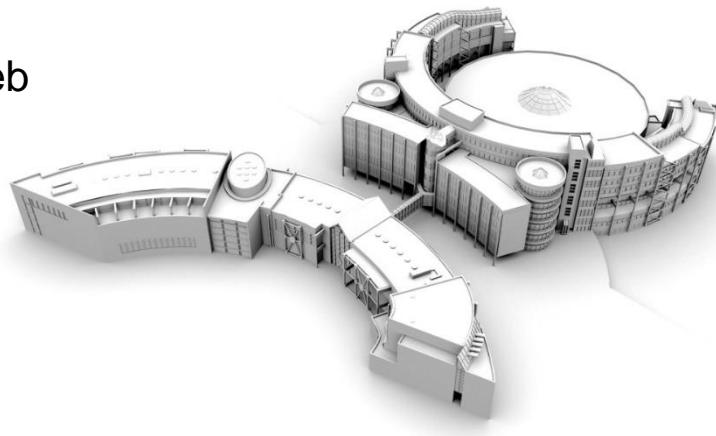


# Produktionstechnik II

Produktionstechnik (Master)  
Produktions- und Automatisierungstechnik im Fabrikbetrieb

Technische Universität Berlin  
Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb

*Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. E. Uhlmann*



# 8 Produktherstellung

## 8.2 Urformen

8.2.1 *Definition und Merkmale*

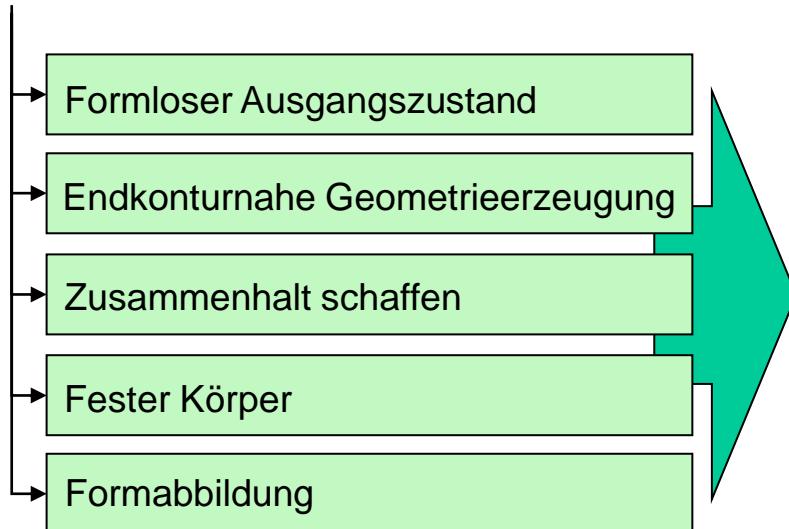
8.2.2 Urformen metallischer Werkstoffe

8.2.3 Urformen polymerer Werkstoffe

8.2.4 Urformen keramischer Werkstoffe

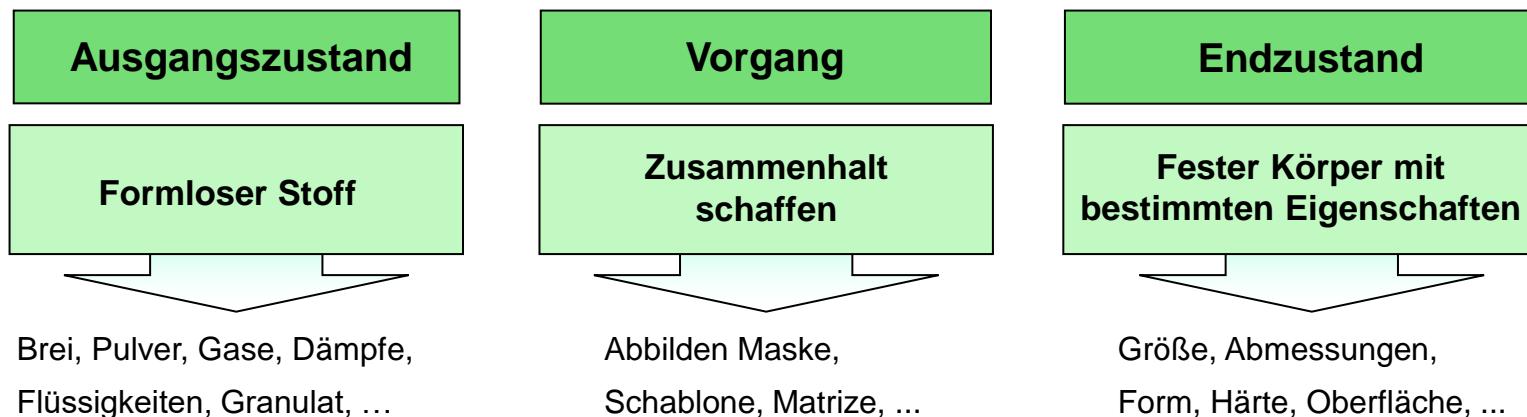
8.2.5 Sonerverfahren

# Was bedeutet Urformen?



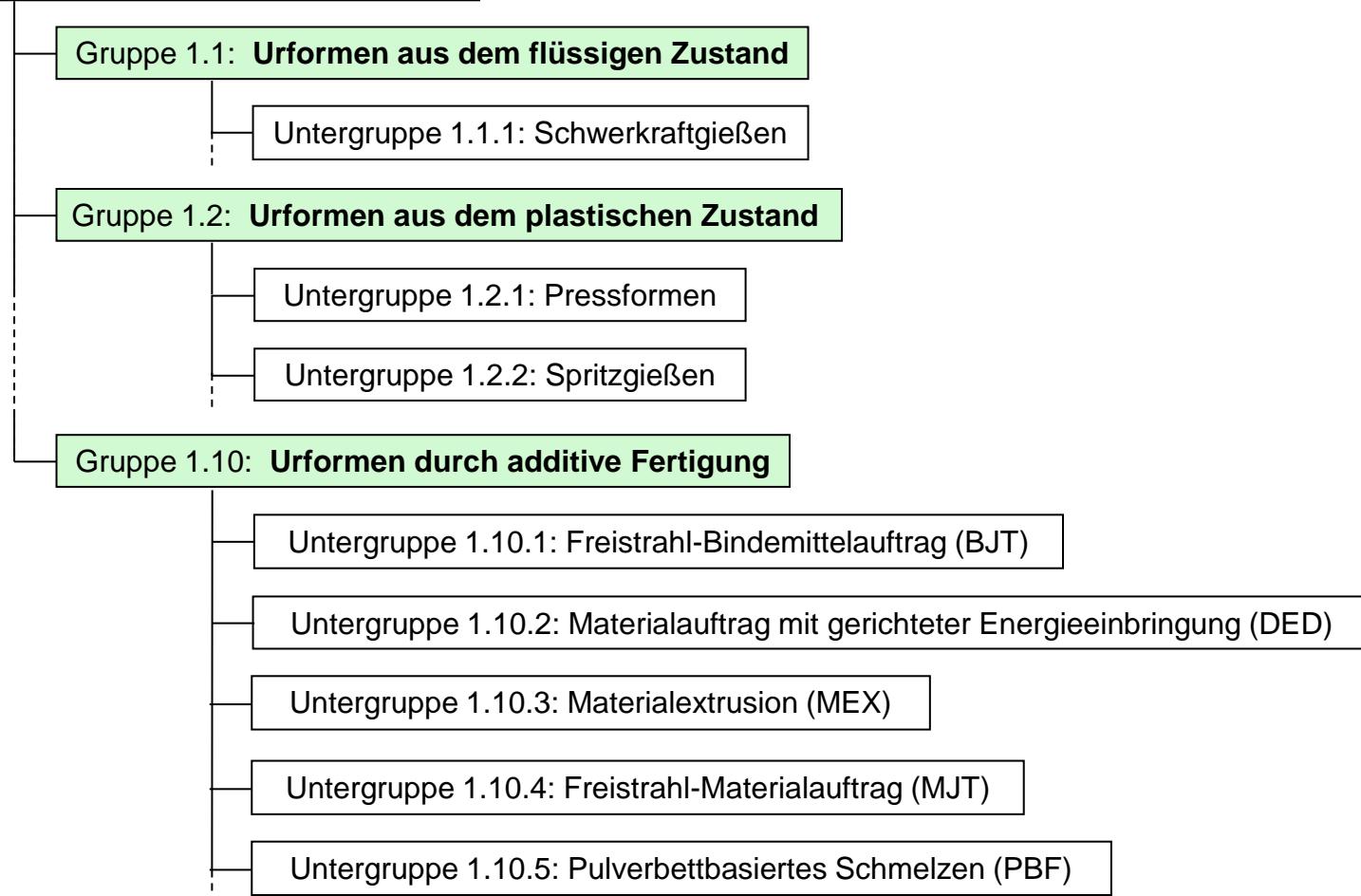
## Definition des Urformens

Urformen ist das Fertigen eines festen Körpers aus formlosem Stoff durch Schaffen des Zusammenhalts. Hierbei treten die Stoffeigenschaften bestimmbar in Erscheinung.

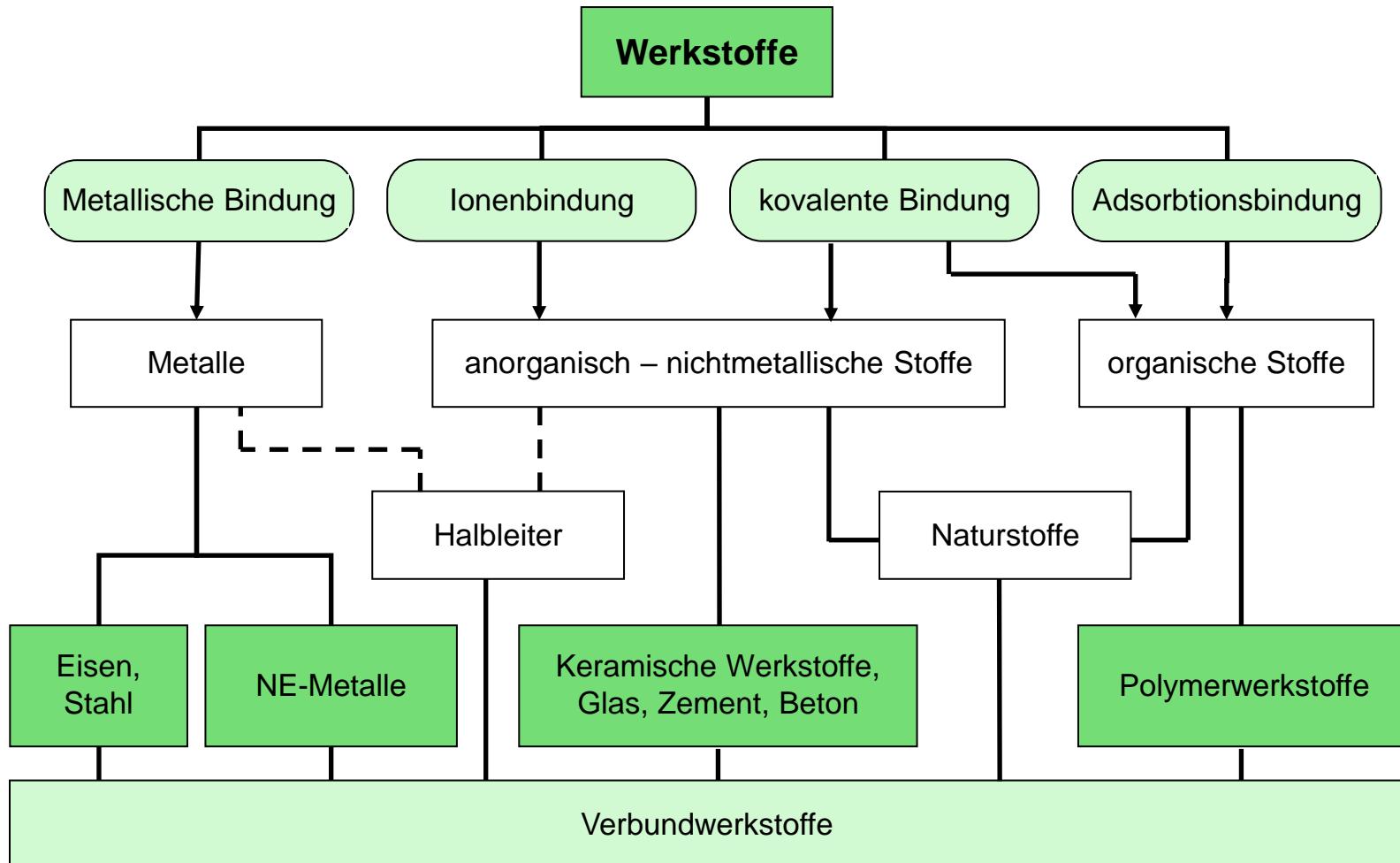


# Einteilung der Urformverfahren nach DIN 8580

## Hauptgruppe 1: Urformen



# Klassifikation der Werkstoffgruppen



# 8 Produktherstellung

## 8.2 *Urformen*

### 8.2.1 Definition und Merkmale

### 8.2.2 *Urformen metallischer Werkstoffe*

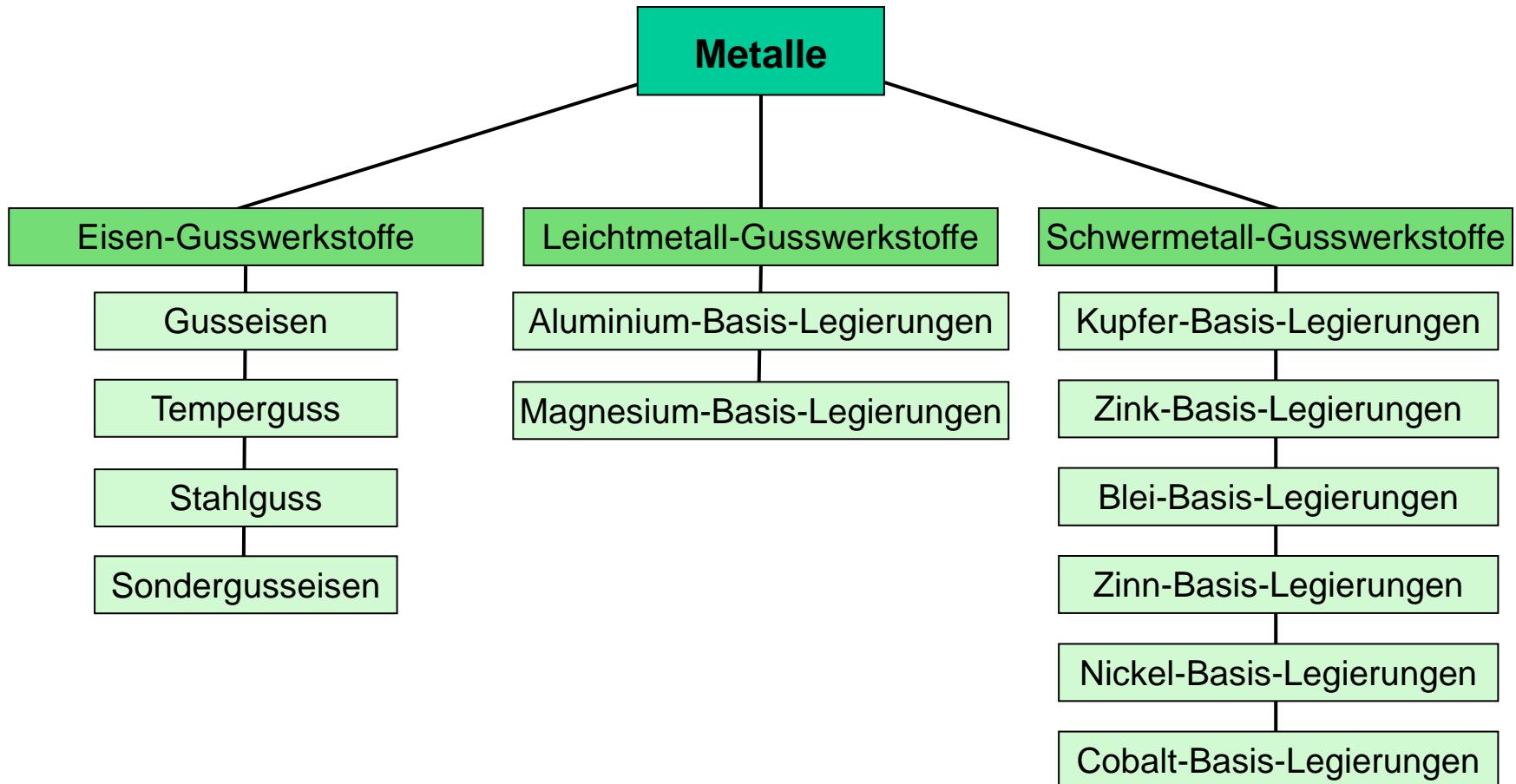
- Einteilung und Eigenschaften metallischer Werkstoffe
- Verfahren zum Urformen von Metallen

