

Studiengang Mechatronik

Modul 5 – Konstruktion 1:

Fertigungstechnik

- 2. Vorlesung -

Prof. Dr. Enno Wagner

21. Oktober 2025

Übersicht

- Hauptgruppen nach DIN 8580
- Hausaufgabe: Einordnung Fertigungsverfahren
- Übersicht Fertigungsverfahren
- Relevanz für die Mechatronik
- Semesteraufgabe

Untergliederung der Fertigungsverfahren

Hauptgruppen nach DIN 8580

Hauptgruppen nach DIN 8580

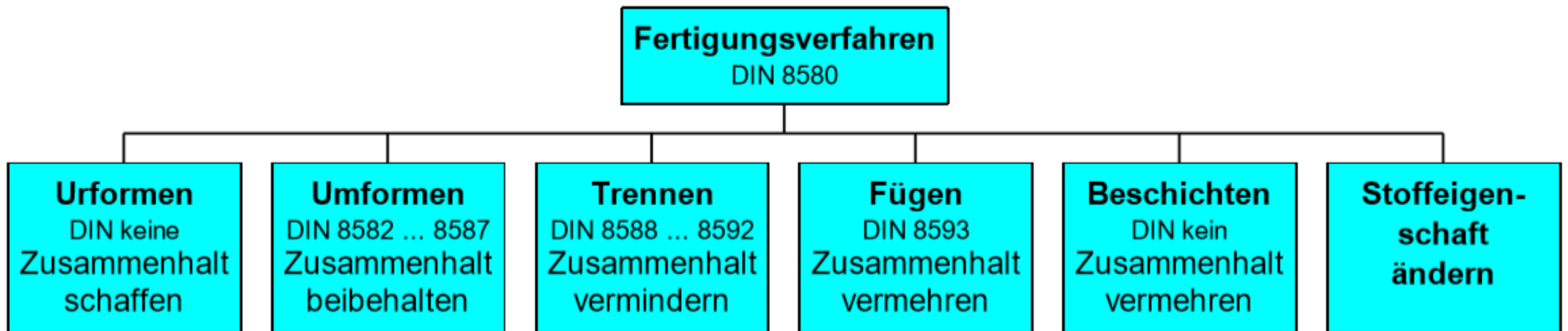
- Urformen
- Umformen
- Trennen
- Fügen
- Beschichten
- Stoffeigenschaften ändern

Verfahrensprinzipien

- Zusammenhalt schaffen
- Zusammenhalt beibehalten
- Zusammenhalt vermindern
- Zusammenhalt vermehren
- Zusammenhalt vermehren
- Zusammenhalt verändern

Fertigungsverfahren

Einteilung in 6 Hauptgruppen nach DIN 8580



Quelle: Skript Prof. H. Albrecht, Frankfurt AUS, WS 16/17

Hauptgruppe 1

Urformen

Bronzezeit

- „Ursprüngliche“ Herstellung des Metalls
- Gold, Silber und Kupfer kommen in gediegener Form, also metallisch in der Natur vor
- Kupfer durch Hämmern bearbeitet war brüchig und spröde – nur für Schmuck geeignet
- Die Legierung mit Zinn (5-25%) wurde zur Bronze => leicht gießbar und schmiedbar
- Herstellung in großen Schmelzöfen durch die Sumerer in Indien und China um 3000 v. Chr.
- Herstellung von Werkzeugen, Waffen



Bild: Eigene Aufnahme
Naturhistorisches Museum Berlin



Bildquelle: ABES public design
<https://abes-online.com/publikationen/ratgeber/alles-aus-einem-guss/>

Herstellung von Eisen

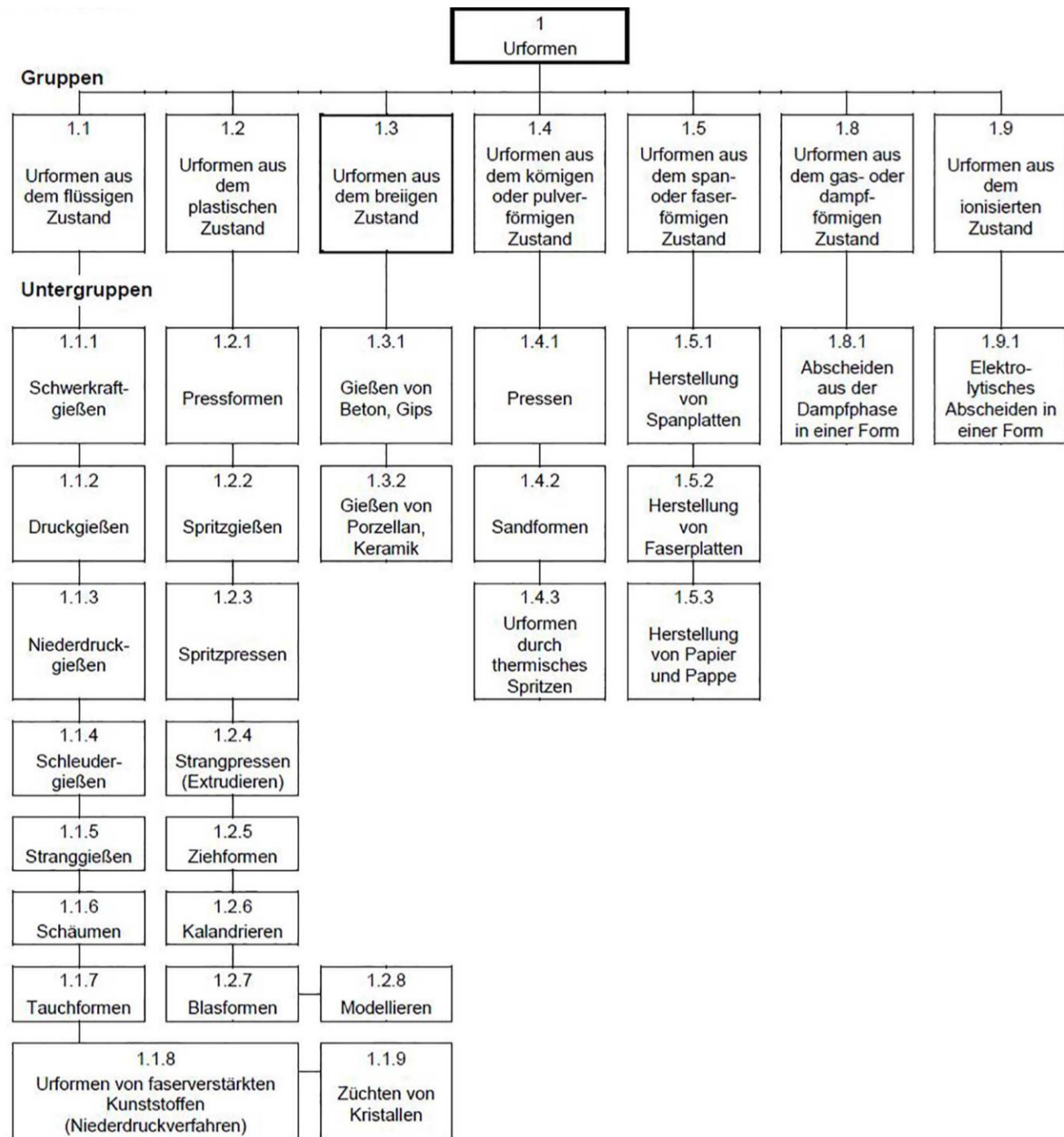
- Kommt nicht ursprünglich in der Natur vor, nur als Eisenerz (Oxide)
- Erstmals um 2000 v. Chr. als Meteoreisen bekannt: „Ajas“ Sanskrit für *Eisen*
- Seit der Antike: Verhüttung in Schachtöfen und chemische Reduktion durch Kohle
- Gusseisen in Formen hergestellt
- Der **Urzustand wird technisch hergestellt**
- Eisen löst Bronze ab und wird zum weitverbreiteten Werkstoff für Werkzeuge, Verbindungsteile und Waffen



Bildquelle: Fronberg Guss GmbH
<https://www.mittelbayerische.de/region/schwandorf-nachrichten/fronberg-guss-bleibt-auf-kurs-21416-art1003408.html>

Und heute ...

Übersicht über die Einteilung der Hauptgruppe 1 Urformen



- Als Fertigungstechnologie werden die **verschiedenen Verfahren, durch die Bauteile hergestellt werden können**, bezeichnet.
- Fertigungstechnologien sind **materialabhängig** (Auswahl nach Belastung, Formgebung)
- **Auswirkungen auf Formgebung** (Wandstärken, Hinterschneidungen, etc.)
- Komplexere Formen und Produkte => neue wirtschaftliche **Fertigungstechnologien**
- Vollkommen **innovative Fertigungstechnologien**, wie der 3D Druck, sind zu Beginn **oft weit teurer**, als herkömmliche Verfahren, weshalb es meist dauert, bis sich derartige Verfahren durchsetzen.
- **Ziel:** optimal gewählten Fertigungstechnologie, Ansprüchen des Produktes genügen, Konstruktion dass Anwendung der Technologie **umsetzbar** und **wirtschaftlich** ist.

Quelle: Design Pilot: <https://app.designpilot.io/tool-136-produktdifferenzierung>

Welche Fertigungsverfahren haben heute
für die Mechatronische Konstruktion
eine besondere Relevanz?

