



FACHHOCHSCHULE WEDEL

*University of Applied Sciences*

## **Fertigungstechnik 1+2**

**Zusammenfassung**

---

erstellt im: Dezember 2000

von: Alexander Markowski

Basis: Vorlesung SS 00 und WS 00/01

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Das 5 M-Modell . . . . .	1
1.2 Fertigungssystem . . . . .	1
1.3 Fertigungsverfahren . . . . .	1
<b>2 Urformen / Primary shaping</b>	<b>3</b>
2.1 Gießen / Casting . . . . .	3
2.1.1 Grundlagen / Basics . . . . .	3
2.1.2 Vakuumformverfahren / vacuum casting . . . . .	6
2.1.3 Maskenformverfahren / shell mould casting . . . . .	8
2.1.4 Feingießverfahren / investmend casting . . . . .	8
2.1.5 Keramikformen / ... with ceramic mould . . . . .	9
2.1.6 Wachsausschmelzverfahren / lost wax process . . . . .	9
2.1.7 Vollformgießen / full mould casting . . . . .	10
2.1.8 Kokillenguß / chlld casting . . . . .	11
2.1.9 Druckgießen / die casting . . . . .	12
2.1.10 Schleudergießen / spin casting . . . . .	13
2.1.11 Stranggießen / continuous casting . . . . .	14
2.2 Sintern / sintering . . . . .	15
2.3 Galvanoformen / electroforming . . . . .	15
2.4 Rapid Prototyping / rapid manufacturing . . . . .	15
2.4.1 Stereolithographie / STL . . . . .	16
2.4.2 Selektive Laser Sintering / SLS . . . . .	16
2.4.3 Laminated Object Manufacturing / LOM . . . . .	17
2.4.4 Fused Deposition Modeling / FDM . . . . .	18
2.4.5 Direct Croning Verfahren . . . . .	19
<b>3 Umformen / Forming</b>	<b>20</b>
3.1 Grundlagen / Basics . . . . .	20
3.2 Druckumformen / Forming under pressure . . . . .	20
3.2.1 Stauchen / Upsetting . . . . .	20
3.2.2 Walzen / Rolling . . . . .	21
3.2.3 Schmieden / Forging . . . . .	21
3.2.4 Prägen / Embossing . . . . .	22

3.2.5	Strangpressen / Extrusion . . . . .	22
3.2.6	Gleitziehen . . . . .	22
3.2.7	Fließpressen / Impact extrusion . . . . .	23
3.2.8	Tiefziehen / Deep drawing . . . . .	23
3.2.9	Abstreckziehen . . . . .	23
3.2.10	Drücken / Spinning . . . . .	24
3.3	Biegen / Bending . . . . .	24
3.4	Innenhochdruckumformen / Internal high pressure metal forming . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Trennen</b>	<b>25</b>
4.1	Spanen . . . . .	26
4.1.1	Drehen . . . . .	28
4.1.2	Fräsen . . . . .	28
4.1.3	Sägen . . . . .	28
4.1.4	Bohren . . . . .	28
4.1.5	Räumen / Broading . . . . .	28
4.1.6	Bruchtrennen / . . . . .	28
4.1.7	Schleifen / Grinding . . . . .	28
4.1.8	Honen / Honing . . . . .	28
4.1.9	Gleitschleifen / Tumbling - Barreelfinishing . . . . .	28
4.1.10	Läppen / lapping . . . . .	29
4.2	Zerteilen / Cutting . . . . .	29
4.2.1	Scherschneiden / Shearing . . . . .	29
4.2.2	Feinschneiden / Finish blanking . . . . .	29
4.2.3	Knabberschneiden (Nibbeln) / Nibbling . . . . .	30
4.3	Abtragen . . . . .	30
4.3.1	Funkerosives Abtragen / EDM (Elektrodischarge machining) . . . . .	30
4.3.2	Drahterodieren / Continuous wire EDM . . . . .	31
4.3.3	Chemisches Abtragen . . . . .	31
4.3.4	Hochdruckwasserstrahlschneiden / Waterjet cutting . . . . .	32
<b>5</b>	<b>Fügen / Joining</b>	<b>33</b>
5.1	Preßverbindungen . . . . .	33
5.1.1	Einpressen / Interference . . . . .	33
5.1.2	Schrumpfen . . . . .	34
5.2	Fügen durch Umformen / Integral mechanical joints . . . . .	34
5.2.1	Toxen (Chinchen) . . . . .	34
5.2.2	Überlappung / Crimped edges . . . . .	34
5.3	Schweißen . . . . .	34
5.3.1	Preßschweißen . . . . .	34
5.3.2	Schmelzschweißen (SSW) . . . . .	35
5.4	Löten / Soldering . . . . .	35
5.5	Kleben / Adhesives . . . . .	35

<b>6</b>	<b>Kunststoffe + Gummi</b>	<b>37</b>
6.1	Grundlagen . . . . .	37
6.2	Fertigungsverfahren . . . . .	40
6.2.1	Extrusion . . . . .	40
6.2.2	Coextrusion . . . . .	40
6.2.3	Extrusionsblasformen . . . . .	41
6.2.4	Streckblasformen . . . . .	42
6.2.5	Spritzgießen . . . . .	43
6.2.6	Outsert Technik . . . . .	43
6.2.7	Schäumen / Reaction Injection Moulding . . . . .	44
6.2.8	Fügen von Kunststoffteilen . . . . .	44
<b>7</b>	<b>Alles andere</b>	<b>45</b>
7.1	Fertigungsorganisation . . . . .	45
7.2	Arbeitsplan . . . . .	45
7.3	Vorrichtungen . . . . .	46
7.3.1	Spannen . . . . .	46
7.3.2	Ergänzungsfunktionen . . . . .	47
7.4	Taylorismus . . . . .	47
7.5	Qualität . . . . .	47
7.5.1	Grundlagen . . . . .	47
7.5.2	Prozessfähigkeit . . . . .	48
7.6	Ergonomie . . . . .	50
7.6.1	Arbeitsphysiologie . . . . .	50
7.6.2	Arbeitspsychologie . . . . .	53
7.7	Arbeitssysteme . . . . .	54
7.8	Montage . . . . .	55

# Tabellenverzeichnis

4.1	Spanarten . . . . .	26
6.1	Kunststoffe + deren Verarbeitung zu Produkten . . . . .	37
6.2	Beispiele thermoplastischer Polymerwerkstoffe . . . . .	38
6.3	Beispiele duroplastischer Polymerwerkstoffe . . . . .	39

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Systemtechnisches Fertigungssystem . . . . .	1
1.2	Erreichbare Genauigkeit bei verschiedenen Fertigungsverfahren . . . . .	2
2.1	Einteilung Urformen . . . . .	3
2.2	Einteilung Gießen . . . . .	4
2.3	Formmittel . . . . .	4
2.4	Fertigen eines Gußstücks mit Hilfe eines zweiteiligen Modells . . . . .	5
2.5	Vakuumgußverfahren . . . . .	7
2.6	Herstellen einer Maskenform . . . . .	8
2.7	Feinguß (Wachsausschmelzverfahren) . . . . .	9
2.8	Niederdruck-Kokilengießen . . . . .	11
2.9	Warmkammer-Verfahren . . . . .	12
2.10	Kaltkammer-Verfahren . . . . .	12
2.11	Schleuderguß . . . . .	13
2.12	Strangguß . . . . .	14
2.13	Verfahrensprinzip der Stereolithographie . . . . .	16
2.14	Prinzip des LOM-Verfahren . . . . .	17
2.15	Prinzip des FDM-Verfahren . . . . .	18
2.16	Arbeitsablauf einer Direct-Croning-Maschine . . . . .	19
3.1	Längswalzen . . . . .	21
3.2	Schmiedearten . . . . .	21
3.3	Die wichtigsten Fließpressverfahren . . . . .	23
3.4	Gewindedrücken . . . . .	24
3.5	Biegeverfahren mit gradliniger Arbeitsbewegung . . . . .	24
4.1	Übersicht Trennen . . . . .	25
4.2	Erklärung spanende Bearbeitung . . . . .	27
4.3	Übersicht unbestimmte Schneiden . . . . .	29
4.4	Auswirkungen des Schneidspaltes . . . . .	29
4.5	Übersicht Abtragen . . . . .	30
4.6	abrasives Wasserstrahlschneiden . . . . .	32
5.1	Unterteilung Fügen . . . . .	33
5.2	Übersicht Kleber . . . . .	36
6.1	Rohrextrusion (Prinzip) . . . . .	40
6.2	Prinzip Coextrusion . . . . .	40
6.3	Verfahrensablauf beim Extrusionsblasformen . . . . .	41

6.4	Verarbeitungsstationen beim Streckblasen . . . . .	42
6.5	Aufbau einer Spritzgießmaschine . . . . .	43
7.1	Übersicht Fertigungsarten . . . . .	45
7.2	Übersicht Vorrichtungen . . . . .	46
7.3	Ermittlung von Prozessfähigkeitskennwerten . . . . .	48
7.4	Bewertung von Kennwerten . . . . .	49
7.5	Fähigkeitskennwerte . . . . .	50
7.6	Leistungsdisposition . . . . .	50
7.7	Leistung über das Jahr . . . . .	51
7.8	Arbeit, Leistung und Pause . . . . .	52
7.9	Systematik der Typen und Arten von Arbeit . . . . .	53
7.10	Struktur der Arbeitsleistung . . . . .	53
7.11	Greifhilfen . . . . .	54
7.12	Übersicht Vorrichtungen . . . . .	55
7.13	Montagesystem . . . . .	56
7.14	Verteilung der Tätigkeiten im Montagebereich . . . . .	56
7.15	Aufwand für Montage nach Industriezweig . . . . .	56

# 1 Einleitung

## 1.1 Das 5 M-Modell

- Material
- Maschinen
- Mitarbeiter/Menschen
- Moneten
- Methoden (Hier kommt die Fertigungstechnik ins Spiel)

## 1.2 Fertigungssystem

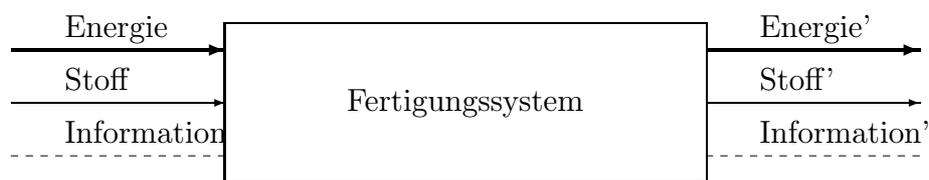


Abbildung 1.1: Systemtechnisches Fertigungssystem

## 1.3 Fertigungsverfahren

1. **Urformen**  
Ein formloser Stoff wird zu einem festen Stoff (z.B. Giessen).
2. **Umformen**  
Plastische Formänderung eines festen Körpers (z.B. Biegen).
3. **Trennen**  
Formänderung eines festen Körpers (z.B. Drehen).
4. **Fügen**  
Zusammenbringen von zwei oder mehreren Stücken (z.B. Schrauben, Schweißen).

5. **Beschichten**

Aufbringen einer Schicht aus formlosem Stoff (z.B. Lackieren).

6. **Stoffeigenschaftsändern**

Fertigen eines festen Körpers (z.B. Härten).

Fertigungsverfahren sind alle Verfahren zur Herstellung von geometrisch bestimmten festen Körpern. Es handelt sich dabei um Verfahren zur Gewinnung erster Formen aus formlosem Ausgangswerkstoff (z.B. Flüssigkeit, Pulver oder Granulat) zur Veränderung dieser Form sowie zur Änderung der Stoffeigenschaft. Fertigungsverfahren können von Hand oder mittels Maschinen ausgeübt werden (DIN 8580).

