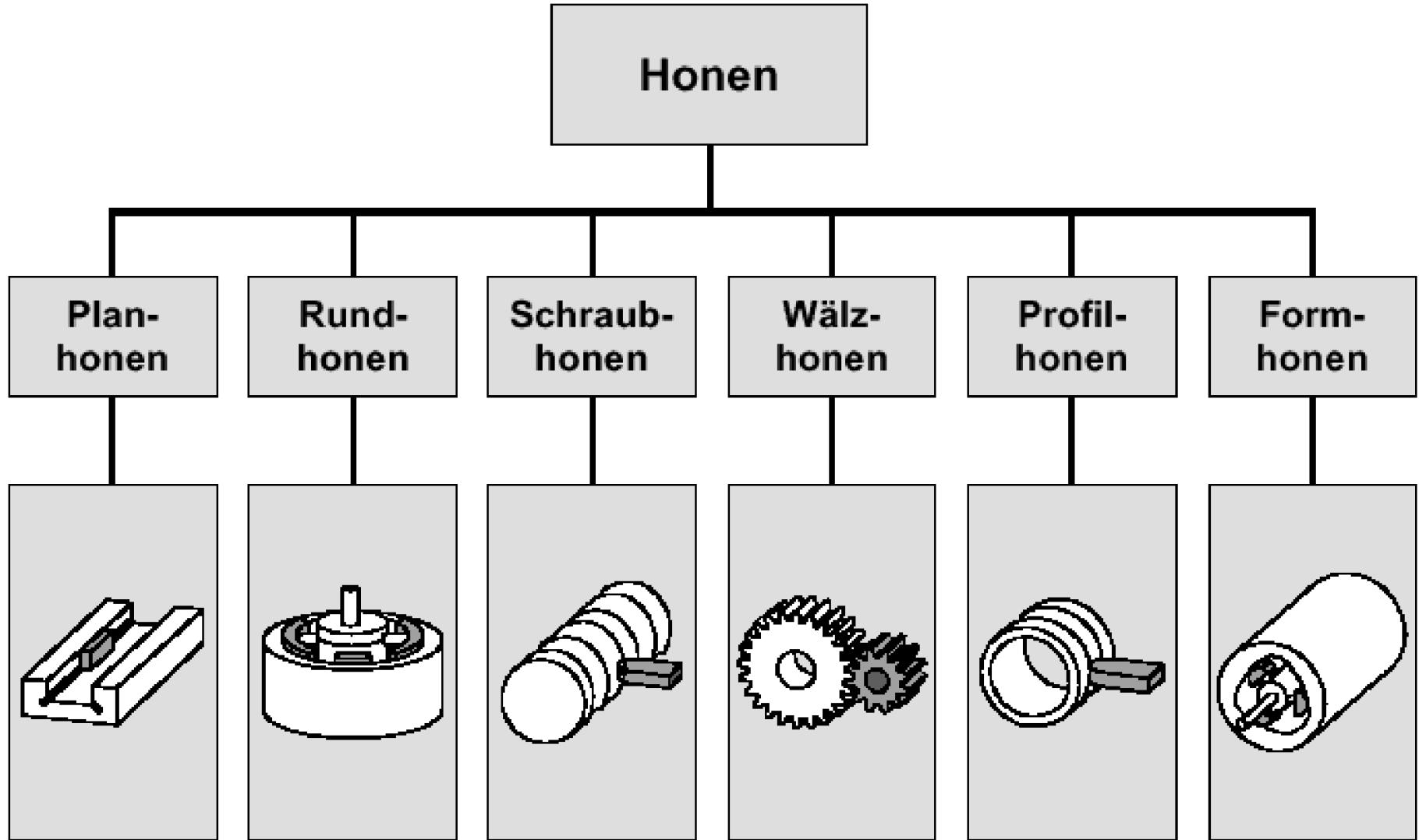




$\alpha$  = Überschneidungswinkel

Stö 0386





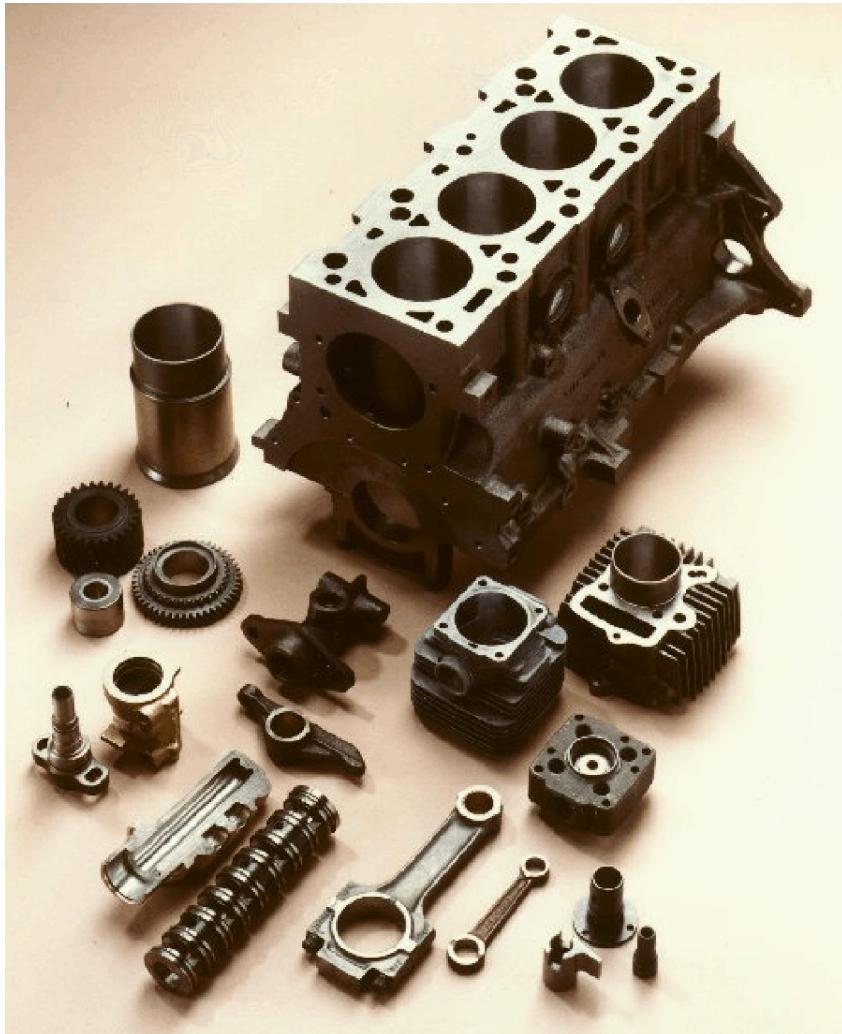
Quelle: DIN 8589, Teil 14



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Stö 0382

Einteilung des Honens nach DIN 8589



Verbrennungsmotoren

Getriebeteile

Einspritzpumpen

Pumpen

Fahrzeugteile

Maschinenteile

Meßwerkzeuge

Hydraulikteile

Elektromotoren

Kupplungen

Bremsen

Autoelektrik

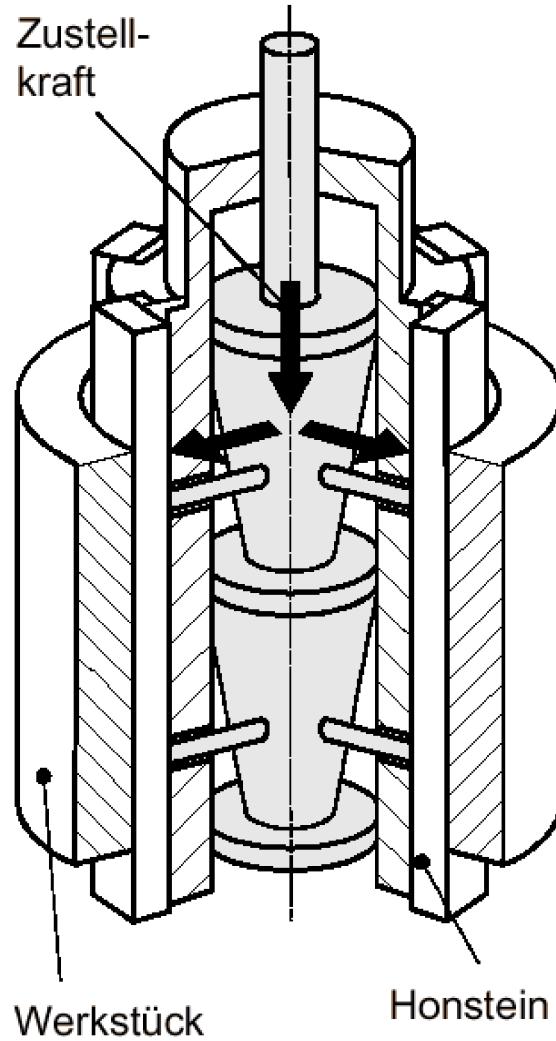
Quelle: Nagel



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

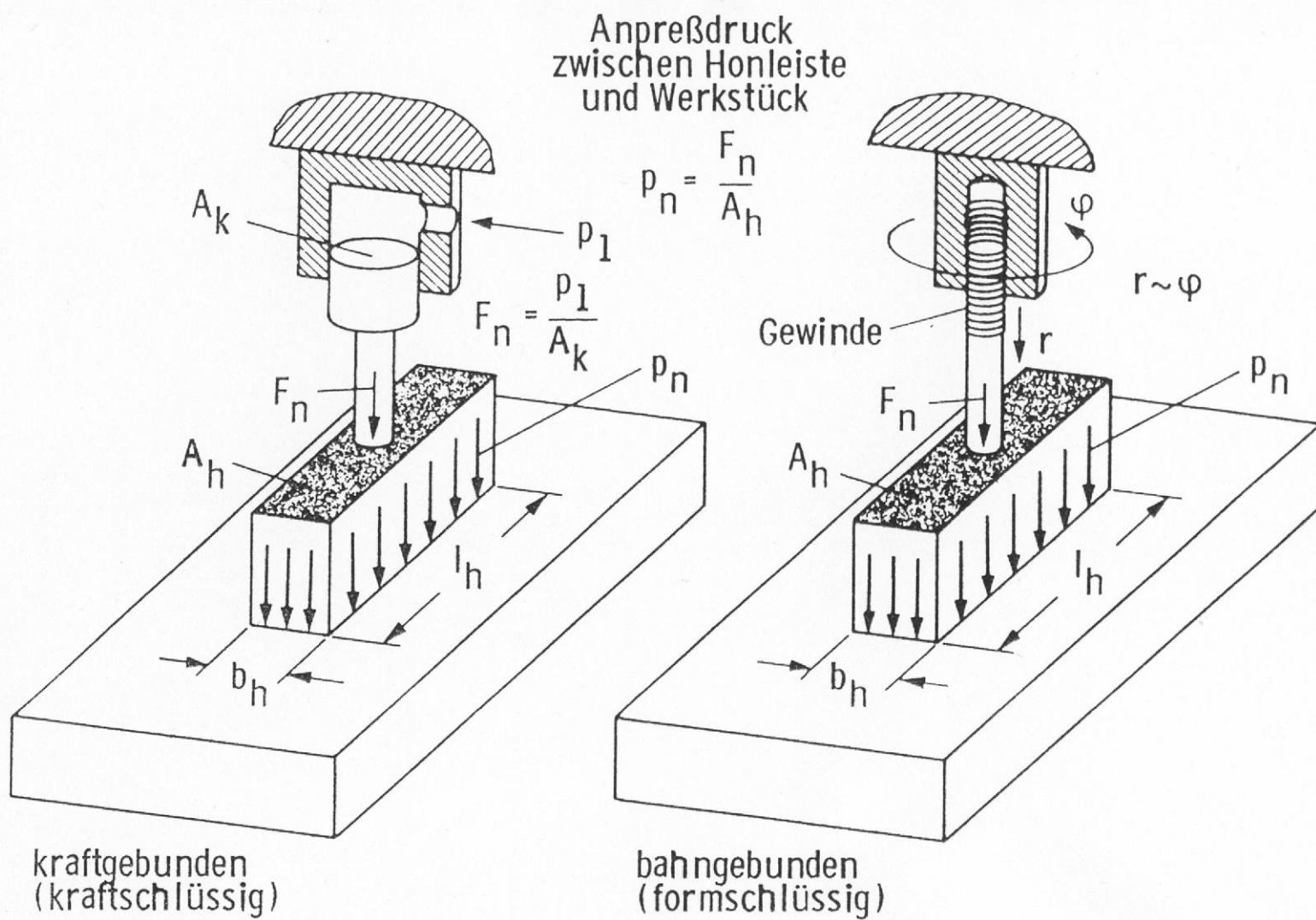
Stö 0383

Anwendungsbeispiele des Honens in der Serienfertigung



Stö 0384

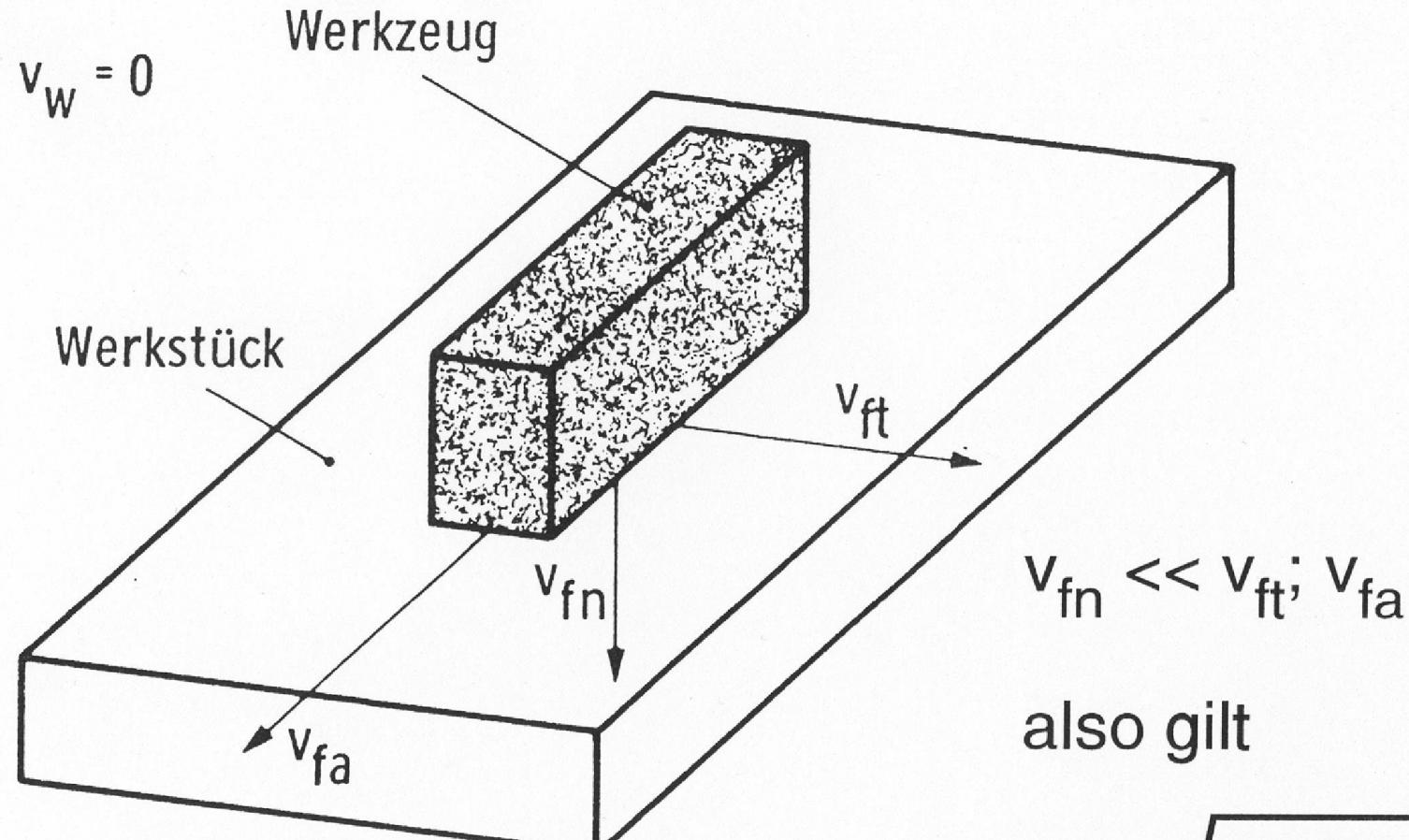




Quelle: König

Br 1081

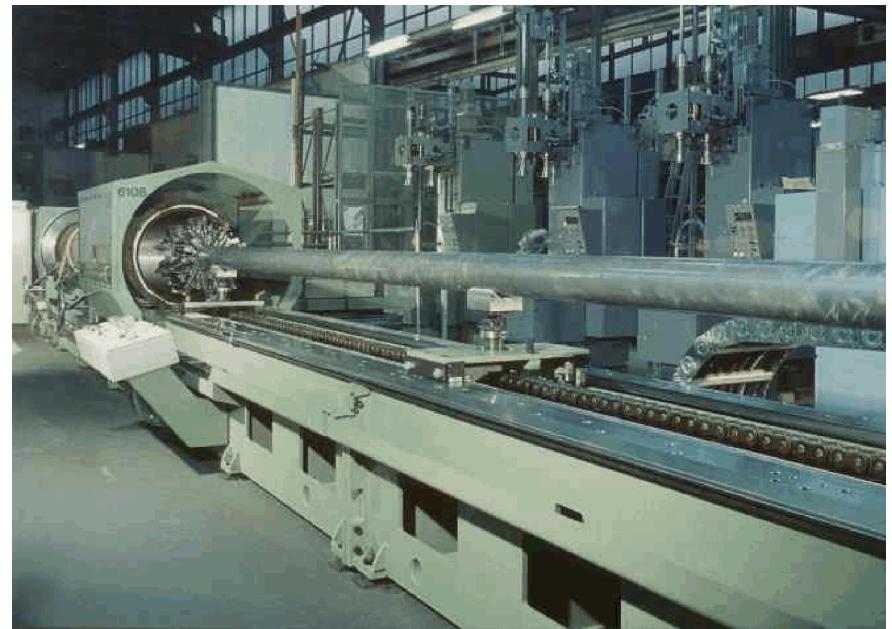




$$v_c = \sqrt{v_{fa}^2 + v_{ft}^2}$$

Quelle: König





Zylinderbuchsen  
Durchmesser 30 - 300 mm  
Länge bis 850 mm

lange Rohre  
Durchmesser bis 1,1 m  
Länge bis 12 m

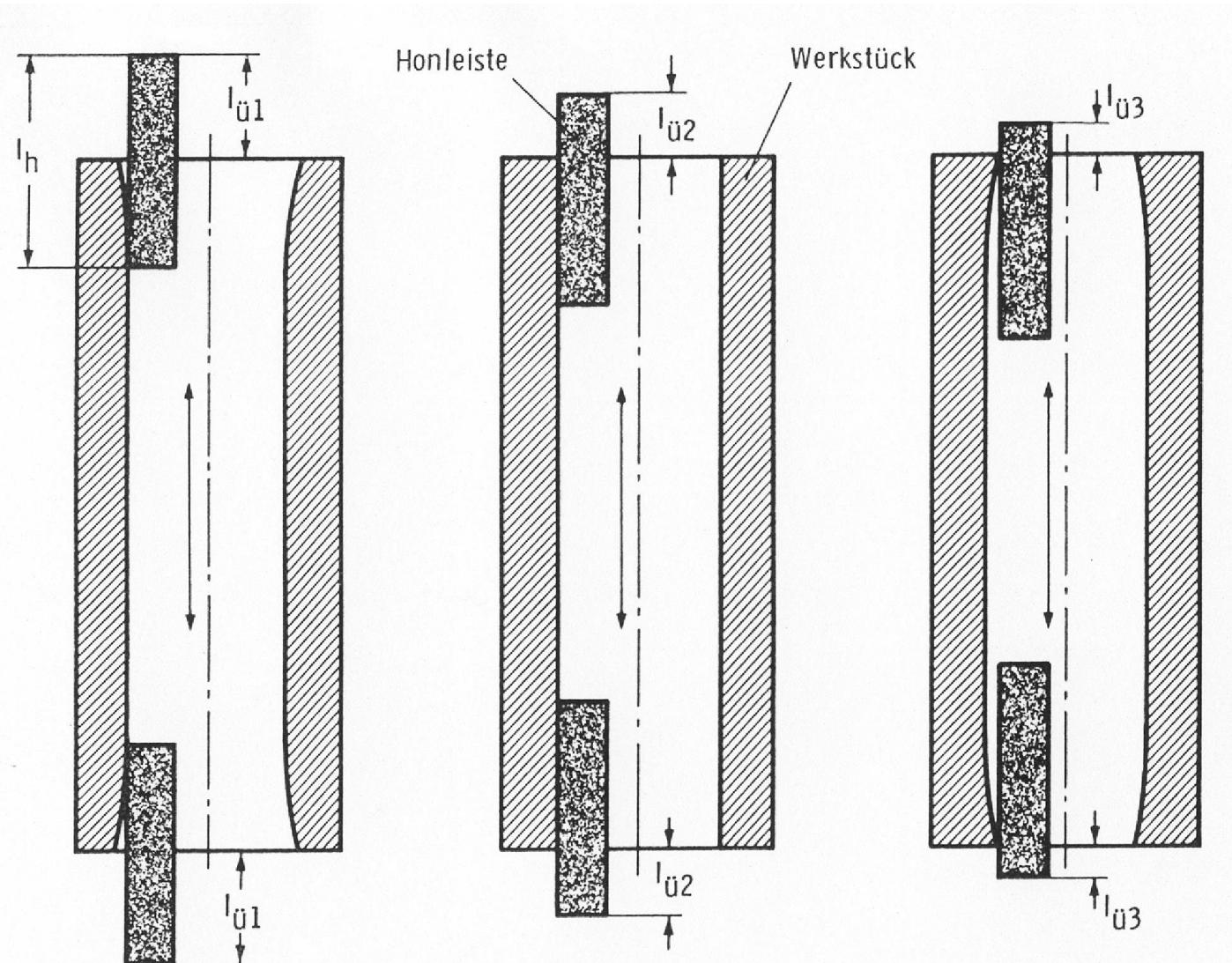
Quelle: Nagel



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Stö 0385

Beispiele für Honmaschinen

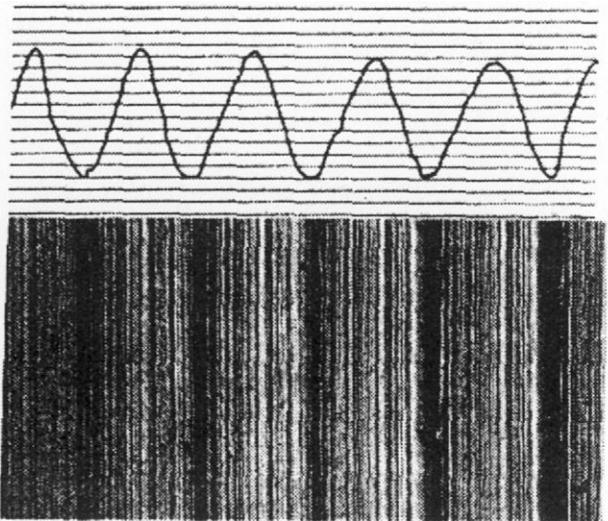


Quelle: König

$$l_{\text{ü1}} > l_{\text{ü2}} > l_{\text{ü3}}$$

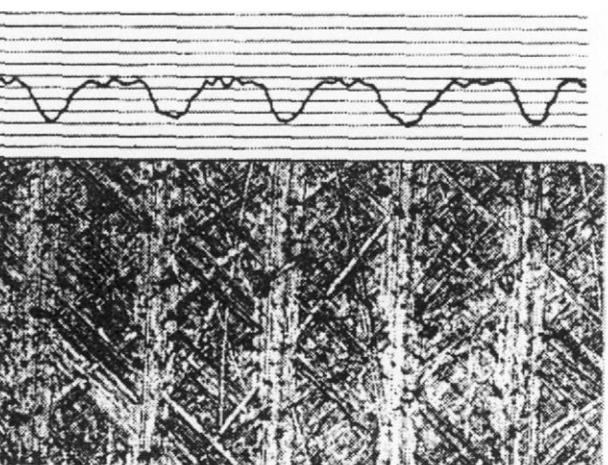
Br 1084





Ausgangsrauheit

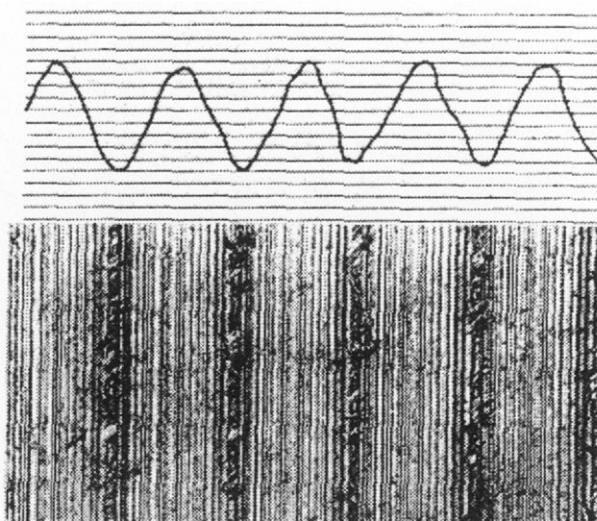
Oberflächen-  
schrieb  