Übersicht Fertigungsverfahren

Fertigungsverfahren nach DIN 8580

Urformen	Umformen	Trennen	Fügen	Beschichten	Stoffeigenschaft ändern
3D-Druck / AM* Gießen Spritzgießen Vakuumguss Sintern Strangpressen ...	Biegen Tiefziehen Drücken Walzen Gesenkformen ...	Sägen Bohren Fräsen Drehen Stanzen Funkenerosion Laserschneiden Schleifen Polieren Sandstrahlen Räumen Hobeln ...	Schweißen Löten Kleben Nieten Schrauben ...	Lackieren Pulverbeschichten Galvanisieren Verzinken Emaillieren ...	Härten Anlassen Glühen Vergüten ...
*AM = Additive Manufacturing					Tilt Industries GmbH

Quelle: <https://www.tilt-industries.eu/de/blog/fertigungsverfahren/>

Begleitende Semesteraufgabe

- Bauen Sie selbst (zu Hause) einen kleinen Mechanismus
- Wenden Sie hierzu unterschiedliche Fertigungsverfahren an
- Beispiele: Sägen, Bohren, Feilen, Schneiden, Blech biegen, montieren, etc.
- Bringen Sie Ihre Fragestellungen und Themenwünsche mit in die Vorlesung
- Zeichnen Sie Ihren eigenen Mechanismus (=> KON1, 3. Testat)

Ausgabenstellung Mechanismus

- Grundplatte und zwei Seitenwände
- Verbindungen (Schrauben, Passstifte)
- 2 Wellen mit Zahnradübersetzung
- Wellenlagerung
- Kurbelantrieb
- Lüfterrad oder optische Scheibe
- Abmessungen Grundfläche ca. 80 x 100 mm



Bild: CAD-Modell Denis Tinsner

Additive Fertigungsverfahren (3D Druck)

Industrielles Rapid-Prototyping

Rapid Prototyping

- Sinngemäß: Schneller Modellbau
- Ziel: Vorhandene CAD-Daten möglichst ohne manuelle Umwege oder Formen direkt und schnell in Werkstücke umzusetzen.
- Additiv aufbauende Verfahrensgruppe
- Datenschnittstelle meist STL-Format
- Rapid Prototyping seit den 1980er Jahren bekannt
- Verfahren zählen zu den Urformverfahren
- Werkstück wird schichtweise aufgebaut
- Rohstoffe bestehen aus formlosem oder Form-neutralem Material
- Nutzung physikalischer und/oder chemischer Effekte
- Ausnahme: Polyamidguss

Stereolithografie

- Flüssiges Polymer (Harz in Behälter)
- Gezieltes Aushärten mittels UV Laser auf Flüssigkeits-Oberfläche
- Verfahren:
 - Absenken der Bauplattform
 - Auftauchen bis kurz unter Wischerkante (0,06-0,76 mm)
 - Wischvorgang
 - Wartezeit (Aushärten)
- Sehr genaues Verfahren ($<10\text{ }\mu\text{m}$)

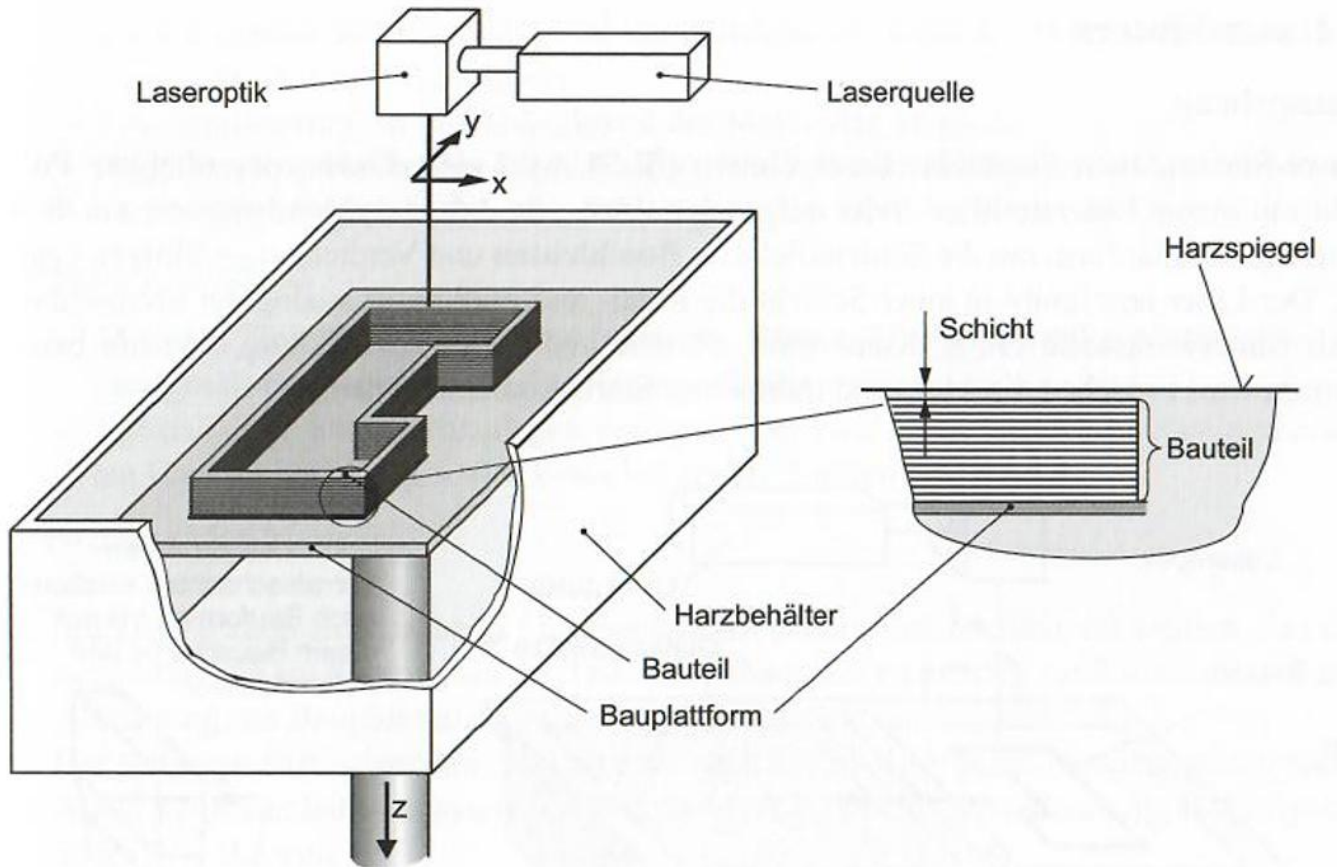
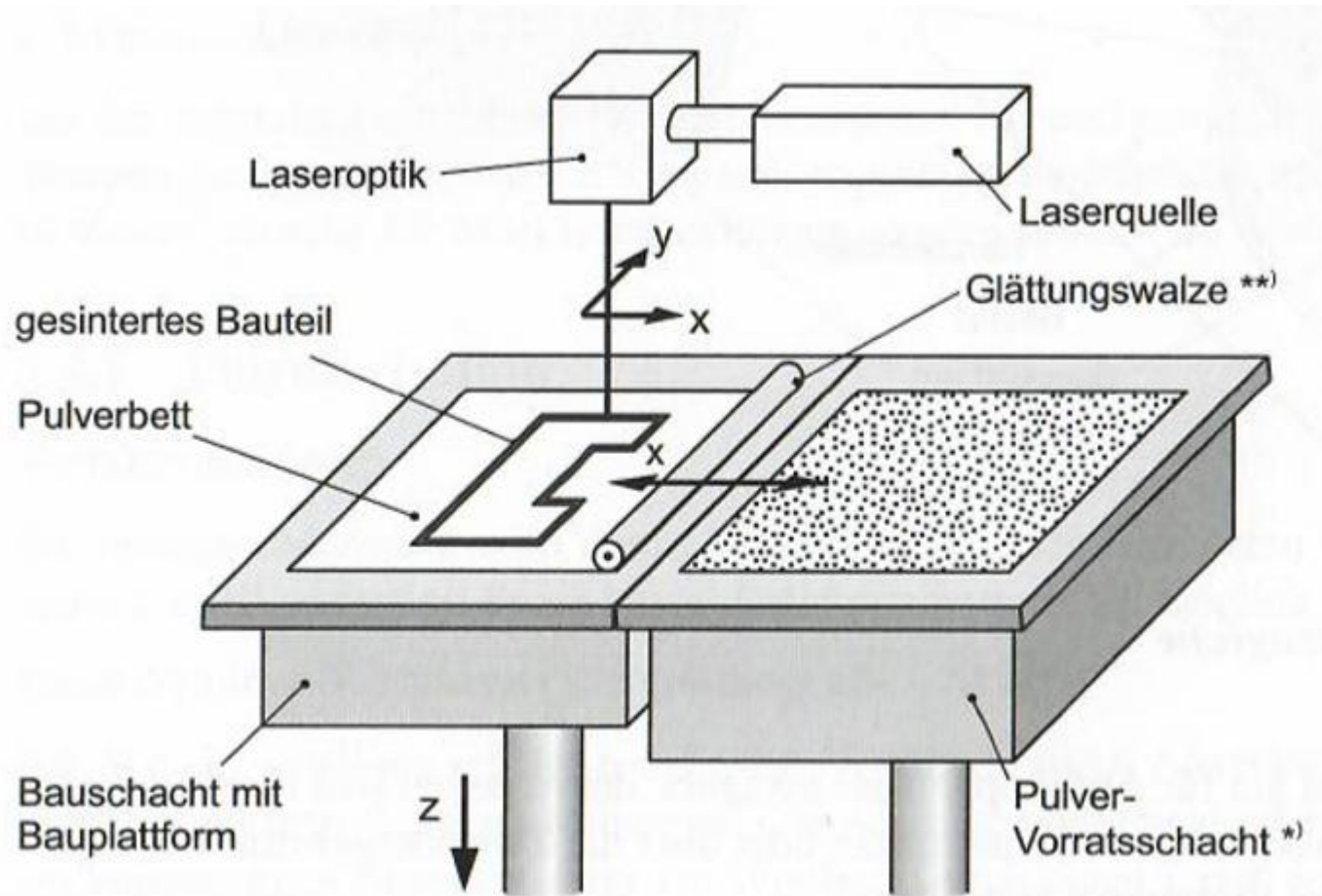