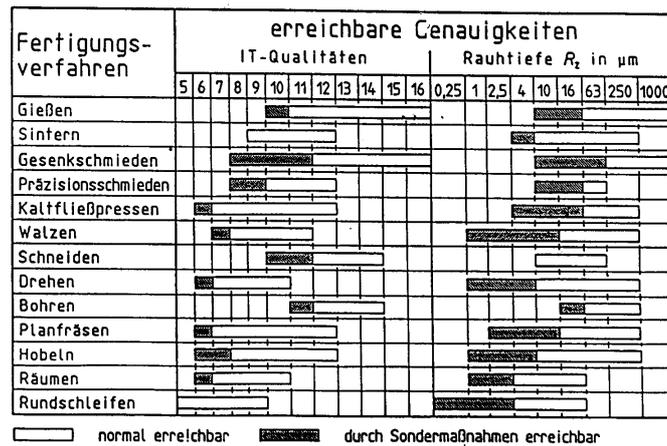


Abbildung 1.2: Erreichbare Genauigkeit bei verschiedenen Fertigungsverfahren

## 2 Urformen / Primary shaping

**Definition 2.0.1 (Urformen)** *Urformen ist das Fertigen eines festen Körpers aus formlosem Stoff durch Schaffen des Zusammenhalten (DIN 8580).*

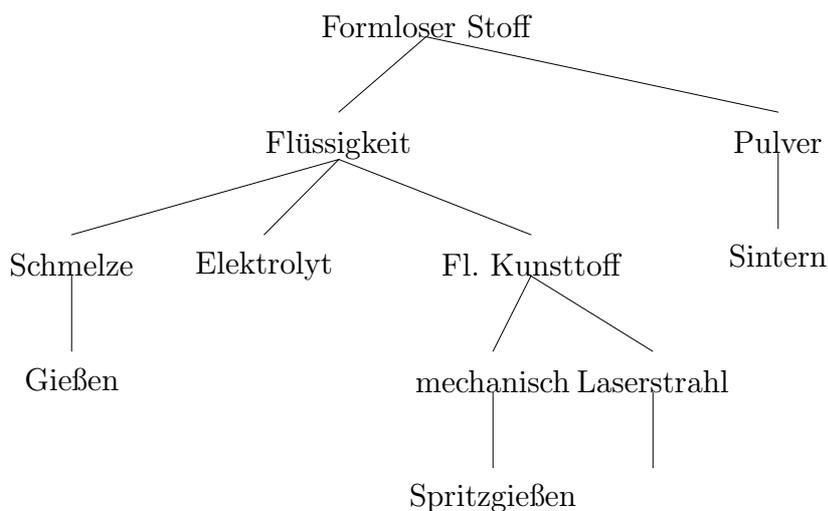


Abbildung 2.1: Einteilung Urformen

### 2.1 Gießen / Casting

**Definition 2.1.1 (Gießen)** *Beim Gießen wird flüssiger, teigiger oder pastenförmiger Werkstoff in eine Form eingeführt und darin zum Erstarren gebracht.*

#### 2.1.1 Grundlagen / Basics

Gießverfahren dienen der spanlosen Formgebung u.a. von Metallen. Als Gußmetalle finden bei den Eisen-Kohlenstoff-Legierungen Stahlguß ( $C < 2\%$ ) und Grauguß ( $C > 2\%$ ) Verwendung. Bei den Nichteisenmetallen werden sämtliche Metalle/Legierungen vergossen. Dabei ist zu unterscheiden, ob Formteile oder Halbzeuge hergestellt werden. Formteile erhalten bereits beim Urformen weitgehend ihre endgültige Form. Halbzeuge durchlaufen dagegen weitere Bearbeitungsschritte. So wird flüssiges Metall zu Blöcken, Bolzen oder Masseln vergossen, die dann anschließend durch Walzen, Strangpressen oder Druckgießen weiterverarbeitet werden.

Dauermodell: Handformguß, Maschinenformguß, Maskenformguß, Keramikformguß

Verlorenes Modell: Feinguß, Vollformguß

Dauerform: Kokillenguß, Druckguß, Schleuderguß, Strangguß

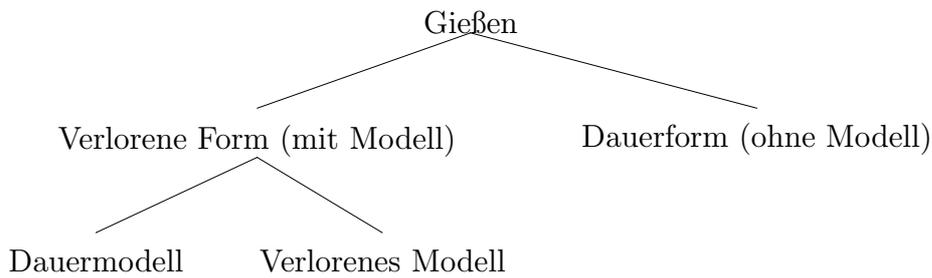


Abbildung 2.2: Einteilung Gießen

- Kräfte in der Form:

$$\text{durch den Kern: } F_A = V_{\text{kern}} \cdot \rho \cdot g \quad (2.1)$$

$$\text{durch Schmelze: } F_B = A \cdot h \cdot \rho \cdot g \quad (2.2)$$

- Schwindung:

– GG  $\approx$  1%

– GGG  $\approx$  1,2%

– GS  $\approx$  2%

- Bildung von Lunkern

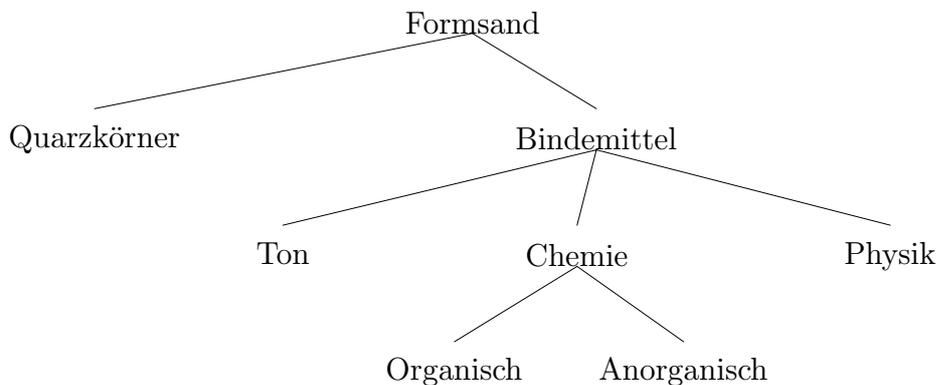


Abbildung 2.3: Formmittel

Quarzkörner:  $SiO_2$ , 0,05 ... 0,5 mm

Organisch: Reaktionsharze

Anorganisch: Zement, Gips, ...

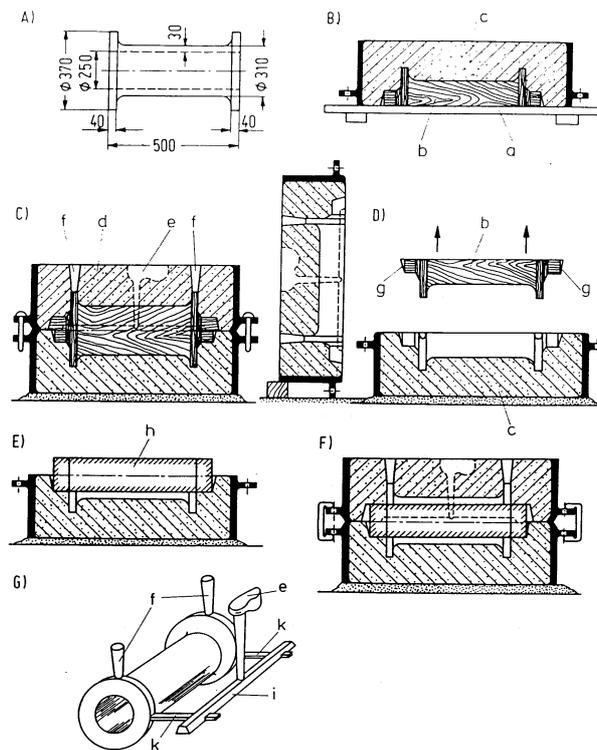


Abbildung 2.4: Fertigen eines Gußstücks mit Hilfe eines zweiteiligen Modells

Arbeitsablauf:

- A. Fertigungszeichnung
- B. Unterkasten aufstampfen
- C. Oberkasten aufstampfen
- D. Modell ausheben
- E. Kern einlegen
- F. Zulegen und Abgießen der verlorenen Form
- G. Rohgußstück mit Gießsystem und Luftpfefen

Teilebezeichnung:

- a. Modellplatte
- b. Unterkastenmodellteil
- c. aufgestampfter Unterkasten
- d. aufgestampfter Oberkasten
- e. Inguß (Einlauf) mit Gießtümpel

- f. Luftpfeifen (Steiger)
- g. Kernmarken
- h. Kern
- i. Querlauf
- j. Anschnitt (Zulauf)

Sowohl beim Sand- als auch beim Feinguß handelt es sich um Verfahren mit verlorenen Formen. Die Formen werden beim Ausformen des Gußstückes zerstört und sind damit für eine weitere Verwendung „verloren“. Das Sandgießverfahren ist das älteste und am häufigsten angewandte Gießverfahren. Beim Sandguß werden die Gußstücke in Sandformen hergestellt. Um die Festigkeit des Sandes zu erhöhen, verwendet man Ton, Zement oder Kunstharzbinder als Bindemittel. Die Verdichtung des Sandes erfolgt durch Stampfen von Hand, pneumatisch (kleine Stückzahlen, große Werkstückabmessungen) oder maschinell durch Rütteln oder Pressen. Nach dem Abguß wird der Formsand für weitere Verwendungen aufbereitet (Kreislauf). Zur Herstellung der Sandform wird ein Modell des Werkstückes benötigt. Modellwerkstoffe sind Holz, Metall, Kunststoff (Dauermodelle) aber auch Schaumstoffe (verlorene Modelle). Das Modell wird in Formkästen mit Formsand eingetonnt. Es entsteht eine (Negativ-)Form. Beim Hohlformgießen wird das Modell nach dem Abformen wieder aus der Sandform entnommen. Voraussetzungen sind Formschrägen und eine Teilung von Modell und Form (Bild F-1). Hohlräume in Gußstücken (Hohlformgießen) entstehen durch das Einlegen von Kernen.