(Tastschnitt)



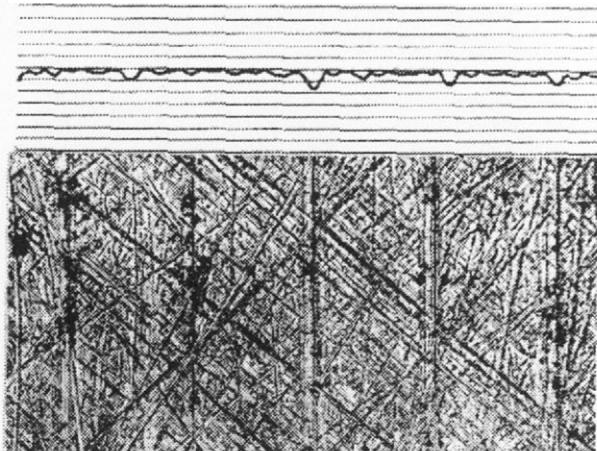
nach 31 Werkstückumdrehungen

50 µm  
2,5 µm

—  
50 µm



nach 1 Werkstückumdrehung



nach 70 Werkstückumdrehungen

Quelle: König



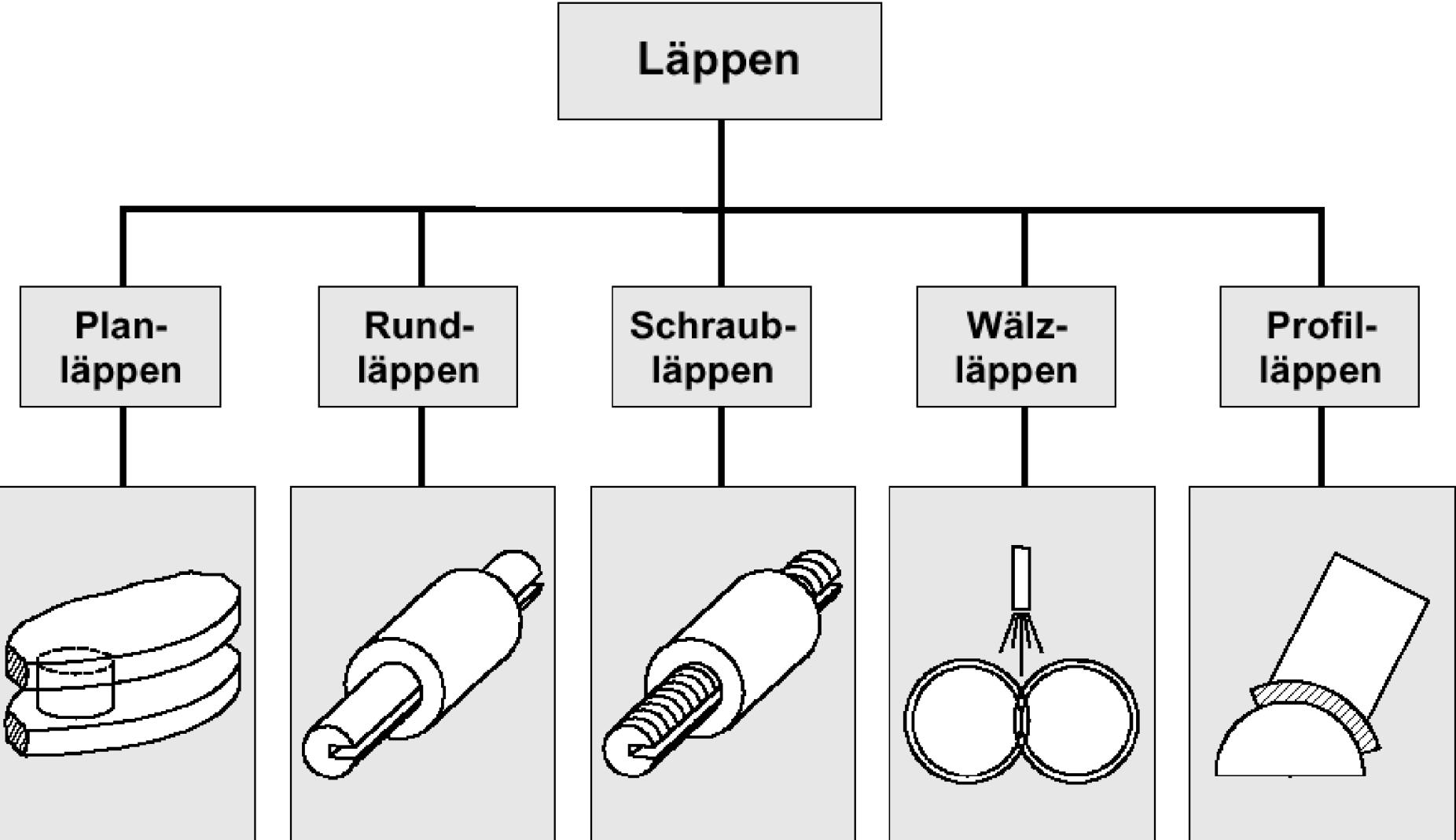
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Br 1085

Darstellung des Werkstoffabtrages

DIN 8589 definiert Läppen als Spanen mit losem, in einer Flüssigkeit oder Paste verteilem Korn (Läppgemisch), das auf einem meist formübertragenden Gegenstück (Läppwerkzeug) bei möglichst ungerichteten Schneidbahnen der einzelnen Körner geführt wird.





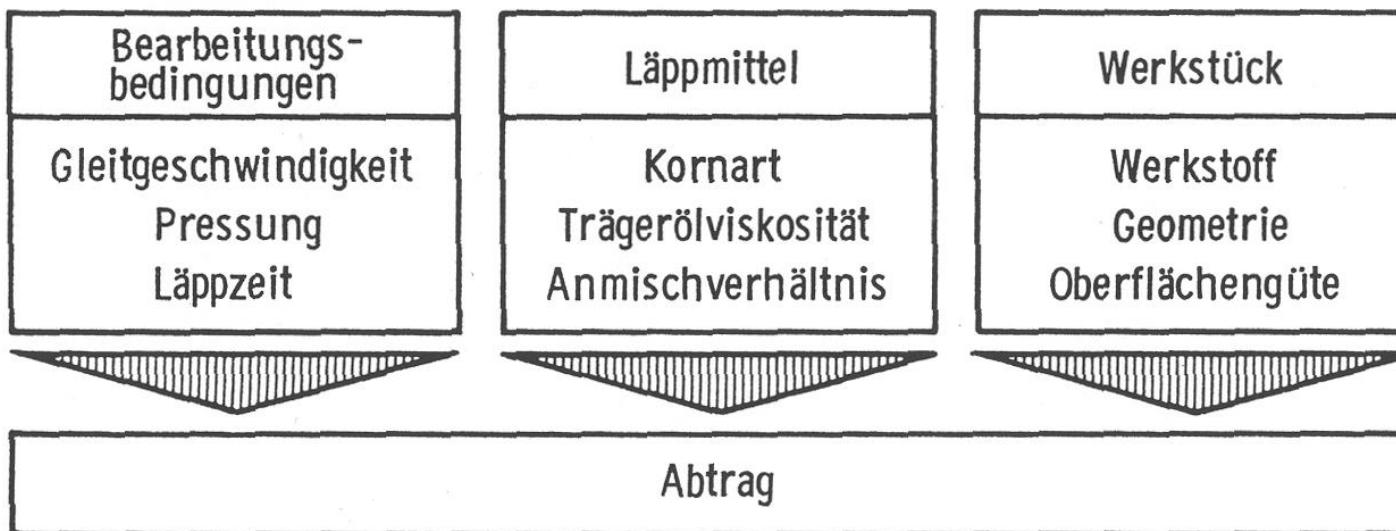
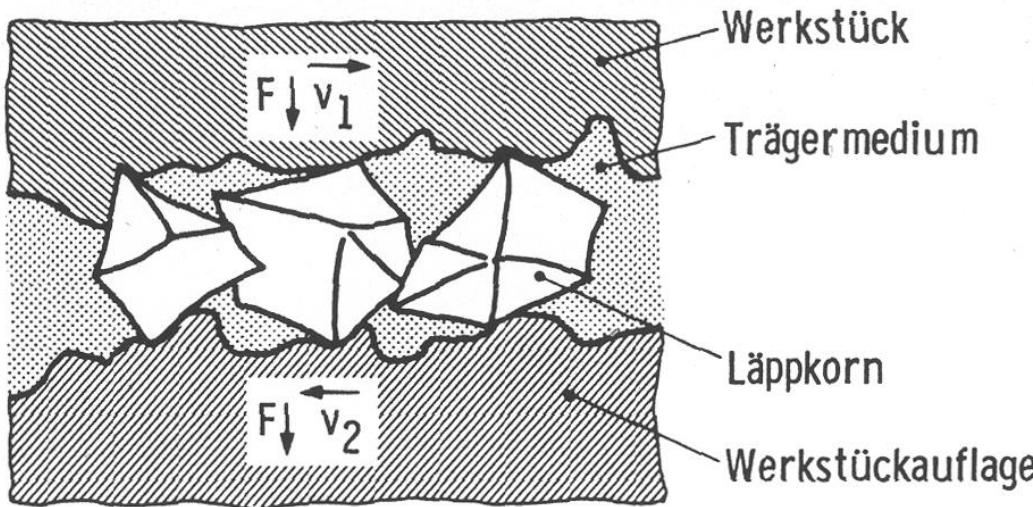
Quelle: DIN 8589, Teil 15



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Stö 0387

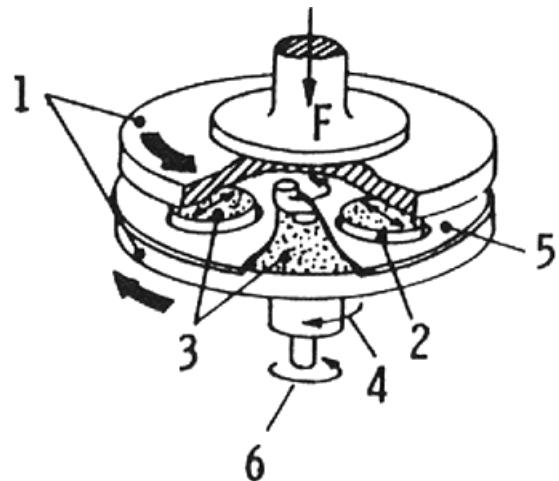
Einteilung des Läppens nach DIN 8589



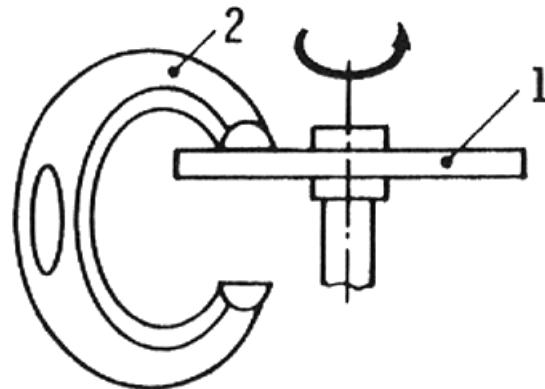
Quelle: König



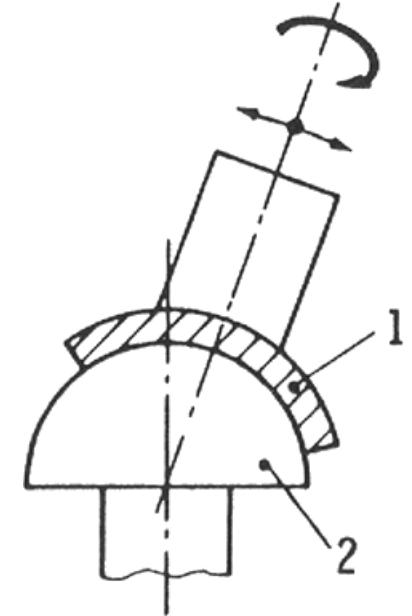
a) Planparallel läppen



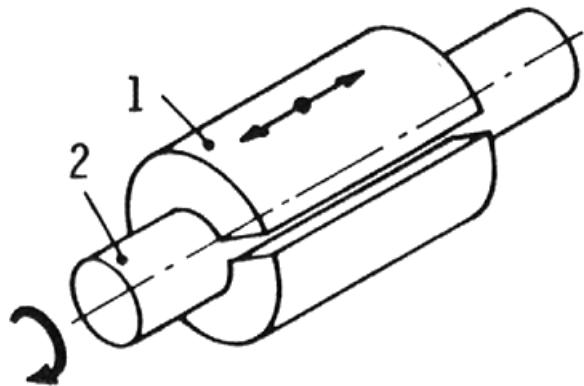
b) Planläppen von Innenflächen



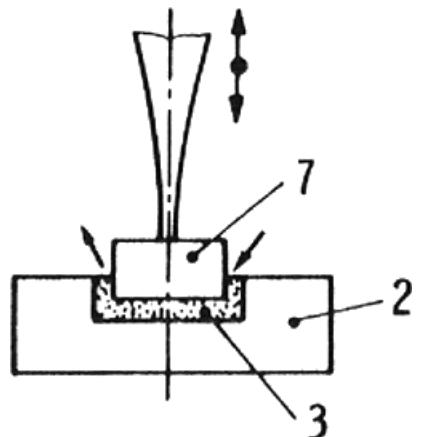
c) Formläppen



d) Läppen von Außenzylin dern



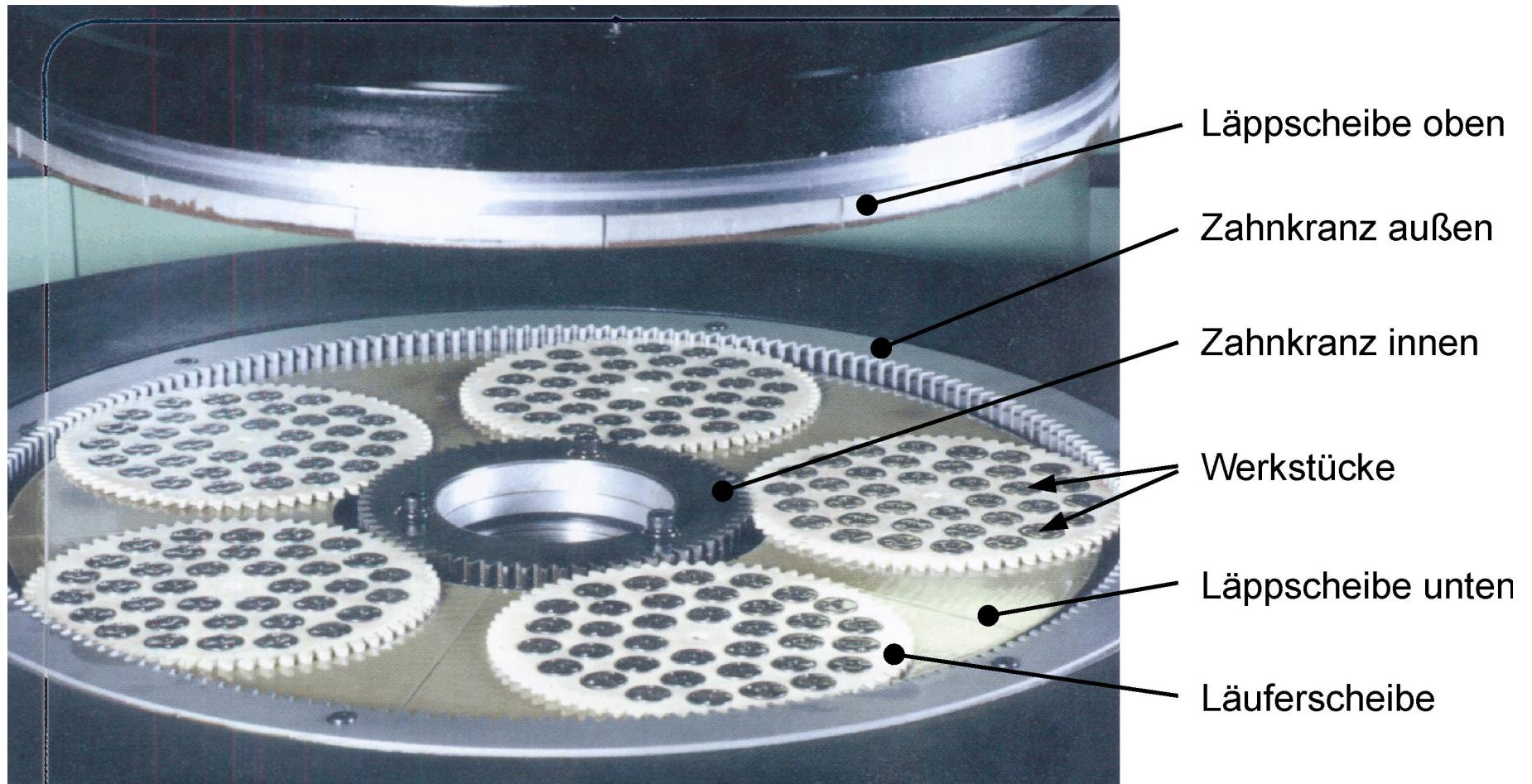
e) Schwingläppen



- 1) Läppmittelträger
- 2) Werkstück
- 3) Läppmittel
- 4) Läppscheibenantrieb
- 5) Läppkäfig, exzentrisch gelagert
- 6) Käfigantrieb
- 7) Schwingrüssel