### 8.2.3 Urformen polymerer Werkstoffe

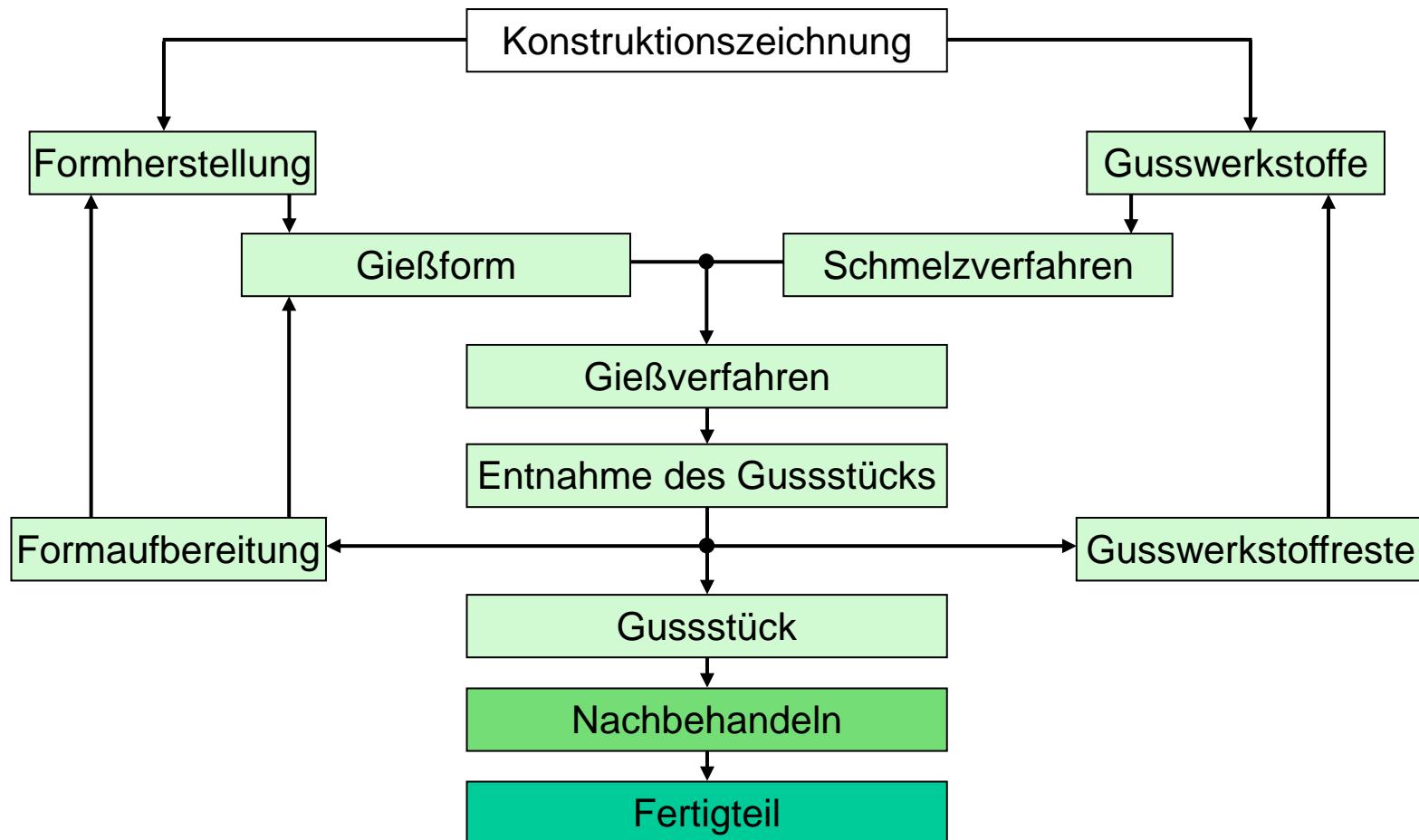
### 8.2.4 Urformen keramischer Werkstoffe

### 8.2.5 Sonderverfahren

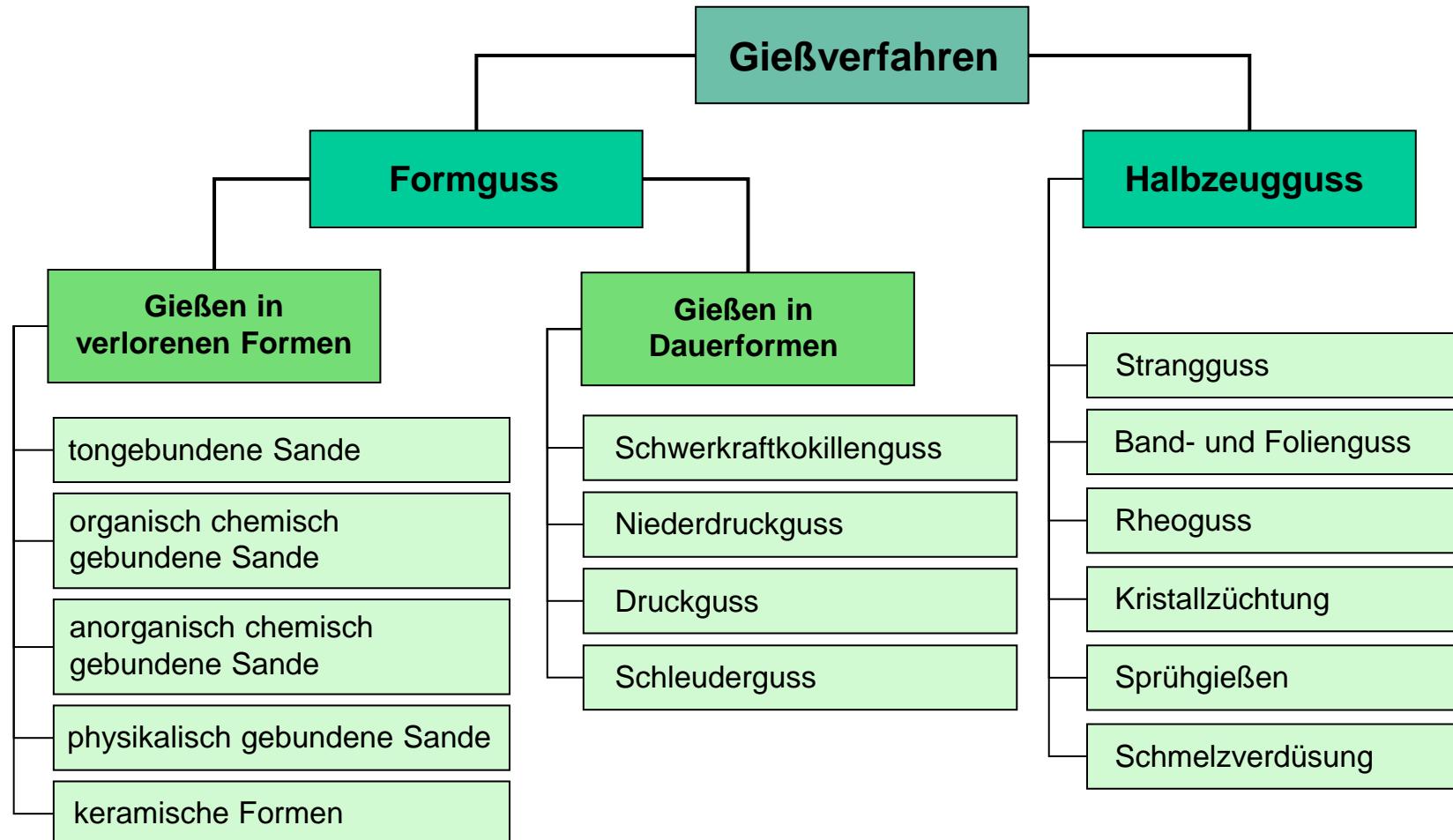
# Gießbare Werkstoffe - Einteilung



# Verfahrensprinzip - Fertigungsablauf beim Gießen

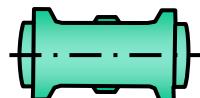


# Einteilung der Gießverfahren für metallische Werkstoffe

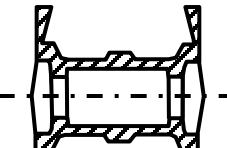


# Gussverfahren mit verlorener Form und Modell - Vollformguss

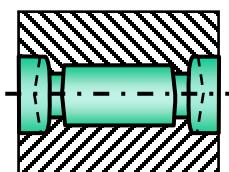
Modell zweiteilig



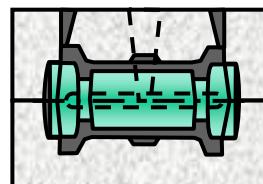
Gussteil



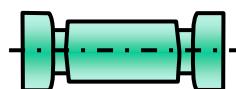
Kernkasten zweiteilig



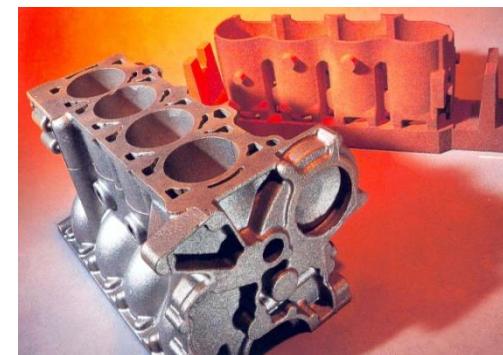
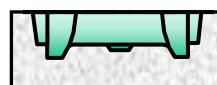
Formkasten zweiteilig  
mit eingelegtem Kern



Kern entformt



Formhälfte



Quelle: EOS GmbH

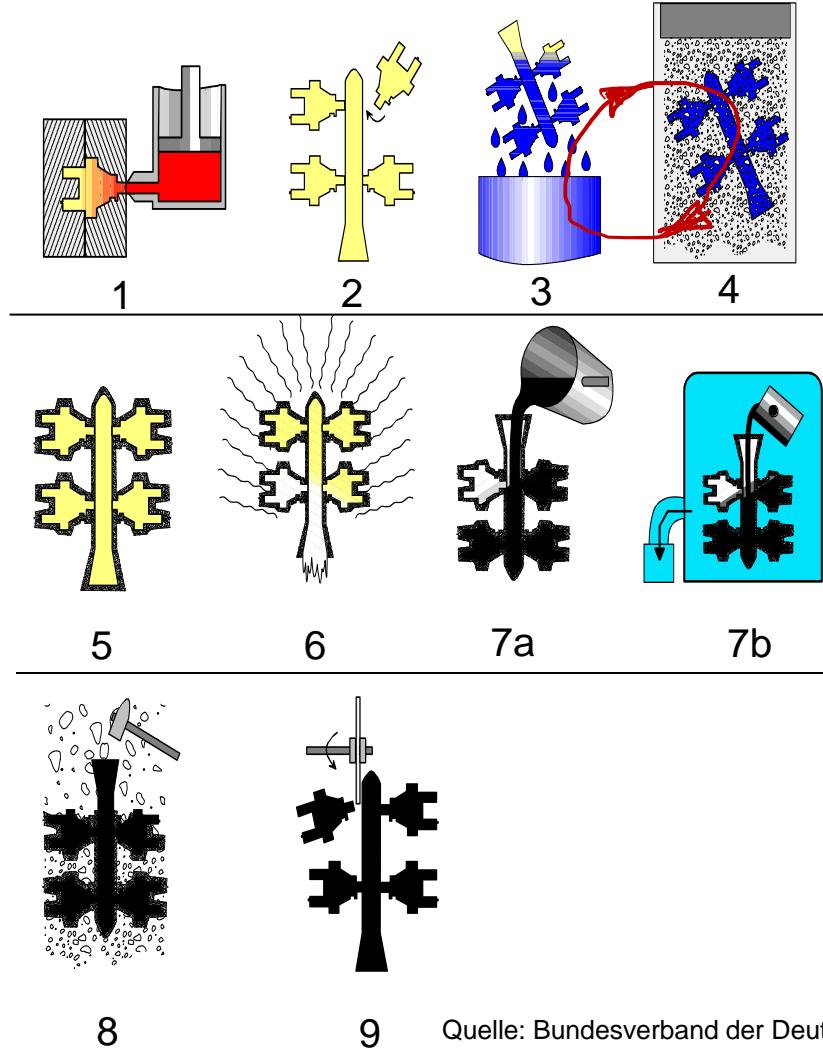
# Gießen in verlorenen Formen

|                                   | mit verlorenen Modellen                         |  | mit Dauermodellen   |   |                           |   |              |
|-----------------------------------|---|--|---|---|---------------------------|---|--------------|
| Verfahren                         | Feingießen                                      | Vollformgießen   | Handformen  | Maschinen-formen  | Maskenformen              | Shaw-Verfahren (Genauguss)              |              |
| Verarbeitbare Werkstoffe          | alle Metalle                                    |  | alle Metalle  | alle Metalle  | alle Metalle              | alle Metalle                            | alle Metalle |
| Gewichtsbereiche (Masse, ca.)     | 1 g bis mehrere kg (in Sonderfällen bis 100 kg) | keine Beschränkung, besonders für schwere Teile geeignet | keine Beschränkung, vorhandene Schmelzkapazität bestimmt die Obergrenze | bis zu mehreren t, begrenzt durch Größe der Maschinenanlage | bis ca. 150 kg            | bis ca. 1000 kg                         |              |
| Mengenbereich (Anhaltswerte)      | kleine bis große Serien                         | Einzelteile, kleine Serien;                              | Einzelteile, kleine Serien  | kleine bis große Serien                                     | mittlere bis große Serien | Einzelteile, kleine bis Mittlere Serien |              |
| Toleranzbereich für 500mm Nennmaß | 0,3 ... 0,7 %                                   | 3 ... 5 %  | 2,5 ... 5 %   | 1,5 ... 3 %   | 1 ... 2 %                 | 0,3 ... 0,8 %                           |              |
| Typisches Bauteil                 | Pumpengehäuse                                   | Kolbenringe  | Pumpengehäuse   | Kolbenringe   | Rippen-Zylinderkopf       | Hüftgelenkprothese                      |              |

# Gussverfahren mit verlorener Form und Modell - Feinguss

## Verfahrensschritte:

1. Spritzen der Wachsmodelle
2. Aufbau zur Gießstraße
3. Eintauchen in keramische Schlickermasse
4. Besanden mit feuerfestem Material
5. Gießform mehrmals Schlickern und Besanden
6. Ausschmelzen der Wachslinge und brennen der Gießform
- 7a. offenes Abgießen der Form
- 7b. Vakuumgießen
8. mechanische Zerstörung der Form
9. Abtrennen der Gussteile



keramische Feingussform



Abgusstraube

Quelle: Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie e. V.

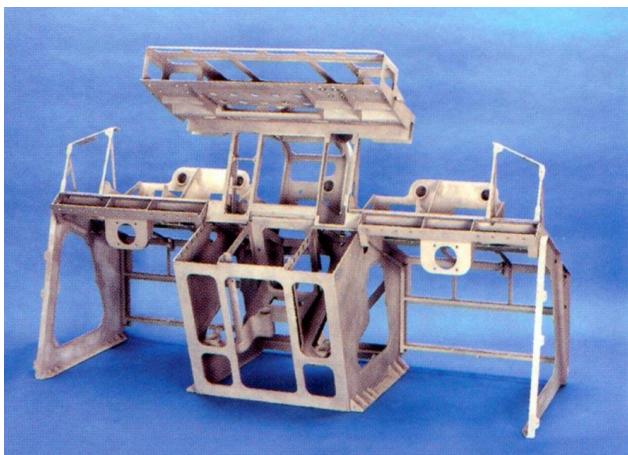
## Feinguss - Werkstückbeispiele



Landeklappe des AIRBUS A321  
Werkstoff: AlSi7Mg0,6  
Größtmäß ca. 850 mm



Gehäuse für Hubschrauberrotor  
Werkstoff: AlSi7Mg0,6  
900 mm Durchmesser  
Wanddicke 1,8 mm



Cockpit Boeing 747-400  
statt 296 Einzelteile,  
nur 11 Feingesussteile



Implantate für Hüft- und Kniegelenke  
Werkstoff: TiAl6V4

Quellen: Tital, Thyssen

# Vollformguss – Werkstückbeispiele



Kurbelgehäuse für  
Großdieselmotor:  
~92.600 kg



Turbinenaußengehäuse:  
G17CrMoV5-10  
~7740 kg  
2810x2300x1200 mm



Quelle: Evgueni

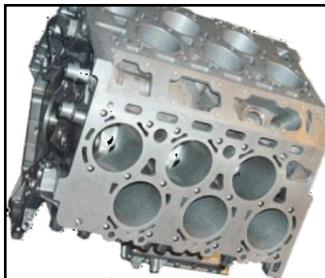
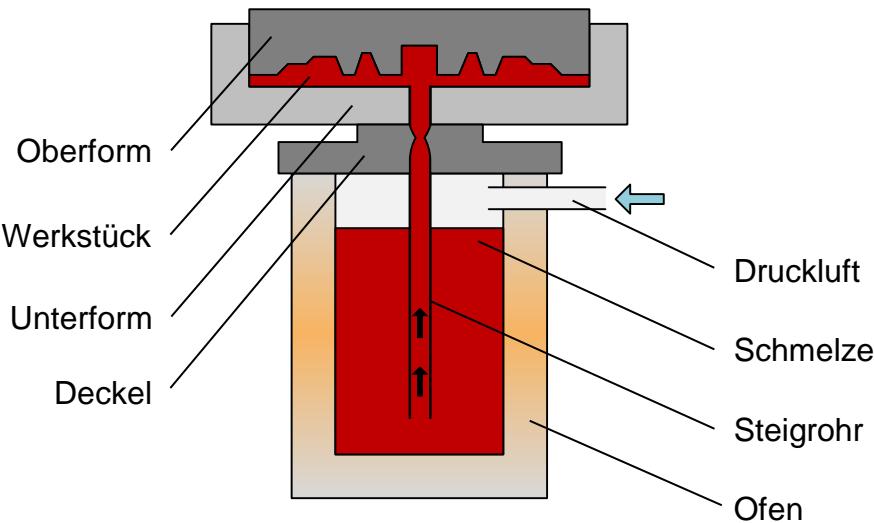
Quelle: Sande Stahlguss