## 2.1.2 Vakuumformverfahren / vacuum casting

Arbeitsablauf:

- a. Modelleinrichtung
- b. Vorwärmen der Folie
- c. Anlegen der Folie an das Modell durch Unterdruck
- d. Aufsetzen des Formkastens
- e. Füllen mit Quarzsand
- f. Abdecken mit Folie und Formen des Gießtrichters
- g. Abheben des Formkastens
- h. Zulegen der Form und Abgießen
- i. Ausleeren der Form

Teilebezeichnung:

1. Bohrung für Unterdruckwirkung zum Anlegen der Folie

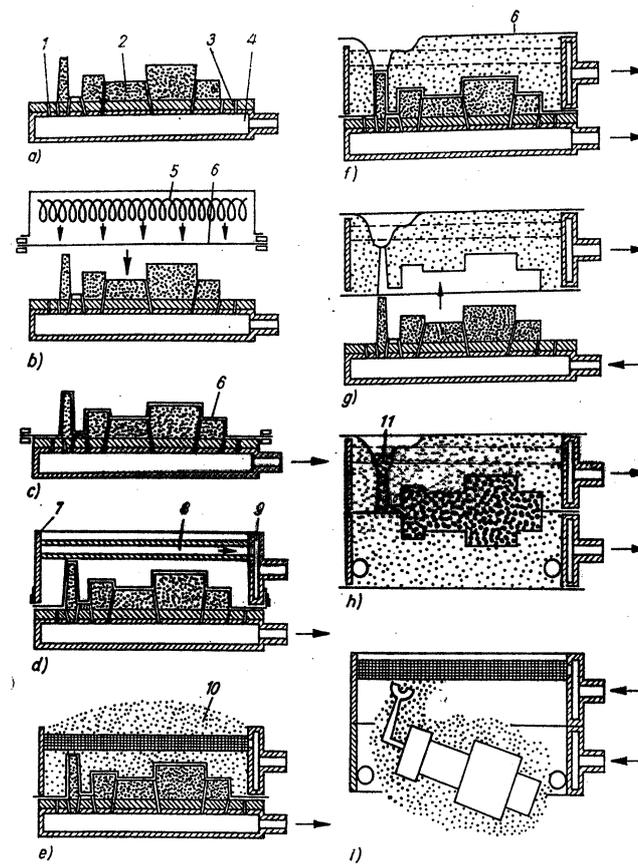


Abbildung 2.5: Vakuumgußverfahren

2. Modell
3. Modellplatte
4. Vakuunkammer
5. Heizspirale
6. Folie
7. Formkasten
8. Saugrohr
9. Luftkanal
10. trockener, binderfreier Sand
11. Gießmetall

### 2.1.3 Maskenformverfahren / shell mould casting

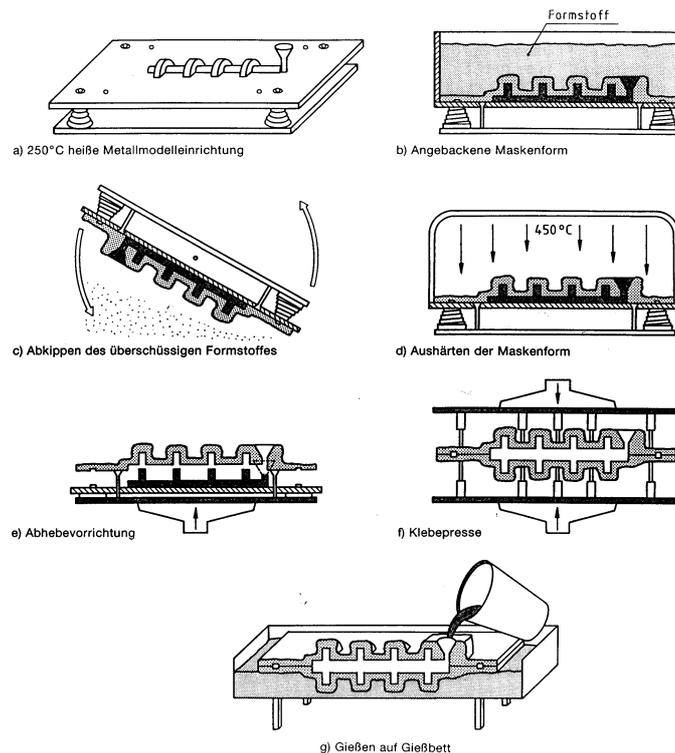


Abbildung 2.6: Herstellen einer Maskenform

- für alle Metalle
- Normalfall bis 50 Kg, Sonderfall bis 150 Kg
- mittlere und große Serien
- Toleranz 1...2 %
- Komplizierte Formen möglich
- hohe Genauigkeit

### 2.1.4 Feingießverfahren / investment casting

Beinhaltet Keramikformen und Wachsausschmelzverfahren.

Mit dem Feingießverfahren (auch Wachsausschmelzverfahren) werden Gußstücke mit hohen Anforderungen an Maßhaltigkeit und Oberflächengüte hergestellt. Das Feingießverfahren kommt im Regelfall nur bei höheren Stückzahlen zum Einsatz. Der Feinguß ist besonders geeignet für Werkstoffe, die schwer spanend zu bearbeiten sind. Dazu stellt man einteilige keramische Schalenformen her. Es entfallen die Modell-/Formteilung und die damit zusammenhängenden Ungenauigkeiten und Grate. Modelle und Formen sind

nach dem Gießen „verloren“. Für jedes Gußstück ist ein Wachsmo-  
dell erforderlich. Dieses wird in Weichmetallformen hergestellt, (z.B. aus Aluminium). Die Modelle klebt man  
einzeln oder zu mehreren mit einem ebenfalls aus Wachs gefertigten Gießsystem zusam-  
men. Diese Modellbäume werden dann anschließend durch Tauchen dick mit feinkörni-  
gem Keramikschlicker überzogen. Nach dem Trocknen und Abbinden dieser Schale kann  
das Wachs durch mäßiges Erwärmen ausgeschmolzen werden. Es bleibt eine genaue Ne-  
gativform übrig, die anschließend gebrannt wird. Der Abguß erfolgt durch Gießen des  
flüssigen Metalles in die heiße Form.

### 2.1.5 Keramikformen / ... with ceramic mould

Beim Keramikformen wird eine breiige Keramikmasse als Formstoff genommen. Diese  
muß natürlich aushärten. Nicht so präzise wie Wachs ausschmelzen, aber günstiger.

- für alle Metalle
- ... 1000 Kg
- Einzelteile, kleine bis mittlere Serien
- Toleranz 0,3... 0,8 %

### 2.1.6 Wachs ausschmelzverfahren / lost wax process

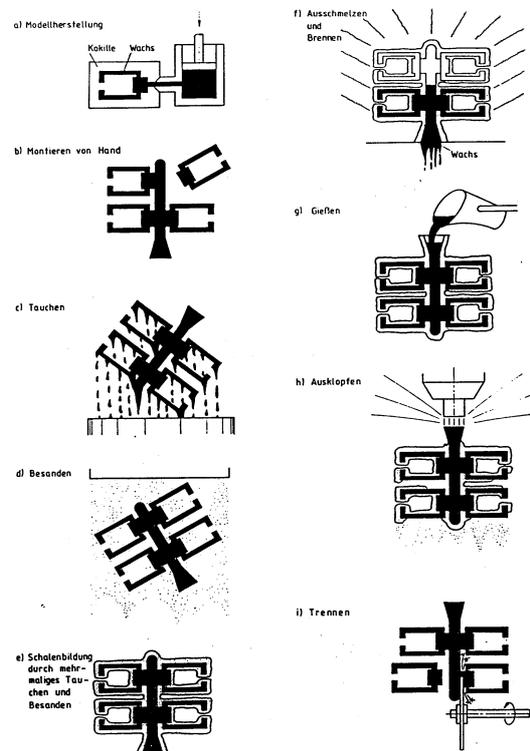


Abbildung 2.7: Feinguß (Wachs ausschmelzverfahren)

Der Feinguss nach dem Wachsausschmelzverfahren mit verlorenen Modellen lässt dem Konstrukteur besonders großen Spielraum und führt zu sehr massgenauen Gussteilen mit hoher Oberflächengüte. Die Gussteile sind teilweise einbaufertig. Dieses macht viele Bearbeitungsgänge überflüssig. Mehrere Konstruktionsteile können in einem Gussteil integral gegossen werden, aufwendige Fügeverfahren werden vermieden. Konstruktionsteile lassen sich formschöner gestalten und können trotzdem funktionsgerecht bleiben. Von Vorteil ist der Feinguss besonders überall dort, wo komplizierte Innenkonturen, Hinterschnitte oder gekrümmte Flächen, die mit anderen Fertigungsverfahren nur aufwendig realisierbar sind, gefordert werden. Die Eigenschaften von Feingussteilen sind weitgehend richtungsunabhängig. Die Vorteile des Feingusses werden mit den Vorzügen der Leichtmetall-Legierung von Titan und Aluminium kombiniert. So können steigende Ansprüche und Forderungen der modernen Technik optimaler Werkstoffeinsatz, komplizierte Werkstückformen, hohe Genauigkeit und vorzügliche Oberflächengüte in der Serienfertigung erfüllt und die Kosten gesenkt werden.

- für alle Metalle
- Guß mit 3 Bar oder Schleudern
- 1 g bis 10 Kg, Sonderfälle bis 50 Kg
- kleine bis große Serien
- Toleranz 0,3...0,7 %

**Beispiel 2.1.1 (Wachsausschmelzverfahren) *Turbine***

### **2.1.7 Vollformgießen / full mould casting**

Die Herstellung großer Werkstücke und Einzelanfertigungen erfolgt auch im sog. Vollform-Gießverfahren. Das aus Schaumstoff gefertigte Modell (verlorenes Modell) wird nicht aus der Form entnommen. Es verbleibt in der Form und vergast während des Gießvorgangs. Vor dem Abguß muß die Form mit einem Eingußsystem und einem oder mehreren Speisern versehen werden. Die Speiser haben die Aufgabe, beim Erstarren entstehende Hohlräume (Lunker) mit flüssigem Werkstoff zu versorgen.

- für alle Metalle
- Keine Gewichtsbeschränkung
- Einzelteile, kleine Serien, evtl. Serienfertigung
- Toleranz 1...2 %
- keine Grate, Formschrägen, etc

pagebreak

## 2.1.8 Kokillenguß / chlld casting

Beim Gießen in Dauerformen werden keine Modelle benötigt. Die mit Wasser gekühlte Form oder Kokille besteht aus Stahl, Gußeisen, Kupfer oder Keramik. Um ein Anschweißen des flüssigen Werkstoffes an der Kokille zu verhindern, ist diese mit einem hitzebeständigem Überzug aus feinkörnigem anorganischem Material (Schlichte) versehen. Es werden sowohl Halbzeuge als auch Formteile gegossen.

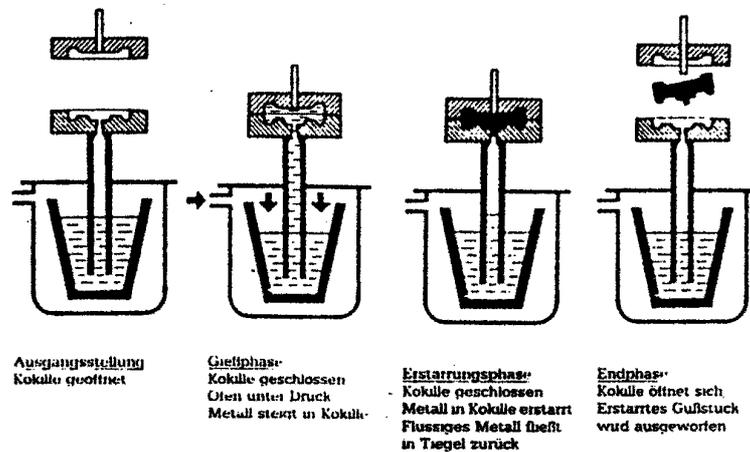


Abbildung 2.8: Niederdruck-Kokillengießen

- Leichtmetalle
- ... 100 Kg
- Serienfertigung (bei Al 100.000 Abgüsse)
- Toleranz 0,3...0,6 %

### 2.1.9 Druckgießen / die casting

Beim Druckgießen wird die Metallschmelze unter hohem Druck (bis 2000 Bar) in eine geteilte Dauerform aus Stahl gepreßt. In der Praxis kommen das Warmkammerverfahren und das Kaltkammerverfahren zur Anwendung. Das Warmkammerverfahren eignet sich für niedrigschmelzende Metalle wie Blei, Magnesium, Zink und Zinn und deren Legierungen. Beim Warmkammerverfahren befindet sich die Druckkammer, die den flüssigen Werkstoff in die Form preßt, innerhalb der Schmelze. Beim Kaltkammerverfahren werden Legierungen auf Aluminium- und Kupferbasis verarbeitet. Druckkammer und Warmhalteofen für die Schmelze sind getrennt.