Quelle: König





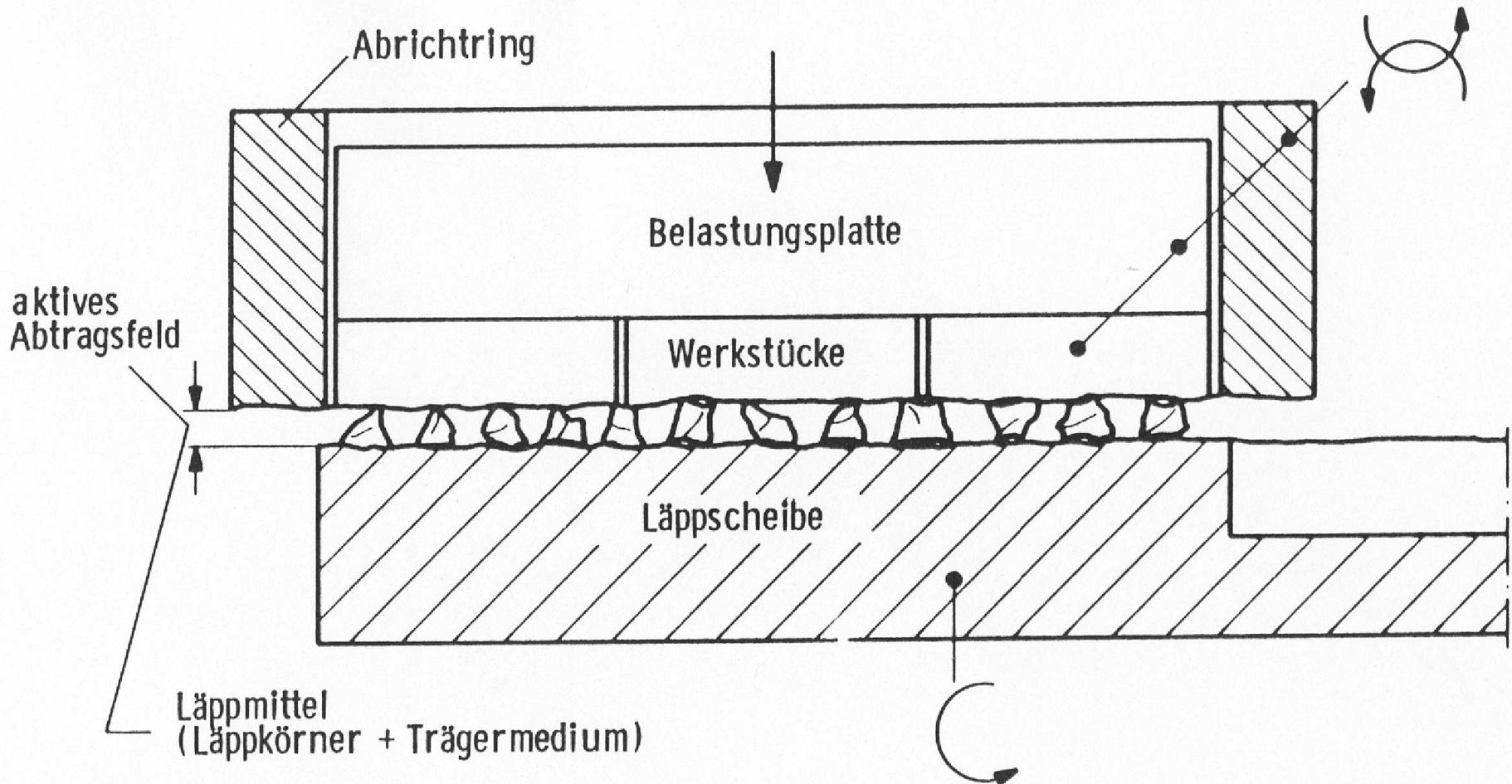
Quelle: Melchiorre



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Stö 0388

Planparallel läppen



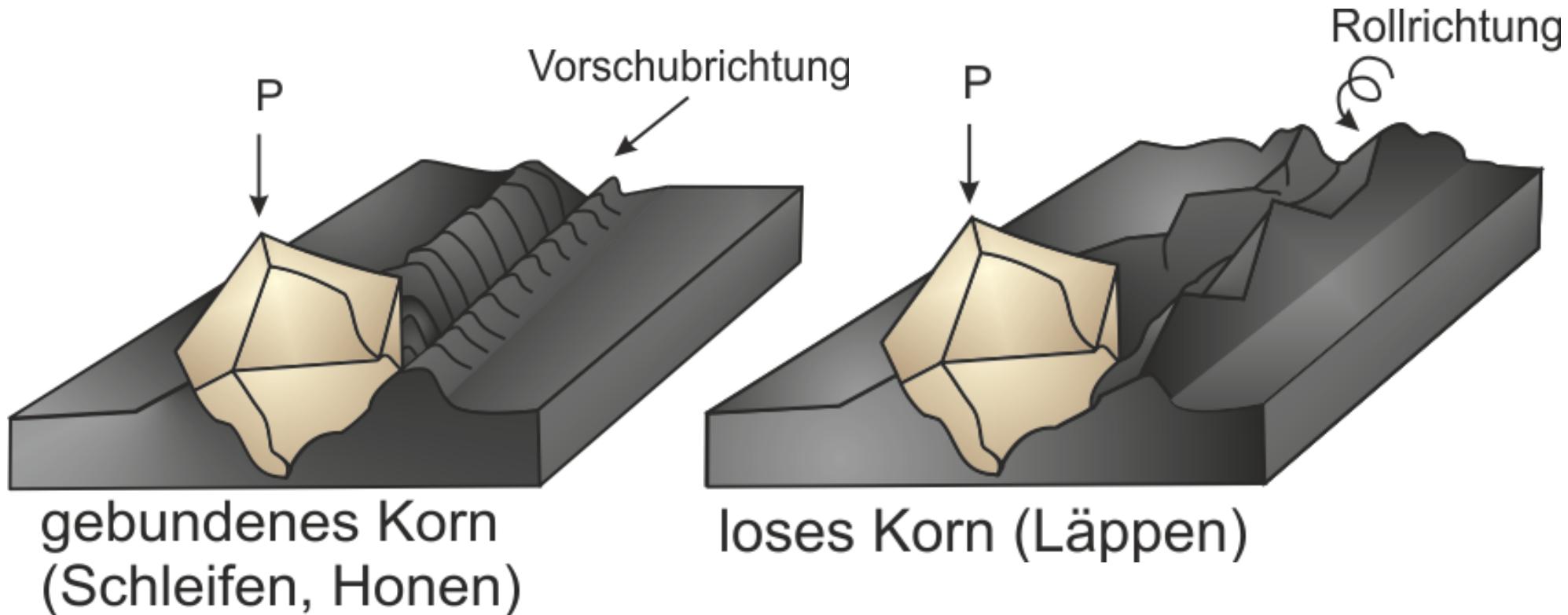
Quelle: König

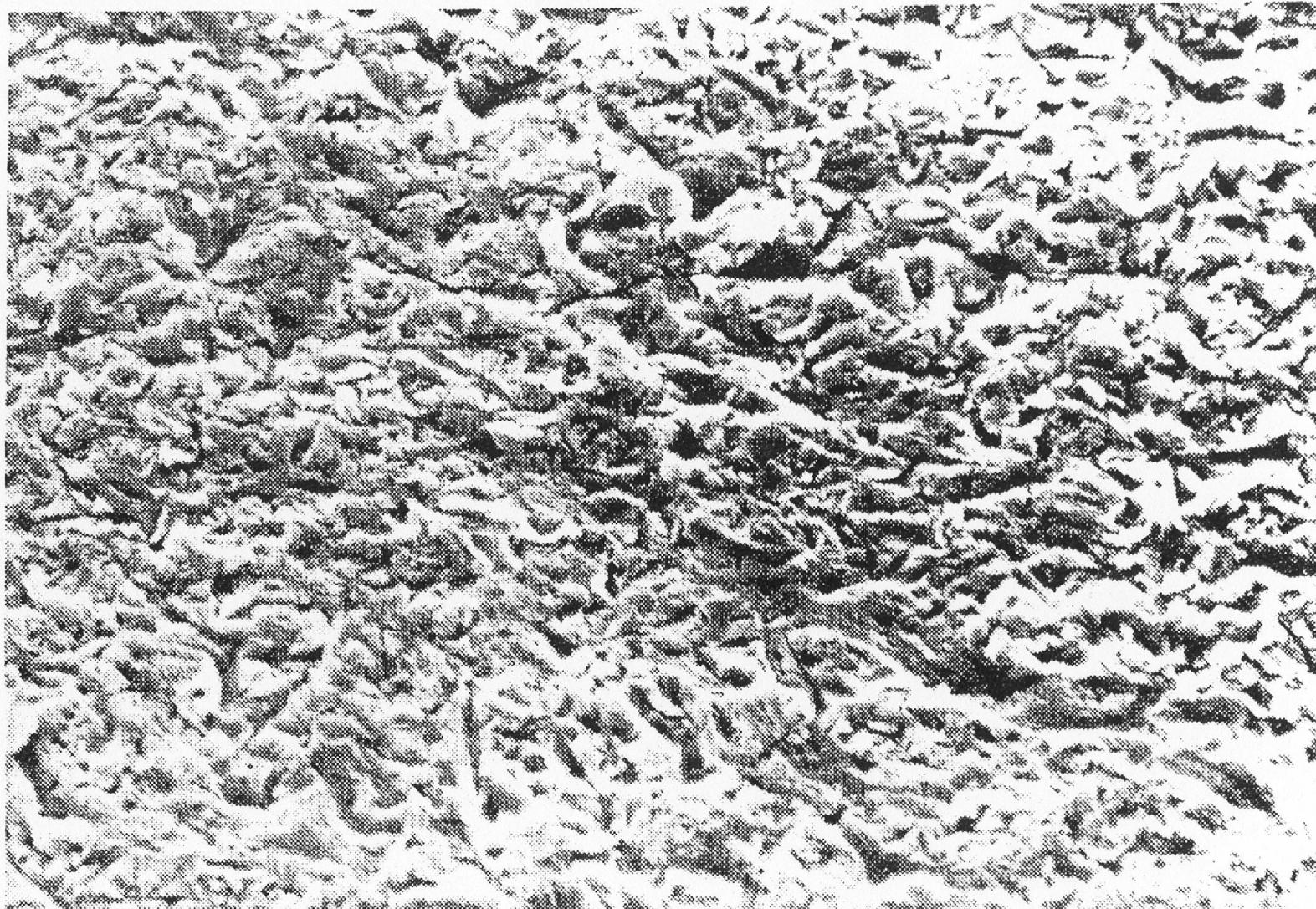


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Br 1111

Schematische Darstellung des  
Planläppens (nach A.W. Stähli)





10 µm

Br 1090

Quelle: König



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Geläppete Werkstückoberfläche



Quelle: Hoffmann und Voß GmbH

BI 0638



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Gleitschleifen / Trowalisieren

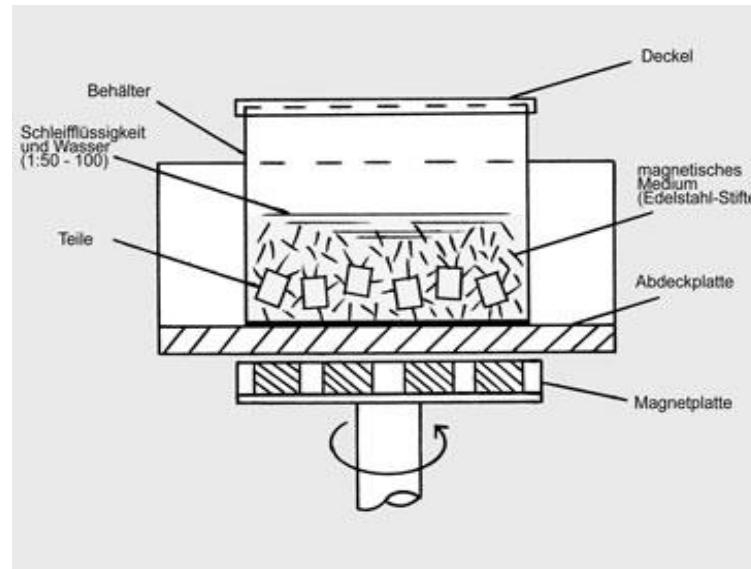
## Definition:

Das Gleitschleifen (auch Trowalisieren) ist ein spanendes auf chemisch-mechanischer Grundlage arbeitendes Verfahren zur Oberflächenbearbeitung. Es wird vorrangig zur Oberflächenglättung metallischer Werkstoffe, aber auch für Kunststoffe, Holz, Keramiken oder Glas, eingesetzt.

Die zu bearbeitenden Werkstücke werden zusammen mit Schleifkörpern (Chips) und meist einem Zusatzmittel in wässriger Lösung (Compound) als Schüttgut in einen Behälter gegeben. Durch eine oszillierende oder rotierende Bewegung des Arbeitsbehälters entsteht eine Relativbewegung zwischen Werkstück und Schleifkörper die einen Materialabtrag am Werkstück, insbesondere an dessen Kanten, hervorruft.

## Anwendungen:

- Entzündern
- Schleifen
- Entgraten
- Kantenverrunden
- Reinigen
- Glanzgrad erhöhen
- Polieren
- Aufhellen



Quelle: OTEC GmbH, Rösler GmbH

MKra 201



## Vibrationsverfahren (Vibrationsbehälter)

- Schleifkörper werden durch Vibration in Schwingung versetzt.
- für unterschiedliche Werkstückformen und -größen; besonders für beschädigungs-empfindliche Bauteile, separate Bearbeitung in Kammern möglich



## Tauchverfahren (Rotationsbehälter)

- Schleifkörper befinden sich zusammen mit einer flüssigen Chemikalienmischung in einer Trommel. Die Werkstücke werden über einen rotierenden Halter in die Schleifkörperfüllung geführt
- für hochwertige Werkstücke, die entgratet, geschliffen oder poliert werden sollen (Turbinenschaufeln, Umformwerkzeuge)



Quelle: OTEC GmbH, Rösler GmbH

MKra 202



## Trommelverfahren (Rotationsbehälter)

- Werkstück und Schleifkörper werden gemeinsam an der Wand einer Trommel hochgetragen, bis sie, durch die Schwerkraft bedingt, gemeinsam wieder nach unten gleiten.



## Fliehkraftverfahren (Rotationsbehälter)

- Schleifkörper und Werkstück werden durch Fliehkraft in eine Umwälzbewegung gebracht.
  - für dünnwandige Federelemente bis zu massiven Getriebeteilen, die entgratet, verrundet oder poliert werden



Quelle: Fachwissen-Technik, Rösler GmbH



Je nach Arbeitsaufgabe werden Schleifkörper mit unterschiedlichen Polier- und Schleifwirkungen benötigt.

### Anforderungen:

- geringe Maßtoleranz
- hohe Formbeständigkeit und gleichbleibende Schleifwirkung bei fortlaufender Abnutzung
- hohe Splitterfestigkeit



Eingesetzt werden meist keramische oder kunststoffgebundene Formkörper. Sie unterscheiden sich in ihrem spezifischen Gewicht, Härte und Gefügeaufbau. Außerdem werden Chips in unterschiedlichsten Größen und Geometrien verwendet.



Körnung		
20 – 35 mm	10 - 20 mm	3 – 10 mm
Entzundern, Entrostung	Entgraten, Feinschleifen, Glätten	Glanz- und Polierarbeiten



MKra 204

Quelle: OTEC GmbH, Fachwissen-Technik



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Schleifkörper (Chips)

## Schleifen:



Pleuel



Turbinenschaufelsegmente



Schlüssel



PKW-Schwinge

## Entgraten/ Kanten verrunden:



Getriebegehäuse



Handyschalen



Verbindungsstifte



Zahnräder

## Entzundern/ Reinigen:



Schraubenfeder



Gasarmatur

## Polieren/ Glänzen/ Glätten:



Münzplättchen



Werkzeugschlüssel

Quelle: Rösler GmbH



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

MKra 205

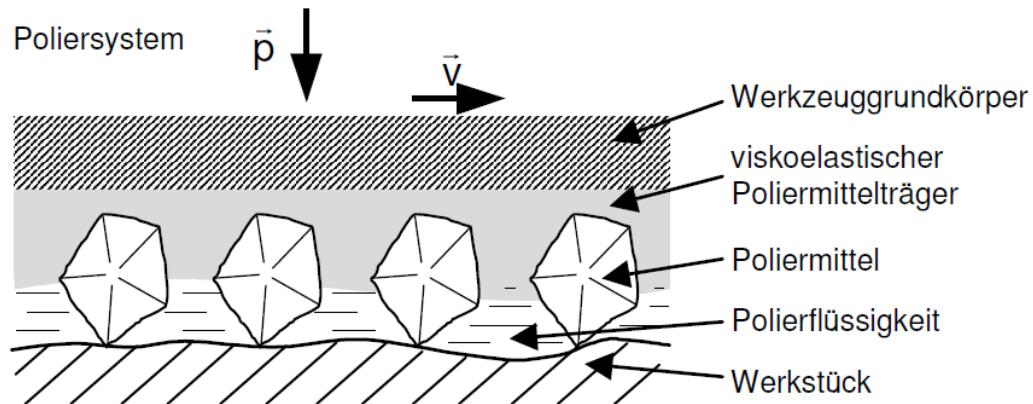
Beispiele für gleitgeschliffene Bauteile

## Beschreibung:

Ähnlich wie beim Läppen gleiten auch beim Polieren die zu bearbeitende Werkstückoberfläche und die Werkzeugoberfläche aufeinander ab. Dazwischen wird eine Poliersuspension eingebracht, bestehend aus einem Abrasivmedium und einer in aller Regel wasserbasierten Flüssigkeit. Im Gegensatz zum Läppen werden jedoch bei der Politur sehr viel kleinere Abrasivpartikel und härtere Trägerwerkstoffe verwendet.

## Anwendung und Eigenschaften:

- Fein- und Feinstbearbeitungsverfahren im Werkzeug- und Formenbau sowie in der Optiktechnologie
- sehr hohe Oberflächengüten erzielbar
- Materialabtrag nicht von vorrangiger Bedeutung, sondern die Einebnung der Oberfläche.



Quelle: Klocke/König

MKra 206



## **Poliermittel:**

Das Poliermittel ist so zu wählen, dass sowohl die Formgenauigkeit des Werkstückes, als auch die optimale Oberflächengüte möglichst effektiv und zeitgerecht erreicht werden.

Metallische Werkstoffe	- Tonerde ( $\gamma$ - und $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) - Magnesia (MgO) - Chromoxid (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) - Diamant (C) - kolloidales Siliziumdioxid (SiO <sub>2</sub> )
Sprödharte Werkstoffe	- Diamant (C) - kolloidales Siliziumdioxid (SiO <sub>2</sub> )
Glas	- Eisenoxid ( $\alpha$ - und $\gamma$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) - Cerioxide (CeO <sub>2</sub> ) - Thoriumoxid (ThO <sub>2</sub> – radioaktiv)

## **Poliermittelträger:**

Poliermittelträger haben die Aufgabe, das Poliermittel in Form von Suspensionen oder Pasten in gleichmäßiger Verteilung auf ihren Oberflächen aufzunehmen und locker zu binden.

Zum Einsatz kommen Polierfilze, Polyurethanfolien, Poliertücher oder Polierpeche.



Polyurethanfolien



Quelle: Bliedtner

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Betriebs- und Hilfsstoffe für das Polieren

MKra 213

## Prozessparameter

- Druck
- Druckverteilung
- Relativgeschwindigkeit
- Oszillation

## Werkstück

- Gefügestruktur
- chemische und physikal. Eigenschaften
- Radius, Durchmesser

## Poliersuspension

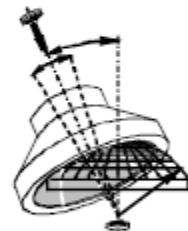
- Konzentration
- Temperatur
- chem. Eigenschaften
- Viskosität

## Maschine

- Maschinentyp
- kinematisches Prinzip
- Steifigkeit

## Störgrößen

- Vibrationen
- Inhomogenitäten
- Umwelteinflüsse



## Werkzeug

- Form
- Dimensionierung
- Steifigkeit

## Polierkörper

- chemische und physikal. Eigenschaften
- Korngröße
- Kornform

## Poliermittelträger

- |            |                |
|------------|----------------|
| • Material | • Flexibilität |
| • Form     | • Dicke        |