# Gießen mit Dauerformen

| Verfahren                                 | Kokillengießen  | Druckgießen  | Schleudergießen  | Stranggießen   |
|---|---|--|--|--|
| <b>Verarbeitbare Werkstoffe</b>           | Leichtmetalle, spezielle Kupferlegierungen, Feinzink, Gusseisen mit Lamellen und Kugelgraphit | Druckgusslegierungen auf Al-, Mg-, Zn-, Cu-Sn- oder Pb-Basis. Seit kurzem auch Eisenwerkstoffe                                       | Gusseisen mit Lamellen- und Kugelgraphit, Stahlguss, Leichtmetalle, Kupferlegierungen  | Gusseisen mit Lamellen- und Kugelgraphit, Stahlguss, Kupferlegierungen |
| <b>Gewichtsbereiche (Masse, ca.)</b>      | bis 100 kg<br>(in Sonderfällen auch mehr)   | Al-Leg.: bis 50 kg<br>Zn-Leg.: bis 20 kg<br>Mg.-Leg.: bis 15 kg<br>Cu-Leg.: bis 5 kg<br>(begrenzt durch Größe der Druckgussmaschine) | bis 5.000 kg   | abhängig vom Querschnitt, bis zu mehreren Tonnen                       |
| <b>Mengenbereich (Anhaltswerte)</b>       | Serienfertigung<br>Haltbarkeit der Kokille: bis 100.000 Abgüsse bei Al                        | Serienfertigung<br>Haltbarkeit der Form (Anzahl der Abgüsse):<br>Zn: 500.000<br>Mg: 500.000<br>Al: 80.000<br>Cu: 10.000              | Serienfertigung<br>Haltbarkeit der Kokille: 5.000 bis 100.000 Abgüsse, je nach Werkstückgröße, Gusswerkstoff und Art der Kokille | Länge des Gießstrangs ist maschinenabhängig                            |
| <b>Toleranzbereich für 500 mm Nennmaß</b> | 0,3 ... 0,6 %   | 0,1 ... 0,4 %  | 1 %  | 0,8 %  |
| <b>Typisches Bauteil</b>                  | Kfz-Kolben  | Kurbelwellengehäuse  | Rohre  | Profilstangen  |

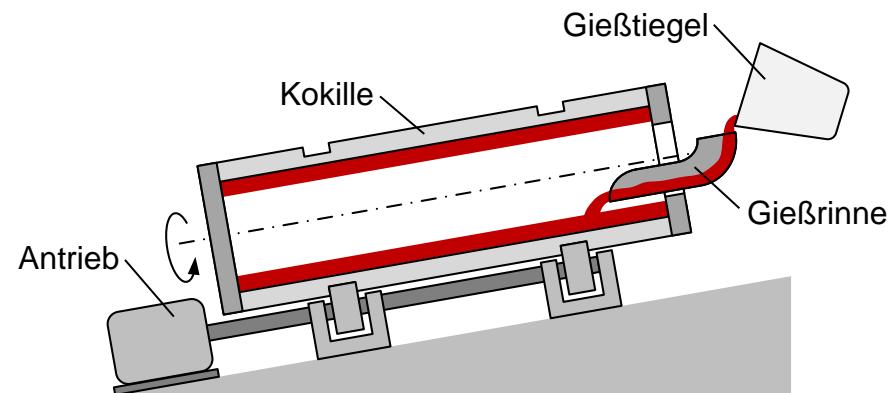
# Gussverfahren mit Dauerformen

## Niederdruckguss



Motorblock  
nach dem Niederdruck-  
gussverfahren hergestellt

## Schleuderguss



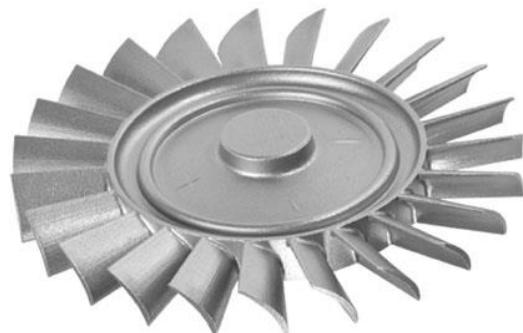
Ventilsitzringe  
nach dem Schleuderguss-  
gussverfahren hergestellt

Quellen: Aluscout, Clemens

# Gießen - Werkstückbeispiele



Aluminiumstrangguss – Profilvielfalt



Vakuumfeinguss  
Turbinenläufer aus Nickelbasislegierung



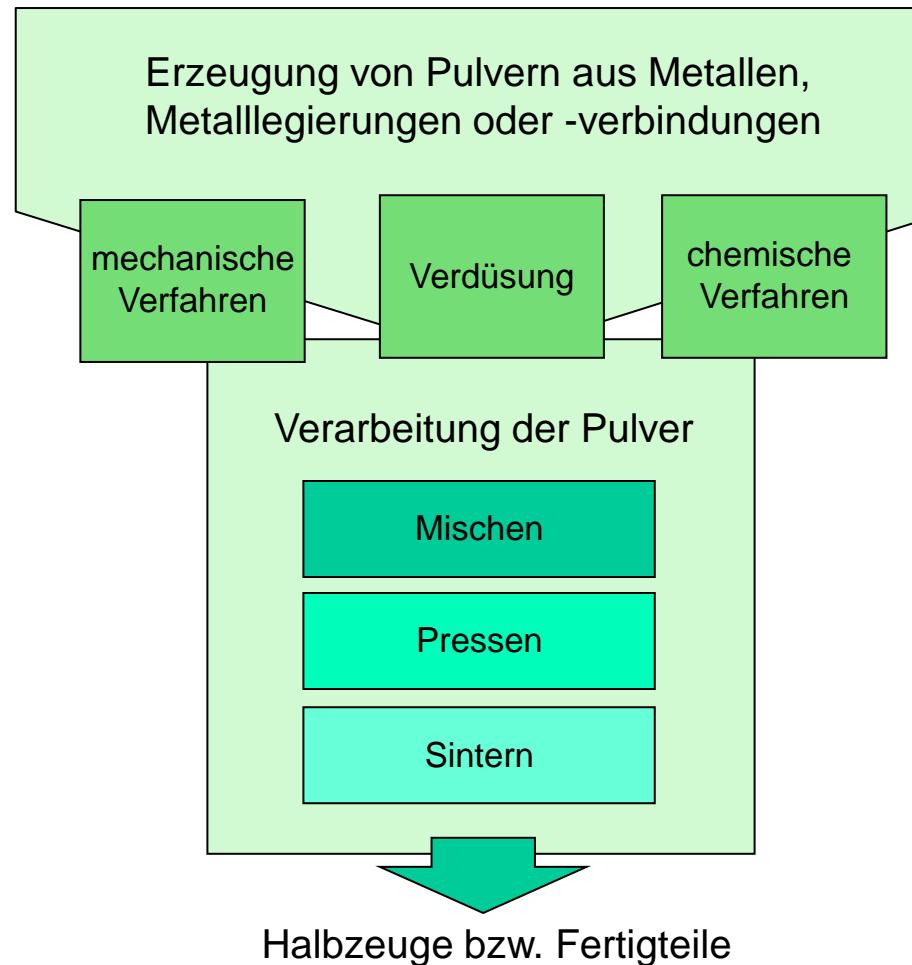
Brammenstranggussanlage



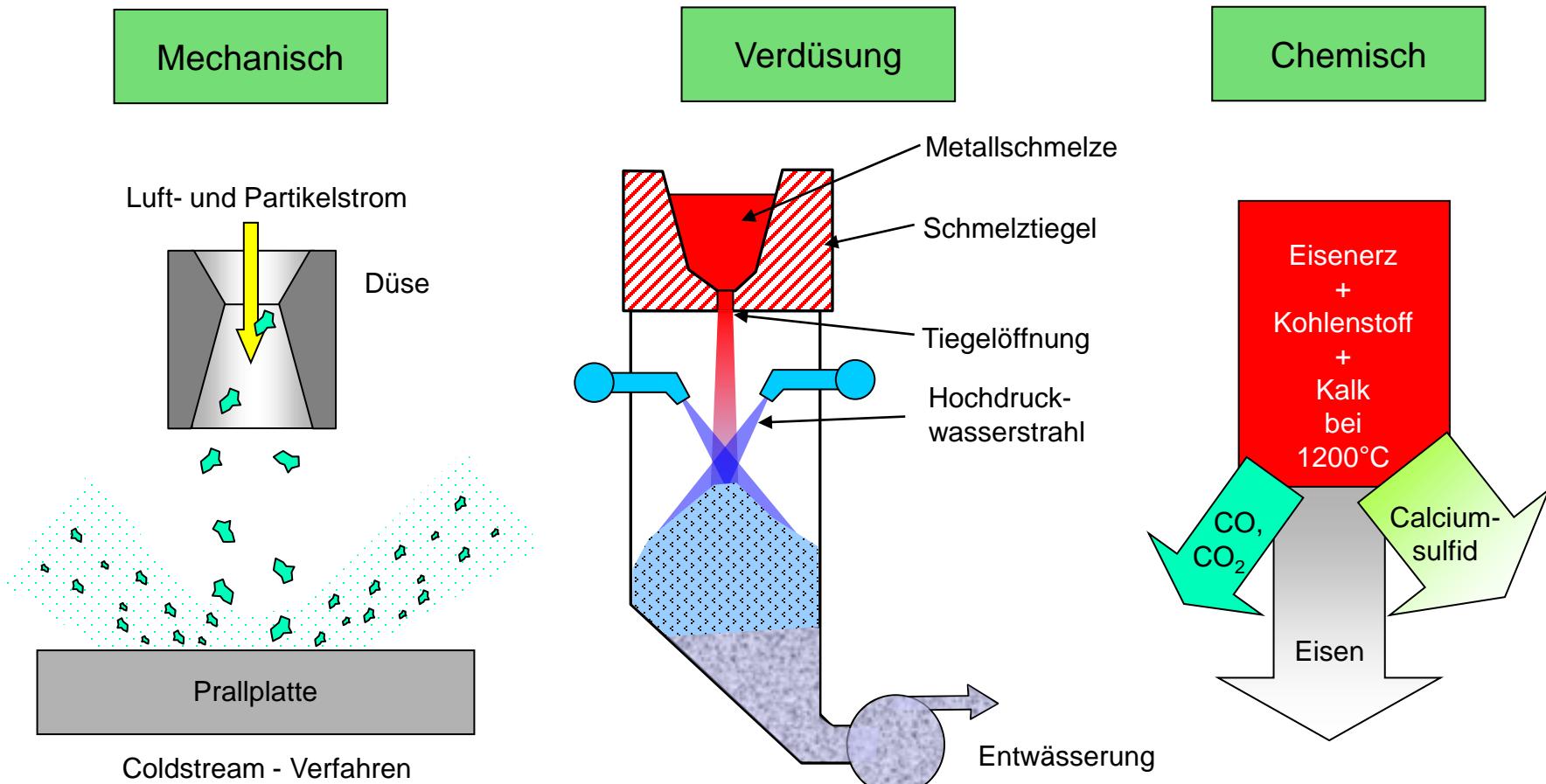
Strangguss – Bramme

Quellen: RBB Aluminium, Blank, Hüttenwerke Krupp-Mannesmann

# Pulvermetallurgie



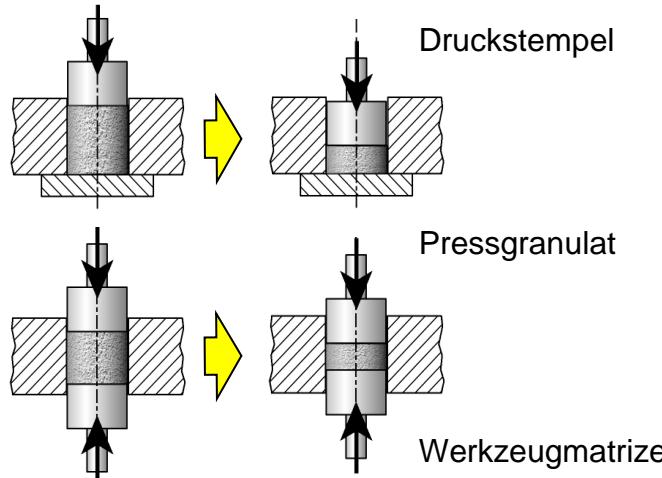
# Pulverherstellung



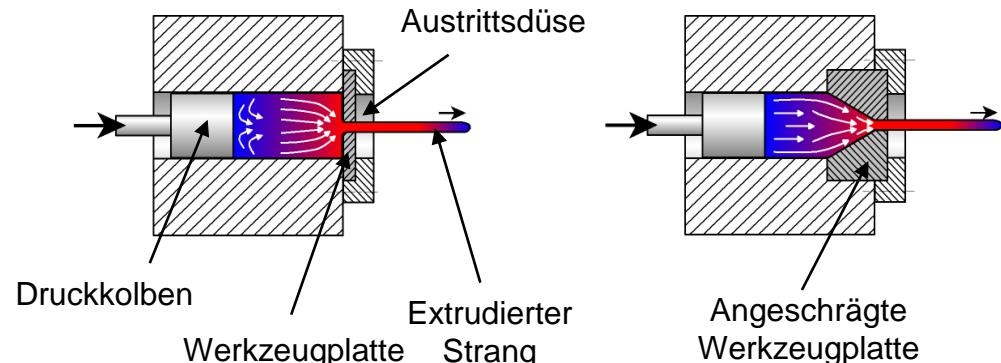
Quelle: eigene Darstellung

# Pulvermetallurgie – Verfahren

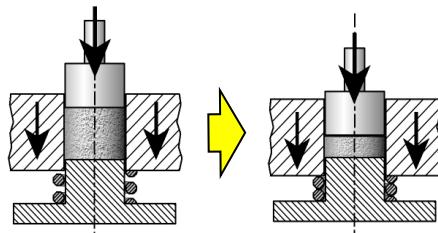
## ein- bzw. zweiseitiges Pressen



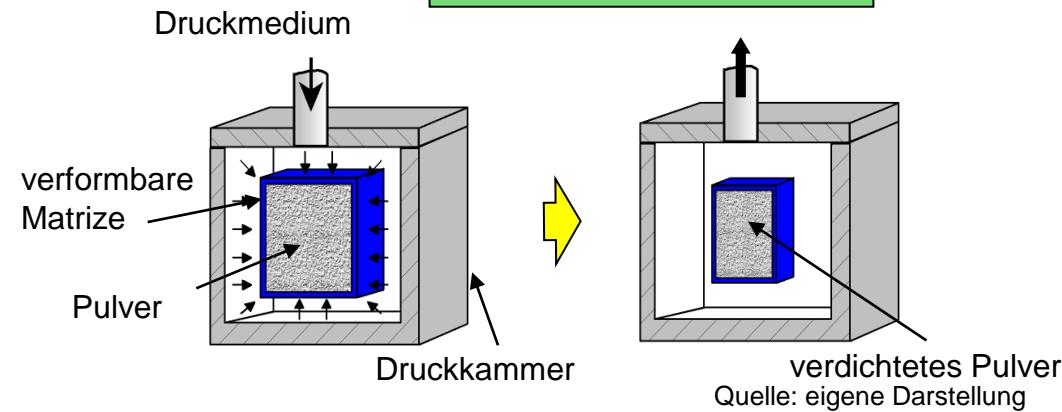
## Extrusion mit turbulenter / laminarer Strömung



## einseitiges Pressen mit beweglicher Matrize



## Isostatisches Pressen

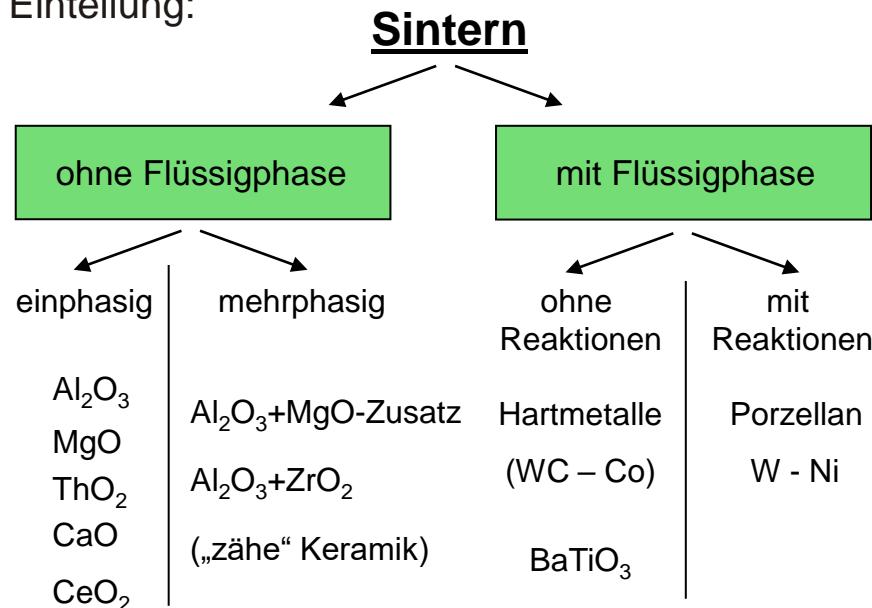


# Sintern

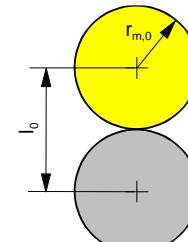
Definition:

Sintern ist die Verfestigung eines Pulvers unter Hitzeinwirkung ohne vollständiges Aufschmelzen der beteiligten Komponenten.