Bild 8.6: Prinzip der Stereolithografie



Laser-Sintern

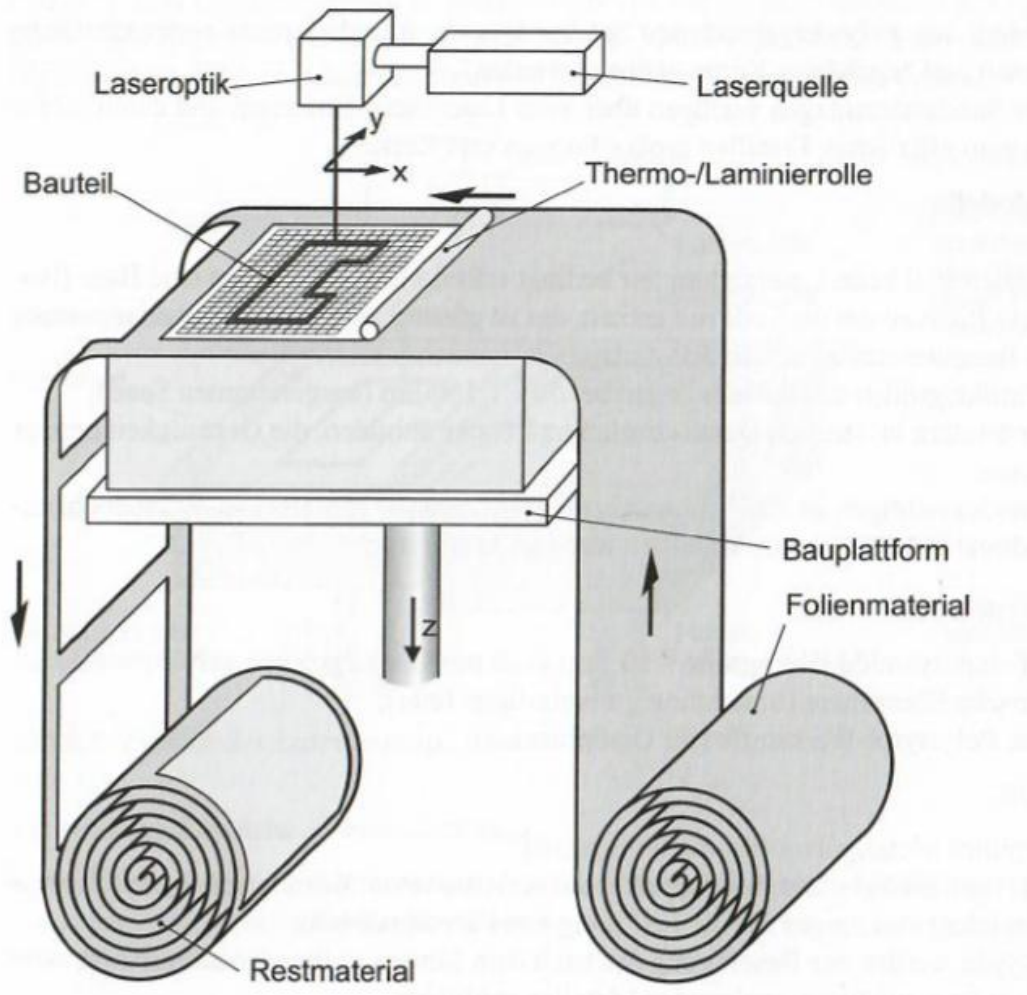
- Anschmelzen von Pulverpartikeln und verbinden zu einer Schicht
- Arbeitsraum unter Schutzgas bis kurz unter Schmelztemperatur aufgeheizt
- Kunststoffpulver (Polyamid, teils mit Metallpulver)
- Absenken der Arbeitsplattform um Schichtdicke
- Verteilen von Pulver mittels Walze
- Sintern von Sand => Sandguss
- Genauigkeit: ca. 0,2 mm

Quelle: Awiszus: Grundlagen der Fertigungstechnik

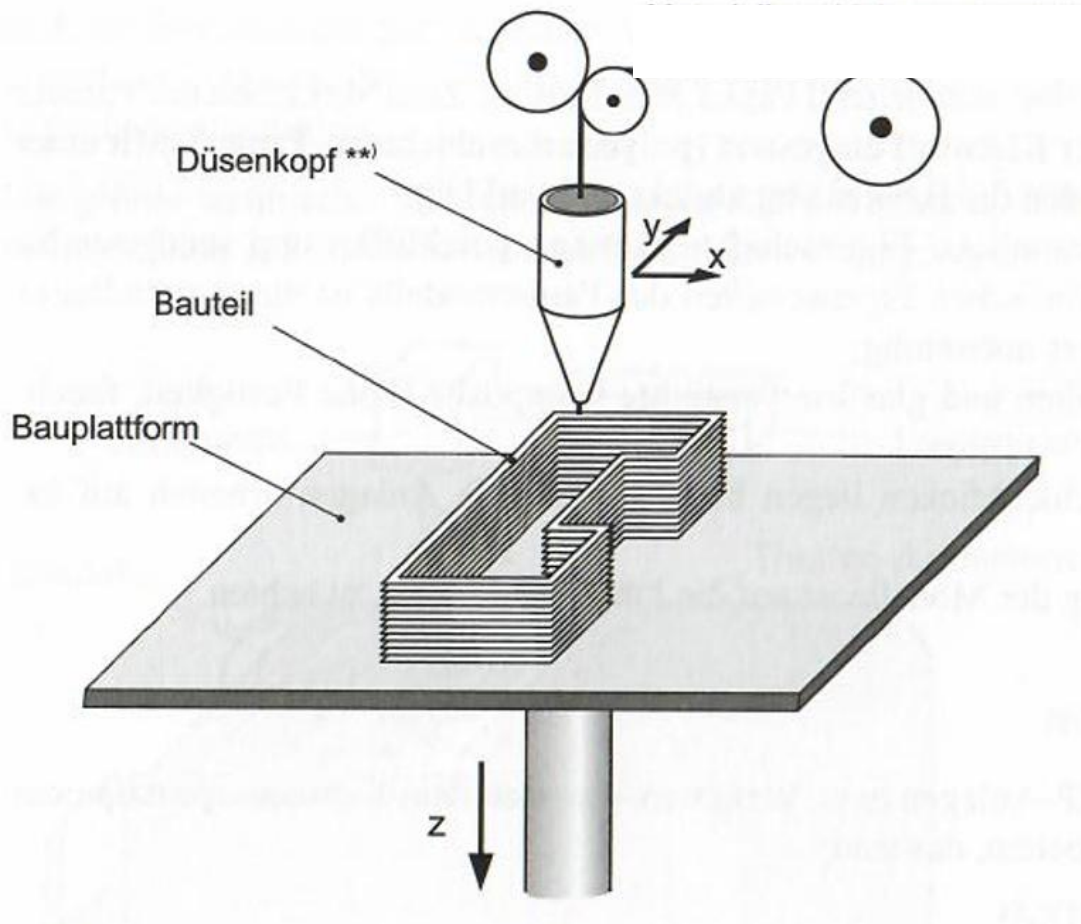
LOM-Verfahren

Laminated object manufacturing

- Verkleben aufeinander folgender Schichten (Polysterfolien und Papier)
- Thermowalze
- Massive große Teile
- Schichtdicken: ca. 0,1 mm
- Genauigkeit: 0,25 mm
- Papiermodell können anschließend wie Holz spanend bearbeitet werden