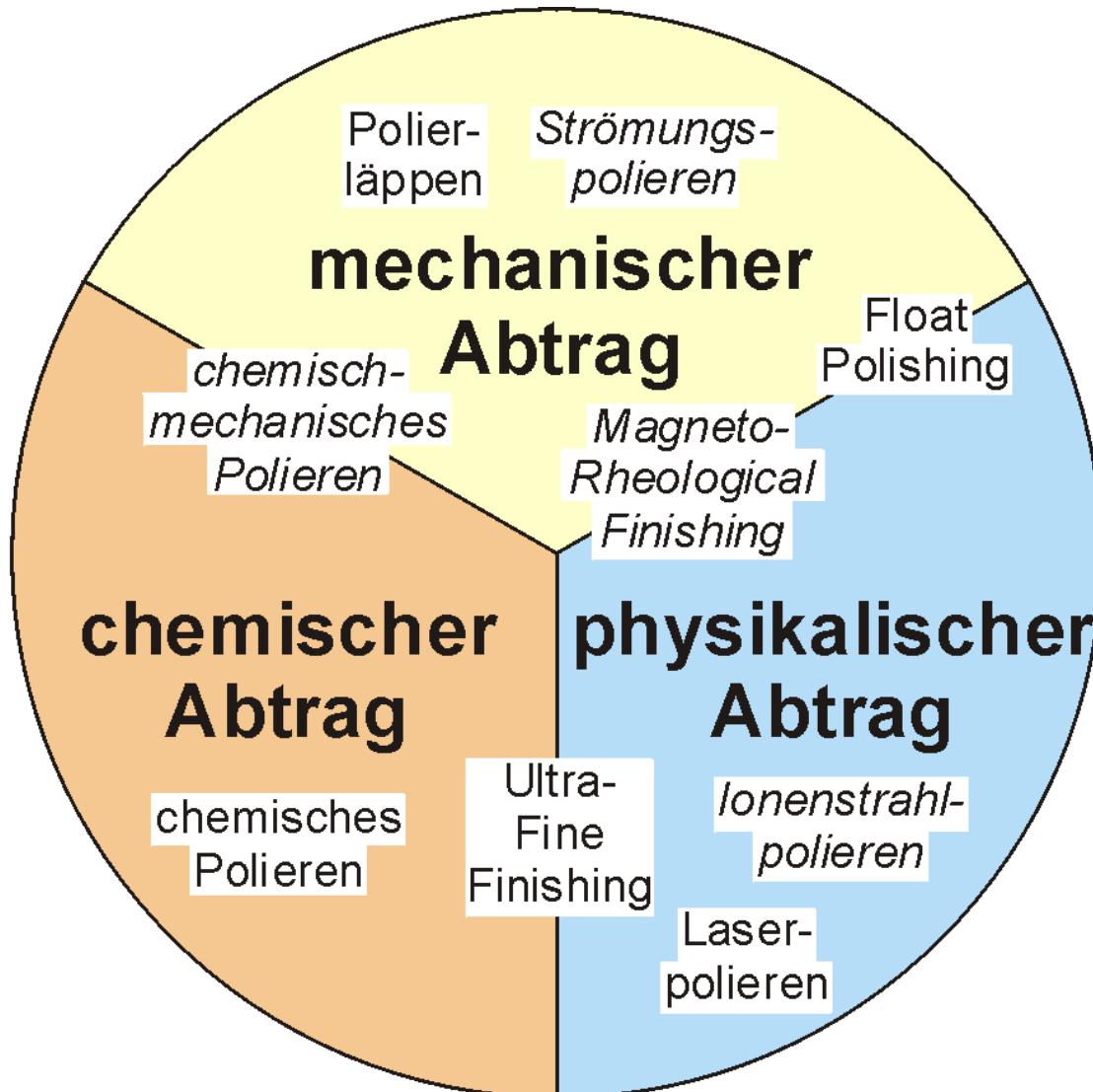
Quelle: Klocke



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

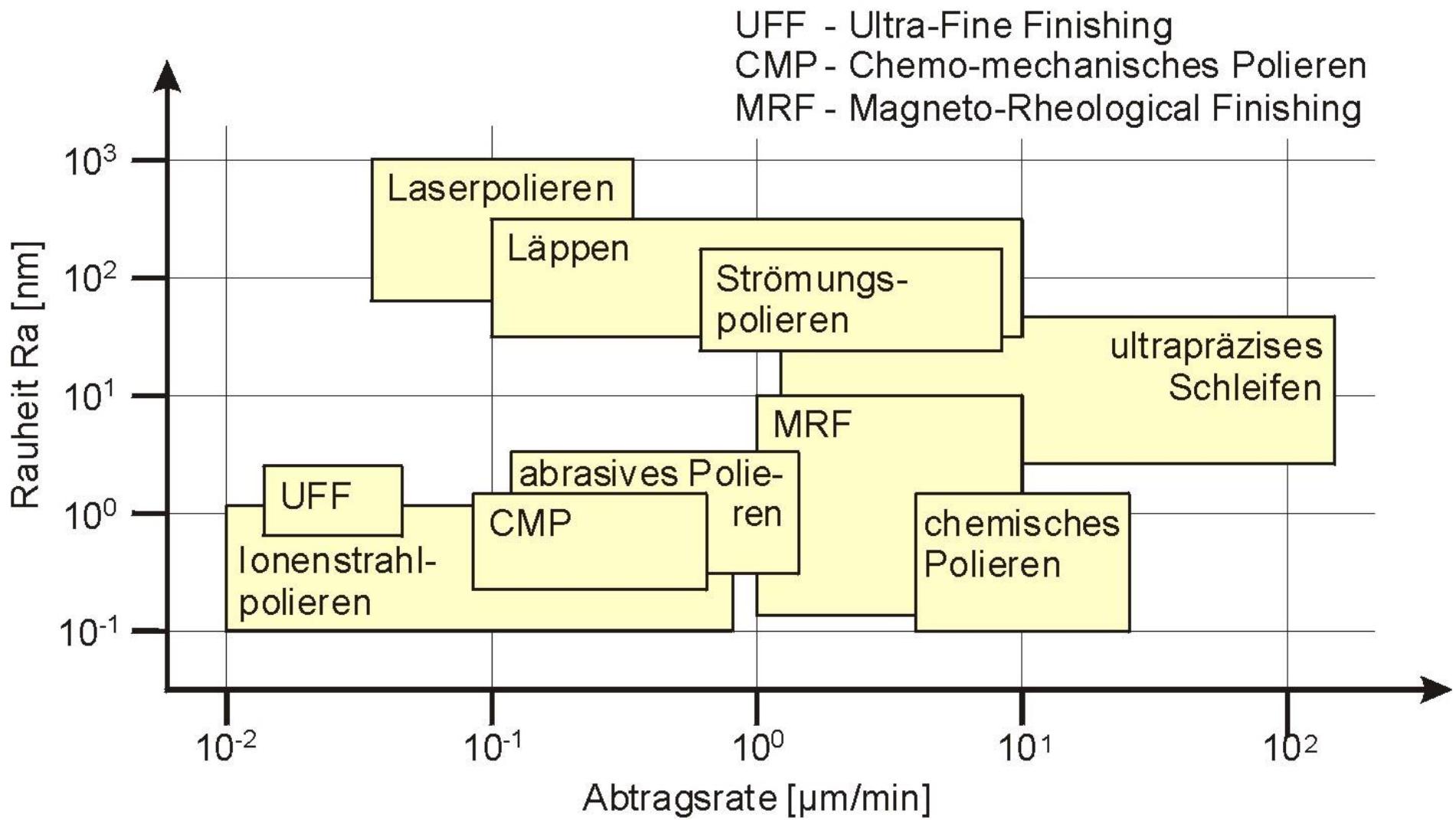
MKra 207

Einflussgrößen beim Polieren



Ges 0207





In Anlehnung an Stowers et al. (1988)

Ges 0491



## Das Abtragsverhalten nach Preston:

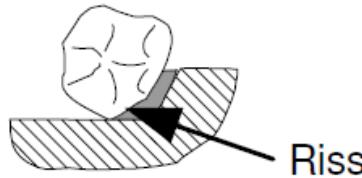
$$\frac{dz}{dt} = K_p \cdot p \cdot v_r$$

$dz/dt$ :	Materialabtrag pro Zeiteinheit
$p$ :	Flächenpressung
$v_r$ :	Relativgeschwindigkeit
$K_p$ :	Preston Koeffizient, fasst alle chem. und mech. Eigenschaften des Wirksystems zusammen

→ Der Polierprozess setzt sich aus komplexen Wechselwirkungsvorgängen zusammen und ist daher schwer zu Beschreiben.

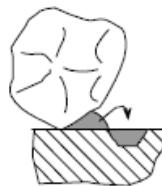


## Abtraghypothese



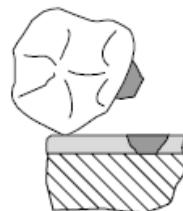
Bildung feinster  
Rissysteme bzw.  
Mikrospäne

## Fließhypothese



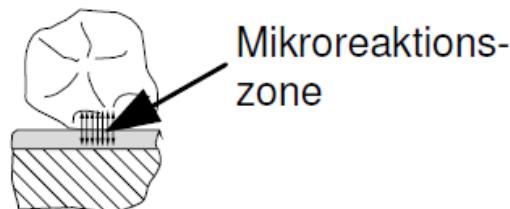
Einebnen durch  
plastische  
Verformung

## Chemische Hypothese



Abtrag einer  
chemisch ver-  
änderten Randzone

## Reib-Verschleiß- Hypothese



Reibhaftung  
zwischen Korn und  
Oberfläche

Quelle: Klocke

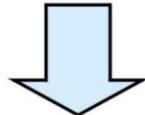
MKra 210



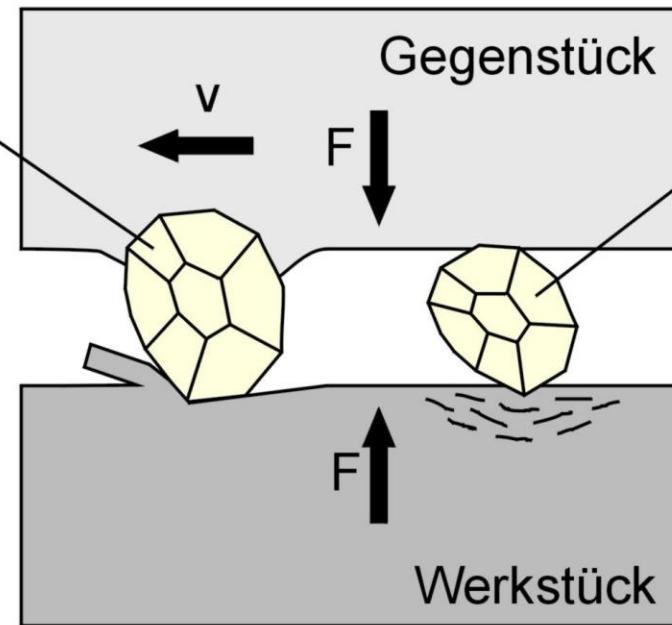
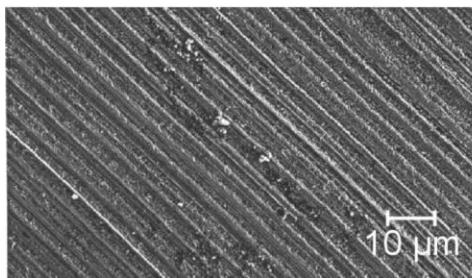
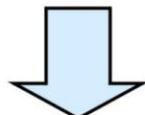
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Abtragmechanismen - Abtraghypothese

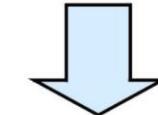
temporär  
verankertes  
Korn



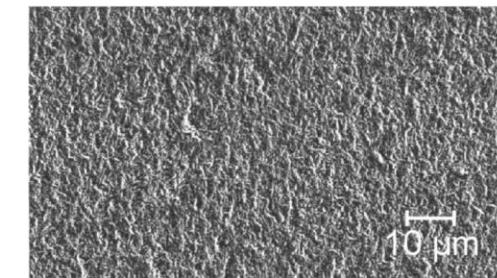
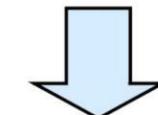
- Mikrospanen
- Mikropflügen



rollendes/  
wälzendes  
Korn

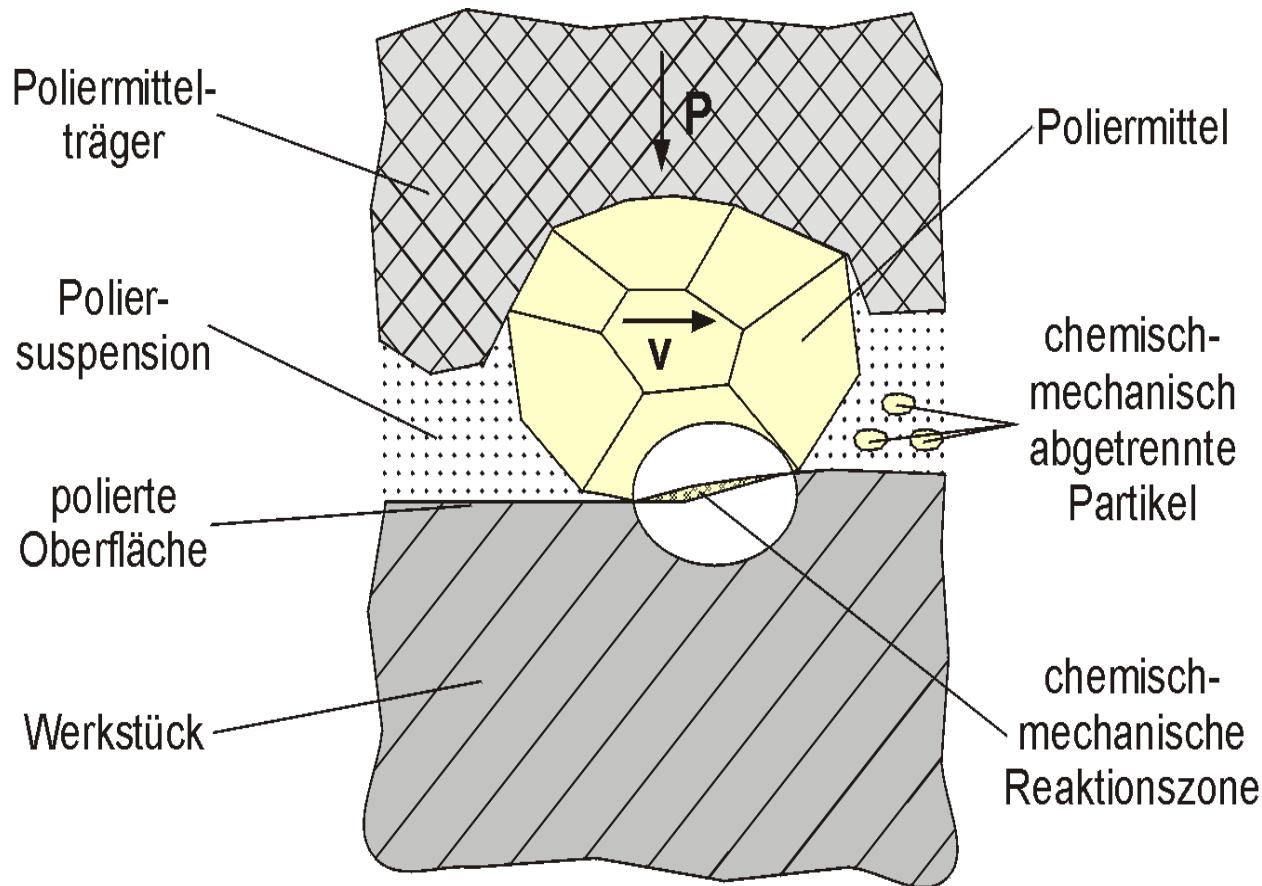


- induzierte Mikrorisse
- Partikelausbruch



Ges 0339





Ges 0236a



	<b>Flächige Politur</b>	<b>Zonale Politur</b>
Zu bearbeitende Geometrien:	Planflächen, konvexe und konkave Flächen, torische Flächen	Freiformflächen, Asphärische Flächen
Einsatzgebiete:	Präzisionsoptik, Brillenoptik	Asphärenoptik, Hochleistungsoptik, Objektivoptik
Abtrag:	hoch	gering
Genauigkeit:	Abhängig von der Genauigkeit des Werkzeugs und dessen Abrichtung	Abhängig von der CNC-Bahnbewegung und der Genauigkeit der Achsenbewegung, von der Anzahl und Berechnung der Stützpunkte



## Flächige Politur

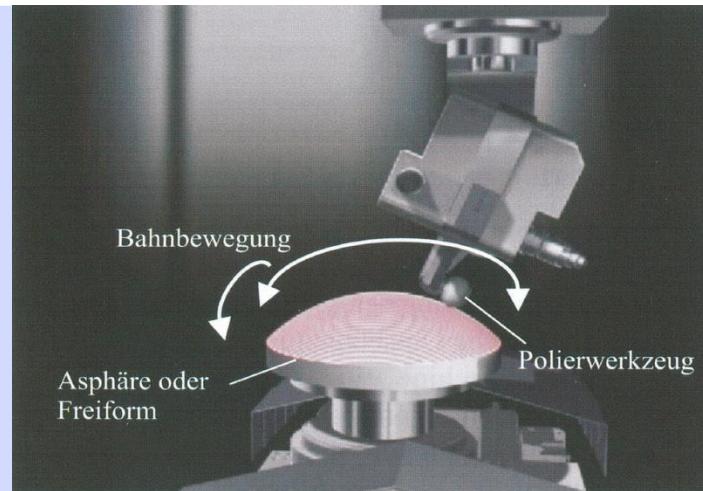


Polieren auf  
einer  
Hebelmaschine

Polieren von  
Radien-Flächen



## Zonale Politur



Randpolieren  
von  
asphärischen  
Linsen



Roboterpolieren  
von Freiformen

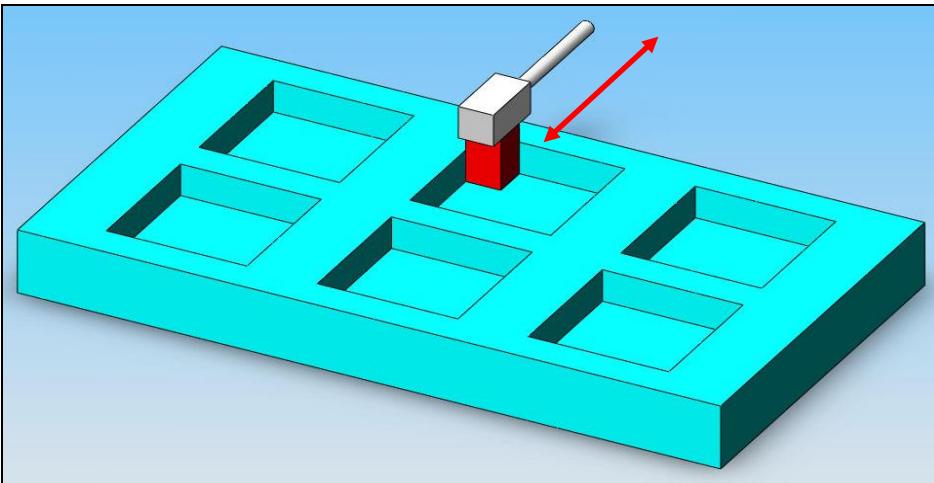
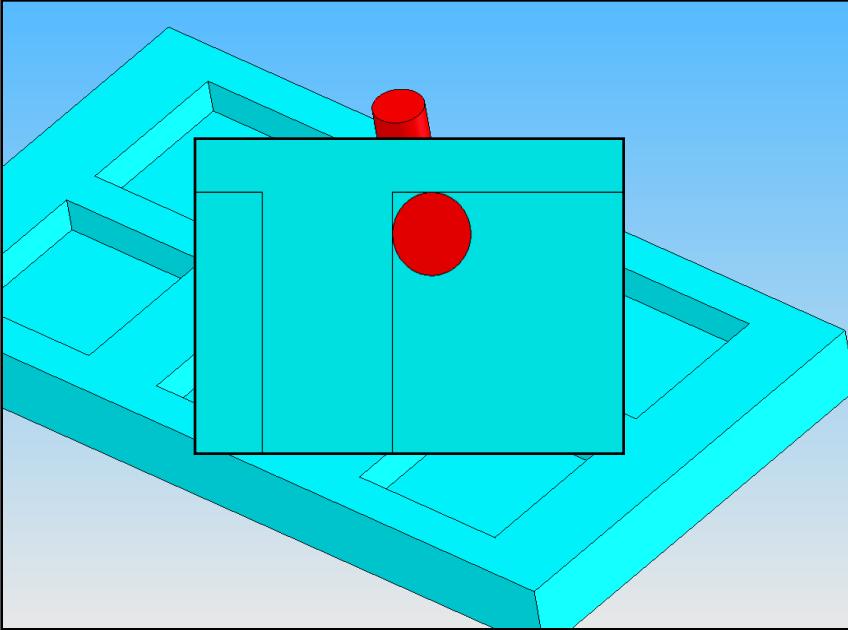
Quelle: Bliedtner



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

MKra 212

Beispiele für flächige und zonale Politur



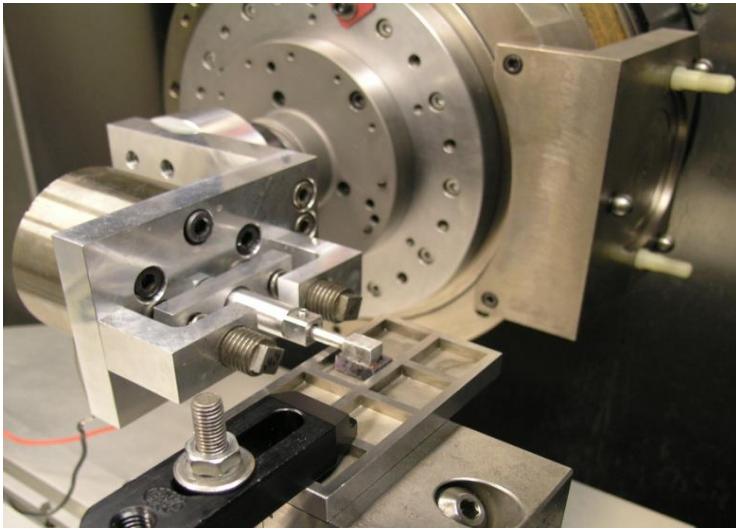
- räumlich begrenzte Funktionsflächen führen zu einer eingeschränkten Anwendbarkeit von rotierenden Polierwerkzeugen

- kein Kontakt zwischen Werkzeug und Werkstück z.B. in Ecken
- bisher kommen Handpolierverfahren zum Einsatz