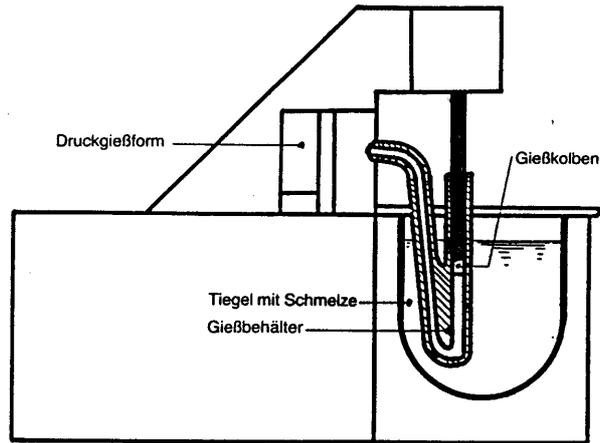


Abbildung 2.9: Warmkammer-Verfahren

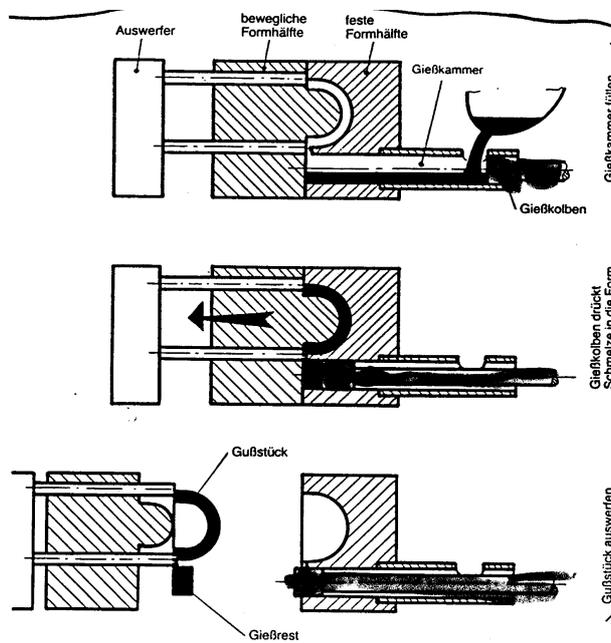


Abbildung 2.10: Kaltkammer-Verfahren

- nur für Druckgusslegierungen
- 5g ... 45 Kg, je nach Material
- Serienfertigung (bei Zn bis zu 500.000 Abgüsse)
- Toleranz 0,1...0,4 %

### 2.1.10 Schleudergießen / spin casting

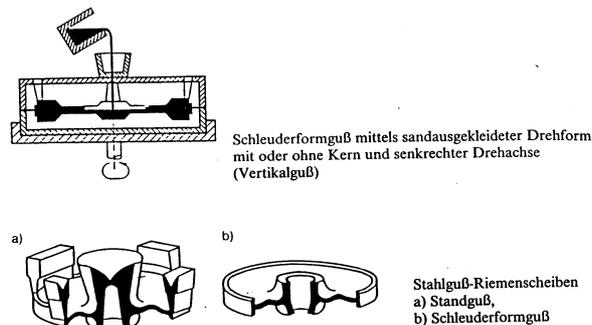


Abbildung 2.11: Schleuderguß

$$F = m \cdot v \cdot \omega^2 = m \cdot \frac{v^2}{r}, \text{ bis } 7 \text{ m/s} \quad (2.3)$$

In eine sich drehende Dauerform wird das Schmelzgut eingefüllt und infolge der Zentrifugalkraft in die Form bzw. an deren Innenwandung gedrückt. Besonders achssymmetrische Teile lassen sich vorteilhafter und wirtschaftlicher durch das Schleudergießverfahren in horizontaler (lange Stücke) oder vertikaler (kurze Stücke bei großem Durchmesser) Lage herstellen. Verwendet werden gekühlte und ungekühlte Formen, die zum Teil mit Sand oder Schamotte ausgefüttert sind. Es können fast alle Metalle und ihre Legierungen vergossen werden. Bei Rohren wird die Wandstärke lediglich durch die Menge der Materialzuteilung bestimmt. Auch die axiale Verschiebung der Gießrinne beeinflusst bei verschiedenen Schmelzen die Wandstärke. Bei der Herstellung von Muffenrohren ist für die Muffe selbst jeweils ein neuer Sandkern erforderlich, während sonst ohne Kern gearbeitet werden kann. - Wird in ein fertiges Stahlrohr ein verschleißfestes Gussrohr eingeschleudert, so wird dies als Verbundguss bezeichnet. Ebenso ist es möglich, z. B. Lagerstellen im Verbundguss herzustellen, wobei auch legierte Materialien Verwendung finden können. Die Schleudervirkung ergibt ein verdichtetes Gefüge mit erhöhter Festigkeit; Gasblasen und Lunker treten nicht auf. Herstellbar sind Gussstücklängen bis 8 m, Durchmesser von 40 mm bis 2,5 m, Wandstärken bis über 50 mm. Die Drehzahlen sind vom Durchmesser abhängig und liegen zwischen 50 bis 1200 1/min; die Stückleistung reicht je nach Gussteilgröße bis 100 Abgüsse/Stunde.

- Gußeisen mit Lamellen+Kugelgraphit, Stahlguß, Leichtmetalle, Kupferlegierungen

- ... 5000 Kg
- Serienfertigung (5.000 bis 100.000 Abgüsse)
- Toleranz 1 %

### 2.1.11 Stranggießen / continuous casting

Durch Stranggießen werden Halbzeuge in Form von Barren und Bolzen, aber auch Profilen hergestellt. Zum Einsatz kommen dabei Dauerformen. Es handelt sich um einen kontinuierlichen Prozeß (Abbildung 2.1.11). Die Metallschmelze erstarrt in einem wassergekühlten, in Gießrichtung offenen, formgebenden Werkzeug (Kokille), beispielsweise aus Kupfer (mit oder ohne Graphitauskleidung) oder Graphit. Charakteristisch für den Strangguß ist eine Relativbewegung zwischen Metallstrang und Kokille. Zu Beginn des Gießvorgangs wird die Kokille durch einen Anfahrkopf oder einen Stopfen verschlossen. Nachdem das eingegossene Metall im Bereich der Wandung und des Anfahrkopfes erstarrt ist, wird der Anfahrkopf und mit ihm der erstarrte Metallstrang langsam abgesenkt.

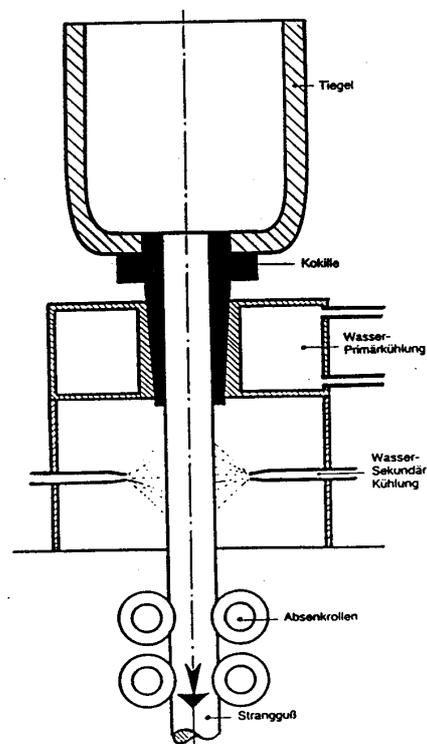


Abbildung 2.12: Strangguß

- Gußeisen mit Lamellen+Kugelgraphit, Stahlguß, Kupfer + Aluminium
- mehrere Tonnen
- Länge ist Maschinenabhängig
- Toleranz 0,8 %

## 2.2 Sintern / sintering

Beim Metallpulverpressen werden Metallpulver oder metallähnliche Pulver in eine Form gefüllt und gepreßt. Mit diesem Verfahren kann man:

- neue, hochwertige Werkstoffe herstellen, die sich aus dem schmelzflüssigen Zustand nicht herstellen lassen
- Teile mit hoher Maßhaltigkeit erzeugen, wie dies mit Gießen oder Gesenkformen nicht möglich wäre
- Werkstücke mit einstellbarer Dichte/Porosität herstellen

Prozeßbedingt ist das Verfahren wirtschaftlich einsetzbar nur bei kleinen Bauteilabmessungen (z.B. bei Zahnrädern) und größeren Stückzahlen. Bei der Herstellung der Metallpulver hat das Verdüungsverfahren die größte technische Bedeutung. Hierbei wird Werkstoffschmelze in einem Düsenkopf durch Luft, Wasser oder Stickstoff zu Pulver verdüst. Der Preß-/Sinterprozeß läuft in mehreren Schritten ab. Zunächst werden die benötigten Metallpulver in der notwendigen Zusammensetzung gemischt, dann in einem Werkzeug in Form gepreßt. Der anschließende Sinterprozeß findet in einem Ofen statt (i.allg. bei einer Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur der Bestandteile des Metallpulvergemisches). Bei diesem Wärmebehandlungsprozeß entsteht ein zusammenhängendes Kristallgefüge (Diffusionsvorgänge, Legierungsbildung).

## 2.3 Galvanoformen / electroforming

**Definition 2.3.1 (Galvanoformen)** *Urformen aus dem Ionisierten Zustand, Das (leitfähige) Modell wird als Kathode (+) geschaltet, mit einer Trennschicht (z.B. Lack) überzogen und in ein Elektrolyt (wäßrige Lösung) getaucht. Durch das Eintauchen der Anode (-) wird eine Schicht auf das Modell aufgetragen, normalerweise mit  $25 \dots 50 \frac{\mu m}{h}$ . Maximal sind bis zu 1 mm/h möglich*

**Beispiel 2.3.1 (Galvanoformen)** *Siebe, Scherblätter*

## 2.4 Rapid Prototyping / rapid manufacturing

Selten, 1995 nur 12 Hersteller weltweit.

Im Gegensatz zur herkömmlichen Fertigung, bei welcher mit spanabhebender Technologie (fräsen, drehen oder erodieren) von einem formlosen Rohteil im Bildhauerprinzip Werkstoff abgetragen wird, handelt es sich beim RP um ein generatives Fertigungsverfahren, bei welchem der Werkstoff aufgebaut wird. Rapid Prototyping ist - wie man später feststellte - eine ungenaue Bezeichnung. „Rapid“, englisch für schnell, ist ein relativer Begriff, der immer im Verhältnis zu einem anderen Verfahren steht. Und „Prototyping“? Prototypen müssen nicht zwingend geometrisch exakt sein, auch Design- oder Prinzipmodelle sind Prototypen. Die Deutsche NC(Numerical Controlled)-Gesellschaft fand eine viel präzisere Bezeichnung: „Solid Freeform Manufacturing“, welche sich indes gegenüber dem ungenauen, aber inzwischen weltweit verwendeten Rapid Prototyping leider nicht durchsetzen konnte.