Einteilung:

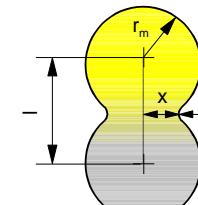


## Phasen des Sinterprozesses



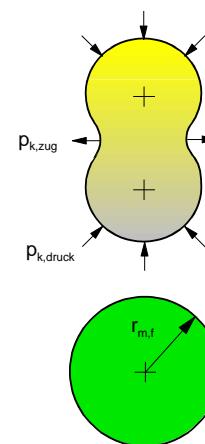
### Frühbereich:

- Halswachstum
- Verdichtung/  
Umordnungsprozesse



### Transportmechanismen

- viskoses Fließen
- Volumendiffusion
- Oberflächendiffusion
- Verdampfung, Kondensation



### Hauptbereich:

- Porenschrumpfung
- Kristallwachstum

### Spätbereich:

- Riesenkornwachstum
- Gaseinschlüsse
- parasitäres Porenwachstum

Quelle: Oel, Tomandl

# Werkstoffe und Anwendungsbeispiele für Sinterteile

| Werkstoffgruppe   | Anwendungsgebiet           | Beispiele                                |
|---|----------------------------|--|
| Hartmetall, Hartstoffe  | Zerspanungswerzeuge        | Schneid- und Wendeplatten, Gewindebohrer |
| Sintereisen, Sinterstahl                                      | Fahrzeug- und Maschinenbau | Einspritzpumpenteile, Rändelmuttern      |
| Reibwerkstoffe aus Eisenpulver mit nichtmetallischen Zusätzen | Motorräder und Fahrzeuge   | Bremsbeläge, Kupplungsscheiben           |
| poröse Sinterteile ohne und mit Gleitmittel                   | Fahrzeug- und Maschinenbau | Gleitlager, Kolbenringe                  |
| Metallkohlen-Magnetwerkstoffe                                 | Elektrotechnik             | Schleifkontakte                          |
| hochschmelzende Reinmetalle                                   | Elektronische Bauteile     | Lampendrähte, Schleif- und Gleitkontakte |
| Sinteraluminium   | Fahrzeug- und Maschinenbau | Gleitlager, Getriebeteile                |

## Sinterteile - Beispiele



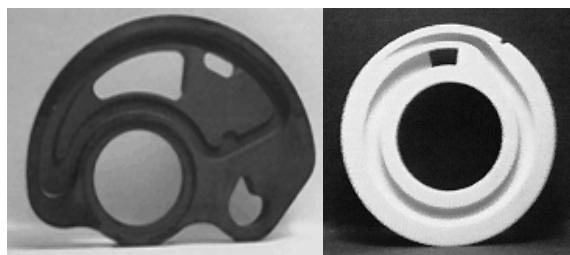
Filter und Dämpferelemente aus Bronze und Edelstahl



Sinterteile für die Antriebs- und Fördertechnik (Benzin und Ölpumpen)



Cermets



Dicht- und Regelscheiben zur Benzineinspritzung



Bremsbacken  
und Bremssysteme

Quelle: Weihbrecht, GKN Sinter Metals Filters

# 8 Produktherstellung

## 8.2 *Urformen*

8.2.1 Definition und Merkmale

8.2.2 Urformen metallischer Werkstoffe

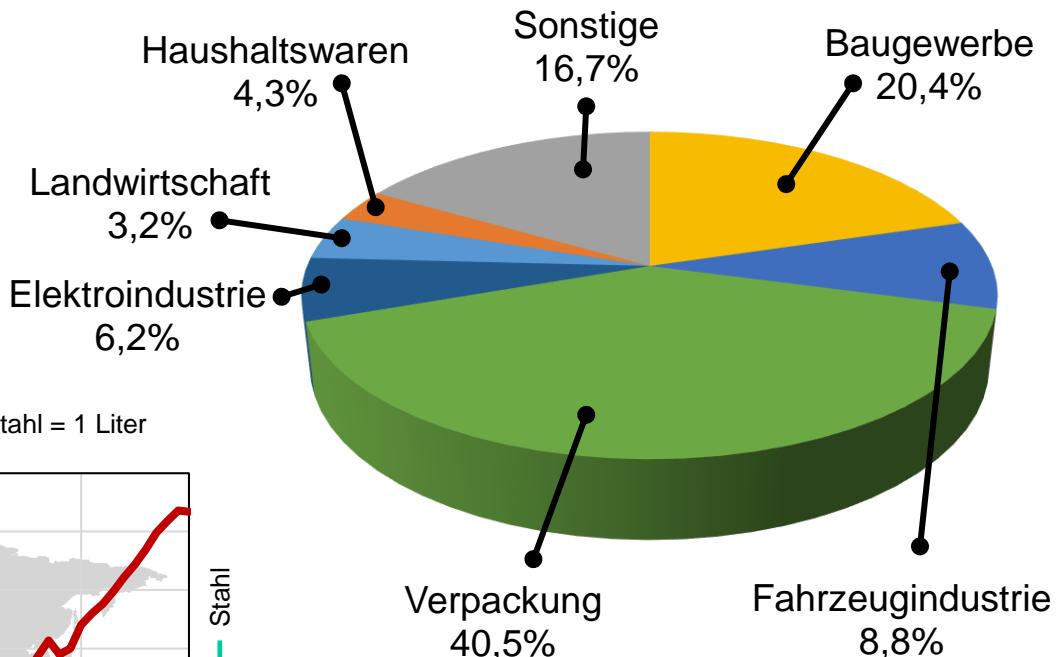
8.2.3 *Urformen polymerer Werkstoffe*

- Einteilung und Eigenschaften polymerer Werkstoffe
- Verfahren zum Urformen von Polymeren

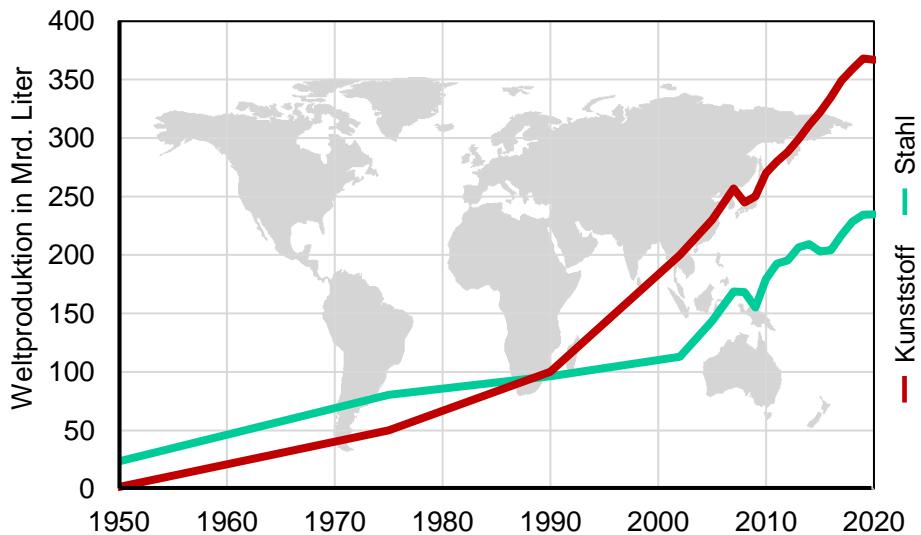
8.2.4 Urformen keramischer Werkstoffe

8.2.5 Sonderverfahren

# Produktion und Einsatz von Kunststoffen



In Volumen: 1 kg Kunststoff = 1 Liter; 8 kg Rohstahl = 1 Liter



Quelle: PlasticsEurope, World Steel Association, 2022

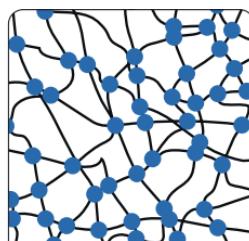
# Einteilung der Polymerwerkstoffe



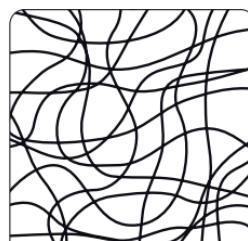
- Pheno-, Aminoplaste
- Ungesättigte Polyesterharze (UP)
- Epoxidharze (EP)

- Polystyrol (PS)
- Polyvinylchlorid (PVC)
- Polymethylmethacrylat (PMMA)
- Polyamid (PA)
- Polyurethan (PUR)
- Polyethylen (PE)
- Polypropylen (PP)
- Polytetrafluorethylen (PTFE)
- Polycarbonat (PC)
- Polyoximethylen (POM)

- Naturkautschuk und Polyisopren
- Polyurethanskautschuk
- Styrol-Butadien-Kautschuk (Buna)
- Butylkautschuk
- Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (Perbunan)
- Siliconkautschuk