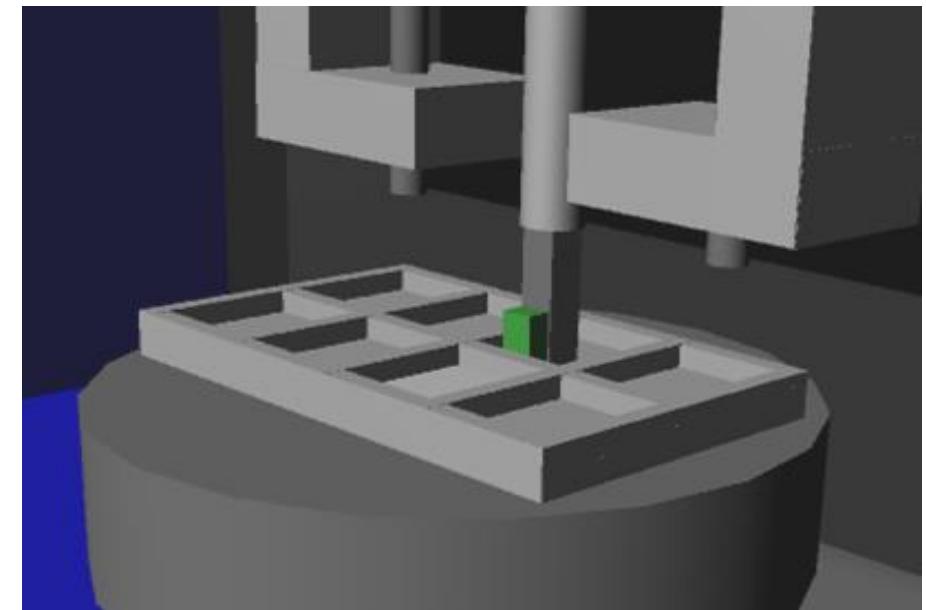
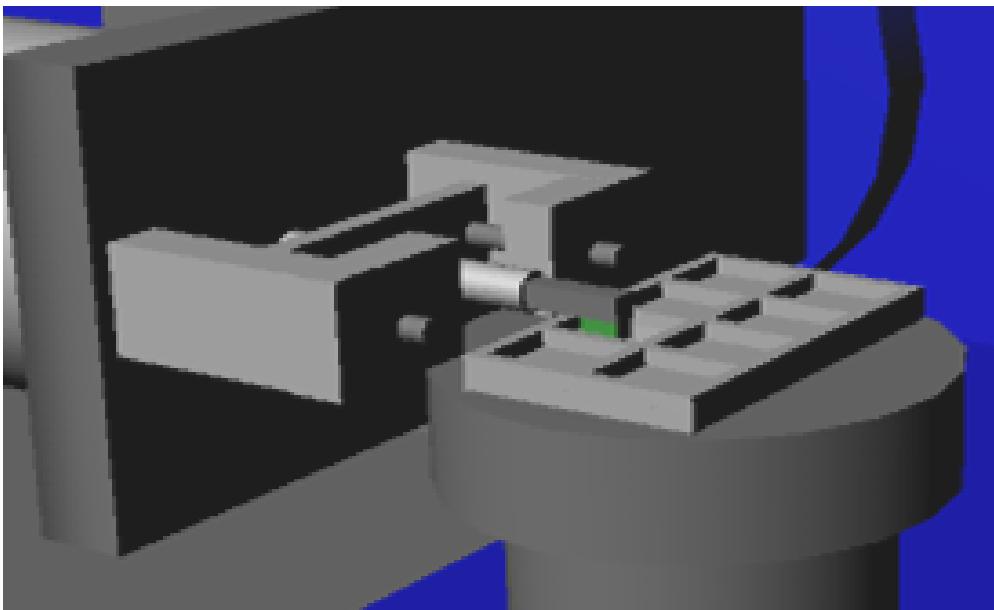
### Neues maschinelles Verfahren: **Abrasives Schwingungspolieren**

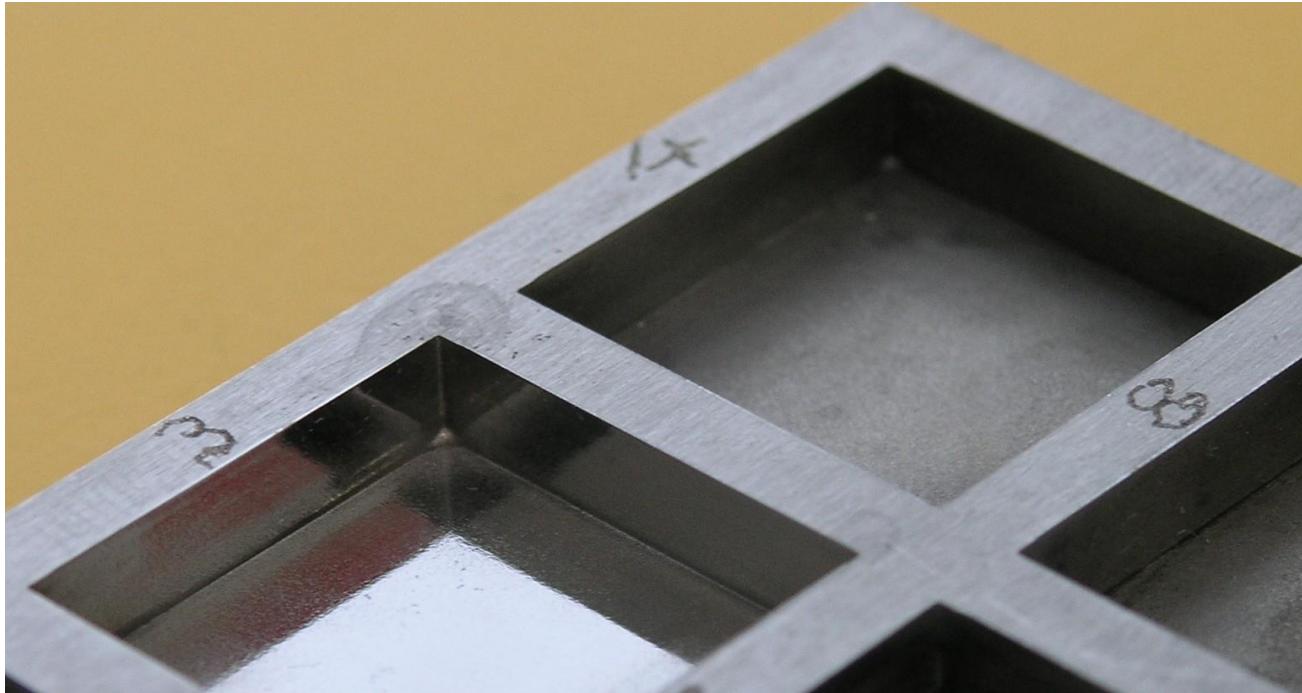
- Relativgeschwindigkeit ausschließlich durch Schwingungsbewegung erzeugt (nicht nur schwingungsunterstützt)
- komplexe Geometrien sind so polierbar





- Schwingungsbewegung mit überlageter Vorschubbewegung
- Seiten- und Grundflächen sind durch verkippten Schwingungspolierkopf bearbeitbar
- Frequenz  $f = 50 \dots 150$  Hz  
Amplitude  $A < \pm 0,5$  mm





- Schwingungspolierprozess wurde entwickelt und charakterisiert
- schwingende Polierwerkzeuge können eine optische Oberflächenqualität erzeugen
- Flexibilität der Polierwerkzeuggeometrie macht komplexe Werkstückgeometrien bearbeitbar



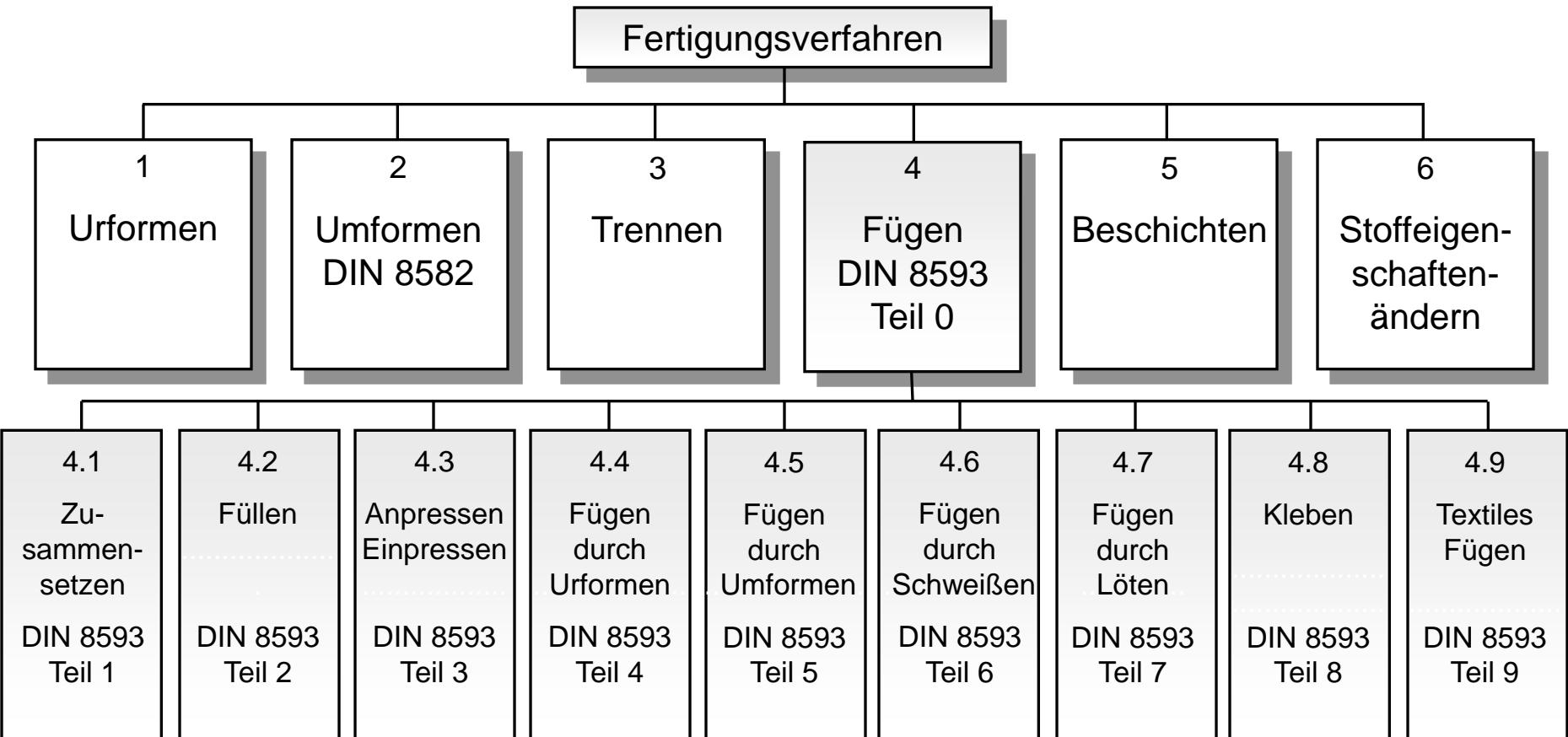
# Fertigungstechnik

Modul Produktionstechnik

Kapitel 6: Fügen



Fügen ist das auf Dauer angelegte Verbinden oder sonstige Zusammenbringen von zwei oder mehr Werkstücken geometrisch bestimmter Form oder von ebensolchen Werkstücken mit formlosem Stoff. Dabei wird jeweils der Zusammenhalt örtlich geschaffen und im Ganzen vermehrt (DIN 8593).



Quelle: DIN 8593

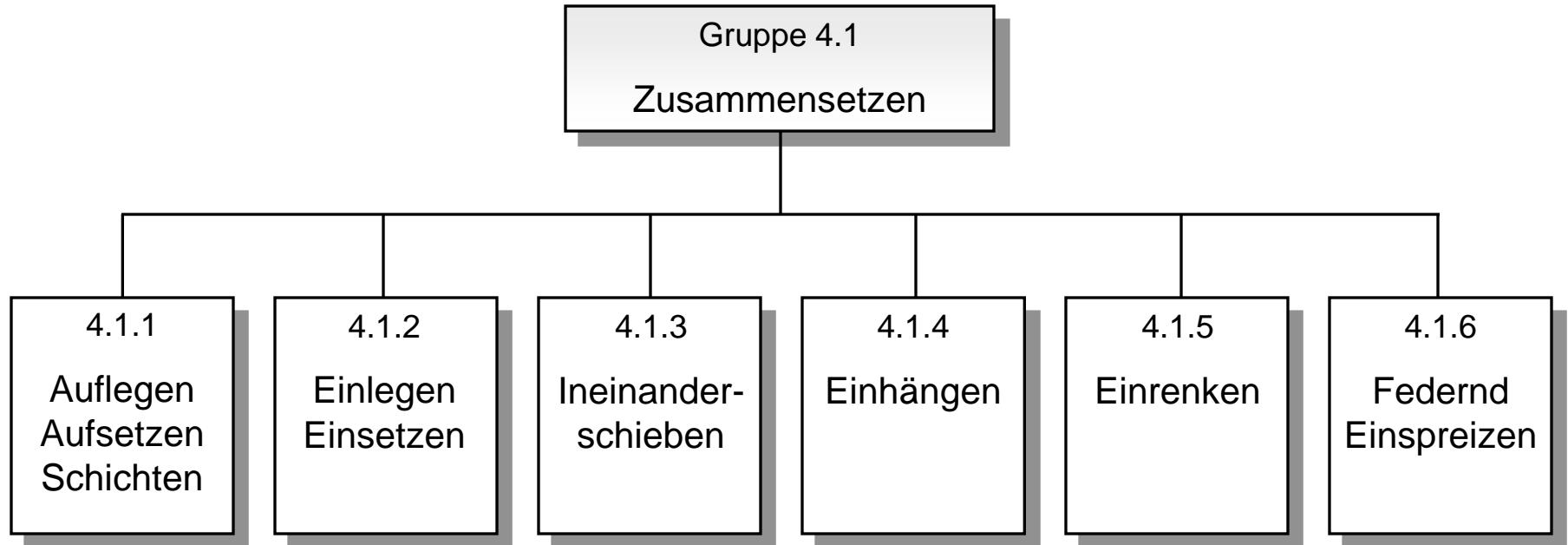


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fan 0029

Einteilung Fertigungsverfahren

Zusammensetzen ist Fügen, bei dem der Zusammenhalt der Fügeteile durch Schwerkraft (Reibung), Form-schluss, Federkraft oder eine Kombination davon bewirkt wird. Eine solche Verbindung ist ohne Schädigung der Fügeteile lösbar.



Quelle: DIN 8593, T1

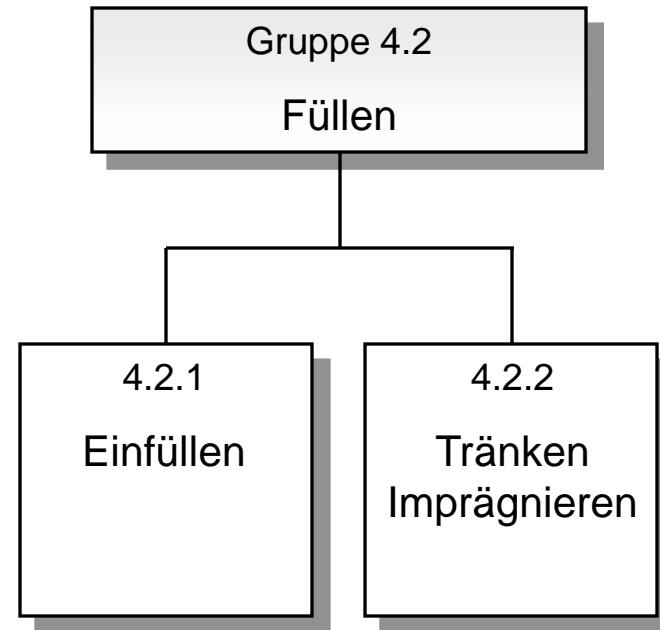


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fan 0030

## 4.1 Zusammensetzen

Füllen ist eine Sammelbezeichnung für das Einbringen von gas- oder dampfförmigen, flüssigen, breiigen oder pastenförmigen Stoffen, ferner von pulverigen oder körnigen Stoffen oder kleinen Körpern in hohle poröse Körper. Der Zusammenhalt erfolgt durch Einschluss, die Verbindung ist ohne Schädigung der Fügeteile lösbar. Das Füllen unterteilt sich in Einfüllen und Tränken.



Quelle: DIN 8593, T2

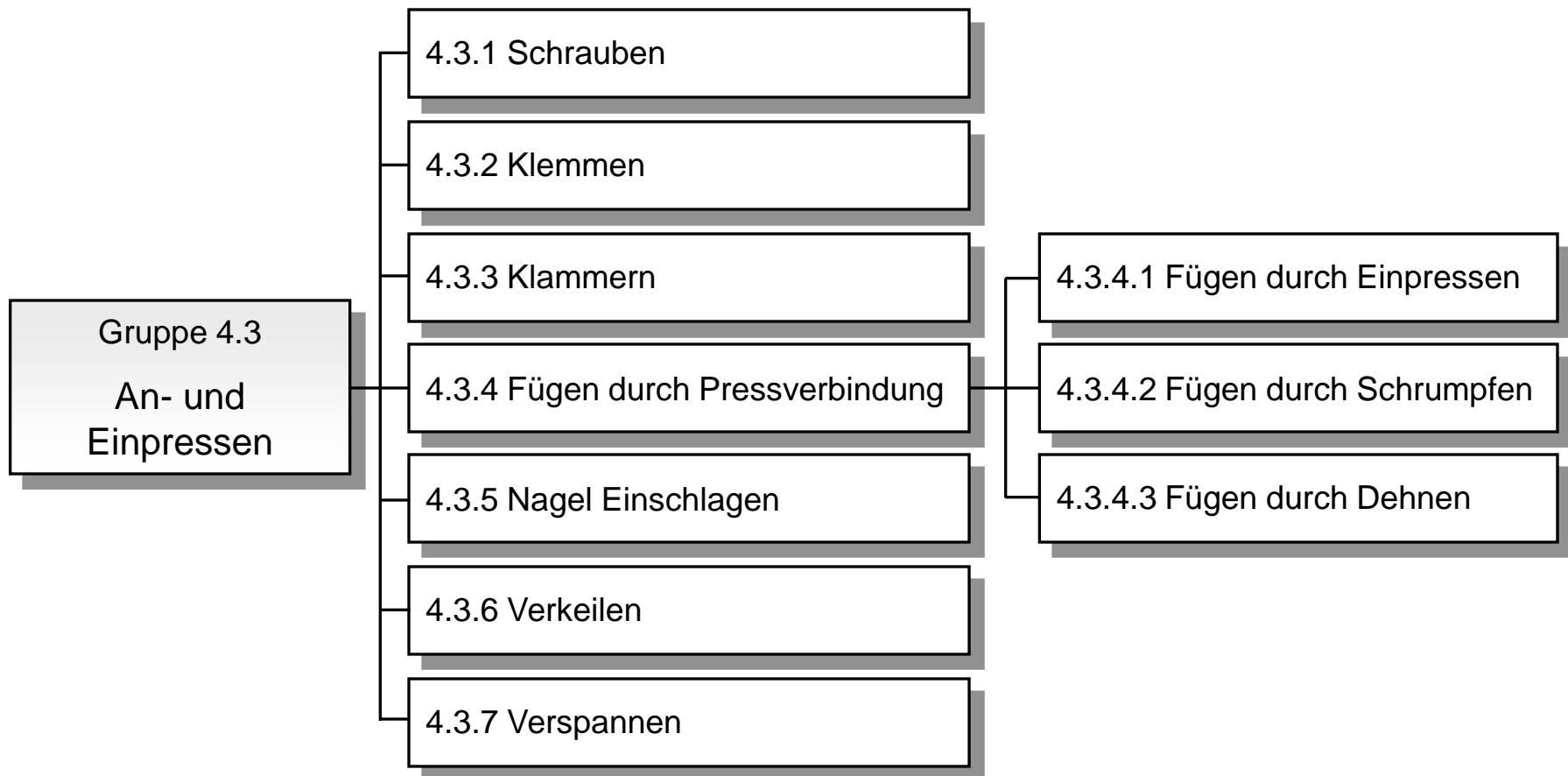


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fan 0031

4.2 Füllen

Anpressen (Einpressen) ist eine Sammelbestellung für die Verfahren, bei denen beim Fügen die Fügeteile sowie etwaige Hilfsfügeteile im wesentlichen nur elastisch verformt werden und ungewolltes Lösen durch Kraftschluss verhindert wird. Die Verbindung ist im allgemeinen ohne Schädigung der Fügeteile lösbar.

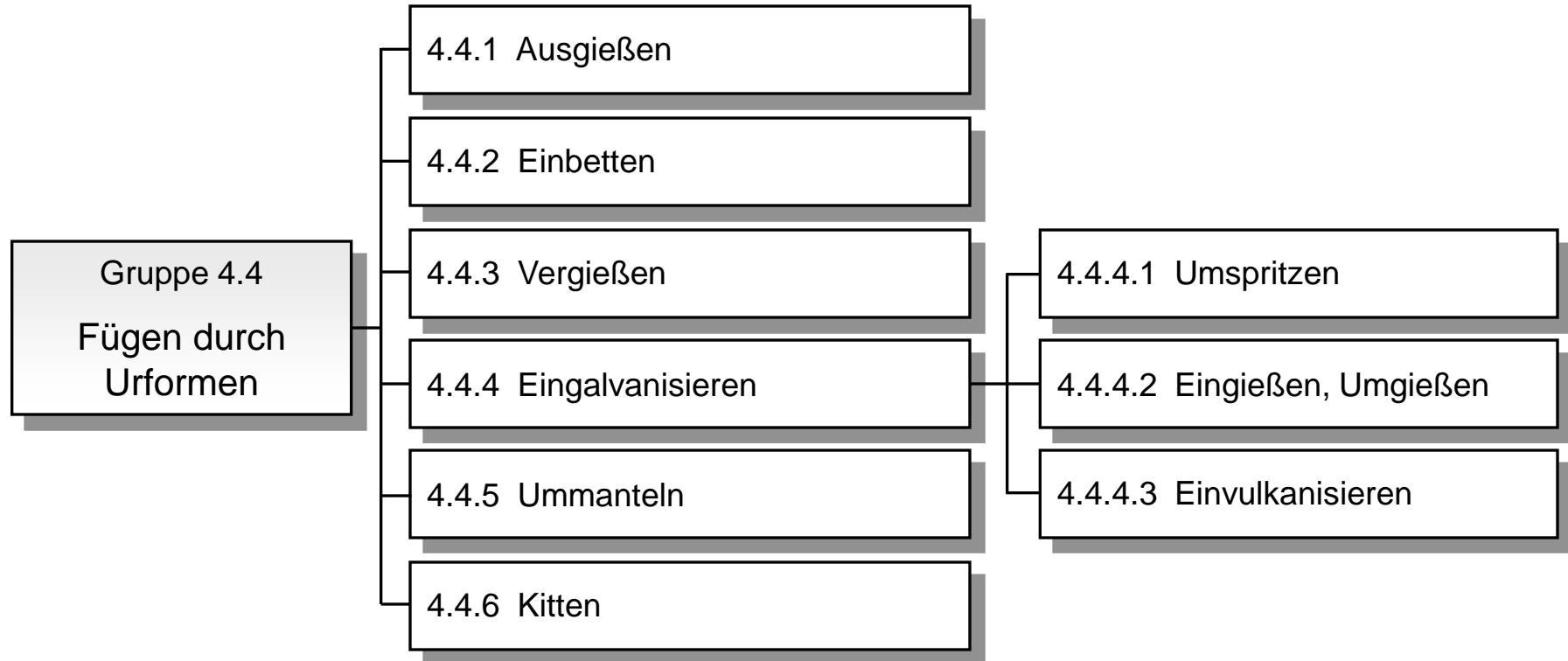


Quelle: DIN 8593, T3

Fan 0032



Fügen durch Urformen ist eine Sammelbenennung für die Verfahren, bei denen entweder zu einem Werkstück ein Ergänzungsstück aus formlosem Stoff gebildet wird oder bei denen mehrere Fügeteile durch dazwischengebrachten formlosen Stoff verbunden oder bei denen in den formlosen Stoff Metallteile o. ä. (z. B. zur Erhöhung der Festigkeit) eingelegt werden.