## 2.4.1 Stereolithographie / STL

Dies ist weltweit das mit Abstand verbreitetste Verfahren. Das Prinzip beruht auf der Photopolymerisation. Es gibt auf dem Markt mehrere Systeme, denen dieses Prinzip zugrunde liegt. Ich möchte das Verfahren am Beispiel des Marktführers 3D-Systems erklären: Wir haben ein Becken, in dem das UV-empfindliche Epoxidharz, allgemein Monomer genannt, liegt. In diesem Becken bewegt sich eine Bauplattform, welche zu Beginn des Bauprozesses ganz oben steht. Über Umlenkspiegel geführt, zeichnet der Laser seine Kontur in das Harz. Dabei vernetzt sich der Monomer zu einem Polymer und härtet aus. Der Laser unterbricht seine Arbeit, und die Plattform senkt sich. Danach fährt ein Abstreifer über das Becken, um die definierte Schichtdicke zu erzeugen. Jetzt beginnt der Prozess von neuem. Die Schichtdicken liegen bei 2-3 zehntel mm.

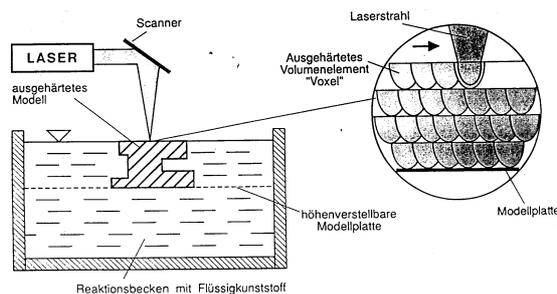


Abbildung 2.13: Verfahrensprinzip der Stereolithographie

## 2.4.2 Selektive Laser Sintering / SLS

Bei diesem Verfahren werden pulverartige Körnchen mit einem Laserstrahl angeschmolzen und dadurch verbunden. Durch Senken des Bauteils und Aufbringen neuen Materials (Prinzip wie bei der Stereolithographie) wird neues Material mit dem darunterliegenden verbunden usw. Dieser Prozess lässt sich mit sehr vielen Thermoplasten, aber auch mit niedrigschmelzenden Metallen durchführen. Dieser Technik wird ein sehr grosses Zukunftspotential zugesprochen, da in den nächsten Jahren intensiv neue Materialien entwickelt werden.

- keine Stützen wie bei STL
- fester und zäher, aber rauhere Oberfläche als bei STL
- BSP: Schnappverschluß

### 2.4.3 Laminated Object Manufacturing / LOM

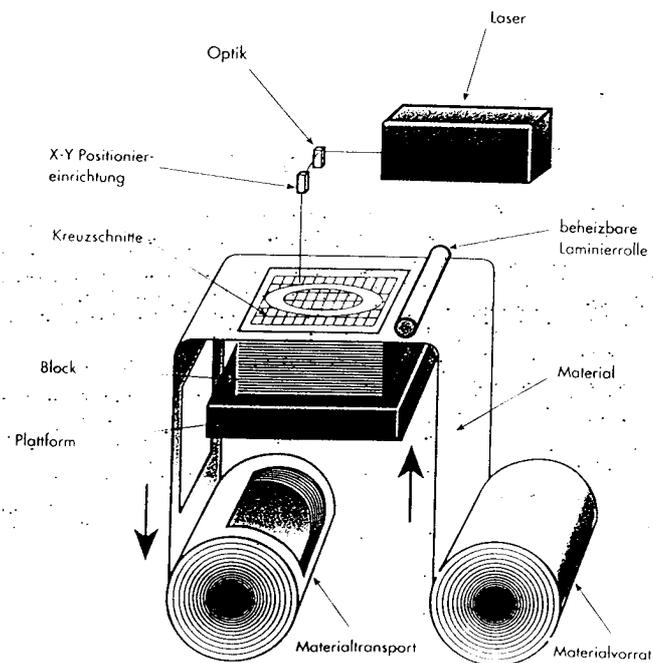


Abbildung 2.14: Prinzip des LOM-Verfahren

Dieses Verfahren kommt dem theoretischen Modell am nächsten: Ein Folienmaterial wird mit Hilfe eines Laserstrahls ausgeschnitten und aufeinandergeklebt. Bei diesem Verfahren wird sehr schnell gebaut, und dadurch wird auch das Generieren sehr grosser Teile wirtschaftlich, was aber Nachteile bezüglich der Genauigkeit mit sich bringt. Für kleine, komplexe Teile eignet sich dieses Verfahren weniger.

### 2.4.4 Fused Deposition Modeling / FDM

Bei diesem Prinzip werden auf Drahtrollen gelieferte Thermoplaste und Wachse in einer beheizten Düse angeschmolzen und extrudiert. Der Vorteil bei diesem Verfahren liegt in der Vielzahl der verwendbaren Kunststoffe und dem günstigen Stundenansatz bei guter Genauigkeit.

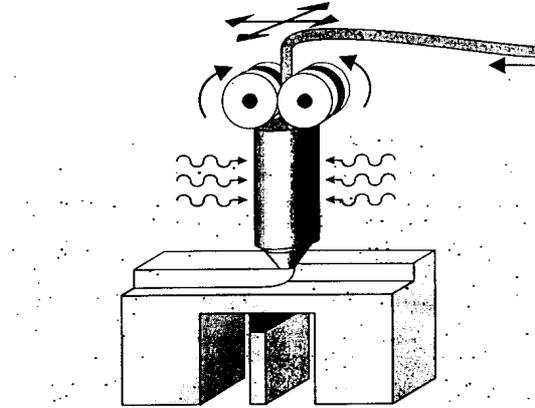


Abbildung 2.15: Prinzip des FDM-Verfahren

- Schichtdicken 0,1-0,25 mm

## 2.4.5 Direct Croning Verfahren

Direct Croning ist ein generatives Verfahren, bei dem gießereüblicher Croning-Sand schichtweise miteinander „versintert“ wird. Der Bauprozess verläuft in den Schritten Beschichten, Belichten, Absenken die bis zur Fertigstellung des Formteils wiederholt werden. Der schichtweise Aufbau wird dabei komplett aus den 3D-CAD Daten des Bauteils gesteuert.

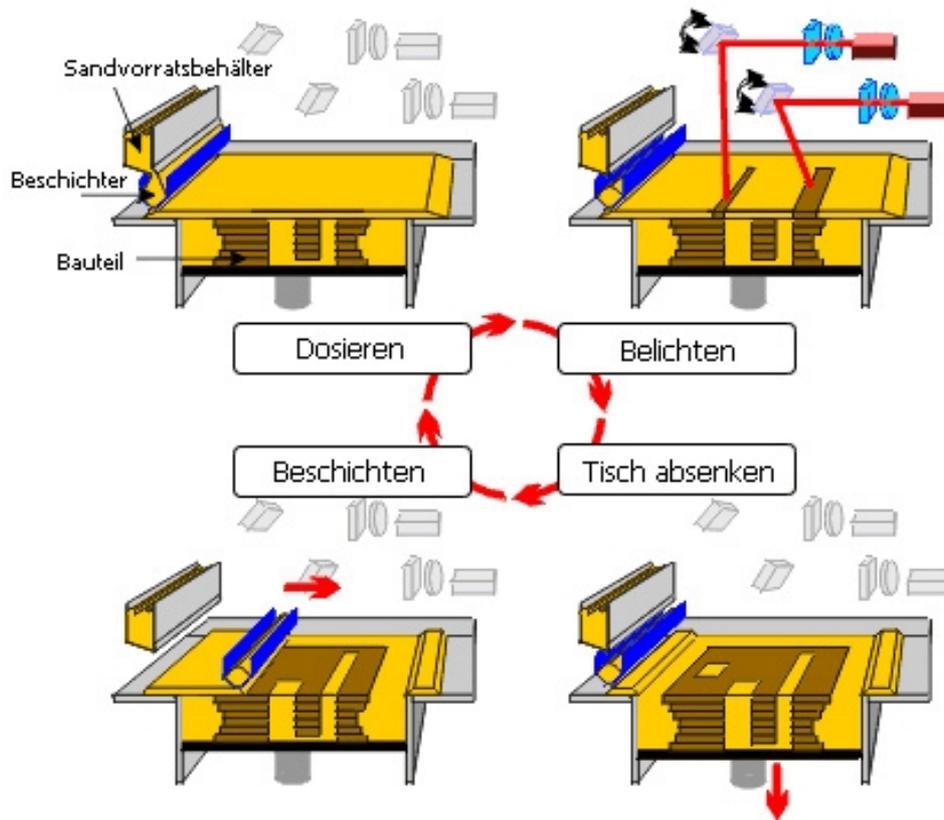


Abbildung 2.16: Arbeitsablauf einer Direct-Croning-Maschine

## 3 Umformen / Forming

Die Umformtechnik hat die Aufgabe, in einer Folge von Prozessschritten aus dem von der Gießerei gelieferten Vormaterial geformte Erzeugnisse herzustellen. Es ist zwischen Warmumformung und Kaltumformung zu unterscheiden. Warmumformung ermöglicht einen größeren Umformungsgrad je Arbeitsschritt und benötigt dabei geringere Umformkräfte bzw. -energie; Bei der sich häufig anschließenden Kaltumformung werden dagegen eine größere Maßgenauigkeit, eine gegebenenfalls gewollte Kaltverfestigung und bessere Oberflächenqualität (Vermeidung der Hochtemperaturkorrosion) erreicht. Umgeformt werden sowohl massive Bauteile als auch Bleche. DIN 8582 unterteilt die Hauptgruppe Umformen nach den in der Umformzone auftretenden Kräften.

### 3.1 Grundlagen / Basics

- plastisches Verformen eines Körpers ohne Masseverlust, keine Volumenänderung
- Kaltumformung: Hohe Kräfte, Kaltverfestigung
- Warmumformung: Mehr Energie
- kurze Bearbeitungszeit, gut für Massenfertigung
- Kosten pro Werkstück gering
- Rohstoffsparend

Irgendwelche Theorie! Ausgelassen!

### 3.2 Druckumformen / Forming under pressure

Druckumformen ist Umformen eines festen Körpers, wobei der plastische Zustand im wesentlichen durch eine ein- oder mehrachsige Druckbeanspruchung herbeigeführt wird (DIN 8583).

#### 3.2.1 Stauchen / Upsetting

Stauschen ist eine Warm- oder Kaltverformung relativ schlanker Teile durch axialen Druck. Warmstauschen wird hauptsächlich zur Herstellung von Bundbolzen, Ventilen und ähnlichen Teilen angewendet, wogegen z. B. Schraubenköpfe wegen der Kaltverfestigung

meist im Kaltstauchverfahren gefertigt werden. Das Ausgangsmaterial wird in Klemmbacken gehalten und mittels Stauchstempel verformt. Dies geschieht auf Waagrechtstauchmaschinen (Kniehebelpressen) oder Senkrechtstauchmaschinen (Unterkolbenpressen). Größere Stauchungen lassen sich besser im Elektrostauchverfahren bewerkstelligen, da das Material nur im Verformungsbereich erwärmt wird (Widerstandserwärmung), während der übrige Schaft kalt bleibt.