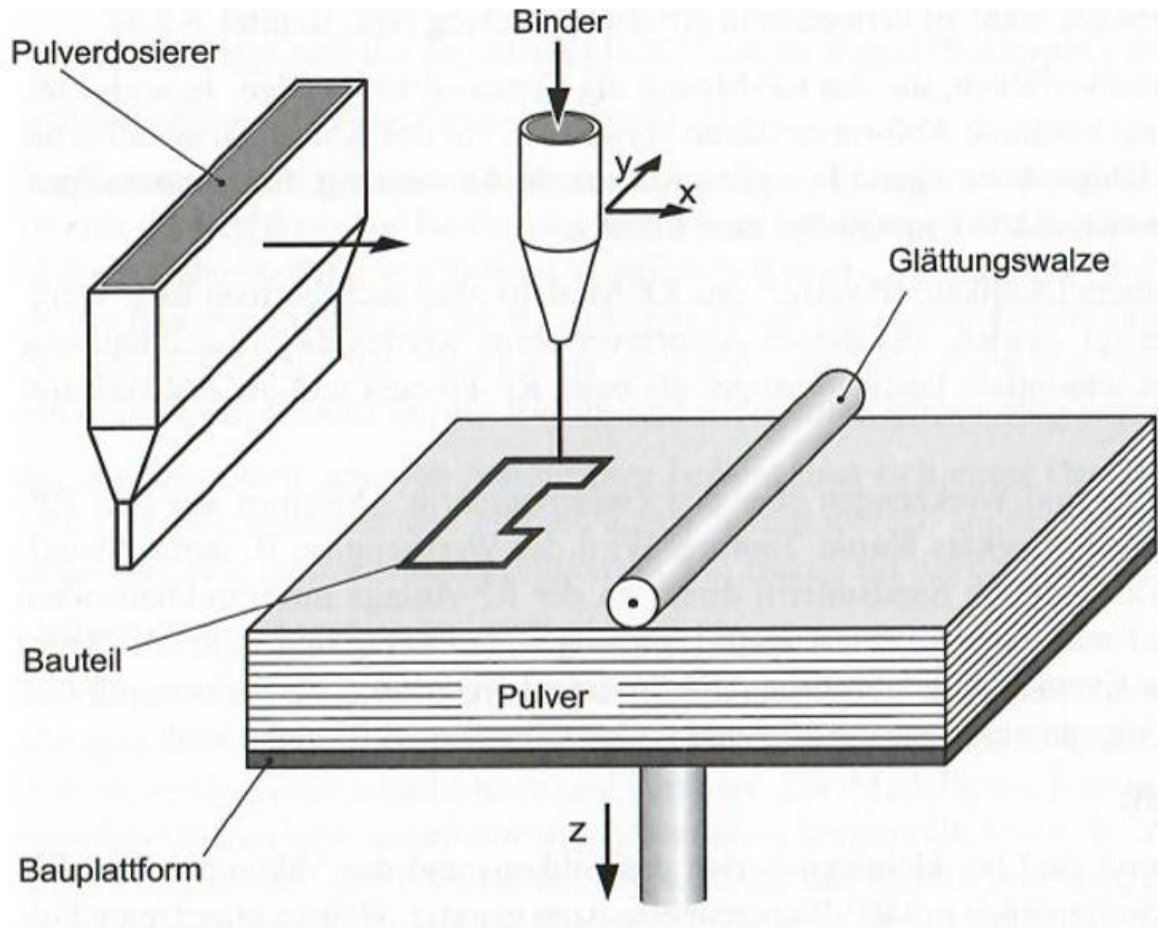
Quelle: Awiszus: Grundlagen der Fertigungstechnik



Extrusionsverfahren

- Schmelzbare Werkstoffe (Kunststoffe, Wachse) mittels beheizbarer Düse Schicht für Schicht aufgetragen
- FDM - Fused Deposition Modeling
- 3D-Drucker (Polyester)
- Schnelles Verfahren für Prototypen
- Niedrige Oberflächenqualität
- Genauigkeit eher gering (0,1 - 0,3 mm)

Quelle: Awiszus: Grundlagen der Fertigungstechnik

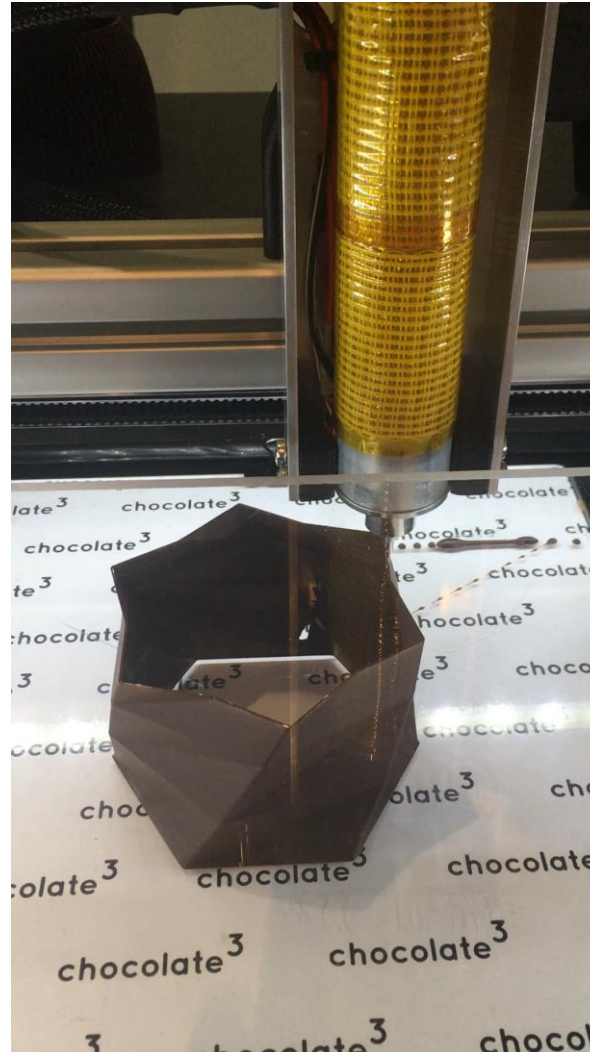


3D-Drucken

- Bindemittel wird wie beim Tintenstrahldrucker in Pulverbett injiziert (kein thermisches Verschmelzen)
- Geringe Genauigkeit, teils kaum belastbar (Gips-, Stärkepulver)
- Metall und Keramikpulver nur mit aufwendiger Nachbearbeitung

Quelle: Awiszus: Grundlagen der Fertigungstechnik

Beispiel: 3D-Druck von Schokolade



Metallguss

Aus dem flüssigen Zustand

- Gießen ⇒ Herstellung von Gussteilen aus Metallen
- Schäumen ⇒ Kunststoffteile aus PUR
- Züchten von Kristallen ⇒ Herstellung von Reinstsilizium
- Stereolithografie ⇒ Herstellung von Musterteilen mittels
 - * flüssigem Kunststoff durch LASER ausgehärtet
 - * Aufbringen dünner schnell härtender Kunststoffschichten

Aus dem plastischen Zustand

- | | |
|----------------|---|
| -Spritzgießen | ⇒ Kunststoffspritzgussteile |
| -Strangpressen | ⇒ Herstellung von Profilen aus Al o. Kunststoffen |
| -Modellieren | ⇒ Formen von Keramikmasse |
| -Pressformen | ⇒ Herstellung von Linsen |

Aus dem körnigen o. pulverförmigen Zustand

-Pressen von Pulvern

⇒ Herstellung von Sinterteilen

⇒ Herstellung von Sandformen für den Sandguss

Aus dem gas oder dampfförmigen Zustand

⇒ Herstellung von Folien

Aus dem ionisierten Zustand

-Galvanisieren

⇒ Herstellung von Miniaturteilen

1. Urformen

- 1.1 Metallguss
- 1.2 Pressen von Kunststoffen
- 1.3 Gießen von Kunststoffen
- 1.4 Pulvermetallurgie
 - Pressen von Metallen
 - Pressen von Keramik

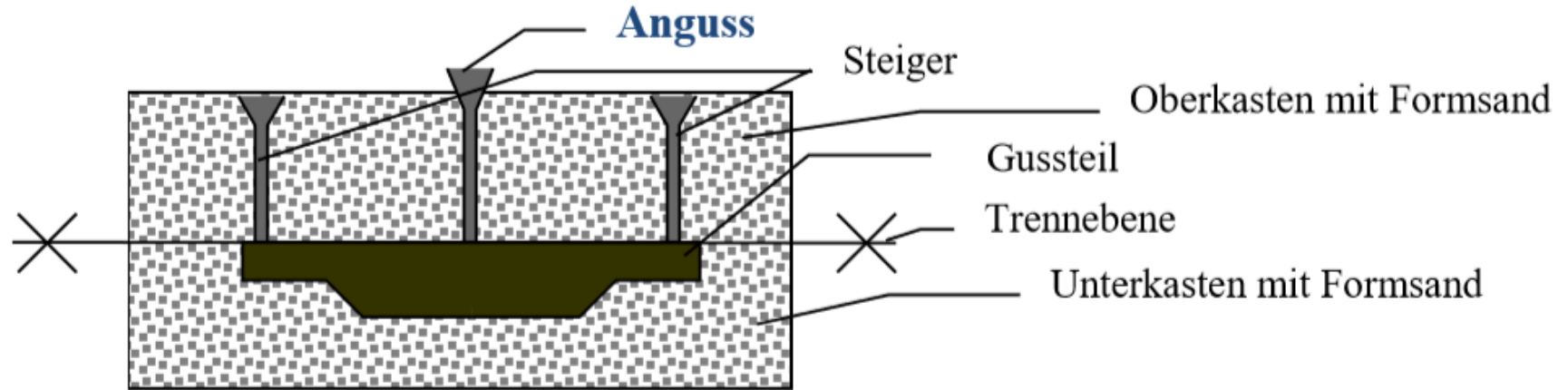
1.1 *Metallguss*

Prinzip: Ein durch Erwärmung geschmolzener metallischer Werkstoff wird in eine Form (Hohlraum) eingebracht.