Quelle: DIN 8593, T4

Fan 0033



Fügen durch Umformen ist eine Sammelbenennung für Verfahren, bei denen die Fügeteile oder Hilfsfügeteile örtlich oder ganz umgeformt werden. Die Umformkräfte können mechanischer, hydraulischer, elektromagnetischer oder anderer Art sein. Die Verbindung ist i. a. durch Formschluss gegen ungewolltes Lösen gesichert und ist nur mit Schädigung oder Zerstörung der Fügeteile lösbar.

Gruppe 4.5  
Fügen durch Umformen

4.5.1 Fügen durch Umformen drahtförmiger Körper

4.5.2 Fügen durch Umformen bei Blech-, Rohr- und Profilteilen

4.5.3 Fügen durch Nietverfahren

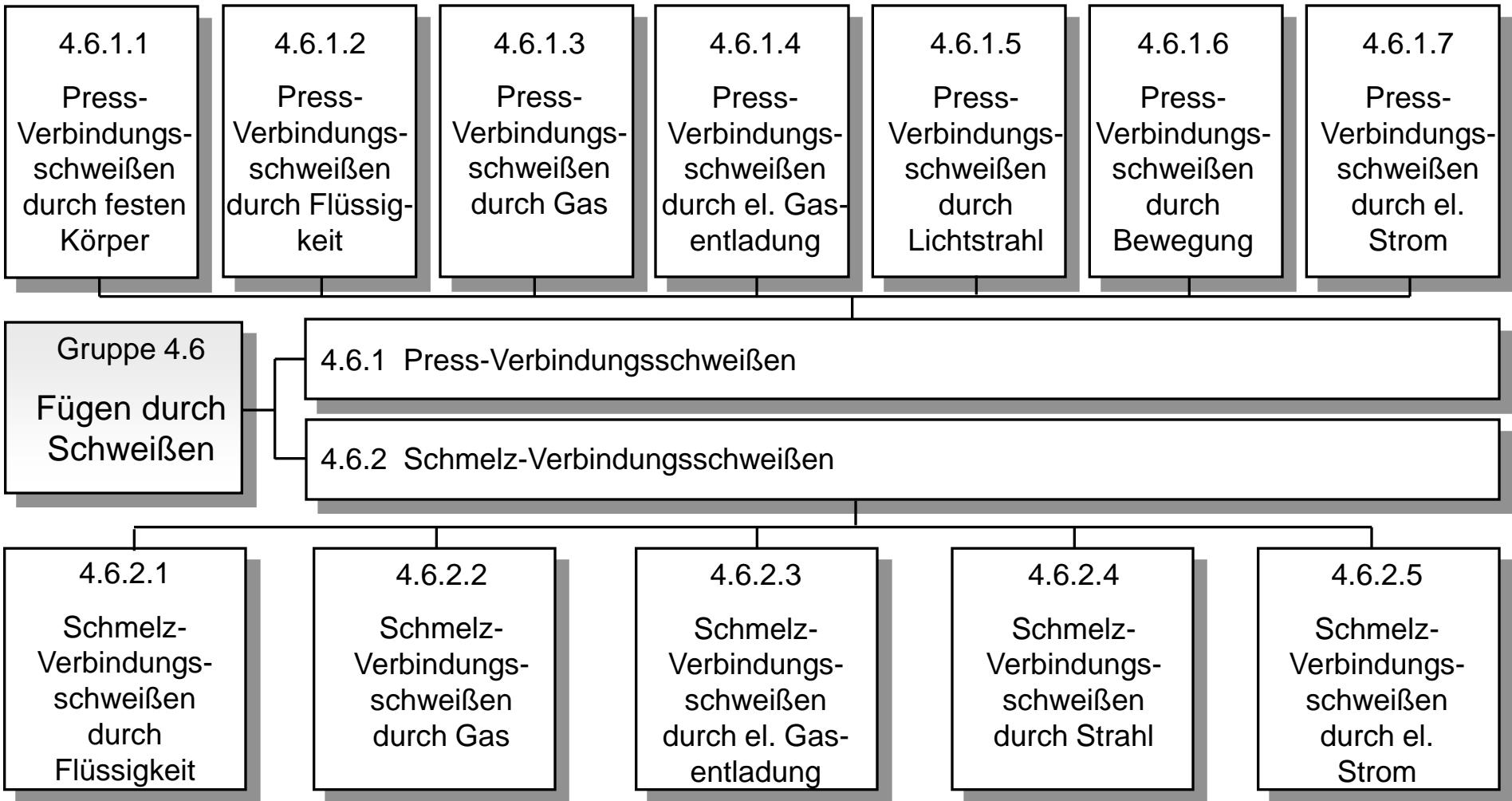
Quelle: DIN 8593, T5

Fan 0034



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

## 4.5 Fügen durch Umformen



Quelle: DIN 8593, T6



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fan 0035

## 4.6 Fügen durch Schweißen

Schweißen ist das Vereinigen von Werkstoffen in der Schweißzone unter Anwendung von Wärme und/oder Kraft mit oder ohne Schweißzusatz. Es kann durch Schweißhilfsstoffe, z. B. Schutzgase, Schweißpulver oder Pasten, ermöglicht oder erleichtert werden. Die zum Schweißen notwendige Energie wird von außen zugeführt. Neben dem Fügen (Verbindungsschweißen) wird das Schweißen auch zum Beschichten (Auftragsschweißen). Angewendet. Der Zusammenhalt wird durch eine Stoffverbindung hergestellt und ist nur dann durch Schädigung oder Zerstörung der Fügeteile lösbar.

## Grundlagen des Schweißens

Schweißverbindungen sind als stoffschlüssige Verbindungen wegen der festen und dichten Vereinigung der Grundwerkstoffe unlösbare Verbindungen.

### Vorteile geschweißter Bauteile

- Freie Gestaltung und einfache Ausführung
- Gewichtseinsparungen
- Hochfeste und dichte Verbindung

### Nachteile geschweißter Bauteile

- Gefügeänderungen in der Schweißzone
- Verzug und Schrumpfung am Bauteil
- Nicht alle Metalle sind zum Schweißen geeignet

## → Allgemeine Arbeitsregeln beim Schweißen

- Sauerstoff-Flaschen sind frei von Öl und Fett zu halten. Sauerstoff reagiert mit Öl und Fett explosionsartig.
- Gasflaschen sind gegen umfallen zu sichern und vor Stoß und Erwärmung sowie vor Frost zu schützen.

- Zum Schutz der Augen vor Blendung durch die Schweißflamme und vor glühenden Schweißspritzen muss eine Schutzbrille mit dunklen Gläsern getragen werden.
- Beim Schweißen in kleinen Räumen ist für ausreichend Frischluft zu sorgen. Sauerstoff aus der Flasche darf dafür nicht verwendet werden.

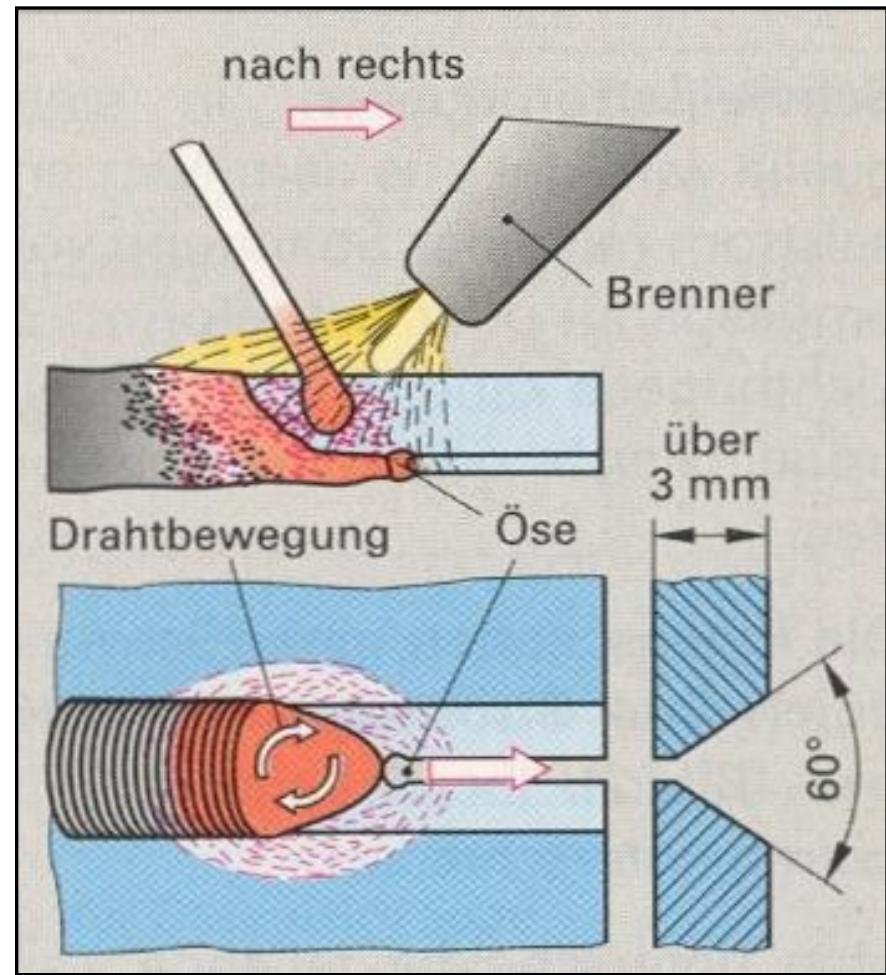
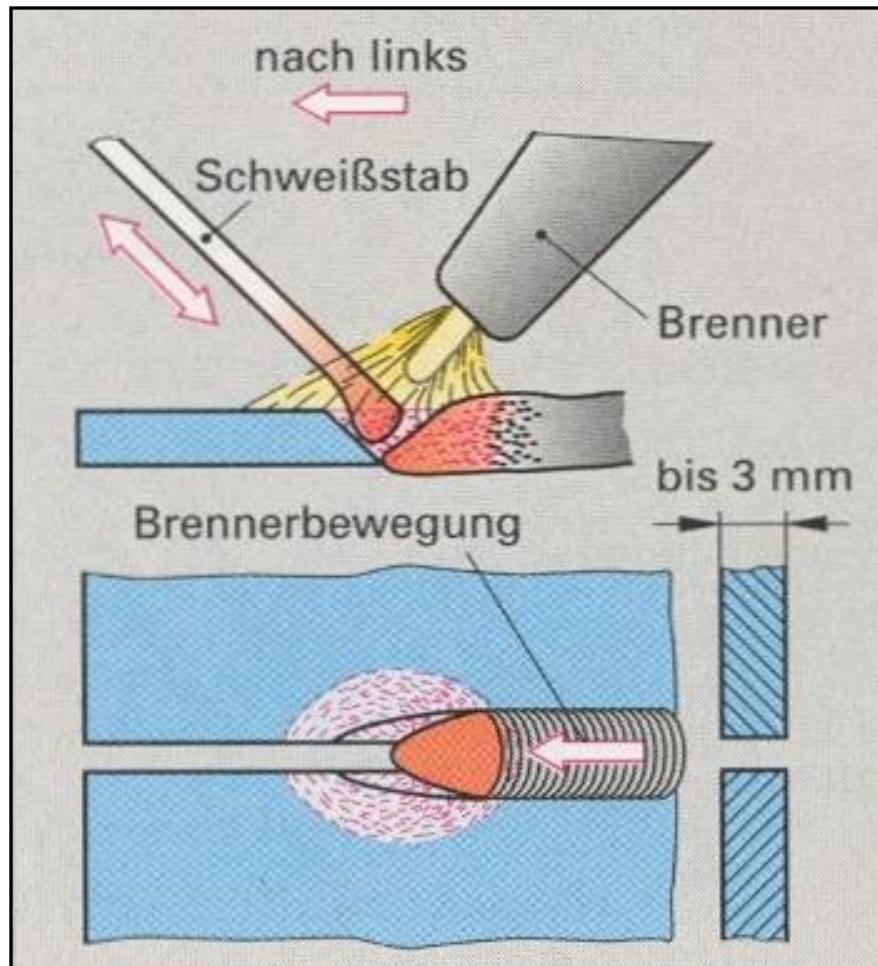
Quelle: Fachkunde Metall, Dubbel



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fan 0036

## 4.6 Fortsetzung Fügen durch Schweißen



Quelle: Fachkunde Metall

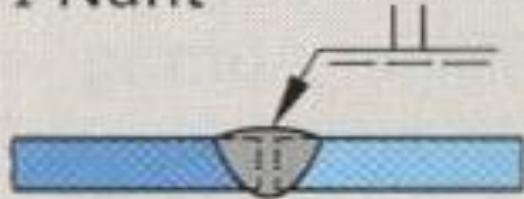


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

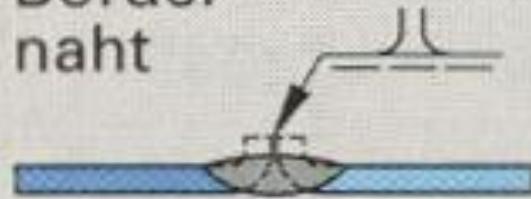
Fan 0037

## Nachlinks- und Nachrechtsschweißung

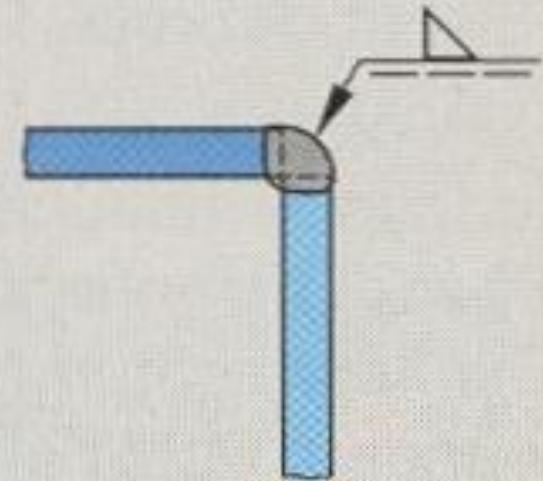
I-Naht



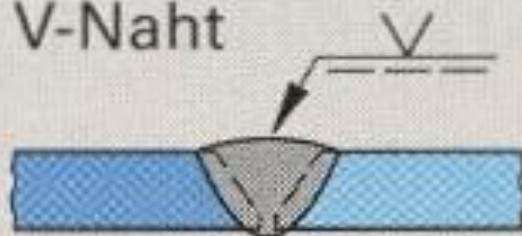
Bördel-naht



Ecknaht



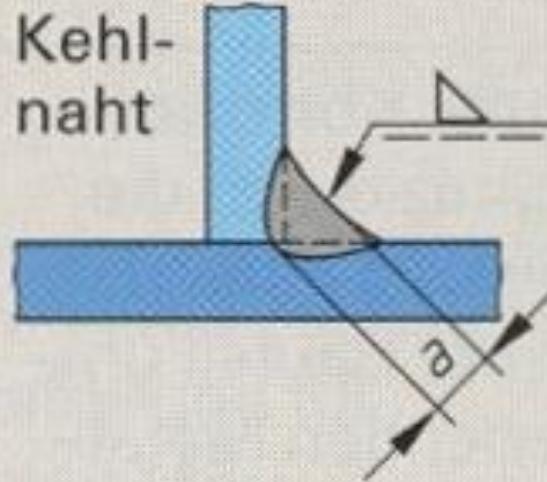
V-Naht



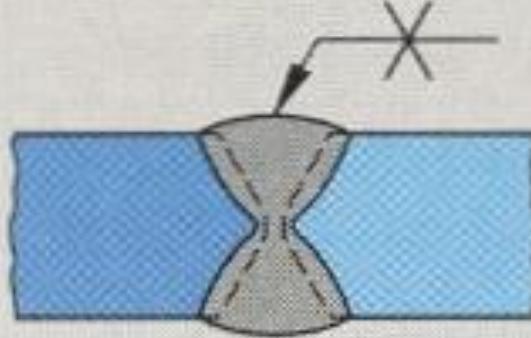
Überlapp-naht



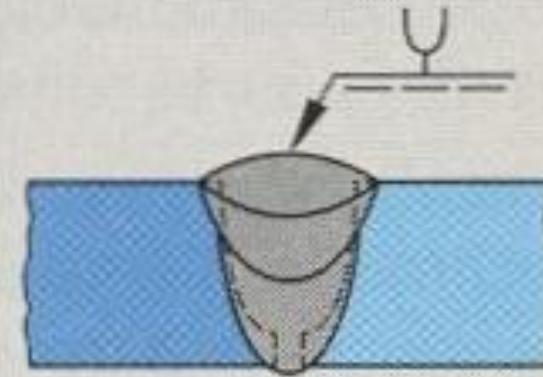
Kehl-naht



X-Naht



U-Naht



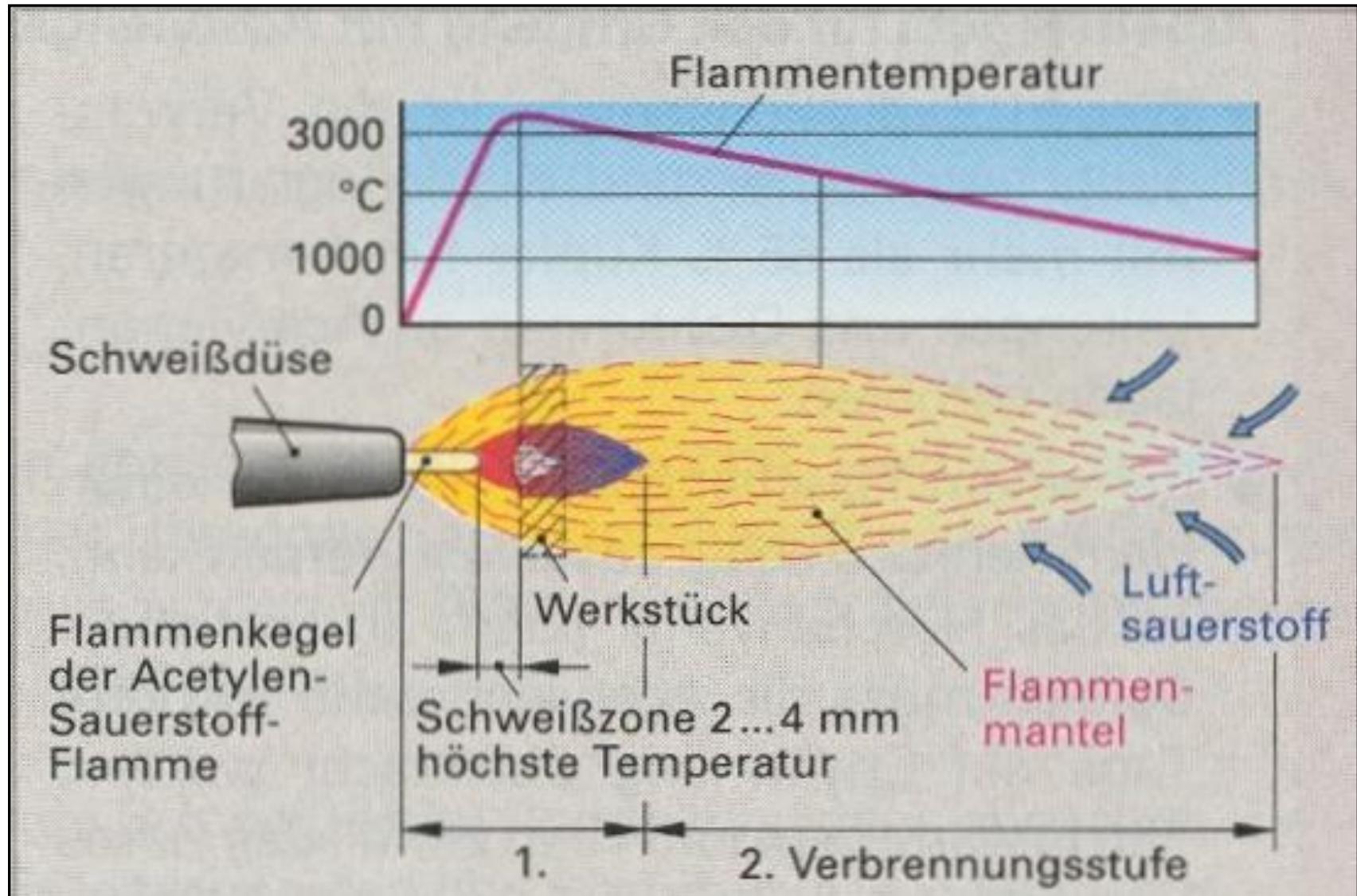
Quelle: Fachkunde Metall



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fan 0038

Schweißnahtarten



Quelle: Fachkunde Metall



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Acetylen-Sauerstoff-Flamme

Fan 0039

Werkstück

Schweißnaht

Z

Polklemme

Stabelektrode

Z

Umhüllung

- Pol

Kerndraht

Lichtbogen

Gasschlauch

Werkstoff-  
übergang

Schlacke

Schmelzbad

Schweiß-  
naht

+ Pol  
(Werkstück)