### 3.2.2 Walzen / Rolling

Walzen dient der Herstellung von Halbzeugen wie Blechen, Bändern, Rohren und Profilen. Eingesetzt werden dabei im Strangguß hergestellte Gußbarren und -bolzen. Beim Walzen werden gießtechnisch bedingte Poren im Werkstoff beseitigt, das Werkstoffgefüge homogenisiert und damit die Eigenschaften des Werkstoffes insgesamt verbessert. Walzverfahren werden nach der Werkstückbewegung in die drei Klassen eingeteilt:

- Längswalzen (Walzgut bewegt sich ausschließlich in Längsrichtung)

$$\mu \geq \sqrt{\frac{\Delta h}{r}}, \text{ mit } \Delta h = h_0 - h_1$$

- Querwalzen (Walzgut dreht sich ohne Längsbewegung um die eigene Achse)
- Schrägwalzen (Walzgut führt neben der Längsbewegung auch eine Drehbewegung um die eigene Längsachse aus)

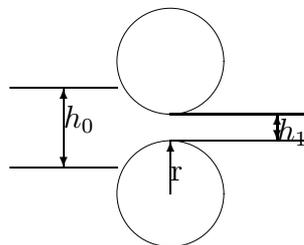


Abbildung 3.1: Längswalzen

### 3.2.3 Schmieden / Forging

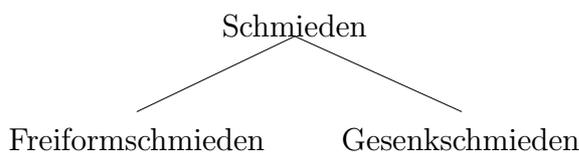


Abbildung 3.2: Schmiedarten

**Freiformschmieden:** Beim Formen werden Werkstücke im glühenden Zustand durch Druck (hydraulische Presse) oder schlagartige Beanspruchung (Schmiedehammer) umgeformt. Beim Freiformen ist die Form des zu erzeugenden Werkstückes nicht in der Form des einfachen Werkzeuges (z.B. Hammer) enthalten. Das Freiformen wird bei kleinen Stückzahlen und großen Werkstückabmessungen bzw. -gewichten angewendet.

**Gesenkschmieden:** Der auf Schmiedetemperatur erwärmte Rohling (meist ein Stangenabschnitt) wird zwischen einer oberen und einer unteren Werkzeughälfte (Gesenk) umgeformt. Gesenkformstücke sind wegen der teuren Gesenke nur bei großen Stückzahlen wirtschaftlich.

Kurbel-/Exzenterpresse: weggebunden

Hydraulikpresse: kraftgebunden

### 3.2.4 Prägen / Embossing

- Formänderung durch Positiv- und Negativform
- Gewindefurchen
- Rändeln
- Münzprägung

### 3.2.5 Strangpressen / Extrusion

Strangpressen hat sich vor allem bei der Verarbeitung von NE-Metallen zu Halbzeugen durchgesetzt. Dabei werden erhitzte Bolzen unter hohem Druck mit einem Stempel durch eine Werkzeugöffnung (Matrize) gedrückt. Mit diesem Verfahren können auch Hohlprofile wie Rohre (über Dornen) gefertigt werden.

$$\text{Umformgrad: } \rho = \ln \frac{A_0}{\sum A_{M\Delta X}}$$

$$\text{Reißkraft } F = A_0 \cdot \underbrace{\frac{K_{fm}}{\eta}}_{=K_w, \text{ Formänderungswiderstand}} \cdot \rho$$

### 3.2.6 Gleitziehen

- Drahtziehen
- Ziehen von Profilen

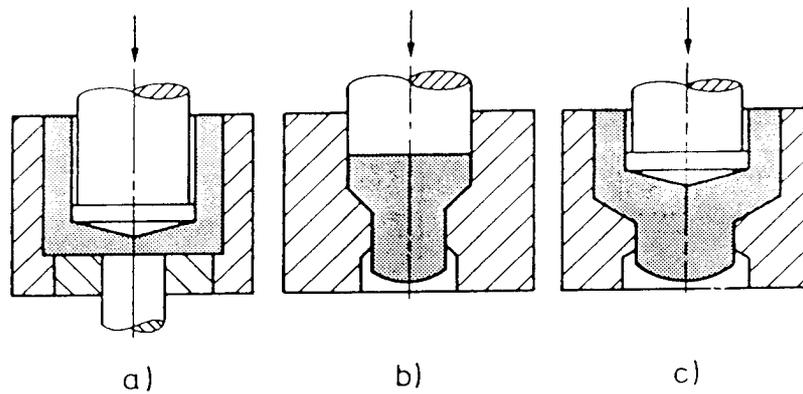


Abbildung 3.3: Die wichtigsten Fließpressverfahren

### 3.2.7 Fließpressen / Impact extrusion

- a. Napf-Rückwärts-Fließpressen
- b. Voll-Vorwärts-Fließpressen
- c. Gemischt-Fließpressen

Fließpressen dient der Herstellung von Einzelerzeugnissen. Verarbeitet werden NE-Metalle und Stähle. Der Werkstoff (erhitzt oder auch kalt) wird durch Druckbeanspruchung in einem Werkzeug geformt. Dabei kann er teilweise durch eine formgebende Öffnung gedrückt werden.

### 3.2.8 Tiefziehen / Deep drawing

Tiefziehen ist Zugdruckumformen eines Blechzuschnittes zu einem Hohlkörper ohne beabsichtigte Veränderung der Blechdicke (DIN 8584). Es ist das wichtigste Massenverfahren des Blechumformens. Angewendet wird es vor allem im Karosseriebau. Beim Tiefziehen wird der Blechzuschnitt auf die Ziehmatrize/Werkzeug gelegt und vom Niederhalter festgespannt. Der Niederhalter verhindert die Bildung von Blechfalten während des Ziehvorgangs. Der Ziehstempel zieht anschließend das Blech in die Ziehmatrize und damit in Form.

$$D = \sqrt{d^2 + 4 \cdot h \cdot d} \text{ Rondendurchmesser}$$

$$\beta = \frac{D}{d} \approx 1,9 \text{ Ziehverhältnis bei Erstzug}$$

### 3.2.9 Abstreckziehen

Tiefziehen mit einem Werkzeug, wobei die Wandstärkenveränderung gewollt ist. Bei diesem Verfahren wird eine vorgefertigte Hülse oder ein tiefgezogener Napf durch einen oder mehrere Abstreckringe gezogen, wobei eine Abstreckung über 50 % möglich ist.

### 3.2.10 Drücken / Spinning

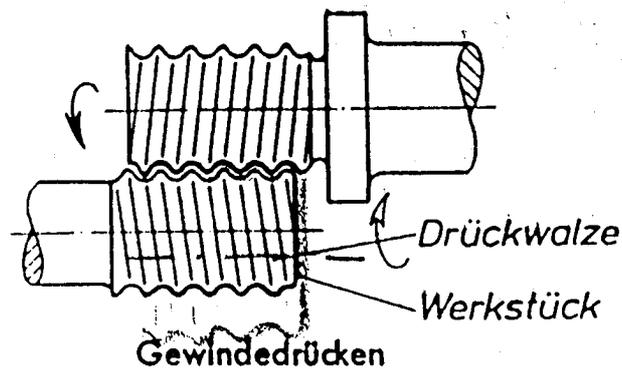


Abbildung 3.4: Gewindedrücken

Drücken ist das Umformen eines ebenen Blechteils am rotierenden Formkörper. Dabei wird die Wandstärke im Allgemeinen nicht verändert.

### 3.3 Biegen / Bending

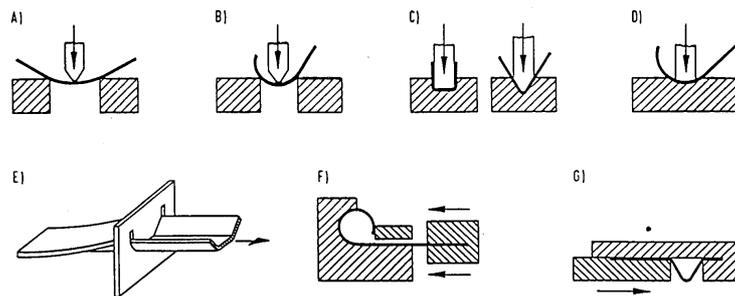


Abbildung 3.5: Biegeverfahren mit gradliniger Arbeitsbewegung

### 3.4 Innenhochdruckumformen / Internal high pressure metal forming

## 4 Trennen

Trennen ist Fertigen durch Ändern der Form eines festen Körpers, wobei der Zusammenhalt örtlich aufgehoben, d.h. im ganzen vermindert wird (DIN 8580).

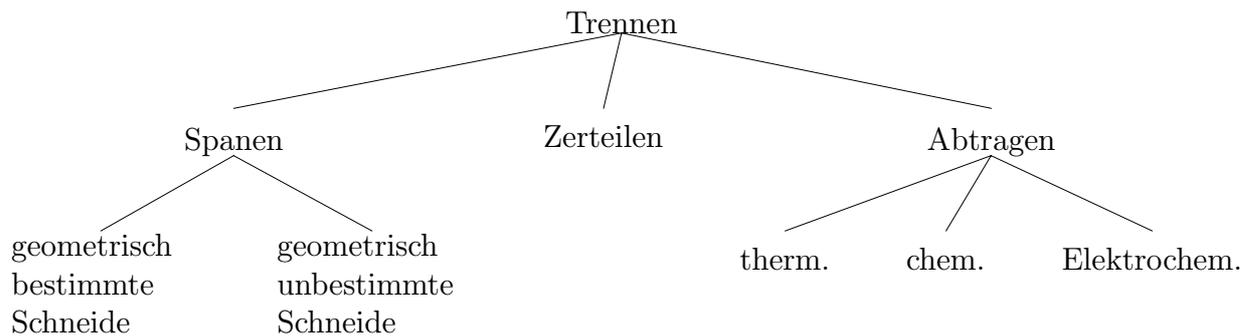


Abbildung 4.1: Übersicht Trennen

## 4.1 Spanen

Spanart	Kennzeichen	Ursachen	Wirkungen
Reißspan $\Phi \approx 19^\circ$	Herausreißen einzelner Spanteile aus dem Werkstoff; kein Umformen in der Scherzone; kein zusammenhängender Span, zerrissene Werkstückoberfläche.	Verformungsfähiger Werkstoff, gleichmäßigeres Gefüge, keine Versprödung in der Spanwurzel, Schwingungsarme Zerspanung, größerer Spanwinkel, größere Schnittgeschwindigkeit, kleinerer Vorschub	größerer Schwerwinkel $\Phi$ , glattere Oberfläche, höhere Maßhaltigkeit, geringere Schnittkraftschwankungen, ruhigeres Arbeiten der Werkzeuge
Scherspan $\Phi \approx 25^\circ$	In der Scherzone umgeformte Spanteile werden gleich darauf schuppenförmig abgetrennt oder eingerissen. Sie verschweißen teilweise wieder zu einem Span. Übergang zu Fließspan		
Fließspan $\Phi \approx 32^\circ$	Verformen des Werkstoffes (Fließen) in der Scherzone; kein Trennen des Spanes; fortlaufender Span.		