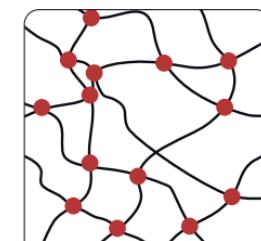
stark vernetzt



amorph

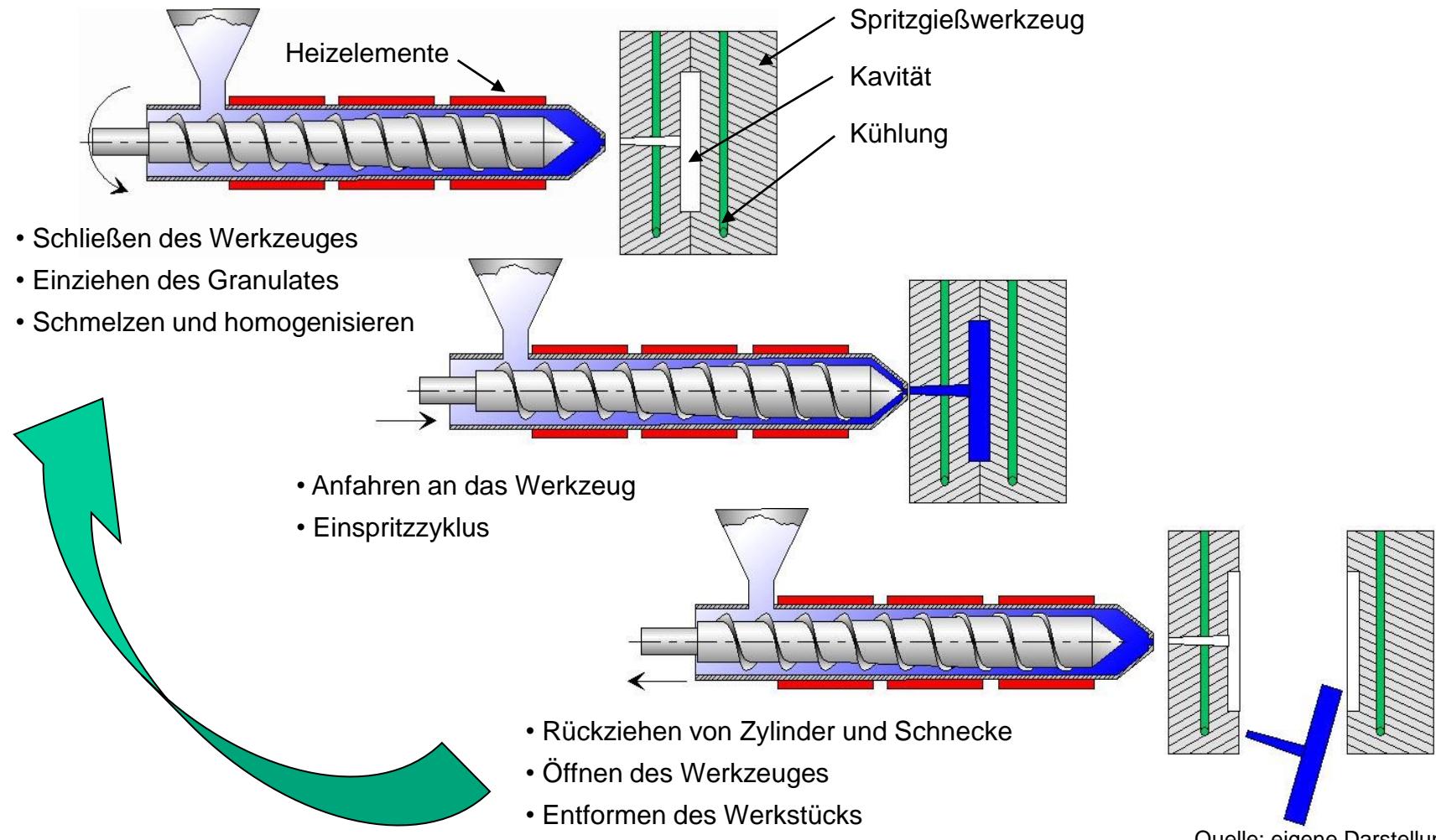


teilkristallin



schwach vernetzt

# Spritzgießen von Polymerwerkstoffen - Verfahrensablauf



Quelle: eigene Darstellung

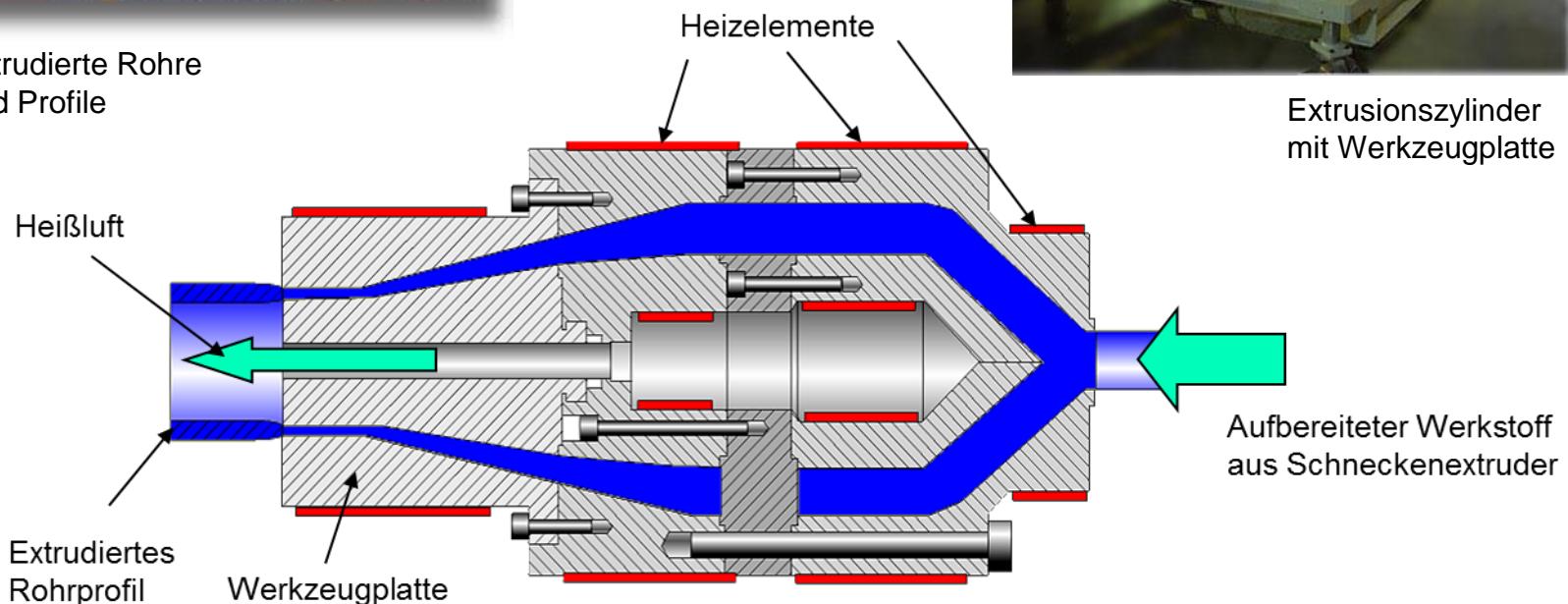
# Extrudieren von Kunststoffen



Extrudierte Rohre  
und Profile

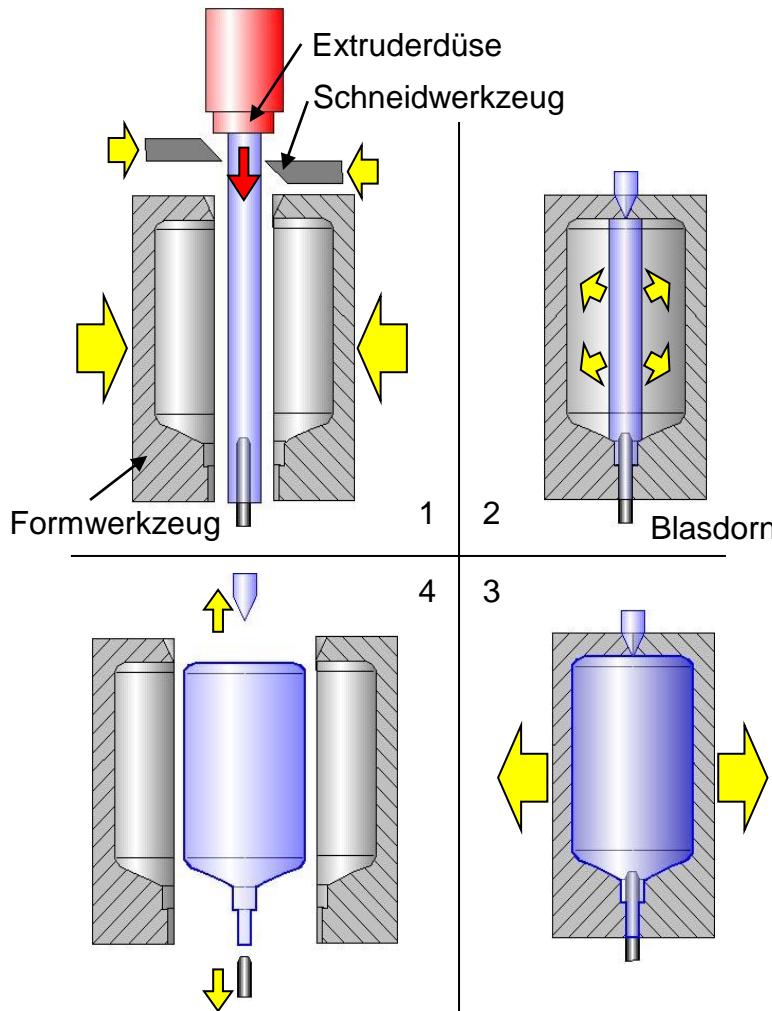


Extrusionszylinder  
mit Werkzeugplatte



Quellen: AKMA Gebr. Schwarz KG, Machinery Technology Trading GmbH

# Extrusionsblasformen von Kunststoffen



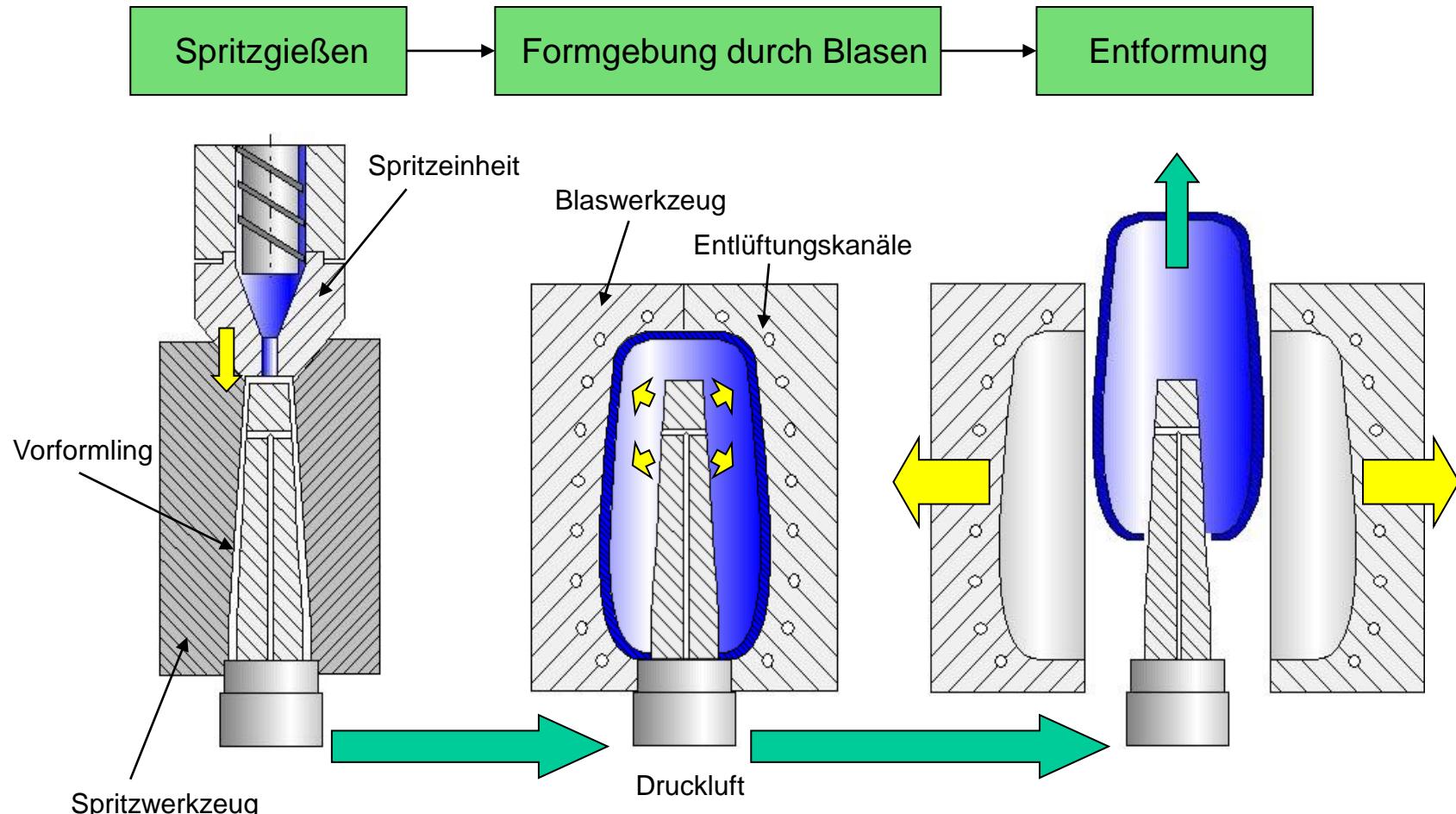
Blasformwerkzeug für Getränkeflaschen



Typische Blasformprodukte

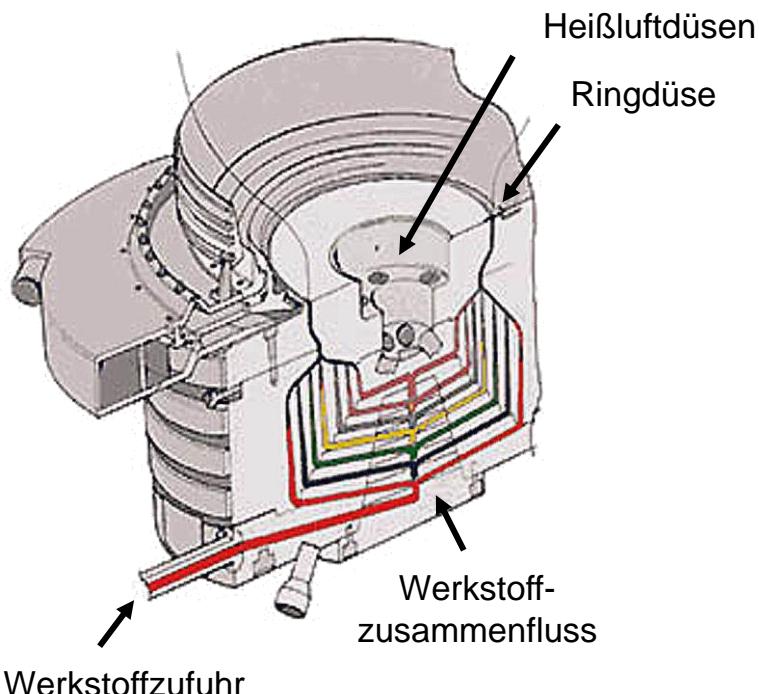
Quellen: ABK Manufacturing Group

# Spritzblasen von Kunststoffen

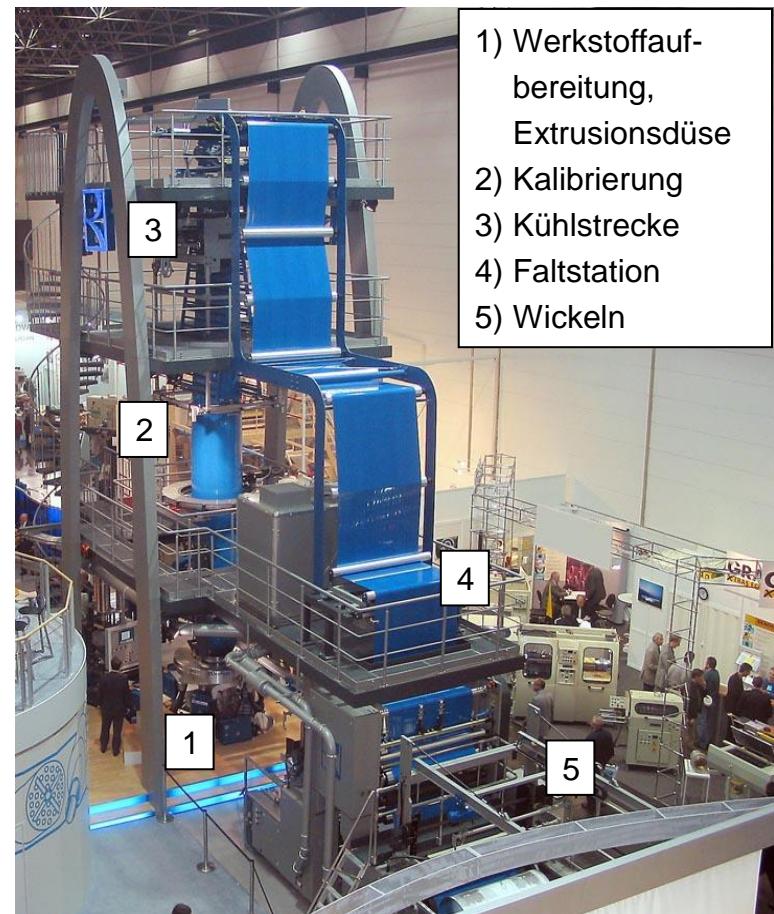


# Flach- und Blasfolienextrusion

Extrusionsdüse für Folien mit 7-facher Werkstoffschichtung

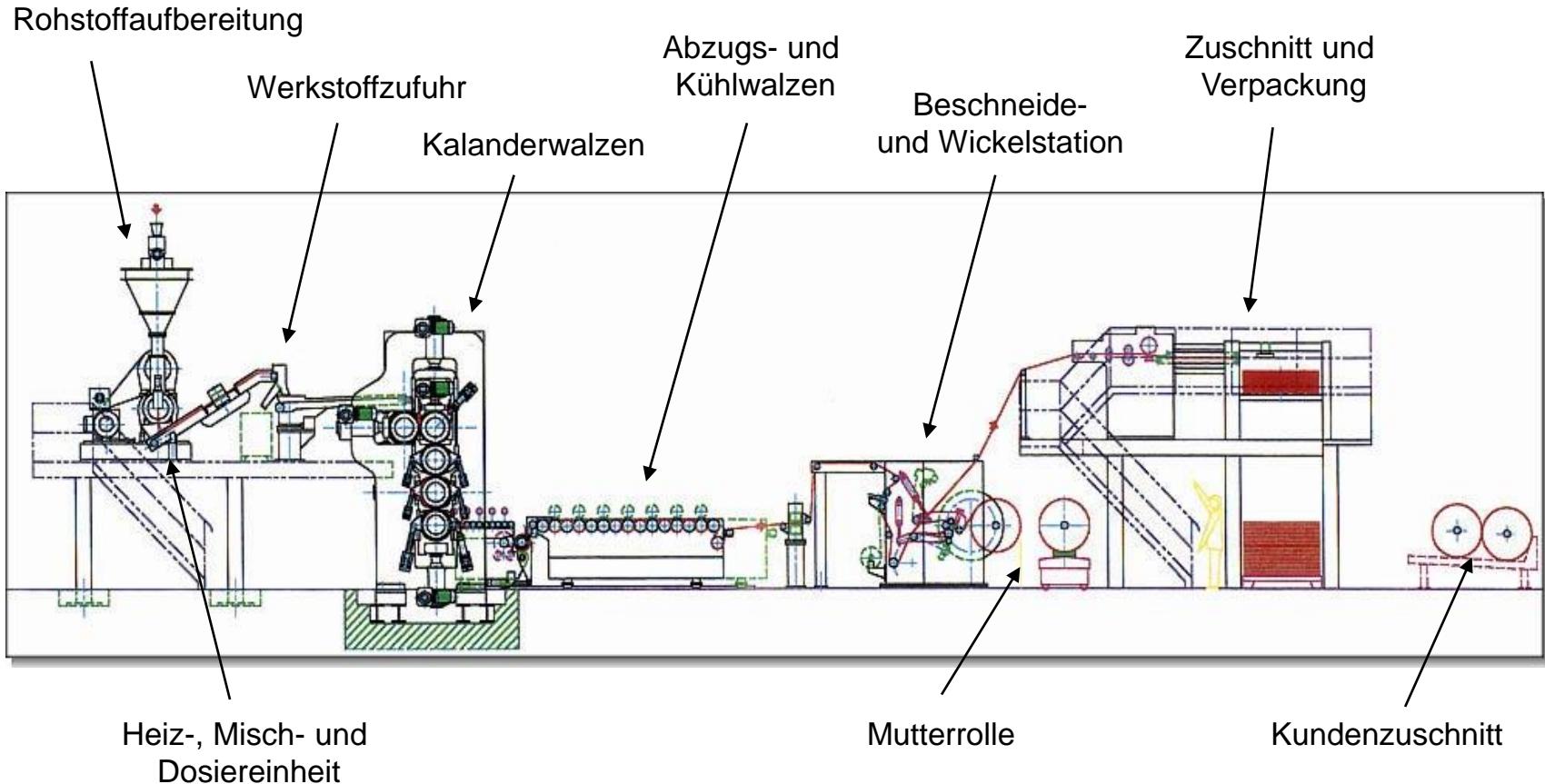


Blasfolienanlage



Quellen: Nordson EDI, Reifenhäuser GmbH

# Kalandrieren von Kunststoffen



Quellen: Innoform Coaching GbR

# 8 Produktherstellung

## 8.2 *Urformen*

8.2.1 Definition und Merkmale

8.2.2 Urformen metallischer Werkstoffe

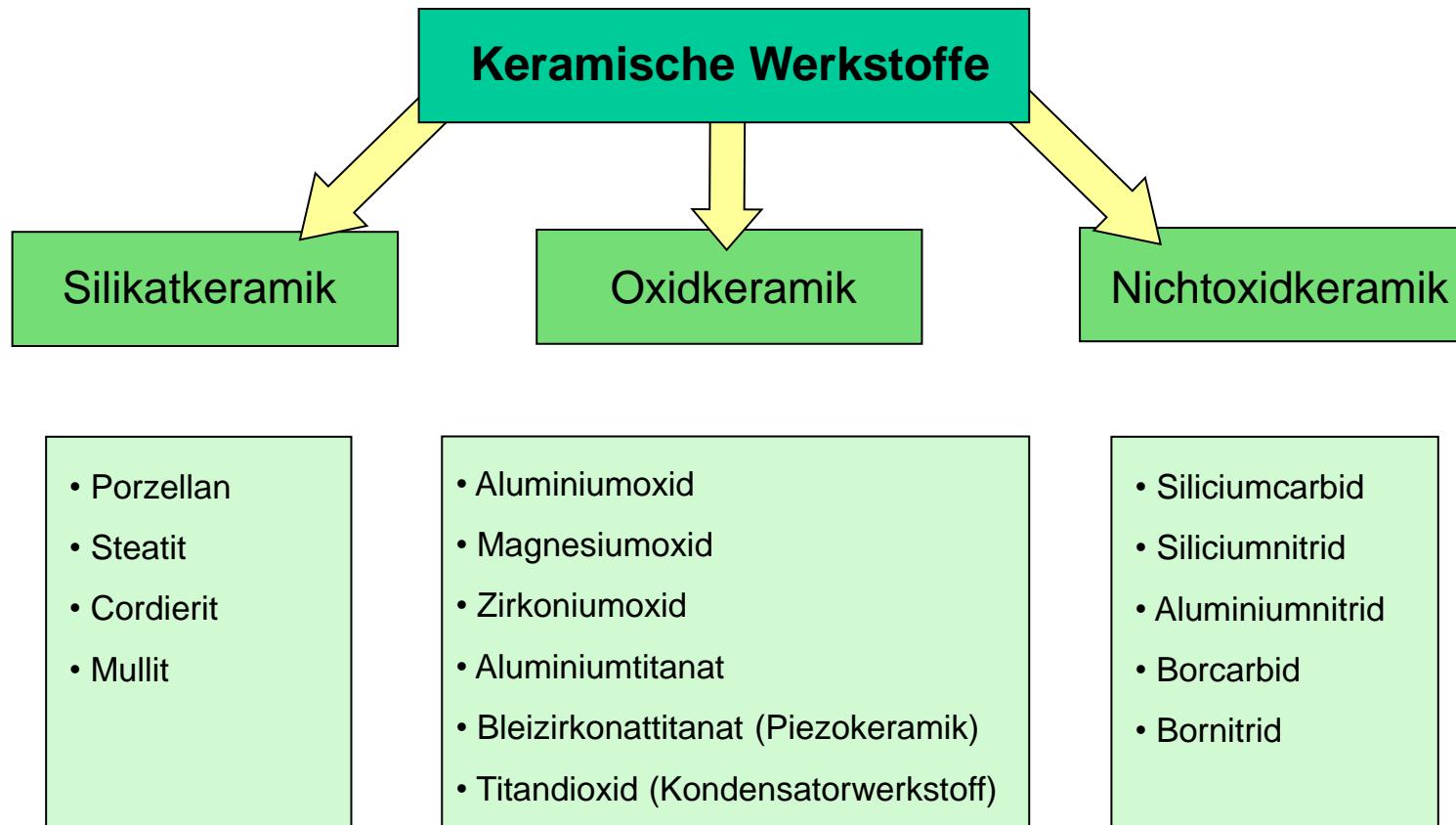
8.2.3 Urformen polymerer Werkstoffe

8.2.4 *Urformen keramischer Werkstoffe*

- Einteilung und Eigenschaften keramischer Werkstoffe
- Verfahren zum Urformen von Keramiken