Werkstoffübergang im Lichtbogen

~ Strom vom Netz:  
hohe Spannung,  
niedrige Stromstärke

Elektroden-  
halter

Schweiß-  
leitung

zum  
Schweißen  
niedrige  
Spannung,  
hohe  
Stromstärke

Ein  
Aus

DC  
AC

Schweißstromquelle

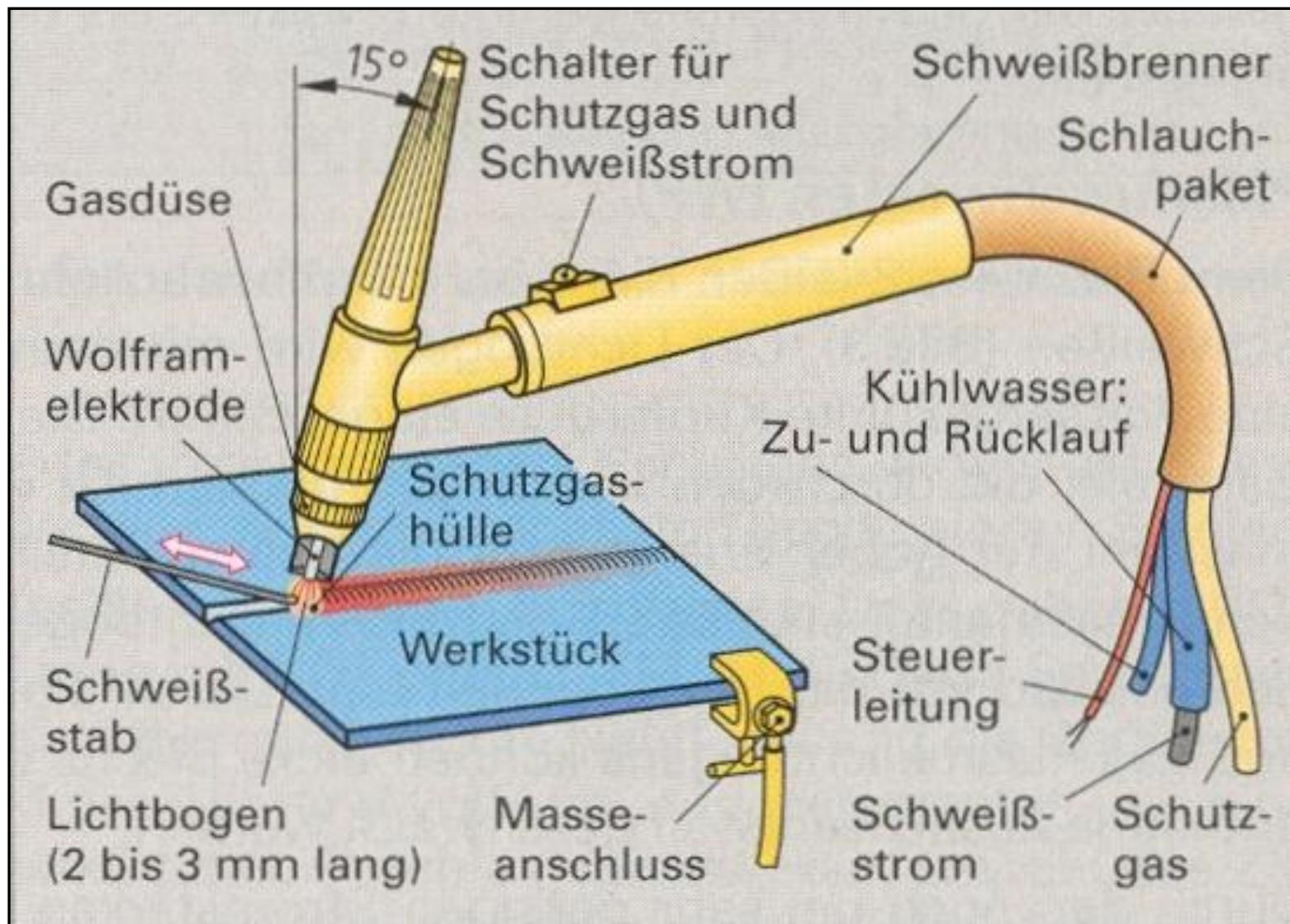


Quelle: Fachkunde Metall

Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fan 0040

Lichtbogenhandschweißen



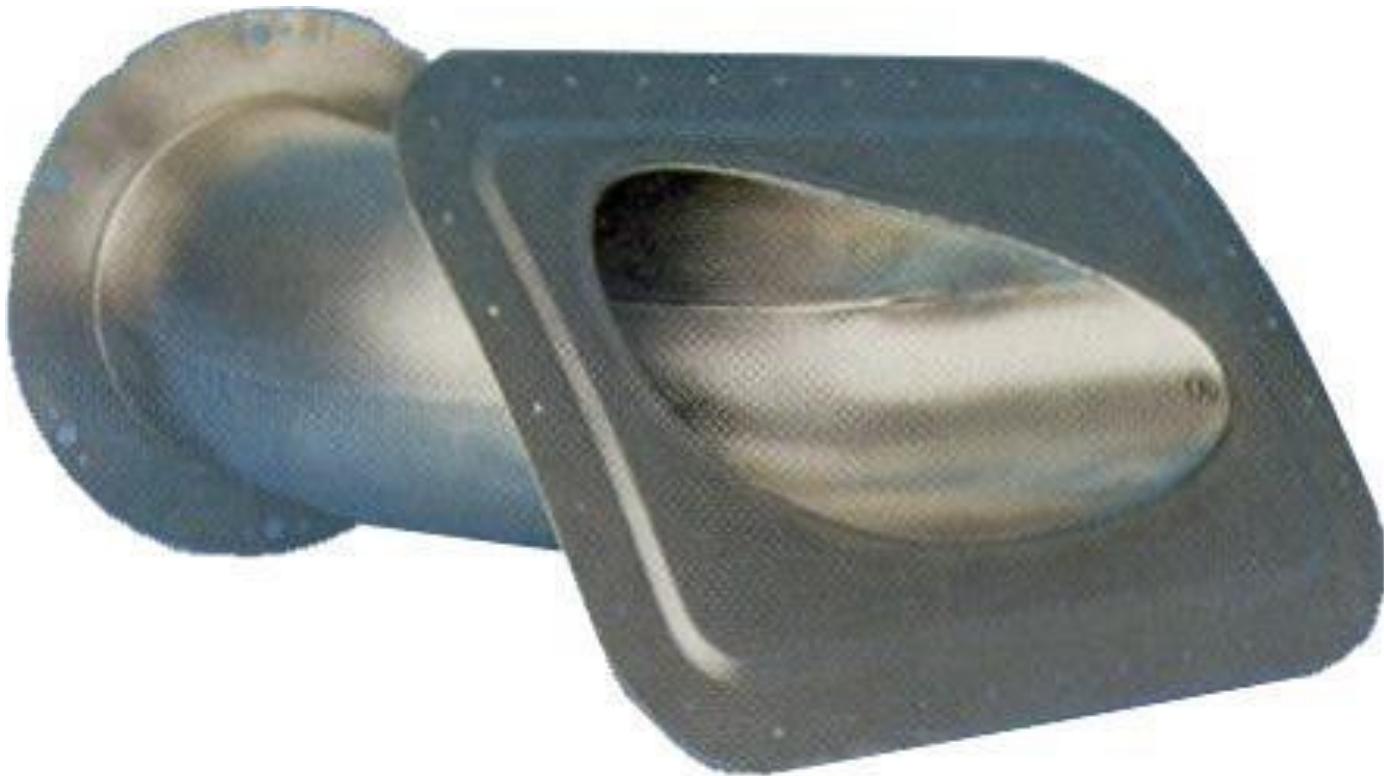
Quelle: Fachkunde Metall

Fan 0041



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

WIG-Schweißbrenner



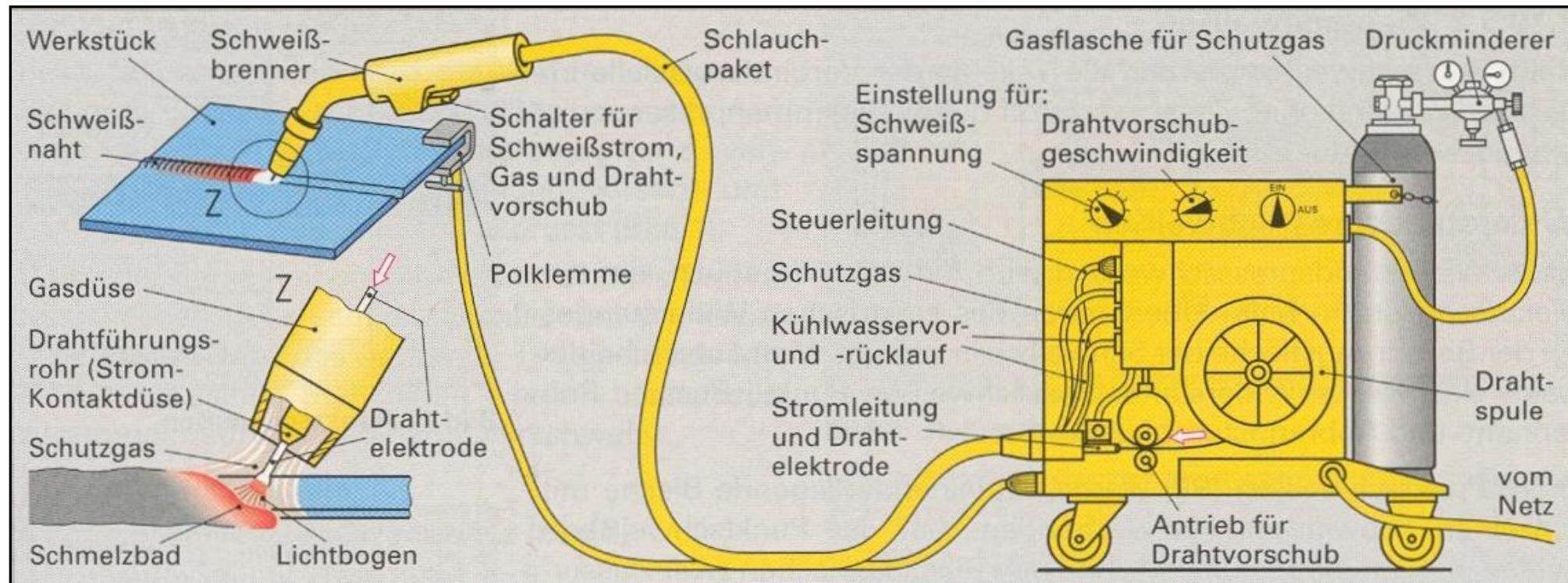
Quelle: Fachkunde Metall

Fan 0042



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

WIGgeschweißtes Bauteil



Quelle: Fachkunde Metall



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fan 0043

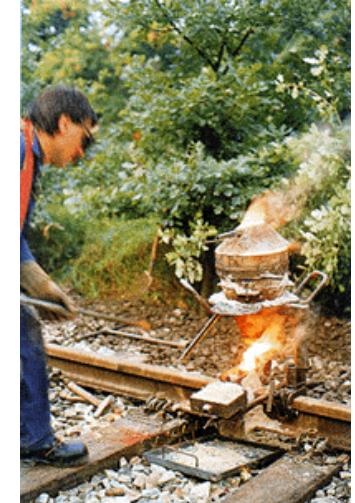
## MIG-MAG-Schweißanlage



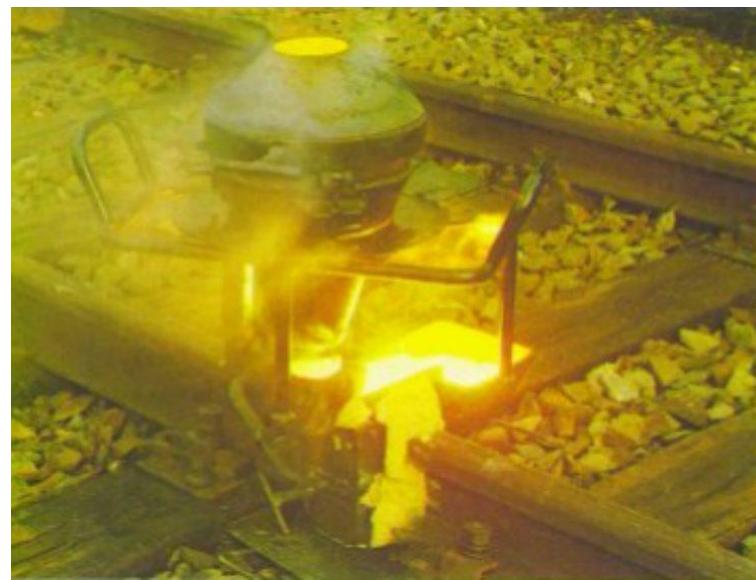
**Bild 1:** Verbinden von Schienen



**Bild 2:** Vorbereitung



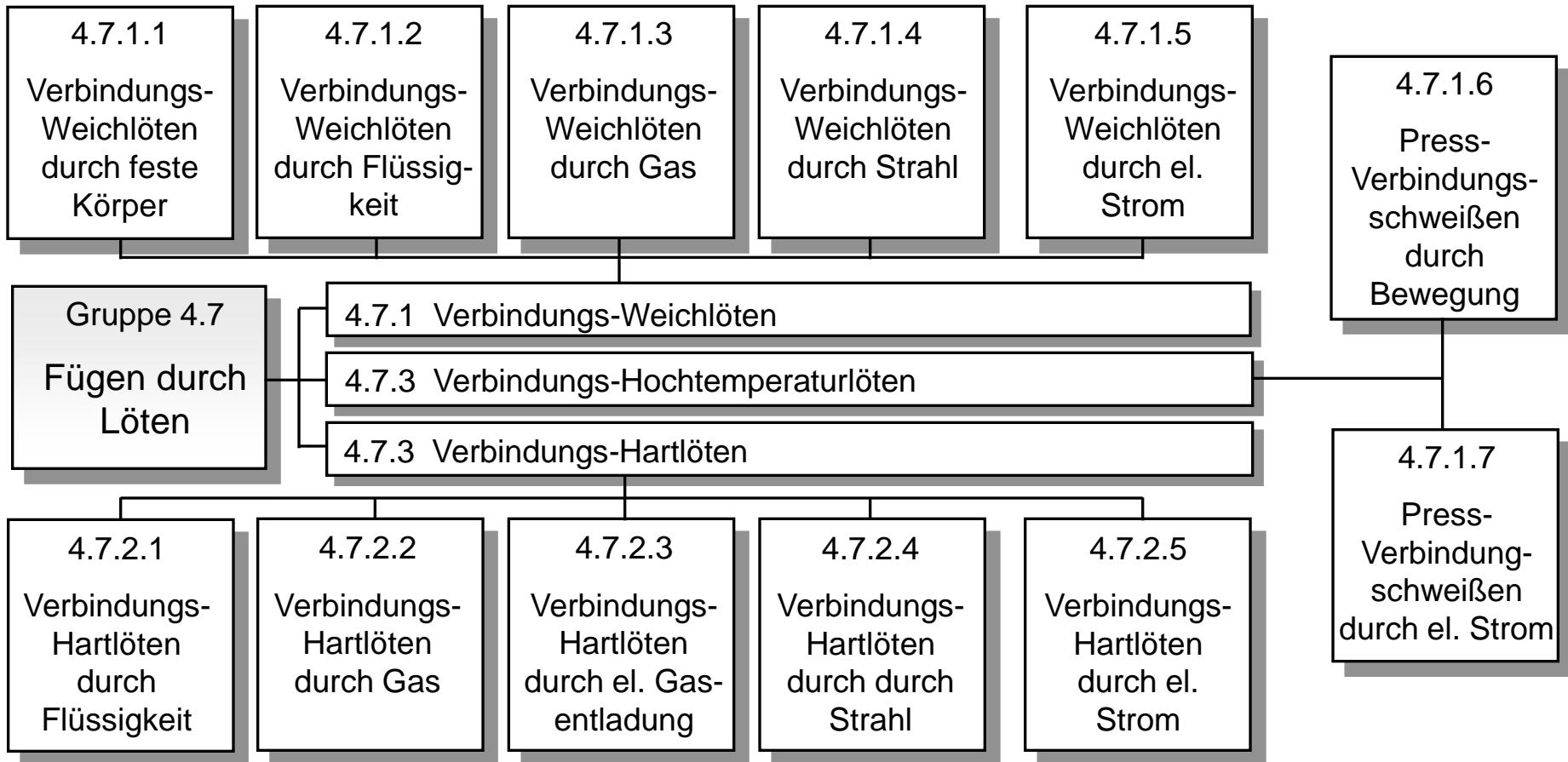
**Bild 3:** Abgestochen



Quelle: [www.bg-bahnen.de](http://www.bg-bahnen.de)

Fan 0044

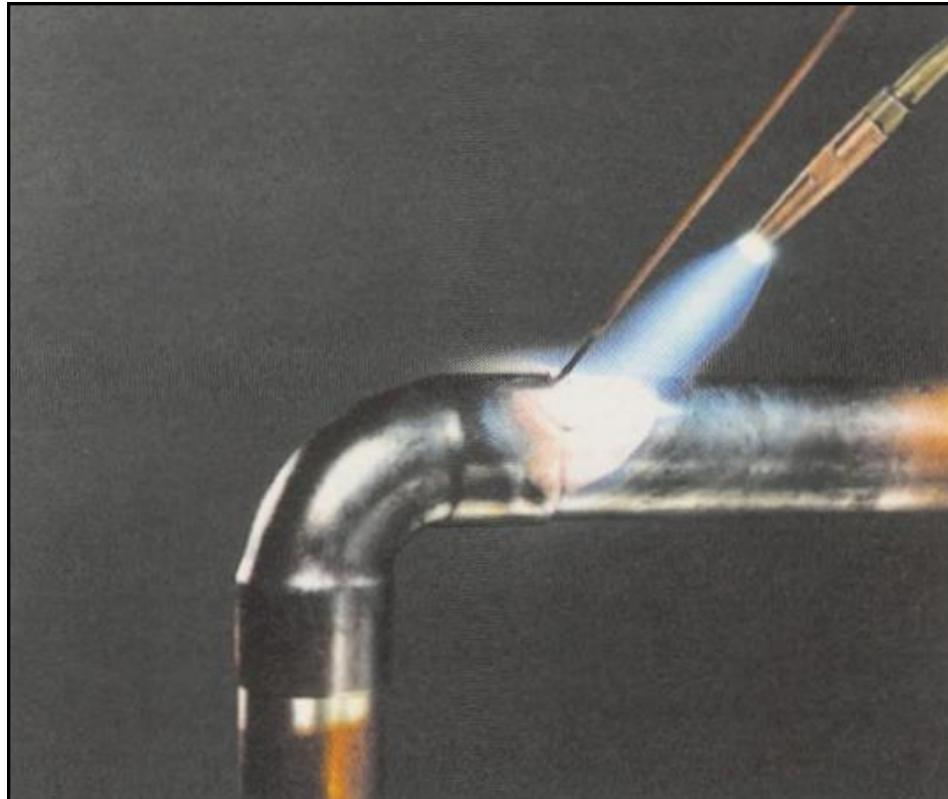




Quelle: DIN 8593, T7



Löten ist ein thermisches Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen von Werkstoffen, wobei eine flüssige Phase durch Schmelzen eines Lotes (Schmelzlöten) oder durch Diffusion an den Grenzflächen (Diffusionslöten) entsteht. Die Solidustemperatur der Grundwerkstoffe wird nicht erreicht. Wie beim Schweißen wird das Löten zum Fügen (Verbindungslöten) und zum Beschichten (Auftragsslöten) verwendet. Die Verbindung ist sowohl mit als auch ohne Schädigung der Fügeteile lösbar.