Die Form und damit das abzugießende Teil muss so gestaltet sein, dass

- * der Gusswerkstoff: - im flüssigen Zustand alle Hohlräume ausfüllen kann
 - sich gleichmäßig abkühlen kann und damit eine gleichmäßige Struktur im Fertigteil erreicht (keine Lunker (Luft einschüsse), keine Einfallstellen)
- * sich das Teil formen und entformen lässt (Hinterschneidungen benötigen Kerne)
- * die Schwindung des Gusswerkstoffes beim Abkühlen Berücksichtigung findet

Sandguss



Verfahren:

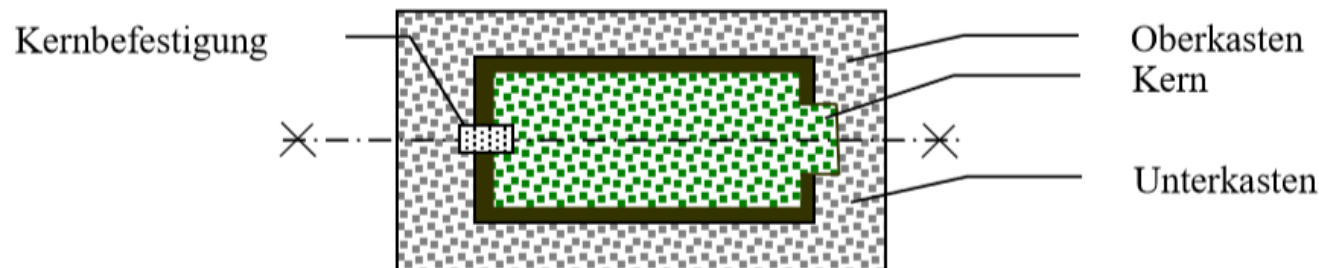
Ein Hohlraum, geformt mittels eines Modells (hat die Form des zu fertigenden Teils aus z. B. Holz) in speziellen Formsand wird mit flüssigem Werkstoff ausgefüllt. Die Form muss für jedes Teil neu erstellt werden. Die Modelle müssen bevor der flüssige Werkstoff eingefüllt wird aus geformt werden → es dürfen keine Hinterschneidungen am Modell vorhanden sein.

Verfahren:

Ein Hohlraum, geformt mittels eines Modells (hat die Form des zu fertigenden Teils aus z. B. Holz) in speziellen Formsand wird mit flüssigem Werkstoff ausgefüllt. Die Form muss für jedes Teil neu erstellt werden. Die Modelle müssen bevor der flüssige Werkstoff eingefüllt wird aus geformt werden → es dürfen keine Hinterschneidungen am Modell vorhanden sein.



Für komplizierte Gussteile werden die Modelle geteilt oder Losteile (Ansteckteile am Modell; Gefahr des Versatzes) bzw. Kerne (zusätzlicher Aufwand -) verwendet und es finden mehrteilige Gusskästen Anwendung.



=> Weiterbearbeitung durch zerspanenden Verfahren

Urformen: Gussverfahren

Position the drag,
upside down, on a flat surface

Sandguss

- Gießen mit verlorener Form
- Dauermodell
- Einzelteile bis (Klein-)Serien
- Günstige Formherstellung
- Wirtschaftlich große Bedeutung



Bildquelle: Fronberg Guss GmbH
<https://www.mittelbayerische.de/region/schwandorf-nachrichten/fronberg-guss-bleibt-auf-kurs-21416-art1003408.html>

Gießerei - Lexikon

Prinzip des Niederdruck- Kokillengießverfahrens

Verfahren wie Sandguss unter Verwendung einer Dauerform aus Stahl, Keramik. Der zu verarbeitende Werkstoff wird im flüssigen oder breiigem Zustand unter hohem Druck (5 ... 50 Mpa) in eine Stahlkokille gepresst.

Warmkammergießverfahren bis 200 Mpa (2000 atm)

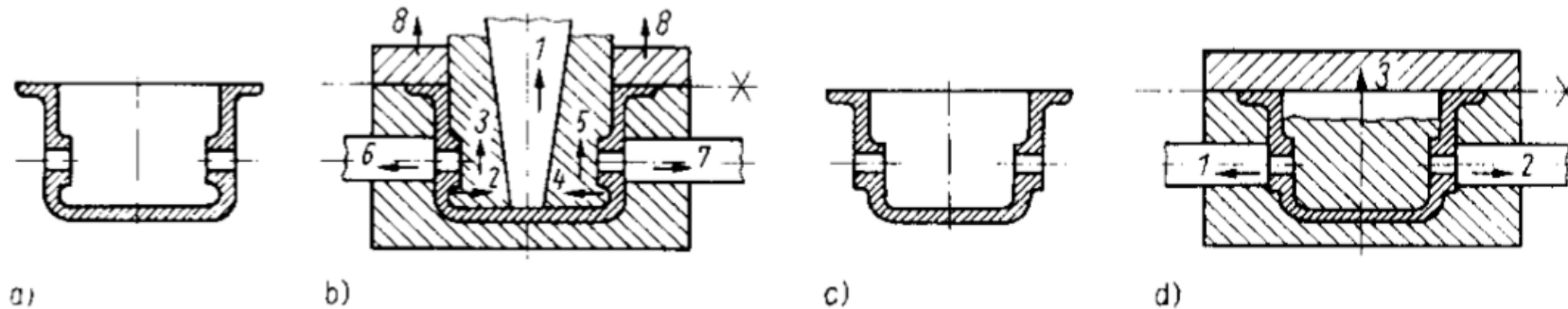


Bild 4.5 Möglichkeiten der Werkzeugkonstruktion für Druckguß (nach *Lieby*)

- ⇒ geringe oder keine Nacharbeit
- ⇒ gute Festigkeit
- ⇒ saubere Oberflächen
- ⇒ sehr hohe Maßgenauigkeit; kleinere Toleranzen
- ⇒ geringe Wandstärken
- ⇒ komplizierte Gussgestaltung:

- Einlegeteile einbringbar → Lagesicherung berücksichtigen
- Gewinde gießbar → Einlegen einer Schraube, die nach dem Abguss herausgedreht wird
- Einlegen einer Schraube, die im Gussteil verbleibt

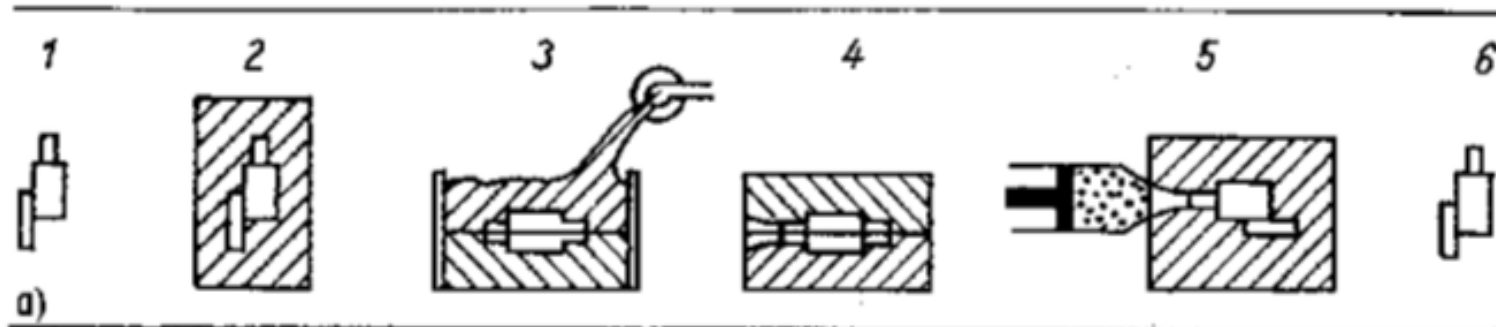
- ⇒ automatisierte Arbeitsabläufe; hohe Arbeitsgeschwindigkeit bis 500 Schuss pro Stunde
- ⇒ hohe Werkzeugkosten → Mindeststückzahl > 50000

- Hohe Werkzeugkosten
- Mindeststückzahl: 50.000
- Automatisiertes Verfahren
- Hohe Arbeitsgeschwindigkeit: 500 pro h