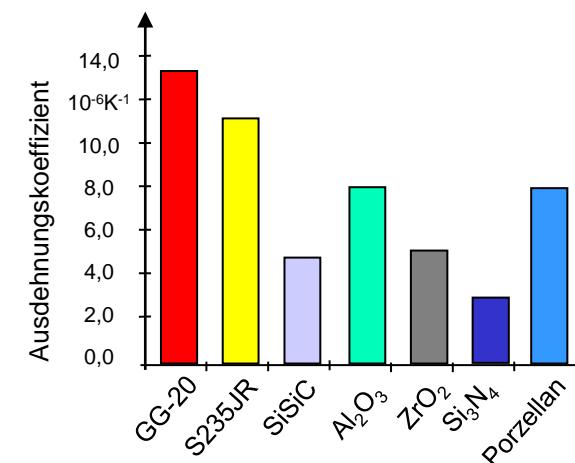
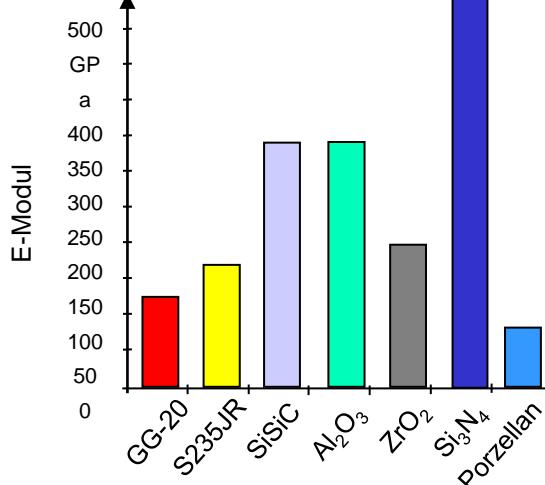
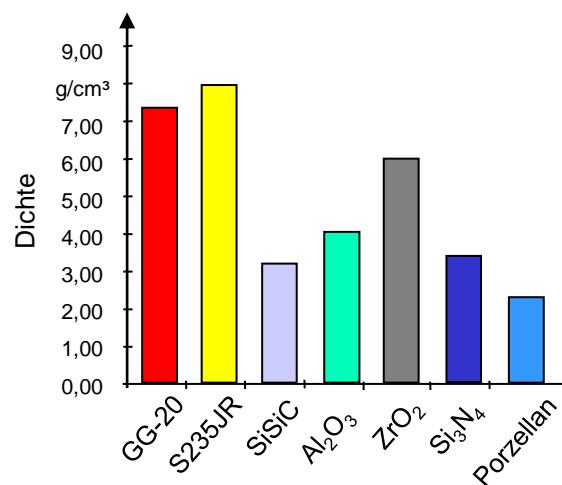
8.2.5 Sonderverfahren

# Einteilung der keramischen Werkstoffe



# Eigenschaften keramischer Werkstoffe

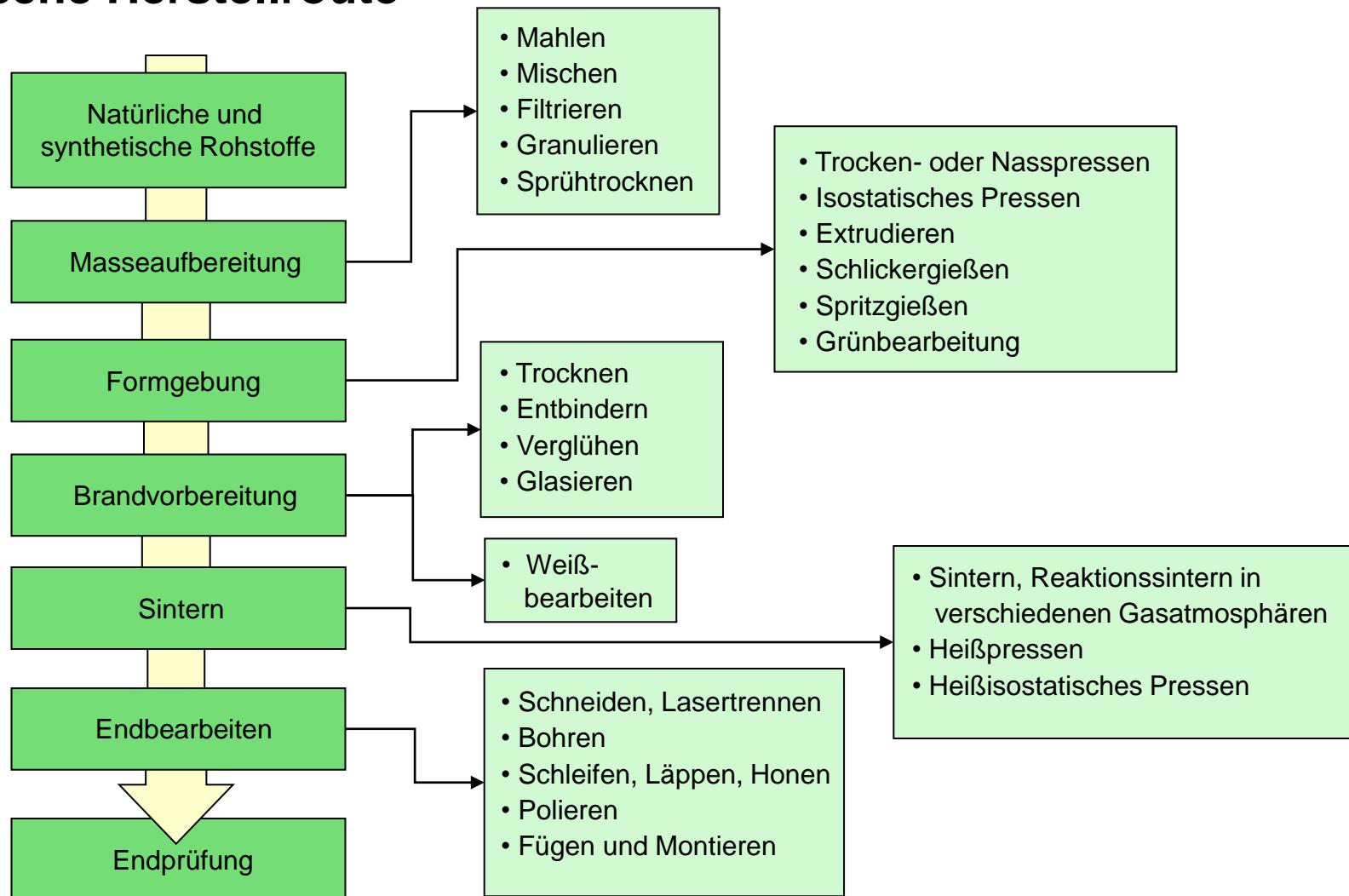
| Werkstoff-eigenschaften                                      |                                  | GG-20  | S235JR  | SiSiC | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ZrO <sub>2</sub> | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | Porzellan |
|--|----------------------------------|--------|---------|-------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-----------|
| <b>Dichte</b>  | g/cm <sup>3</sup>                | 7,30   | 7,85    | 3,12  | 3,94                           | 6,00             | 3,40                           | 2,30      |
| <b>Biegefestigkeit<br/>(25°C)</b>                            | MPa                              | 95-170 | 300-450 | 450   | 520                            | 1000             | 900                            | 110       |
| <b>E-Modul</b>   | GPa                              | 70-130 | 200-210 | 350   | 360                            | 210              | 800                            | 70        |
| <b>Bruchzähigkeit</b>  | MN/m <sup>3/2</sup>              | -      | 140     | 5,0   | 5,5                            | >8               | 8,5                            | -         |
| <b>linearer therm.<br/>Ausdehnungskoeff.<br/>(20-1000°C)</b> | 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> | 12,0   | 10,0    | 4,8   | 8,0                            | 5,0              | 3,3                            | 8,0       |



# Werkstoffvergleich Metall – Keramik und deren Eigenschaften

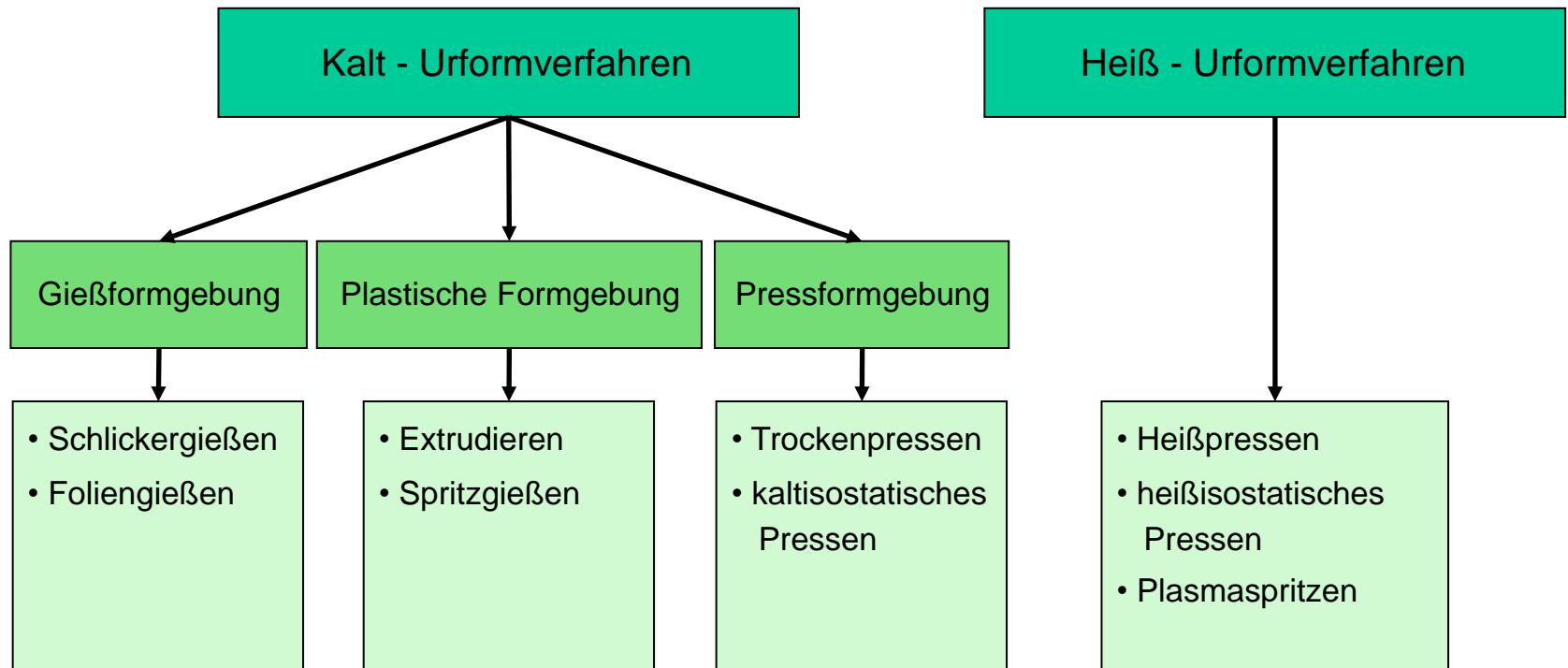
|                           | Keramik | Metall                      | Anwendungsgebiete     | Anwendungsrelevanten Eigenschaften  |
|---------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------|---|
| Härte                     |         |                             | mechanisch            | Festigkeit, Härte, Verschleißbeständigkeit, Thermoschockbeständigkeit, Dichte, Steifigkeit  |
| Hochtemperaturfestigkeit  |         |                             |                       |   |
| thermische Ausdehnung     |         |                             | thermisch             | Wärmeleiter/-isolator, thermische Ausdehnung, Temperaturfestigkeit, Alterungsbeständigkeit, Temperaturwechselbeständigkeit, Thermoschockverhalten |
| Duktilität                |         |                             |                       |   |
| Korrosionsbeständigkeit   |         |                             |                       |   |
| Verschleißfestigkeit      |         |                             | chemisch / biologisch | Korrosionsbeständigkeit, katalytische Effekte, Adsorptionsfähigkeit, Biokompatibilität, Inertheit   |
| elektrische Leitfähigkeit |         |                             | elektrisch            | Durchschlagfestigkeit, elektr. Widerstand Spez. Halbleitereigenschaften   |
| Dichte                    |         |                             |                       |   |
| Wärmeleitfähigkeit        |         |                             | elektro-mechanisch    | Piezoeffekt   |
|                           |         | Tendenz zu hohen Werten     |                       |   |
|                           |         | Tendenz zu niedrigen Werten | elektro-chemisch      | Ionenleitfähigkeit  |
|                           |         |                             | nukleartechnisch      | Hochtemperaturfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Strahlungsresistenz  |