Tabelle 4.1: Spanarten

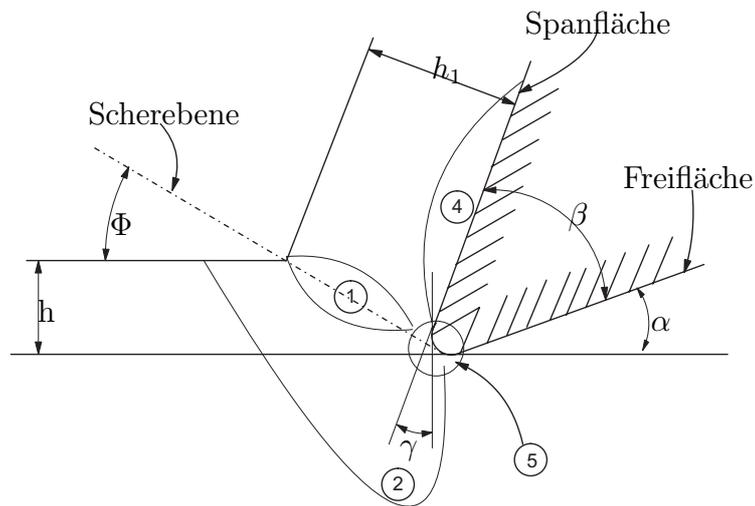


Abbildung 4.2: Erklärung spanende Bearbeitung

1. Primäre Scherzone
2. Sekundäre Scherzone
- 3.
4. ?
5. Stau + Trennzone

$\alpha$ : Freiwinkel

$\beta$ : Keilwinkel

$\gamma$ : Spanwinkel

$h$ : Spanndicke

$h_1$ : Spandicke

$\Phi$ : Scherwinkel

### Spanstauchung:

- Spandickung  $\lambda_d = \frac{h_1}{h} > 1$
- Spanbreitung  $\lambda_b = \frac{b_1}{b} > 1$
- Spankürzung  $\lambda_l = \frac{l_1}{l} < 1$

$$\lambda_d \cdot \lambda_b \cdot \lambda_l = 1$$

### 4.1.1 Drehen

Drehen ist Spanen mit geometrisch geschlossener, meist kreisförmiger Schnittbewegung (DIN 8589). Es dient der Bearbeitung rotationssymmetrischer Werkstücke. Das einschneidig ausgebildete Werkzeug (Drehmeißel) führt die Vorschubbewegung aus. Diese kann quer oder längs zur Drehachse des Werkstücks erfolgen.

### 4.1.2 Fräsen

Beim Fräsen führt ein mehrschneidiges Werkzeug eine kreisförmige Schnittbewegung aus. Die Vorschubbewegung kann senkrecht oder auch schräg zur Drehachse des Werkzeuges erfolgen. Vorschub und Zustellbewegung werden überwiegend vom Werkstück, aber auch vom Werkzeug oder beiden ausgeführt. Fräsen ist ein universelles Fertigungsverfahren; zur Herstellung ebener und gekrümmter Flächen, beispielsweise Nuten, Verzahnungen, Gewinden. In Abhängigkeit von der Art des Werkzeuges und dem Bewegungsablauf zwischen Werkstück und Werkzeug ist zwischen Umfangs- und Stirnfräsen zu unterscheiden. Beim Umfangsfräsen liegt die Fräserachse parallel zur zu fertigenden Fläche. Beim Stirnfräsen steht die Fräserachse senkrecht auf der zu fertigenden Fläche.

### 4.1.3 Sägen

Sägen ist Spanen mit einem vielzahnigen Werkzeug bei kreisförmiger oder gerader Schnittbewegung. Die Schnittbewegung wird dabei vom Werkzeug ausgeführt, die Vorschubbewegung vom Werkstück. Sägen wird zum Trennen von Werkstücken bzw. Werkstückteilen sowie zum Einschneiden von Nuten und Schlitzen eingesetzt.

### 4.1.4 Bohren

Bohren ist ein Bearbeitungsverfahren, bei dem mehrschneidige rotierende Werkzeuge eingesetzt werden. Die Vorschubbewegung erfolgt in axialer Richtung. Durch Bohren entstehen zylindrische Bohrungen

### 4.1.5 Räumen / Broading

### 4.1.6 Bruchtrennen /

### 4.1.7 Schleifen / Grinding

$$v_c = 30 \dots 50 \frac{m}{s}$$

Hochgeschwindigkeitsschleifen HSG  $\Rightarrow$  bis  $v_c = 180 \frac{m}{s}$

### 4.1.8 Honen / Honing

mit Honstein, Honöl

### 4.1.9 Gleitschleifen / Tumbling - Barrelfiniting

Towalieren, Towalisieren

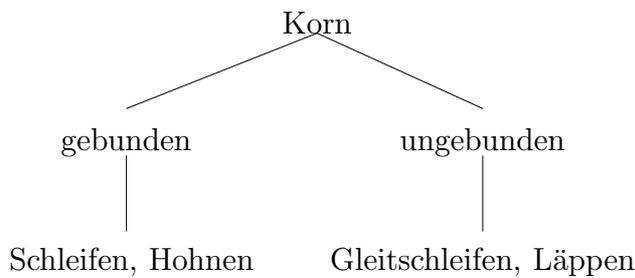


Abbildung 4.3: Übersicht unbestimmte Schneiden

### 4.1.10 Läppen / lapping

Feinste Bearbeitung!

## 4.2 Zerteilen / Cutting

### 4.2.1 Scherschneiden / Shearing

Das gebräuchlichste Verfahren des Zerteilens ist das Scherschneiden.. Es kommt überwiegend in der Blechbearbeitung zum Einsatz. Dabei bewegen sich zwei Schneiden aneinander vorbei und trennen das Werkstück oder Blechteile ab. Ehemals Stanzen. Schneidspalt  $u \approx 0,1 \cdot \text{Blechdicke}$

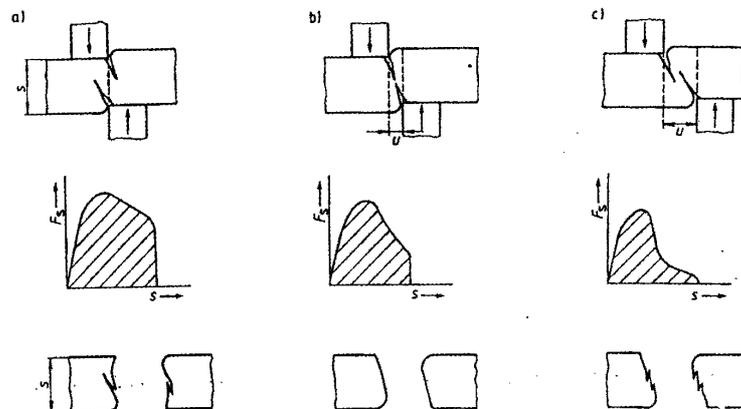


Abbildung 4.4: Auswirkungen des Schneidspaltes

- Schneidspalt zu klein
- richtig bemessen ( $u \approx 0,1 \cdot S_0$ )
- zu groß

### 4.2.2 Feinschneiden / Finish blanking

Hier:  $u \approx 0,01 \dots 0,02 \cdot \text{Blechdicke}$ ,  $R_a = 0,4 \dots 1,6$

### 4.2.3 Knabberschneiden (Nibbeln) / Nibbling

## 4.3 Abtragen

Abtragen ist Fertigen durch Abtrennen von Stoffteilchen eines festen Körpers auf nicht-mechanischem Weg. Das Abtragen bezieht sich sowohl auf das Entfernen von Werkstoffschichten als auch auf das Abtrennen von Werkstoffteilchen (DIN 8590).

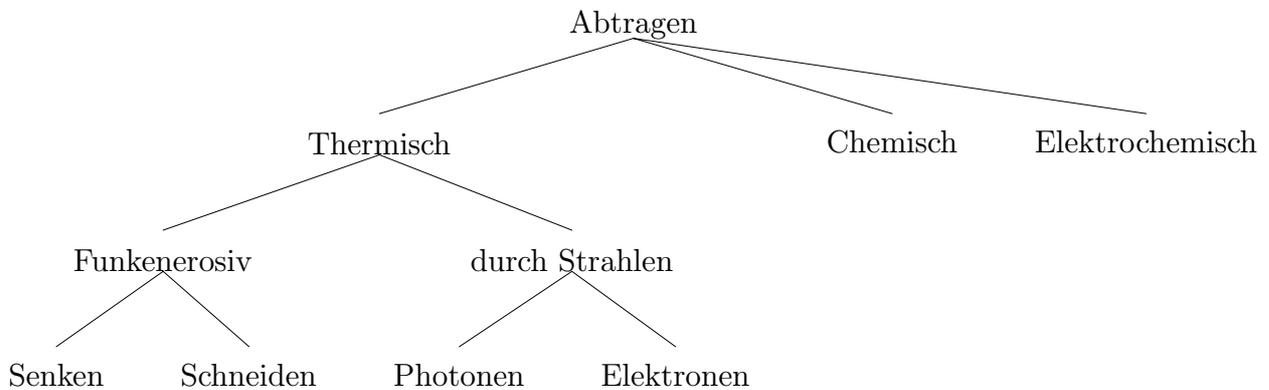


Abbildung 4.5: Übersicht Abtragen

### 4.3.1 Funkerosives Abtragen / EDM (Elektrodischarge machining)

Durch funkerosives Abtragen können harte und gehärtete, elektrisch leitende Werkstoffe bearbeitet werden. Das Verfahren ist besonders geeignet, um Durchbrüche und komplizierte Innenformen herzustellen. Im Werkzeugbau (Einzelfertigung) ist das funkerosive Abtragen eine verbreitete Technologie. Das Prinzip des funkerosiven Abtragens beruht auf der erodierenden Wirkung elektrischer Entladungsvorgänge zwischen zwei Elektroden (Werkstück und Werkzeug). Die beiden Elektroden sind durch eine elektrisch nicht leitende Flüssigkeit (Dielektrikum) getrennt. Stromimpulse führen zu Entladungen zwischen Werkzeug und Werkstück bzw. umgekehrt. Es entsteht Hitze, die zum punktuellen Schmelzen und Verdampfen des Werkstoffes führt. Die erzeugte Werkstückform ist das Ergebnis einer Vielzahl von Entladungen. Die geforderte Werkstückgeometrie ist ein (Negativ-)Abbild der Werkzeugelektrode oder sie entsteht durch eine entsprechende numerische Steuerung einer Elektrode beliebiger Geometrie.