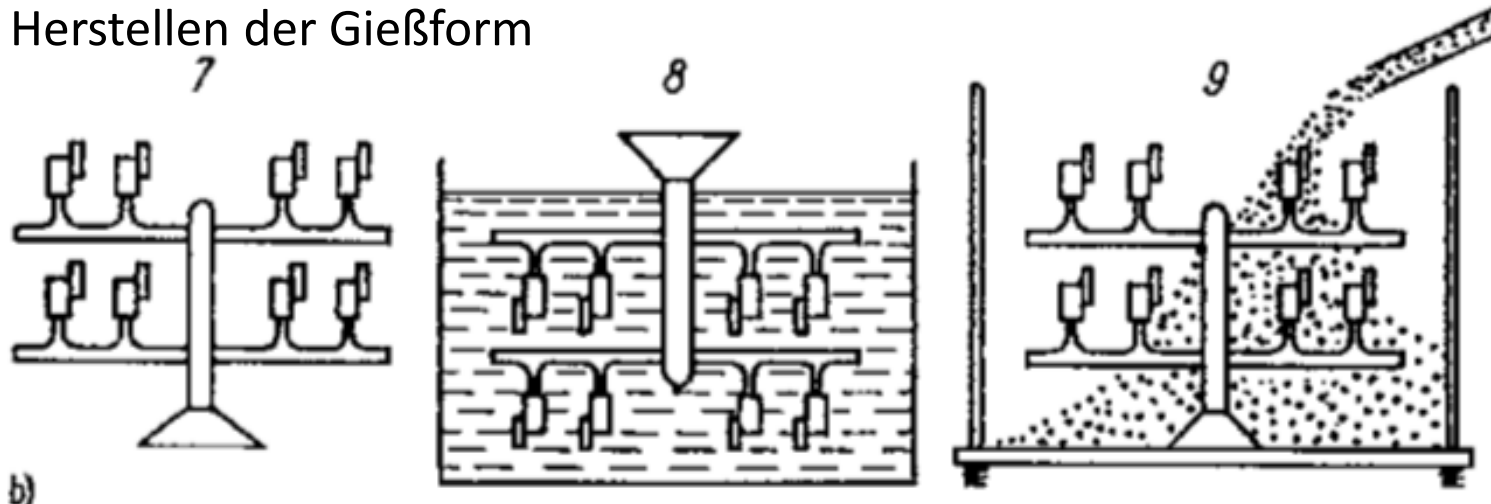
Präzisionsgießverfahren

a) Anfertigen des Modells

Verwendung von einteiligen Gussformen und „verlorenen Modellen“, die aus einem ausschmelzbarem Werkstoff bestehen.



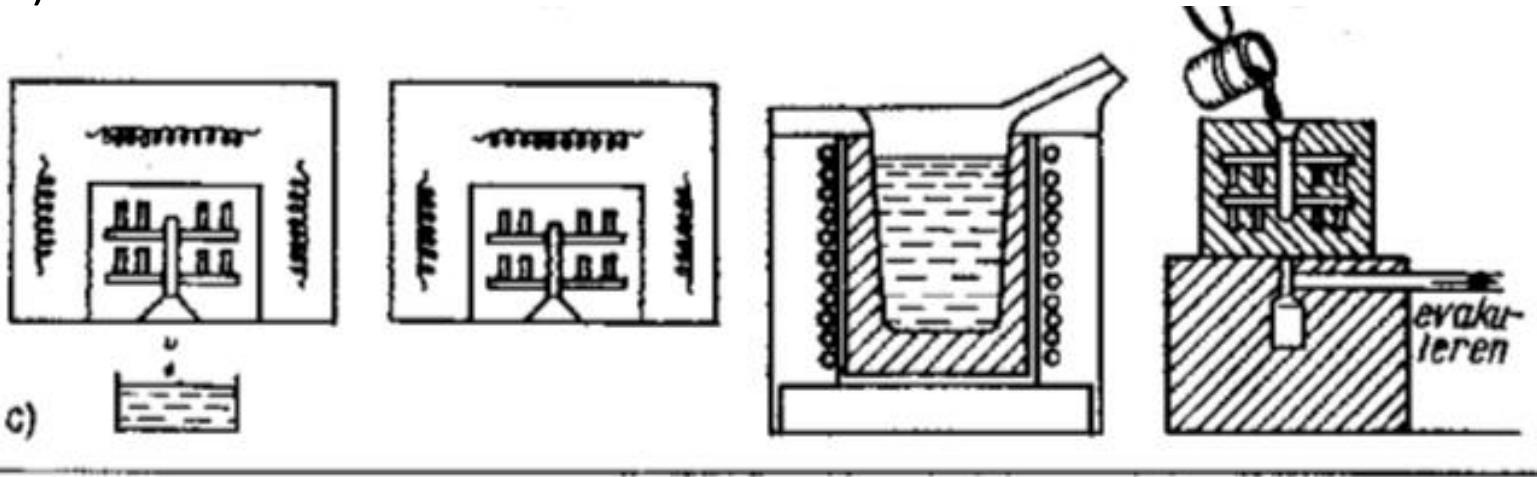
b) Herstellen der Gießform



- 1 Muttermodell
- 2 in Gips einbetten
- 3 Guß der ersten Kokillenhälfte in Weichmetall
- 4 Weichmetallkokille
- 5 Wachs einspritzen
- 6 Wachsmodell
- 7 vollständige Traube
- 8 Tauchen in feuerfeste Überzugsmasse
- 9 Einfüllen der Formmasse und Rütteln

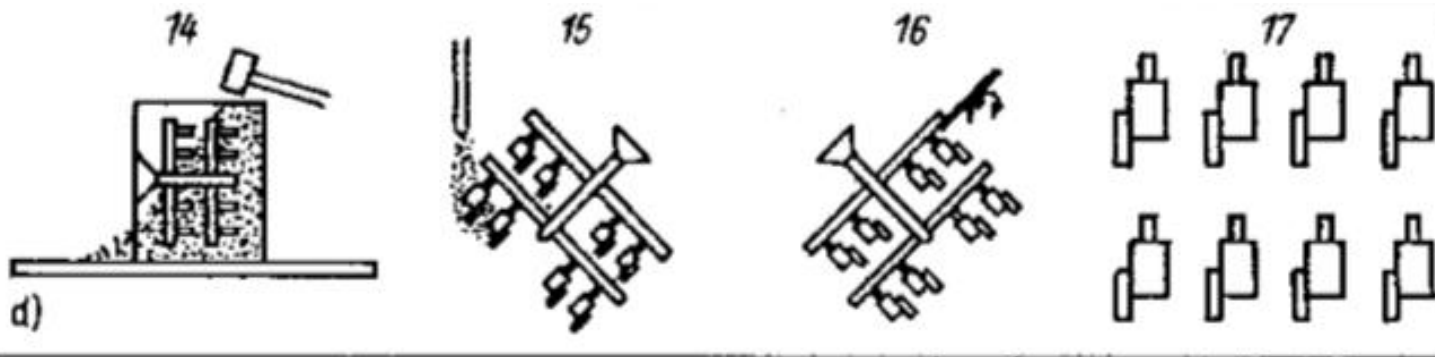
Feinguss (Ausschmelzverfahren)

c) Vorbereiten zum Gießen und Einfüllen der Schmelze

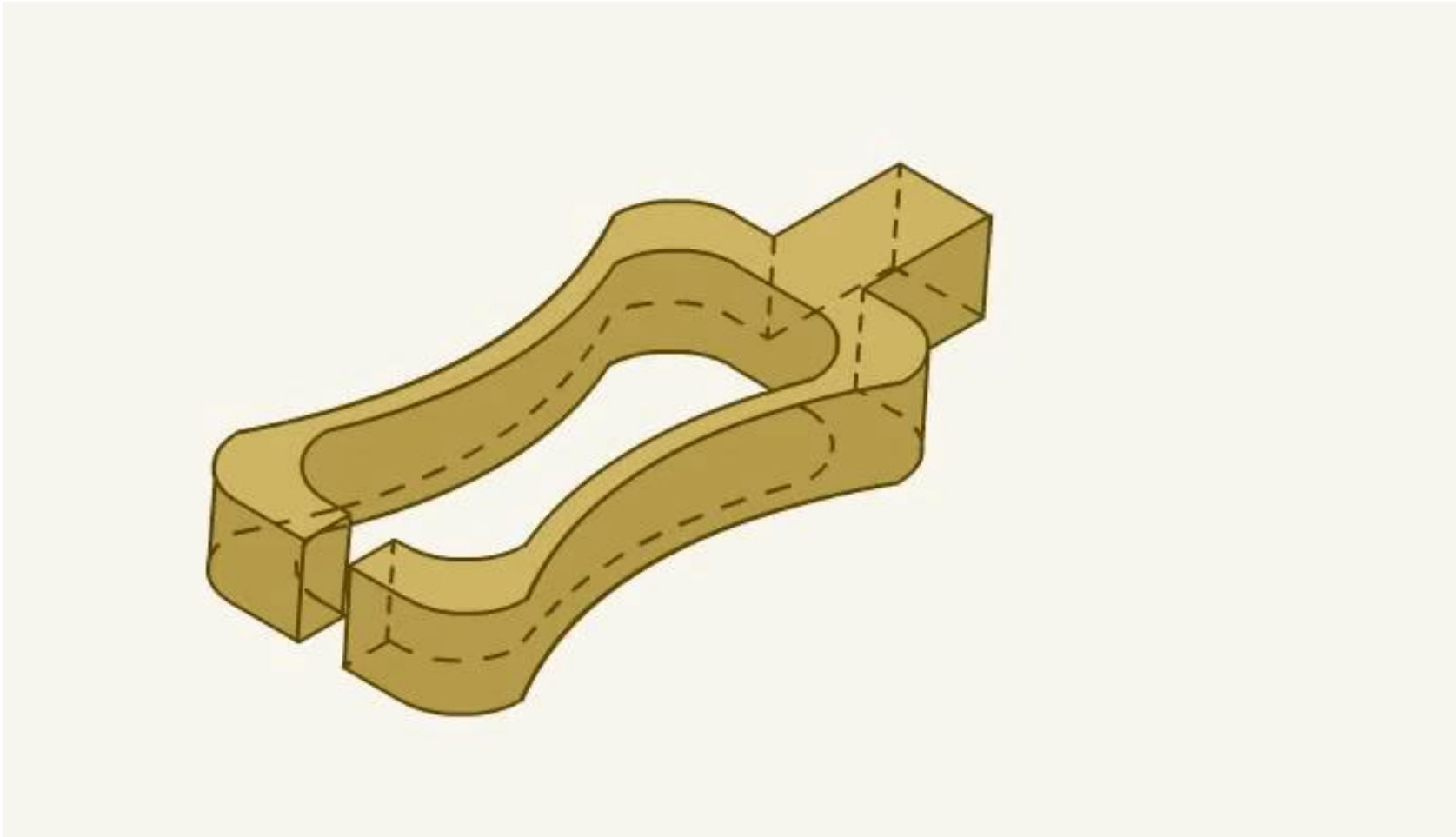


- 10 Wachs ausschmelzen
- 11 Brennen
- 12 Metallschmelzen
- 13 statisches Gießen unter Vakuum
- 14 Ausschlagen des Gusses
- 15 Sandstrahlen
- 16 Abtrennen der Gußteile
- 17 fertige Gußteile