# Keramische Herstellroute

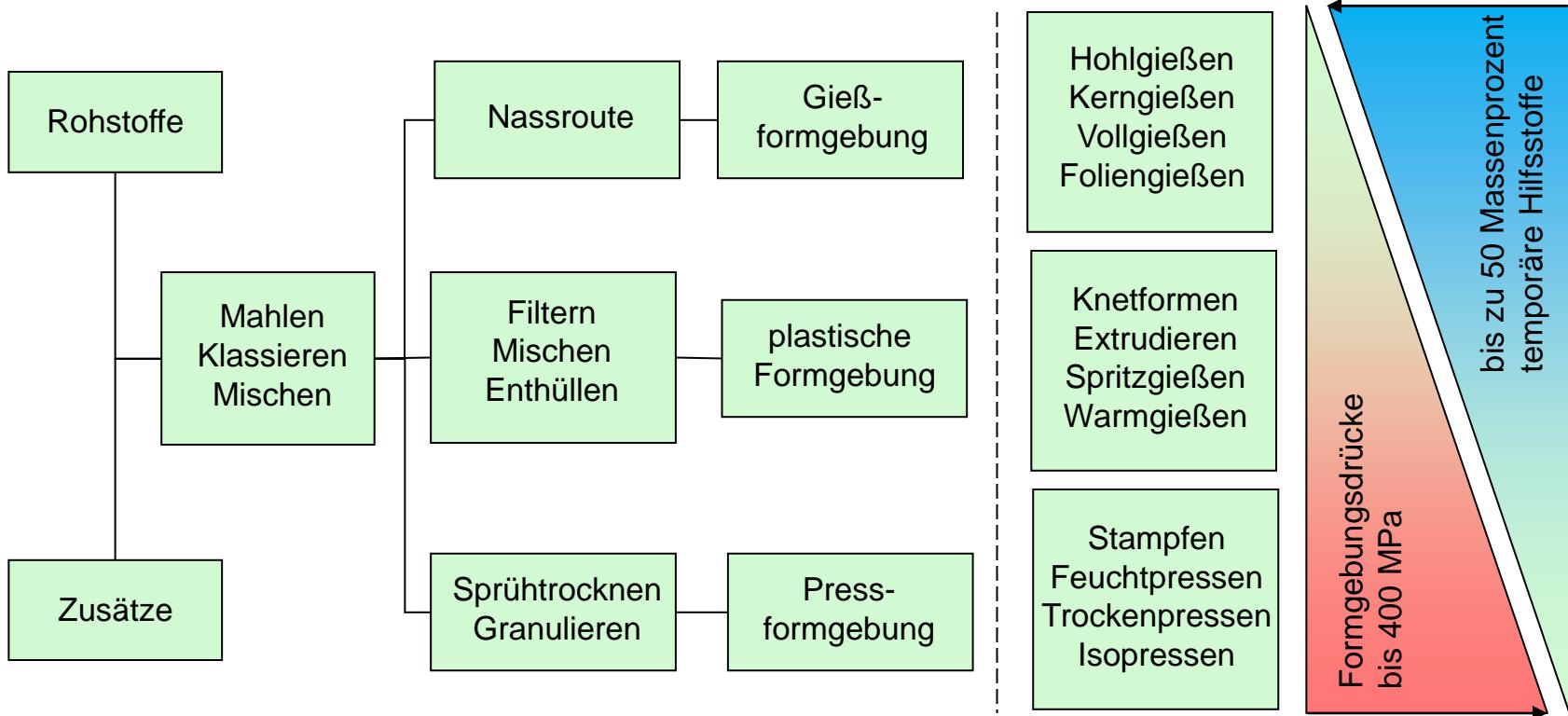




# Urformverfahren für keramische Werkstoffe

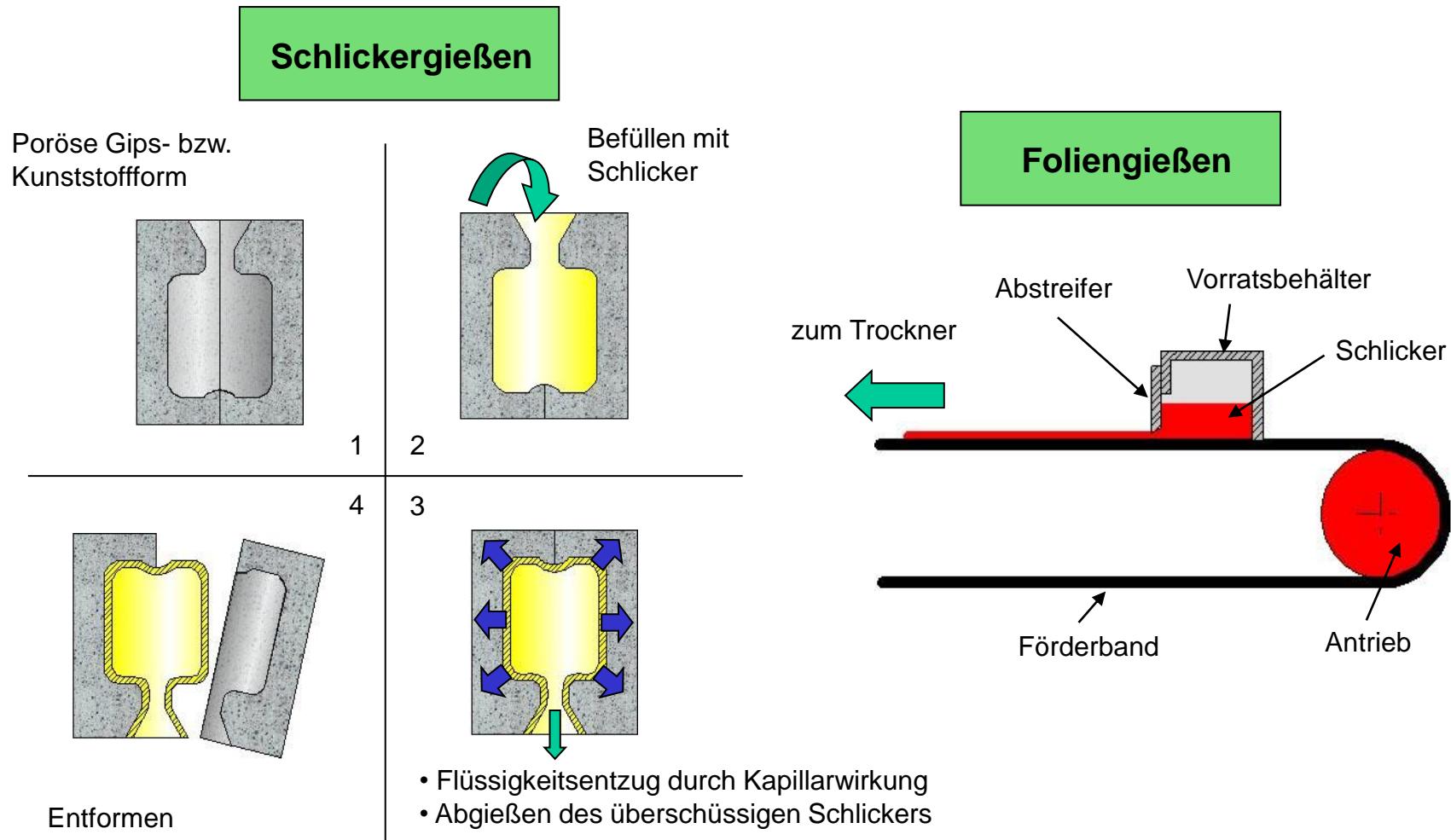


# Zusammenhang von Formgebungsdruck und Hilfsstoffanteilen beim Urformen keramischer Werkstoffe



Quelle: Betriebshütte

# Gießformgebung



Quelle: eigene Darstellung

## Gießformgebung - Werkstückbeispiele

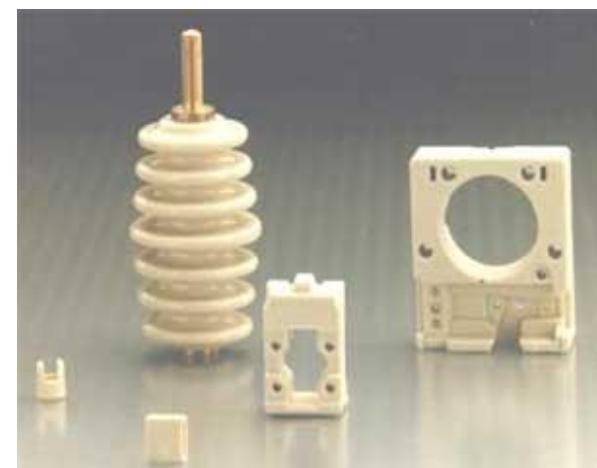
Fadenführungen für die Textilindustrie



Widerstandskörper für die Elektrotechnik

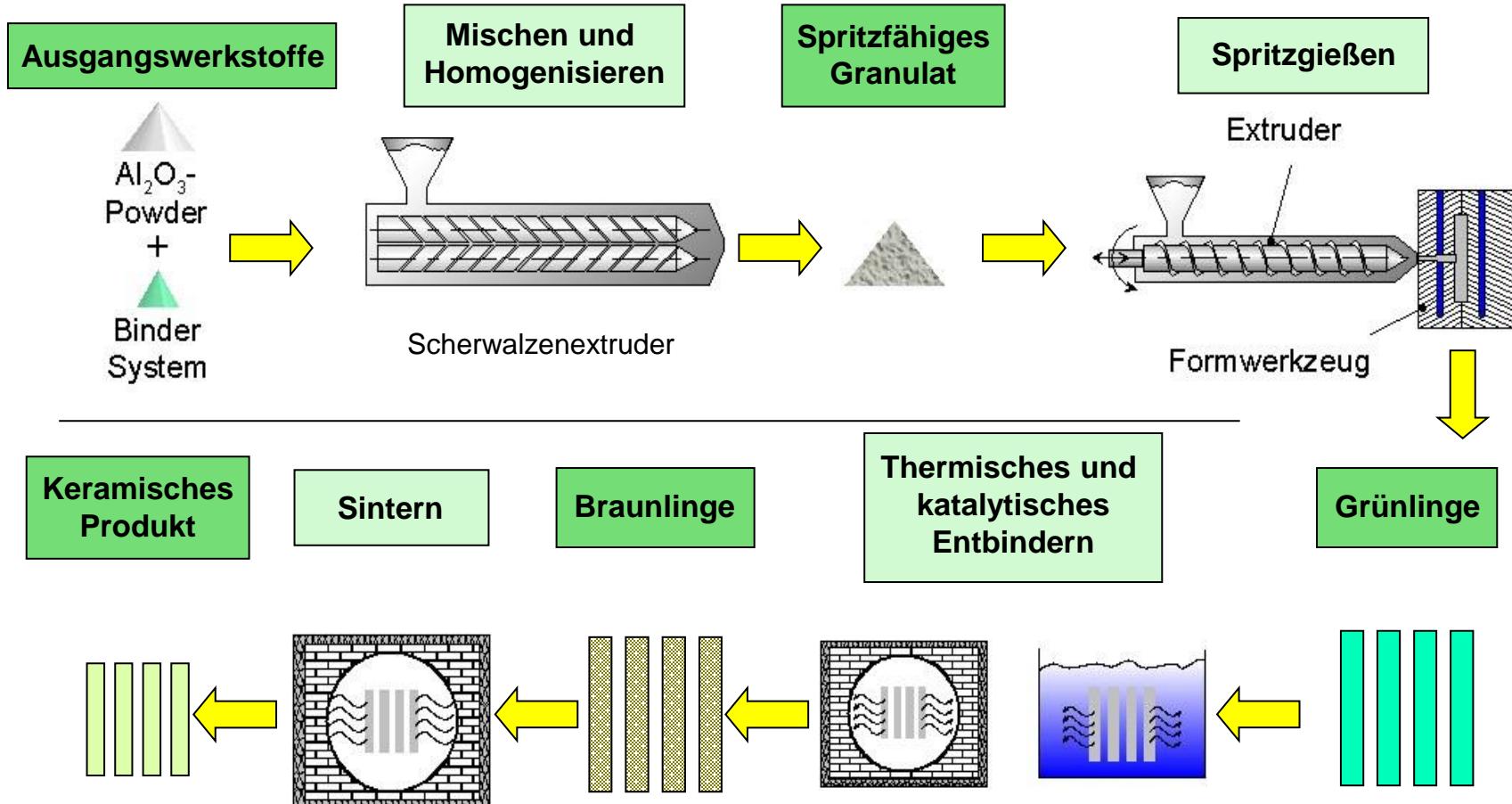


Isolatoren für die Nieder- und Hochspannungstechnik



Quelle: Verband der Keramischen Industrie e.V.

# **Plastische Formgebung von Keramik durch Spritzgießen**



Quelle: eigene Darstellung

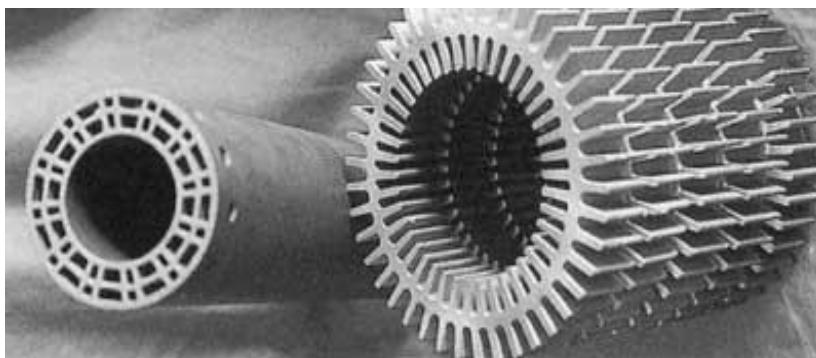
## Plastische Formgebung - Werkstückbeispiele



Spritzgegossene Messerklingen  
und chirurgische Skalpelle



Extrudierte Feuerfestkeramiken für Brennöfen

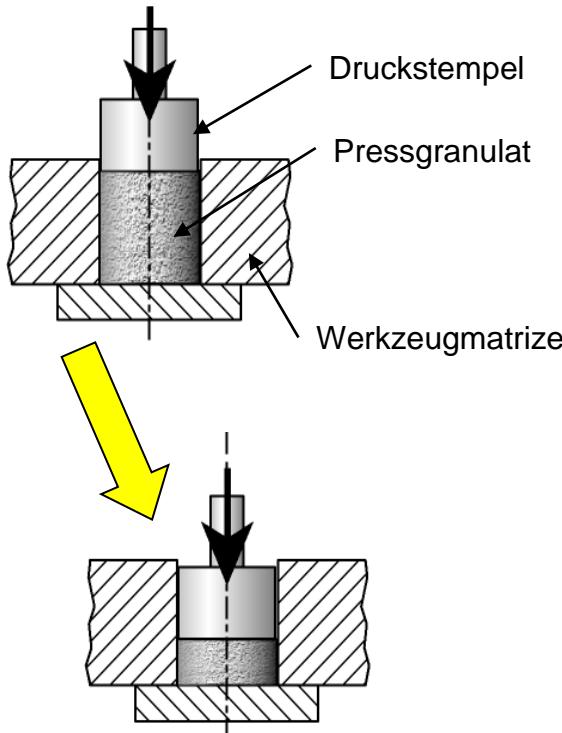


Extrudierte  
Hochtemperatur-  
wärmetauscher

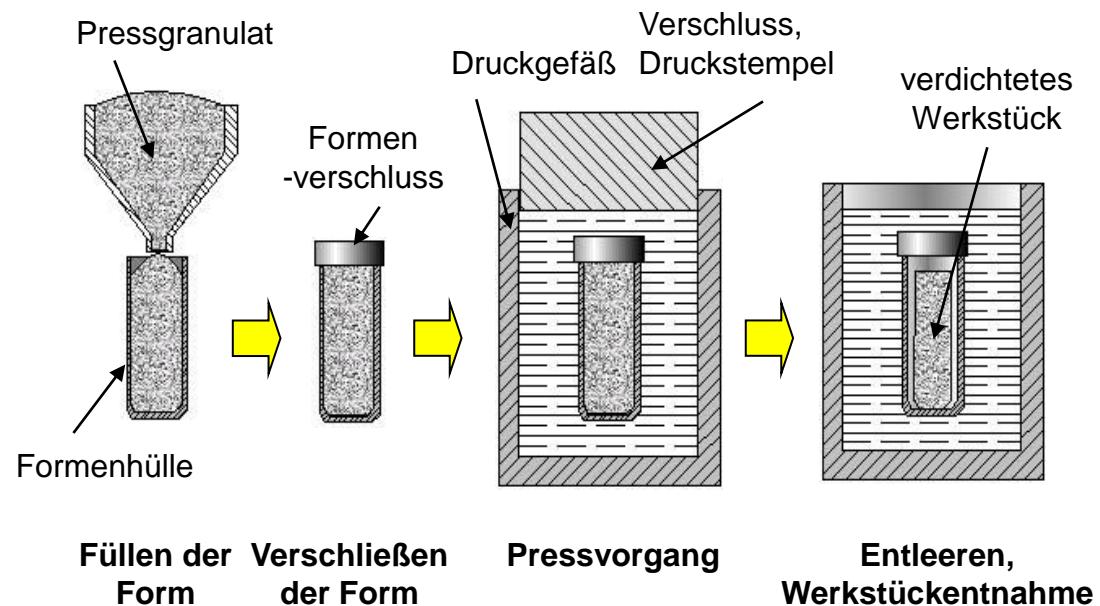
Quellen: Medical Instruments Germany UG, hightech ceram GmbH

# Pressformgebung

## Trockenpressen

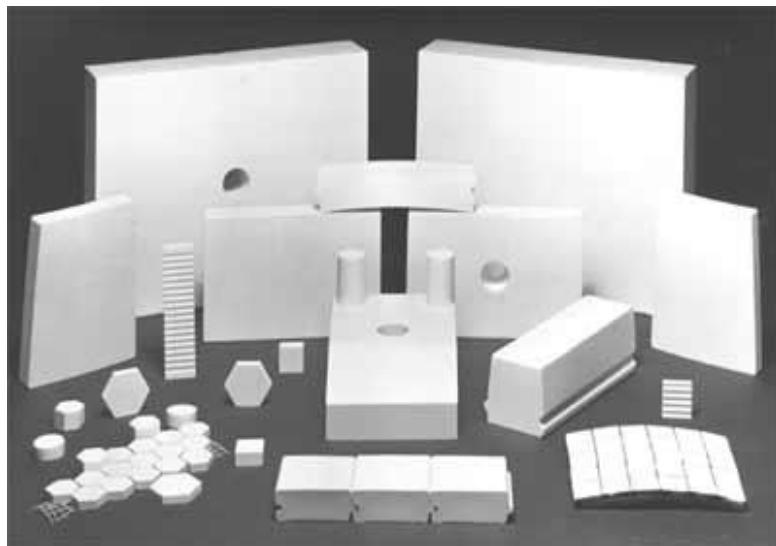


## kaltisostatisches Pressen



Quelle: eigene Darstellung

## Pressformgebung - Werkstückbeispiele



Feuerfest- und Isolierkeramiken



Lagerbuchsen und Dichtscheiben



Implantatsmedizin



Quellen: hightech ceram GmbH, Verband der Keramischen Industrie e.V., G.-Wiehebrink GmbH