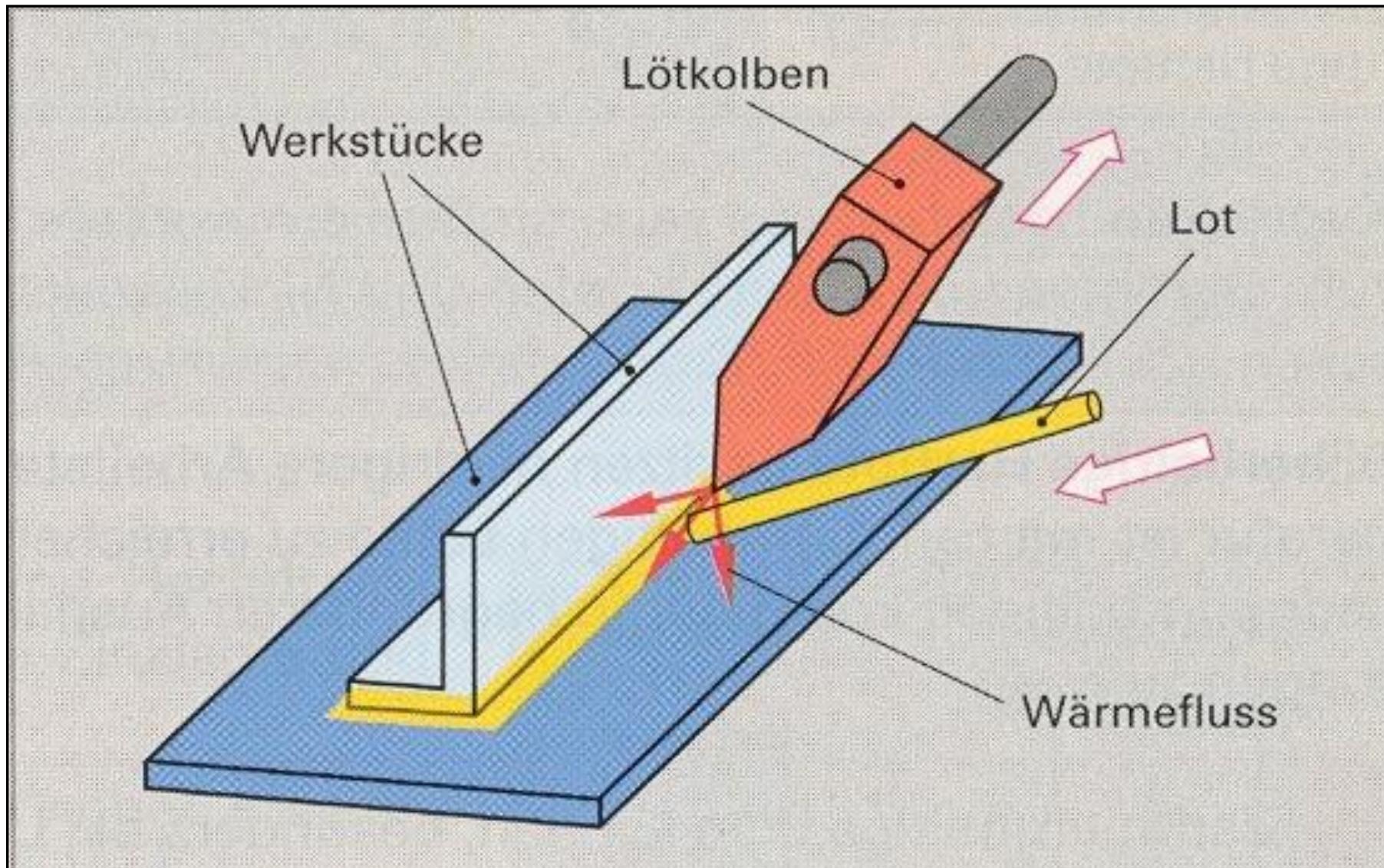
Quelle: Fachkunde Metall, Dubbel



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fan 0046

Löten eines Kupferrohres



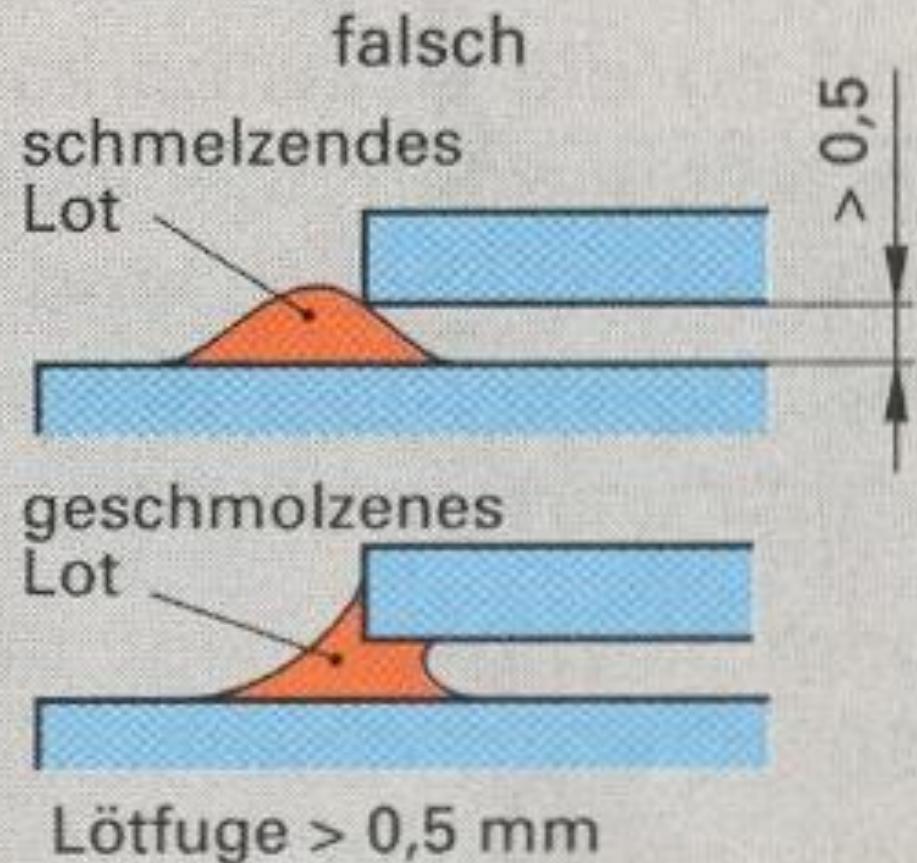
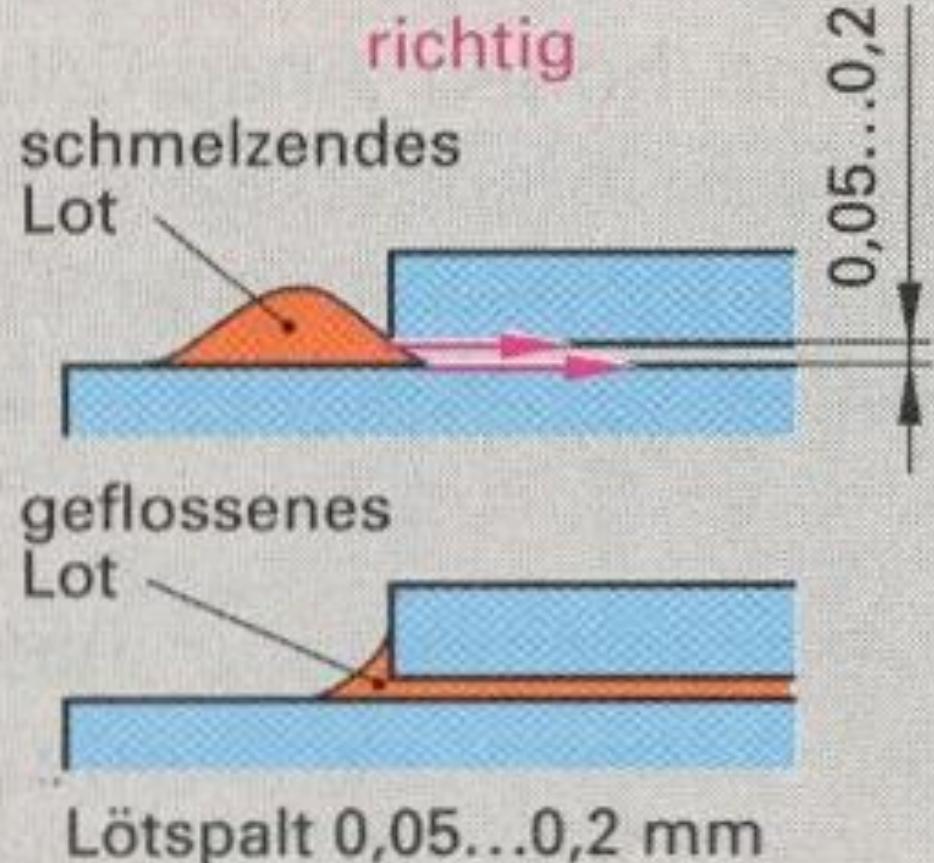
Quelle: Fachkunde Metall, Dubbel

Fan 0047



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Kolbenlöten



Quelle: Fachkunde Metall, Dubbel



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

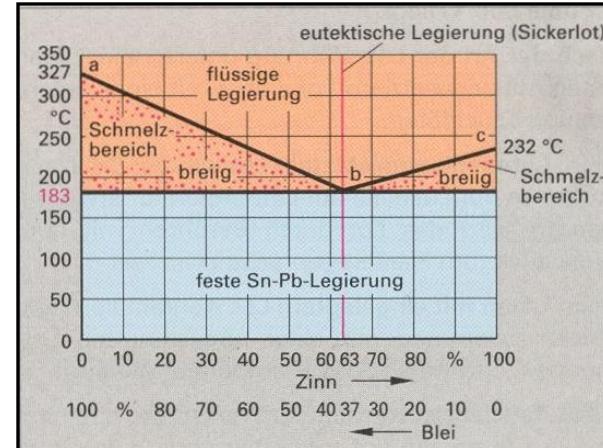
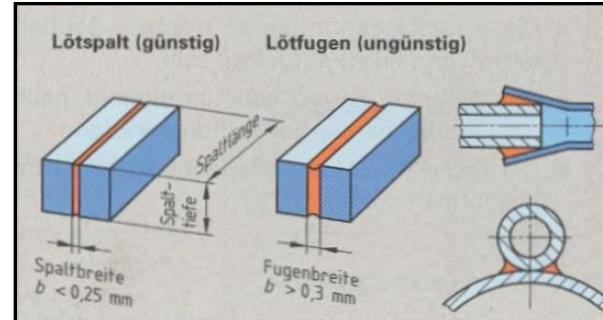
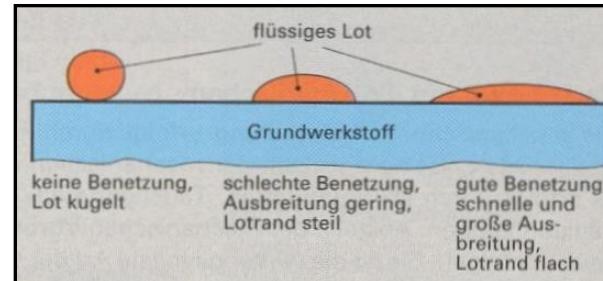
Fan 0048

Kapillarwirkung beim Löten

## Grundlagen

Durch Löten lassen sich gleiche oder verschiedenartige metallische Werkstoffe fest, dicht und leitfähig verbinden.

- ⇒ Eine gute Benetzung wird nur erreicht, wenn
  - der Grundstoff mit dem Lot eine Legierung bilden kann,
  - die Lötstelle metallisch rein ist,
  - die Werkstücke und das Lot genügend erwärmt werden.
- ⇒ Der Lötspalt soll 0,05 mm bis 0,2 mm breit sein.
- ⇒ Eutektische Legierungen besitzen einen Schmelzpunkt, andere Zusammensetzungen einen Schmelzbereich.
- ⇒ Das Lot muss erschütterungsfrei erstarrten.
- ⇒ Arbeitsregeln
  - Werkstück und Löt sollen rasch und gleichmäßig erwärmt werden.
  - Arbeitstemperatur und max. Löttemperatur begrenzen den Löttemperaturbereich.
  - Der Wirktemperaturbereich des Flussmittels muss größer sein als der Löttemperaturbereich.
  - Der Arbeitsplatz ist ausreichend zu lüften.



Quelle: Fachkunde Metall

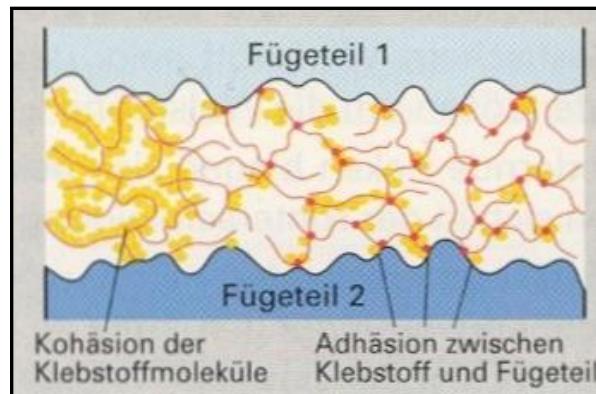
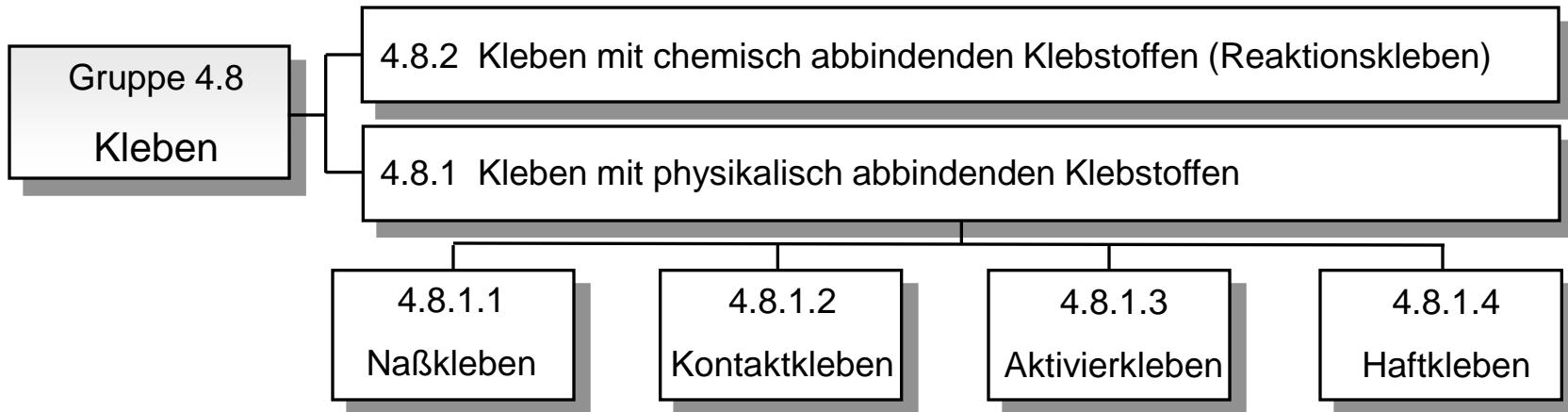


Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Grundlagen des Löten

Fan 0049

Das Kleben ist ein Fügeverfahren unter Verwendung eines Klebstoffes d. h. eines nichtmetallischen Werkstoffes, der es ermöglicht, die zu fügenden Teile durch Oberflächenhaftung (Adhäsion) und innerer Festigkeit (Kohäsion) zu verbinden, ohne das Gefüge der Körper wesentlich zu verändern. Dabei kann die Grenze zwischen Klebstoffen, Dichtungsstoffen und Bindemitteln nicht eindeutig genannt werden. Die Verbindung ist i. a. nur mit Schädigung oder Zerstörung der Fügeteile lösbar.

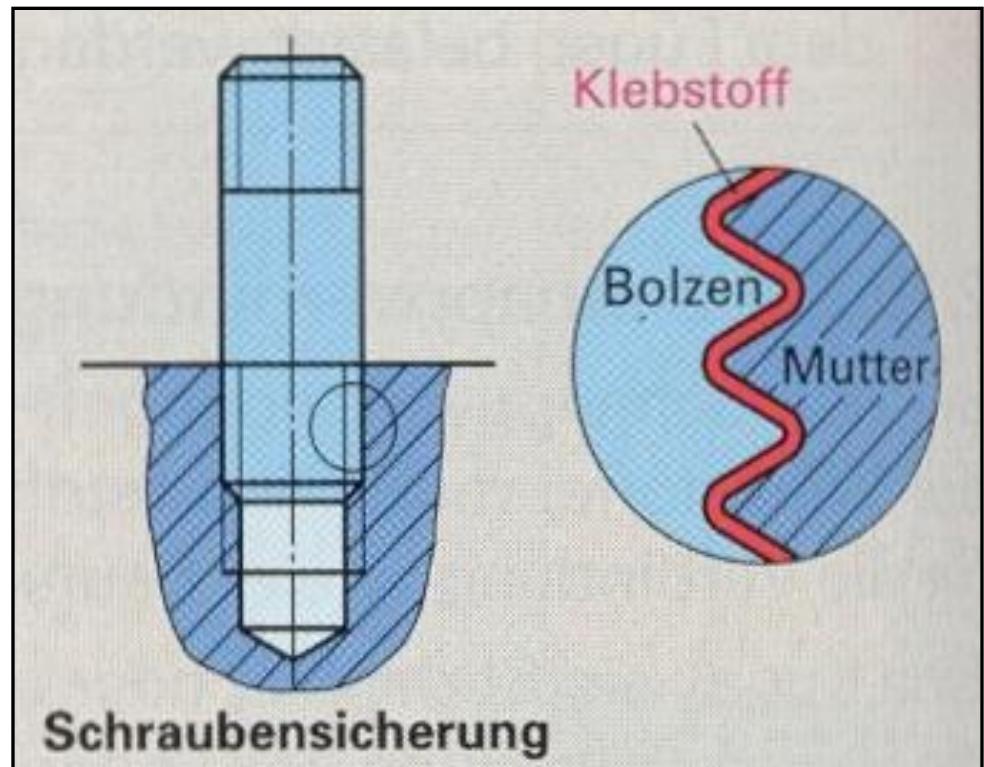
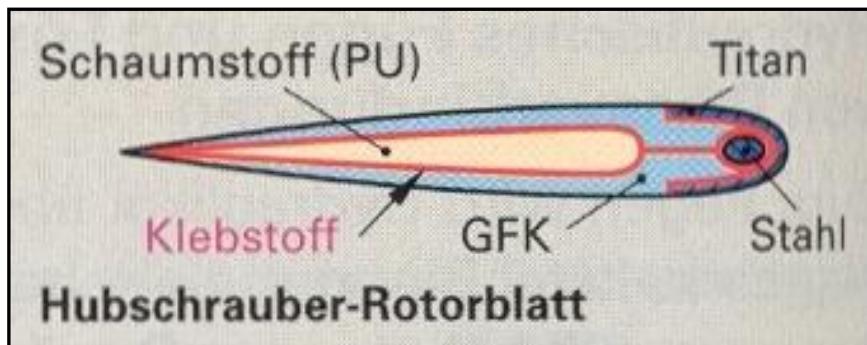


Quelle: DIN 8593, T8



## Klebeverbindungen werden eingesetzt zum

- Verbinden von Konstruktionsteilen (Flugzeugbau)
- Sichern von Schrauben (Fahrzeugbau)
- Dichten von Fügeflächen (Gehäuse)



Quelle: Fachkunde Metall, Dubbel



Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fan 0051

Einsatzmöglichkeiten des Klebens

## **Vorteile des Klebens**

- Keine Gefügeänderungen
- Gleichmäßige Spannungsverteilung
- Viele Werkstoffkombinationen
- Dichte Verbindungen
- Wenig Passarbeit erforderlich

## **Nachteile des Klebens**

- Große Fügeflächen nötig
- Geringe Dauerfestigkeit
- Geringe Warmfestigkeit
- Teilweise lange und komplizierte Aushärtung



Quelle: Fachkunde Metall, Dubbel

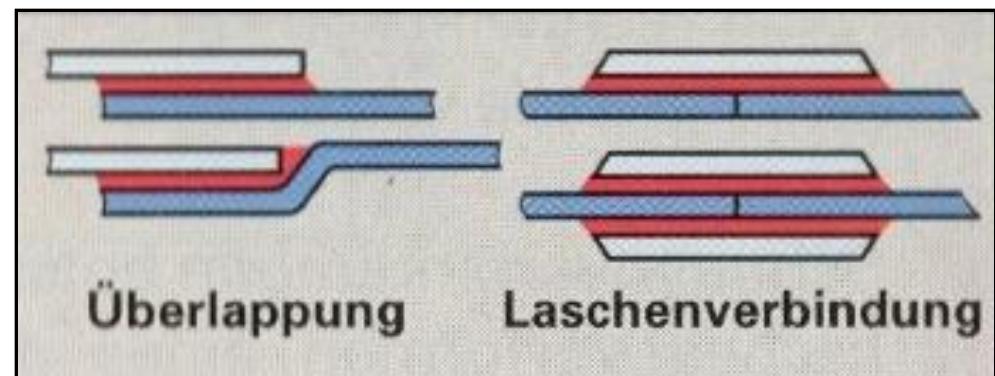
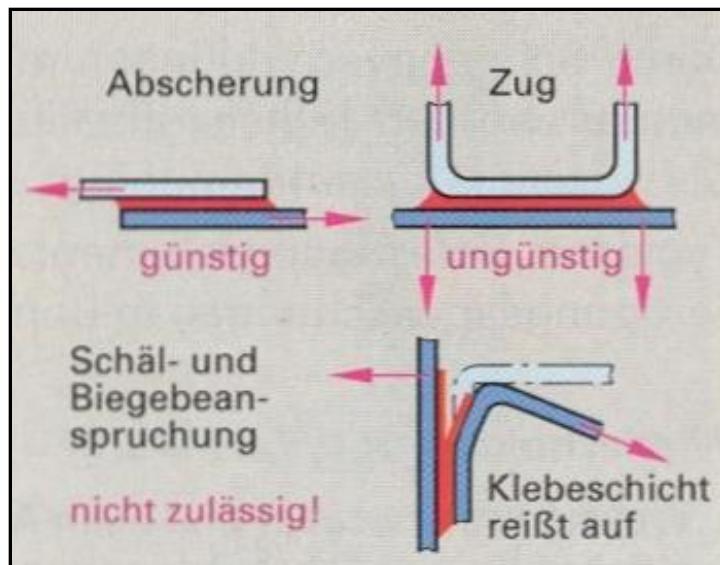
Universität Bremen  
Fertigungsverfahren  
Prof. E. Brinksmeier

Fan 0052

Vor- und Nachteile des Klebens

## Grundlagen der Klebeverbindung

- Die Klebeverbindungen müssen großflächig sein und dürfen nicht auf Abschälen beansprucht werden
- Die Klebeflächen müssen trocken, sauber, fettfrei und leicht aufgeraut sein
- Die Klebstoffauftrag soll unmittelbar nach der Oberflächenvorbehandlung erfolgen
- Die Dicke der Klebstoffschicht soll 0,1 mm bis 0,3 mm betragen
- Während der Aushärtung müssen die Teile gegen Verrutschen gesichert werden
- Klebstoffe sollen im ungehärteten Zustand nicht mit der Haut in Berührung kommen
- Die Arbeitsräume sind gut zu lüften, da gesundheitsschädliche Dämpfe auftreten können



Quelle: Fachkunde Metall, Dubbel

Fan 0053