c) Vorbereiten zum Gießen und Einfüllen der Schmelze



- Präzisionsteile in **mittlere Stückzahlen**
- geringe oder **keine Nacharbeit**
- für einteilige Gussformen (Schmuckwarenfertigung)
- **kleinste Teile** auch für mittlere Stückzahlen
- Präzisionsteile mit **glatten Oberflächen**





Übersicht Metallguss Verfahren

Verfahren für den Metallguss

nach Krause, FERT, S 32 T 4.2.

Verfahren	Formwerkstoff	Gusswerkstoffe	Abgüsse je Form	max. Masse der Gussteile in kg	wirtschaftl. Mindeststückzahl	erreichbare Genauigkeit in %	min. Wandstärke in mm
Sandguss	Quarzsand mit Bindemitteln	Eisen u. Stahl Leichtmetalle Schwermetalle	1	1000	20 ... 10	1 ... 2	3 ... 4
Kokillenguss	Metall, Keramik	Stahl, Metalle $\vartheta_s < 1000^\circ\text{C}$	1000	15	500 ... 100	0,3 ... 1	2 ... 3
Feinguss	Keramik	Eisen u. Stahl Leichtmetalle Schwermetalle	1	5	15	$\approx 0,15$	1
Druckguss	hochwertige legierte Stähle	NE-Metalle	50 000 - 500 000	30 .. 300	3000 ... 500	0,1 ... 1	0,5 ... 3

Verfahren ohne Druck

Werkstoffe für den Metallguss ohne Druck nach Krause, FERT, S. 40 T 4.4.(Auswahl)

Werkstoff	Eigenschaften	Anwendung
<i>Eisengusswerkstoffe</i>		
Eisen-Kohlenstoff - Gusswerkstoff mit La- mellengraphit GG-1.. 35	gut gießbar, geringere Festigkeit, gute Ver- schleiß Eigenschaften	Teile im allg. Maschinenbau; Maschinengestelle, Lager
Eisen-Kohlenstoff - Gusswerkstoff mit Ku- gelgraphit GGG-50	sehr gut gießbar; hohe Festigkeit, gut schweiß- bar	für Sandgussteile mit stahlähnlichem Charakter und Teile, die gleitendem Verschleiß ausgesetzt sind
Stahlguss	zäh; für Einsatzhärtung geeignet; gut schweiß- bar; schmiedbar	Zahnräder, Kettenräder, Ventile, Hebel, Getriebe- teile, Lagerschalen, Kupplungsteile

<i>Schwermetallgusswerkstoffe</i>		
Gussbronze (G-CuSn10Zn)	hohe Festigkeit und Härte; verschleißfest; korrosions- beständig	hochbeanspruchte Gleitlager, Schneckenräder
Gussmessing (G-CuZn33Pb)	sehr gut gießbar; für Sand- guss	Teile mit elektr. Leitfähigkeit, Hochdruckarmatu- ren, hochbeanspruchte Gleitlager, Gehäuse
Feinzinkguss (GK-ZnAl6Cu1)	gute Festigkeitswerte, für Kokillenguss	gießtechnisch schwierige Teile
<i>Leichtmetallgußwerkstoffe</i>		
Al-Gusslegierung (G-AlSi6Cu4)	gut gieß- und bearbeitbar	Teile mit normaler (außer Stoß-) Belastung
Al-Gusslegierung (G-AlSi10Mg)	gut polierbar, gut witterungs- beständig	Druckgussteile aller Art
Al-Gusslegierung (G-AlSi5Mg)	sehr gut gießbar, gut schweißbar,	komplizierte, dünnwandige, schwingungsfeste Tei- le für sehr hohe mechan. Beanspruchung z.B. Ge- triebekästen, Zahnräder
Mg-Gusslegierung (G-MgAl8Zn1 ho)	gute Schwingungs- und Dauerbiegefestigkeit	Teile hoher Festigkeit z.B. Werkzeuge, elektro- magnetische Schaltgeräte, Gehäuse für Motoren

Werkstoffe für den Druckguss

Druckgußwerkstoffe für den Metallguss nach Krause FERT, S. 42 T 4.5. (Auswahl)

Al-Druckgussleg. (GD-AlMg9)	sehr gut gießbar;	Teile aller Art z.B. Fotoapparate
Mg-Druckgussleg. (GD-MgAl9Zn1)	gut gießbar, hohe Festigkeit, gut korrosionsbeständig	dünnwandige Teile hoher Festigkeit z. B. Schreibmaschinenteile
Fein-Zn-Druckgussleg. (GD-ZnAl4)	sehr hohe Maßbeständigkeit, keine hohe Festigkeit	Teile in Messgeräten, Zählwerken, Büromaschinen, Uhren, Kinogeräten

Gestaltung von Guß-Teilen

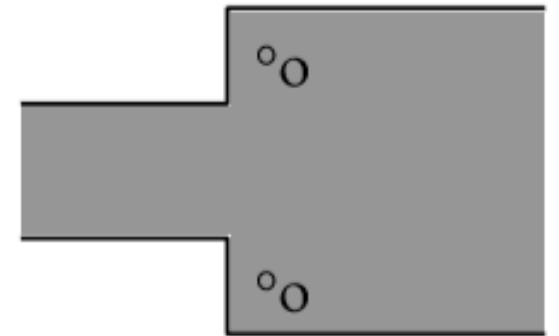
Schwinden

Volumenminderung des Werkstoffs beim Erstarren
=> führt zu Lunkerbildung und Gussspannungen

Lunker

Hohlräume, die im zuletzt erstarren Bereich des Gussteils entstehen, insbesondere bei

- Werkstoffanhäufungen
- Schroffen Querschnittsänderungen
- in Teilquerschnitten, in die kein Werkstoff nachfließen kann
=> **führt zu Festigkeitsverlusten**



Gussspannungen:

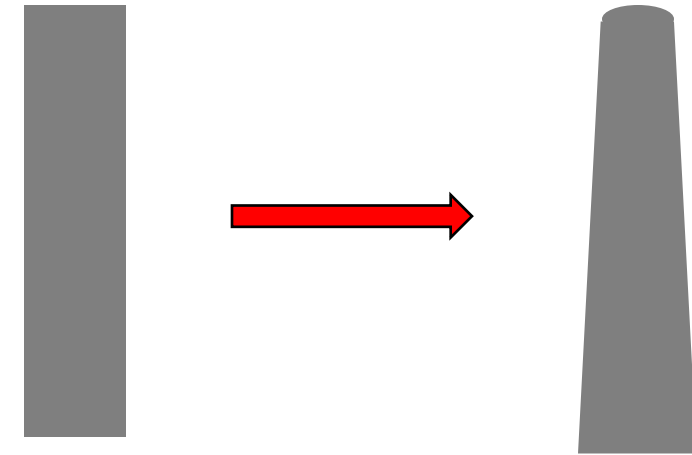
Infolge unterschiedlichen Schwindens oder unterschiedlichen Abkühlungsverlaufes

=> führt zu Formänderungen (Verziehen der Teile)

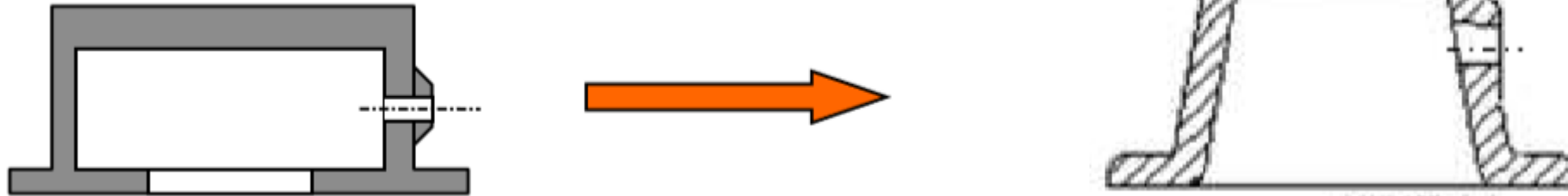
- Beim Abkühlen
- beim spanenden Bearbeiten durch Entfernen der Gushaut oder Rissbildung