# 8 Produktherstellung

## 8.2 *Urformen*

8.2.1 Definition und Merkmale

8.2.2 Urformen metallischer Werkstoffe

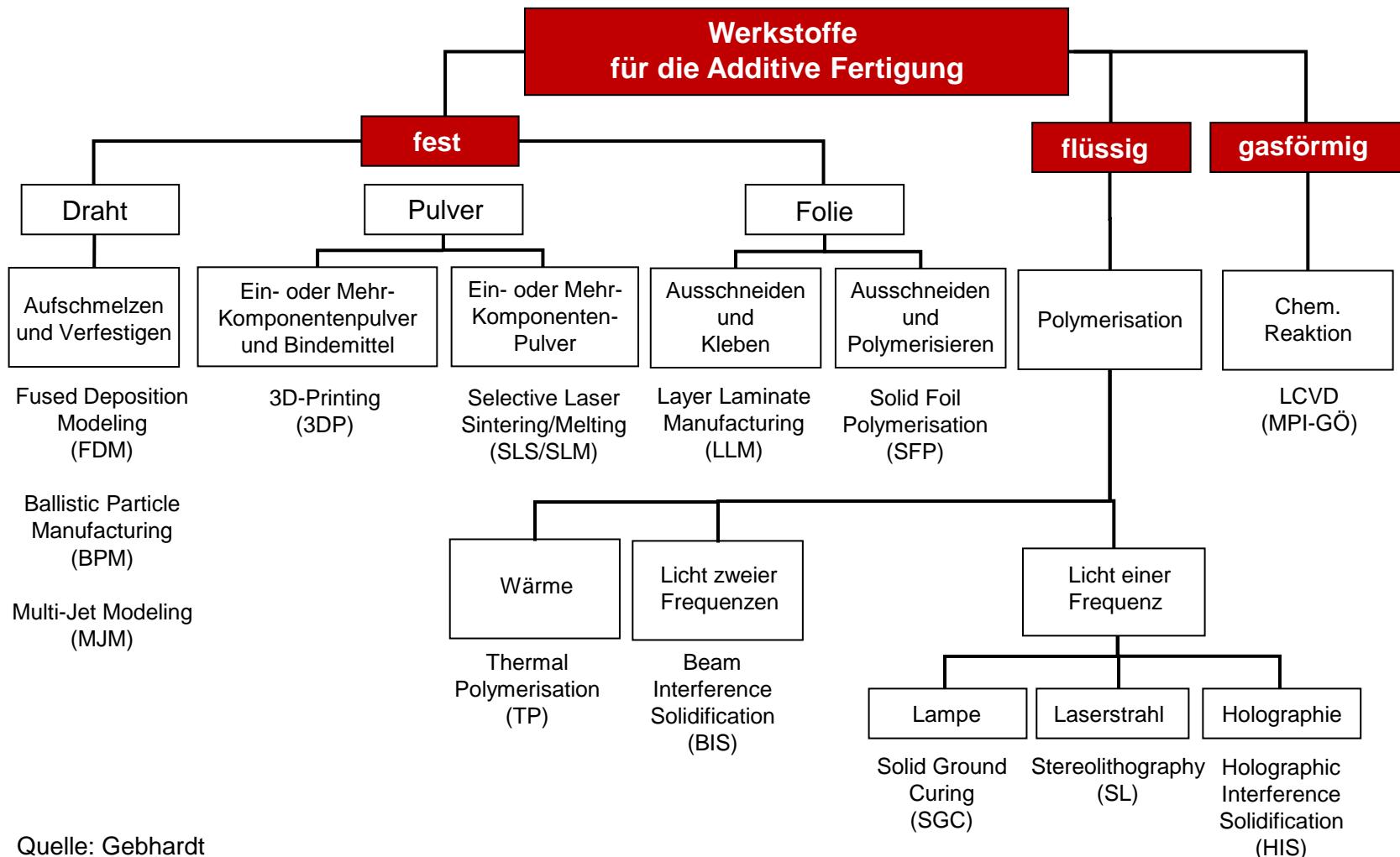
8.2.3 Urformen polymerer Werkstoffe

8.2.4 Urformen keramischer Werkstoffe

### 8.2.5 Sonderverfahren – Additive Fertigung

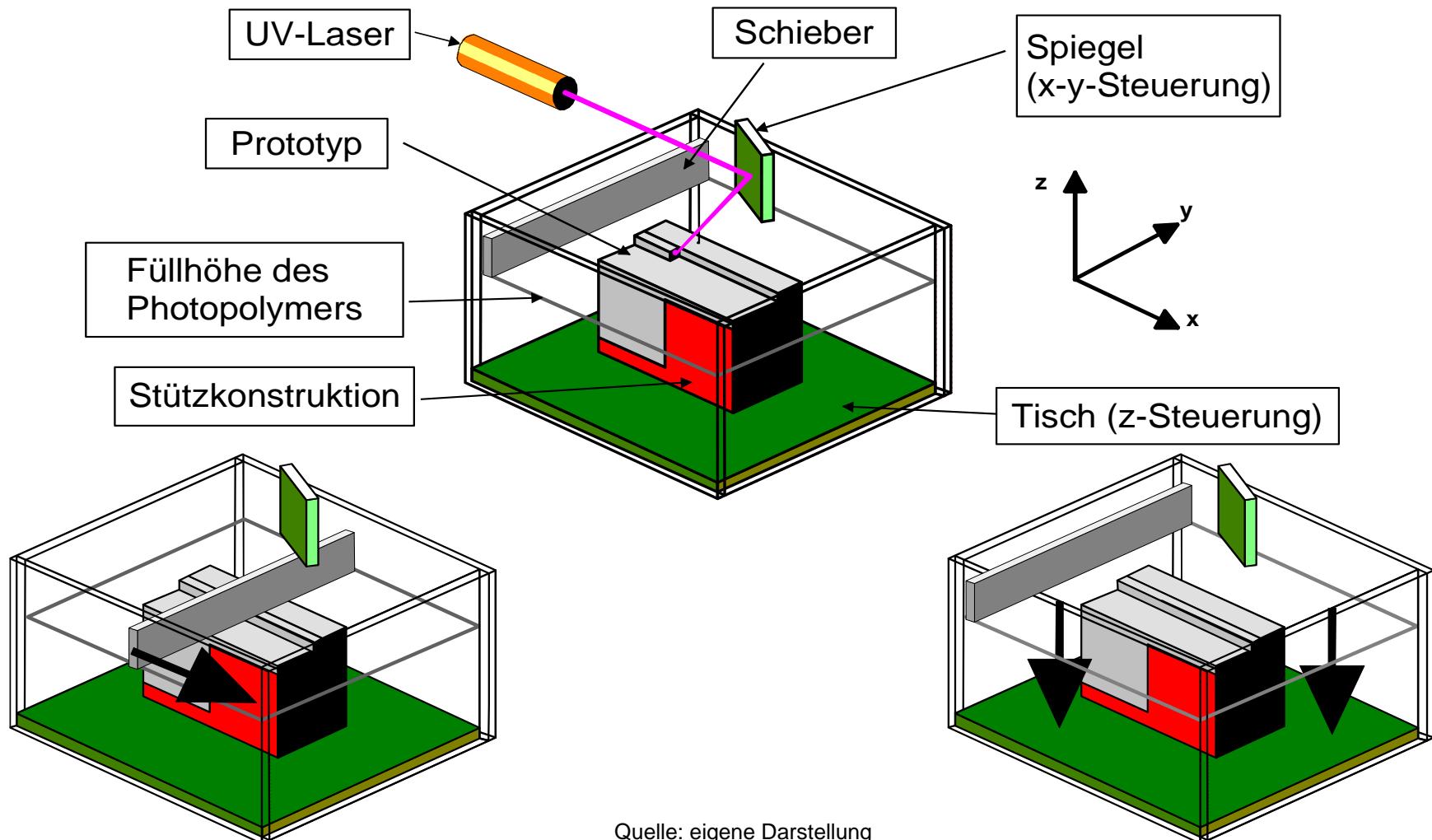
- Einteilung der additiven Fertigungsverfahren
- Stereolithographie
- Selektives Laser Sintern
- Selektive Laser Melting
- Ballistic Particle Manufacturing

# Additive Fertigungsverfahren



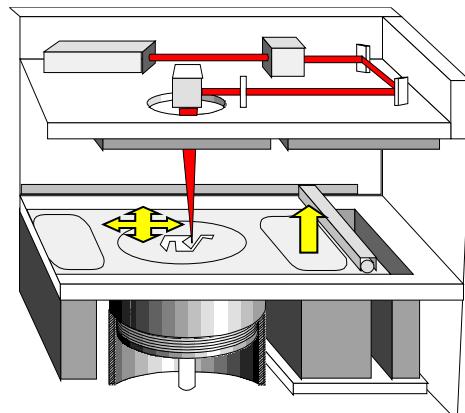
Quelle: Gebhardt

## Stereolithographie (SL) – Verfahrensprinzip

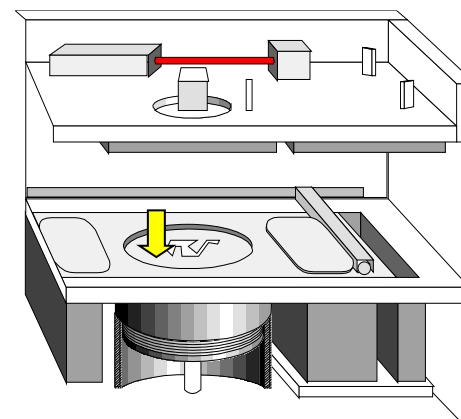


# Selektives Laser Sintern (SLS) – Verfahrensprinzip

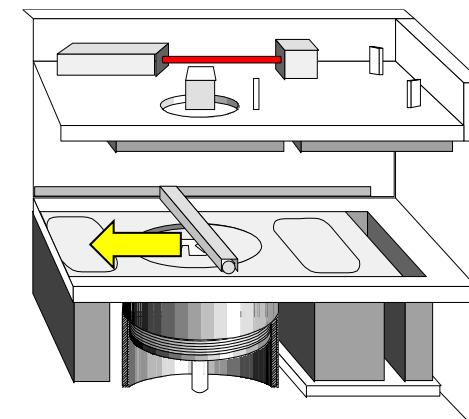
Scannen der Schichtinformation  
und Sintern der Partikel



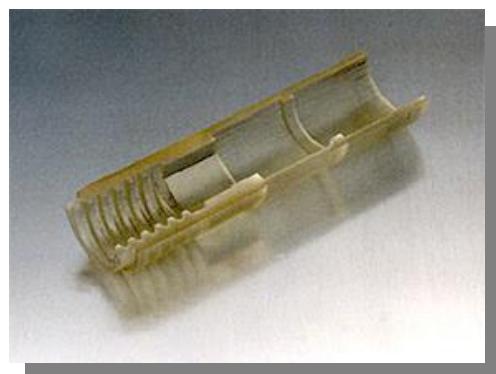
Absenken des Baubereiches und  
Anheben eines Vorratsbehälters



Auftragen des Pulvers mit  
einer gegenläufigen Rolle



## Werkstückbeispiele – SL / SLS



Funktionaler Prototyp für die  
Schreibgeräteindustrie  
Oberteil eines Kugelschreibers



Funktionaler Prototyp, grundiert und  
lackiert für ein Handschleifgerät

Entwicklung der  
Bauteilgeometrien durch  
Reverse Engineering

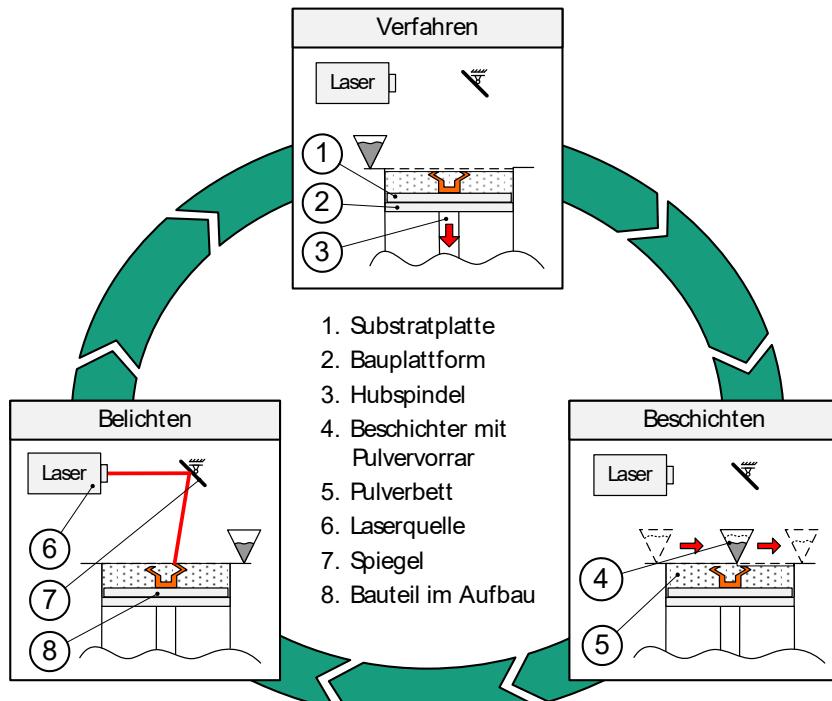


Feingussmodell  
Turbinenschaufel



Quelle: Dannes Solutions GmbH

# Selective Laser Melting (SLM)



## Inhalte

- › Bindung durch lokales Aufschmelzen seriennahen Metallpulvers

## Verfahrensschritte

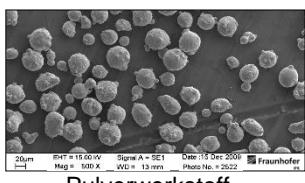
- › Schichtweises Verfahren der Bauplatzform
- › Beschichten der Substratplatte
- › Belichten zum Erschmelzen einer Bauteilschicht

## Werkstoffe

- › Edelstahl, Werkzeugstahl, Titan-, Aluminium-, Kobalt-Chrom- und Nickelbasislegierungen

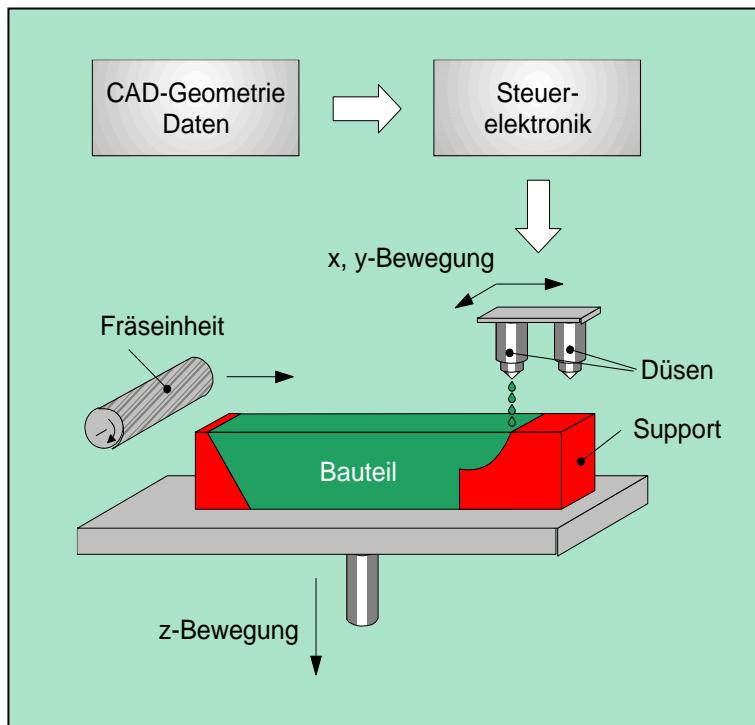
## Vorteile

- › Aufbau verschlissener Bauteile aus Serienwerkstoffen
- › Erzeugung komplexer Innengeometrien und Leichtbaustrukturen
- › Generierung minimaler Wanddicken von 0,4 mm
- › Hohe Bauteilgenauigkeit durch Schichtdicken von 20 µm - 100 µm
- › Relative Bauteildichte: bis zu 99,97 %
- › Sehr gute Eignung für aktuelle technische Herausforderungen



Quelle: eigene Darstellung

# Ballistic Particle Manufacturing – Verfahrensprinzip, Beispiele



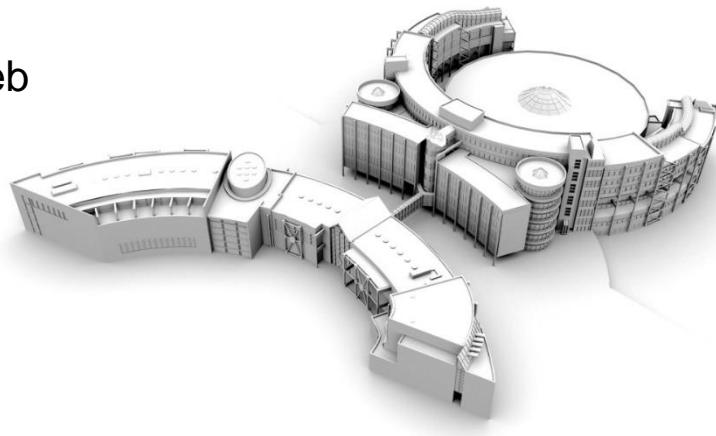
Quellen: Multistation SAS, ASYS Automatisierungssysteme GmbH

# Produktionstechnik II

Produktionstechnik (Master)  
Produktions- und Automatisierungstechnik im Fabrikbetrieb

Technische Universität Berlin  
Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb

*Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. E. Uhlmann*



## Kontaktdaten der Modulverantwortlichen

| Funktion                | Name          | E-Mail                               | Raum | Telefon   |
|-------------------------|---------------|--------------------------------------|------|-----------|
| Vorlesungsassistent     | Herr Henning  | julian.wolfgang.henning@tu-berlin.de | 219  | 314 21235 |
| Studierendensekretariat | Frau Büttner  | l.buettner@tu-berlin.de              | 204  | 314 24451 |
| Akademischer Rat        | Herr Dr. Bold | bold@iwf.tu-berlin.de                | 206  | 314 24455 |

Aktuelle Informationen finden Sie stets auf ISIS. Wir bitten Sie daher, den ISIS-Kurs regelmäßig auf Neuigkeiten zu prüfen.

Bei Fragen zur Vorlesung bzw. für die technische Umsetzung der E-Lehre ist der Vorlesungsassistent zuständig. Dieser bietet auf Anfrage Sprechstunden an.

In den Bereichen Produktionstechnik, Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen werden vielfältige Möglichkeiten für Studierende angeboten, Studienleistungen zu erbringen. Informationen zu den angebotenen Übungen und Praktika erhält man im Studentensekretariat. Dort erfolgt auch die Anmeldung.

Wenn Interesse besteht, eine Studien-, Projekt-, Bachelor- oder Masterarbeit anzufertigen, können Sie sich gerne mit einem kurzen Anschreiben (Name, Studienrichtung, besondere Kompetenzen/Interessen und ggf. Wunschthema) an den Vorlesungsassistenten oder den Akademischen Rat wenden.

Bei Interesse als studentische Hilfskraft zu arbeiten und für Bewerbungen als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut sollte man sich ebenfalls an den Akademischen Rat wenden.