1.) Modell- und Formgerecht

- Einfache Geometrieformen wählen
- Keine scharfen Ecken und Kanten (Ziehen des Modelles, ohne das Sand abbröckelt)
- Rundungen $r = 0,5 \dots 1 s$
- Zusammenlaufende Rippen (Knoten) auflösen
- Aushebeschrägen vorsehen ($0,5 \dots 3^\circ$)
- Hinterschneidungen und Kerne vermeiden

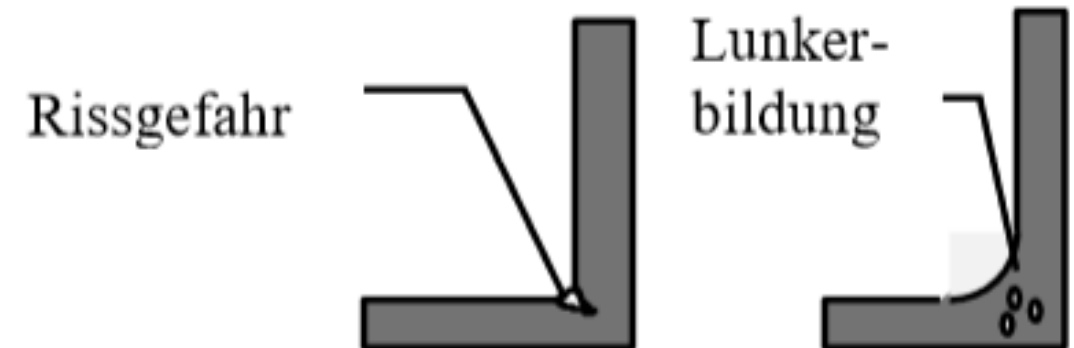


- Hinterschneidungen und Kerne vermeiden
- Sind Kerne notwendig, sollen sie eine einfache Form haben mit ausreichender Festigkeit und Steifigkeit
- Werkzeugkonstruktion und Formenbau berücksichtigen

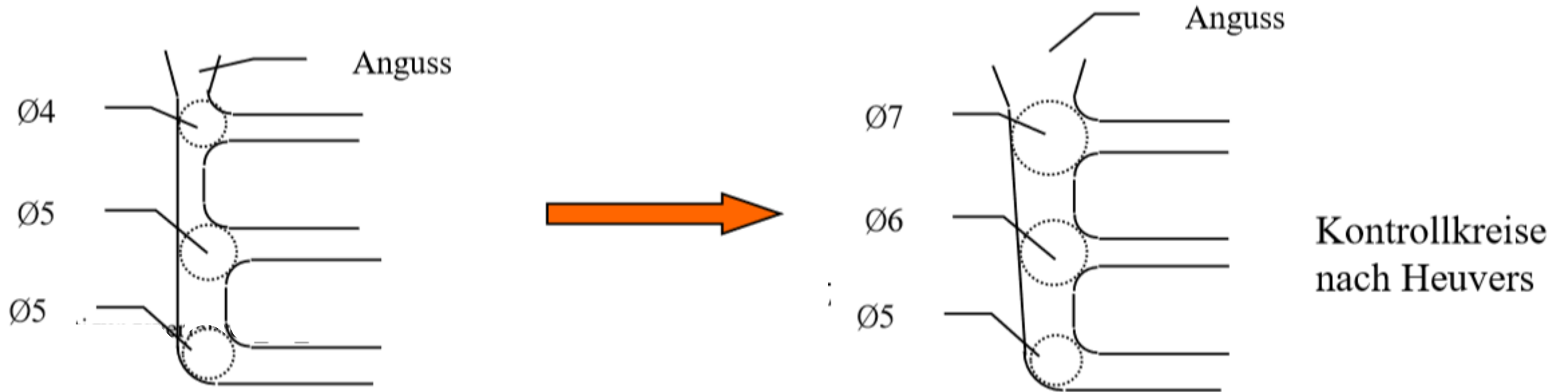


2.) Fließ- und erstarrungsgerechte Konstruktion

- Werkstoffanhäufungen und schroffe Übergänge vermeiden (Gefahr von Lunkern)
- Mindestwanddicken (s) einhalten (siehe Tabelle)
- Prinzip der überall gleichen Wanddicke einhalten (Gefahr von Spannungen)
- Erstarrung am tiefsten Punkt erzwingen
- Nachfließen von Werkstoff ermögliche



Nachfließen von Werkstoff ermöglichen



3. Festigkeitsgerecht

- Zweckmäßig verrippen, zur Aufnahme der anliegenden Kräfte und der zu erwartenden Spannungen
- Guss möglichst auf Druck belasten

4. Maß -und bearbeitungsgerecht

- Spanende Bearbeitung erleichtern z. B. Gusssaugen vorsehen
- Verzug ausgleichen durch symmetrische Geometrie
- Schwindung bei Modellen berücksichtigen

Nacharbeiten am Gußteil:

- Verputzen
- Richten
- Spannungsfreimachen (Glühen, Rütteln, natürliche Alterung)

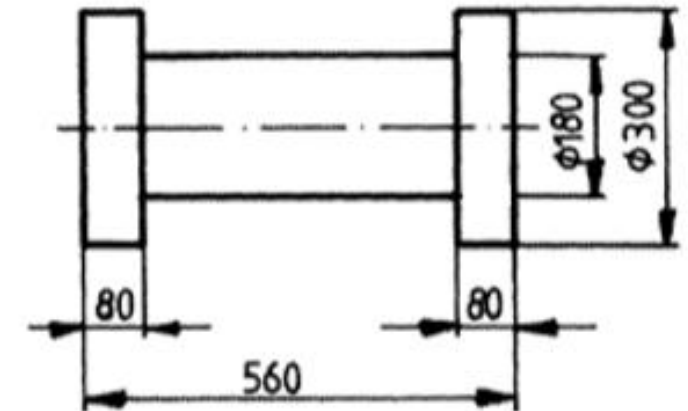
Verständnisfragen zur Vorlesung

- Warum ist Gießen vorteilhaft gegenüber anderen Fertigungsverfahren?
- Was unterscheidet beim Gießen die Rohteil- von der Fertigteilzeichnung?
- Nennen Sie wichtige Gießverfahren mit verlorenen bzw. Dauerformen. Was sind Vor- und Nachteile der Verwendung von Dauerformen?

Beispiel 1

Die abgebildete Walze aus Gusseisen soll durch Gießen hergestellt werden. Welche Gießverfahren sind jeweils anzuwenden, wenn Kundenaufträge von 1, 100 oder 100.000 Walzen bearbeitet werden sollen? Begründen Sie Ihre Entscheidung.

Skizzieren Sie eine entsprechende Gießform für das Gussstück mit allen wesentlichen Merkmalen.



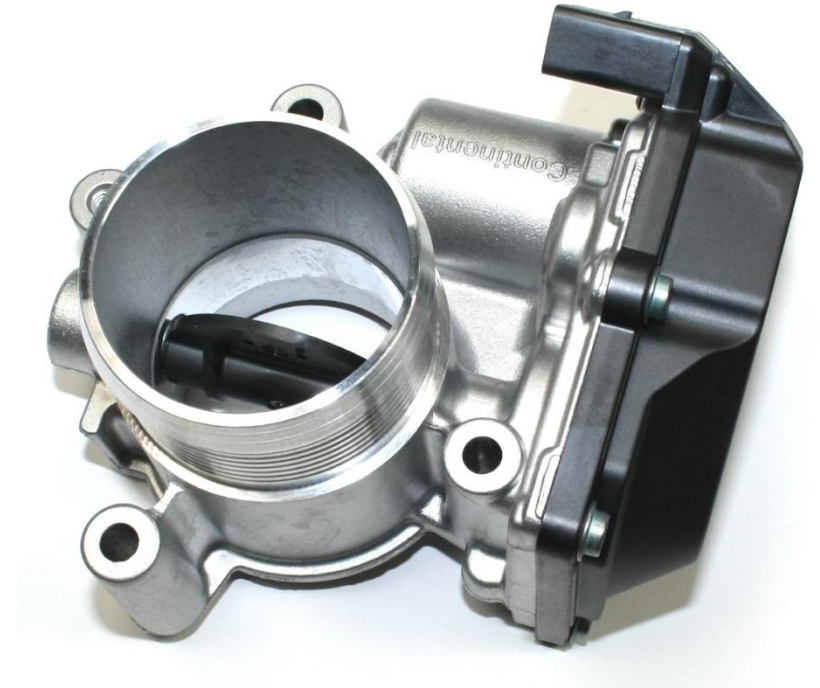
Beispiel 2

Die Figur auf der nebenstehenden Abbildung soll als Gussteil in einer einmaligen Kleinserie von 50 Stück aus Messing hergestellt werden. Wählen Sie ein geeignetes Gießverfahren und begründen Sie Ihre Entscheidung. Beschreiben Sie den Fertigungsablauf.



Beispiel Mechatronik

- Gussteile bei mechatronischen Komponenten
- Vor allem Automobilindustrie, Feinmechanik
- Druckguss für große bis sehr große Stückzahlen
min: 3000 bis max. 500.000 je Form
- Aluminium, Magnesium, Zinn Druckguss



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !

Noch Fragen ?

Hinweis

Diese Folien sind ausschließlich für den internen Gebrauch im Rahmen der Lehrveranstaltung an der Frankfurt University of Applied Sciences bestimmt. Sie sind nur zugänglich mit Hilfe eines Passwortes, dass in der Vorlesung bekannt gegeben wird.