- An den beiden Elektroden (Werkzeug (eigentliche Elektrode) und Werkstück) wird eine Gleichspannung (80-250V) angelegt. Dadurch baut sich zwischen den Elektroden (Funkenwirkstrecke) im Dielektrikum ein elektrisches Feld auf. **Die Spannung steigt.**
- An Stellen geringsten Abstandes ist die Feldstärke am größten. Hier konzentrieren sich im Dielektrikum schwebende, leitende Partikel und Ionen. **Eine leitende Brücke entsteht.**
- Gleichzeitig werden aus der negativ geladenen Elektrode mit hoher Geschwindigkeit Anionen in Richtung auf ihren Gegenpol geschleudert. Wo diese auf neutral

geladene Teilchen treffen, werden letztere in Anionen und Kationen aufgespalten:

**Durch Stoßionisation entsteht ein Entladekanal.**

- d. Strom fließt. **Ein Funke springt über.** Der Entladestrom nimmt bis zu einem Spitzenwert steil zu, die Spannung verringert sich bis auf eine Entladespannung (15.. 30 V).
- e. **Die Temperatur nimmt zu.** Örtlich entstehen rund 10 000 K, Dadurch verdampft (teilweise schmilzt) an den Elektroden Werkstoff, das Dielektrikum wird aufgeheizt, und im Entladekanal wächst der Druck: Eine Gasblase entsteht.
- f. Die elektrische Spannung und damit der Entladestrom werden auf Null gesetzt. **Die Gasblase implodiert.**
- g. Dadurch werden große dynamische Kräfte frei, die den Metaldampf, flüssiges Metall und Crackprodukte des Dielektrikums (meist Graphit und Gas) wegschleudern. Der Metaldampf sublimiert –hervorgerufen durch die Kühlwirkung des Dielektrikums – in Kugelform („Kugelspäne“). **Der Entladekanal entionisiert sich.**

Abtragrate  $500 \frac{mm^3}{min}$

### 4.3.2 Drahterdieren / Continuous wire EDM

Schnittrate bis  $200 \frac{mm^2}{min}$

### 4.3.3 Chemisches Abtragen

- Ätzen
- Thermisch-chemisches Entgraten
- Chemisch-Thermisches Abtragen

### 4.3.4 Hochdruckwasserstrahlschneiden / Waterjet cutting

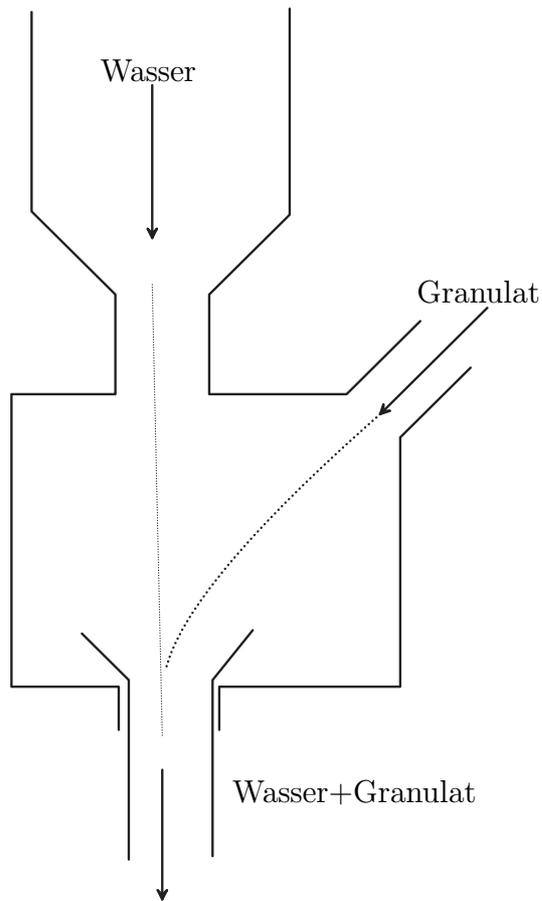


Abbildung 4.6: abrasives Wasserstrahlschneiden

- Problem: Düsenverschleiß
- Keine Gefügeveränderung
- hohe Werkstückdicke
- wenig Kosten
- Viele Materialien, allerdings keine allzu harten Materialien

# 5 Fügen / Joining

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 der Zusammenhalt örtlich geschaffen und im ganzen vermehrt (DIN 8593).

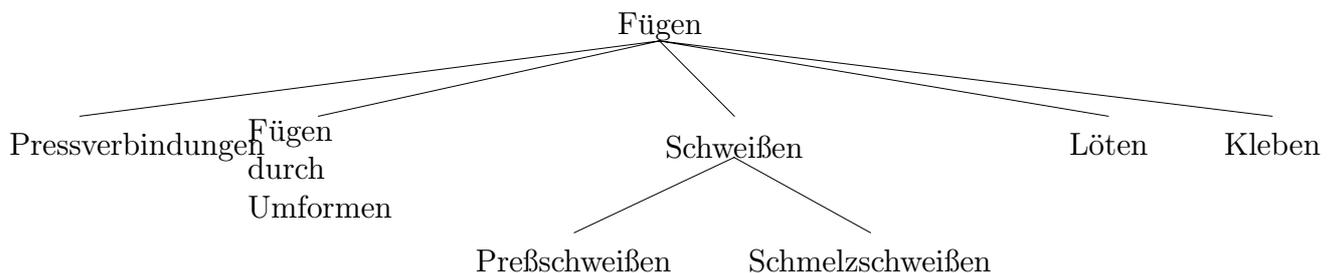


Abbildung 5.1: Unterteilung Fügen

## 5.1 Preßverbindungen

### 5.1.1 Einpressen / Interference

Anpressen/Einpressen ist eine Sammelbezeichnung 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 (DIN 8593). Zu den bekannten Verfahren gehören:

- Schrauben ist Fügen durch Anpressen mittels eines selbsthemmenden Gewindes.
- Klemmen ist Fügen durch Anpressen mittels Hilfsteilen (Klemmen), wobei die Fügeteile elastisch oder plastisch verformt werden, während die Hilfsteile starr sind.
- Klammern ist Fügen mittels federnder Hilfsteile (Klammern), die die überwiegend starren Fügeteile aneinanderpressen.
- Fügen durch Preßverbindung ist Fügen eines Innenteiles mit einem Außenteil, wobei zwischen beiden ein Übermaß besteht.
- Nageln ist Fügen durch Einschlagen oder Einpressen von Nägeln (Drahtstiften) als Hilfsteile ins volle Material.

- Verkeilen ist das Anpressen zweier Füge­teile mit Hilfe selbsthemmender keil­förmiger Hilfsteile.

zum Beispiel:

- H7/r6
- H7/s6
- R7/n6

### 5.1.2 Schrumpfen

## 5.2 Fügen durch Umformen / Integral mechanical joints

### 5.2.1 Toxen (Chinchen)

Form- und Kraftschlüssige Verbindung. Auch für die Verbindung verschiedener Materialien geeignet. Zwei Bleche, von oben kommt ein Spempel und drückt die Bleche in eine Matrize. Besteht aus einem Tiefzieh- und einem Auspressvorgang.

### 5.2.2 Überlappung / Crimped edges

## 5.3 Schweißen

Schweißen ist die Verbindung werkstoffgleicher Teile durch Diffusion, plastisches Fließen oder (bevorzugt) Verschmelzen des Grundwerkstoffs. Der Schweißzusatz dient zum Füllen der Naht, zur Gefügeverbesserung und zum Einbringen oxidationshemmender Stoffe. Die zum Schweißen notwendige Energie wird durch feste Körper, Flüssigkeiten, Gas, elektrische Gasentladung, Strahl, Bewegung oder elektrischen Strom in den Prozeß eingebracht. Spezifische Probleme des Schweißens sind Gefügeveränderungen auf Grund von Wärmeeinfluß, Wärmespannungen, Verunreinigungen und Werkstoffoxidation

### 5.3.1 Preßschweißen

Preßschweißen findet unter Anwendung von Kraft ohne oder mit Schweißzusatz statt. Örtlich begrenztes Erwärmen (unter Umständen bis zum Schmelzen) ermöglicht oder erleichtert das Schweißen (DIN 1910).

**Reibschweißen:** In ein massives Mä­schinengestell ist ein rotierendes Spannsystem eingebaut. Gegenüberliegend ist auf einem beweglichen Schlitten ein feststehendes Spannsystem angeordnet. Die beidseitig eingespannten rotationssymmetrischen Füge­teile werden gegeneinander gerieben. Sie erreichen dadurch Füge­temperatur und werden zusammengestaucht.

**Widerstandsschweißen:** Der Schweißstromkreis ist über die wassergekühlten Kupferelektroden und die dazwischen angeordneten Fügeteile (Bleche) geschlossen. An dieser Stelle entsteht durch den Übergangswiderstand eine örtliche Erwärmung. Bei Erreichen der Schweißtemperatur wird durch Zusammenpressen der Elektroden und damit der Bleche die Schweißverbindung hergestellt.

**Gaspressschweißen:**

**Ultraschallschweißen:**

### 5.3.2 Schmelzschweißen (SSW)

Schmelzschweißen ist Schweißen bei örtlich begrenztem Schmelzfluß ohne Anwendung von Kraft mit oder ohne Schweißzusatz (DIN 1910).

**Gasschweißen:** Acetylen und Sauerstoff werden aus Stahlflaschen mit angeschlossenem Druckminderer über Schlauche dem Schweißbrenner zugeführt und in diesem gemischt. Durch die bei der Verbrennung des Gasgemisches entstehende Schweißflamme werden Grundwerkstoff und Schweißstab) miteinander verschmolzen .

**Lichtbogen-Handschweißen:** Der aus dem Netzstrom umgewandelte Schweißstrom wird über Leitungen dem Werkstück und der Stabelektrode zugeführt. Durch elektrische Gasentladung entsteht der Lichtbogen, dieser liefert die für das Aufschmelzendes Werkstücks notwendige Schweißwärme.

**Metall-Schutzgasschweißen (MSG):** Der Schweißstrom und ein aus einer Stahlflasche entnommenes inertes oder aktives Schutzgas werden gemeinsam mit der Drahtelektrode dem Schweißbrenner zugeführt. Der Lichtbogen brennt zwischen abschmelzendem Draht und Werkstück.

## 5.4 Löten / Soldering

Löten ist ein thermisches Verfahren zum stoffschlüssigen Fügen oder Beschichten von Werkstoffen mit Hilfe eines geschmolzenen Zusatzmetalles (Legierung, Lot) unter Verwendung von Flußmittel. Die Schmelztemperatur des Lotes liegt unterhalb derjenigen der zu verbindenden Grundwerkstoffe. Voraussetzung für eine Benetzung sind oxidfreie Oberflächen. Haupteinsatzgebiet des Lötens ist die Montage von elektronischen Bauteilen. Durch Löten können verschiedenartige metallische Werkstoffe gefügt werden.

Weich und Hartlöten, keine Beeinflußung des Grundwerkstoffes.

## 5.5 Kleben / Adhesives

Kleben ist das Verbinden zweier Oberflächen durch eine organische Flüssigkeit (Kleber). Dieser wird im Zustand niedriger Viskosität aufgebracht, um eine möglichst gute Benetzung der Oberflächen zu erreichen. Das ist Voraussetzung für eine atomare Annäherung der Klebstoffteilchen und damit für eine gute Flächenhaftung (Adhäsion). Das Abbinden (Verfestigen) der Klebschichten kann physikalisch (Verdunsten des Lösemittels)

oder/und chemisch (Reaktion der Klebstoff-Komponenten) erfolgen. Die Zugfestigkeit von Klebverbindungen ist meist durch die Eigenschaften des Klebers begrenzt. Das Kleben kommt dort zum Einsatz, wo verschiedenartige Werkstoffe gefügt werden sollen.

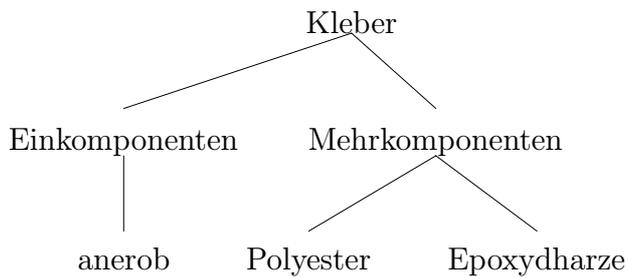


Abbildung 5.2: Übersicht Kleber

- Vorteile:
- keine Beeinträchtigung der Materialien
  - keine Wärmezufuhr
  - saubere Kanten
  - Gas- und Flüssigkeitsdicht
  - Korrosive Beständigkeit
  - Isolation möglich
  - ...

- Nachteile:
- trennbar durch Wärme
  - Oberflächenbehandlung
  - Festigkeit

$$F = A \cdot G$$

mit:

$A = l \cdot b$  Klebefläche

$G = \frac{\text{Bindefestigkeit in } N/mm^2}{\text{Sicherheit}(1,5...3)}$

# 6 Kunststoffe + Gummi

## 6.1 Grundlagen

Stoffeigenschaften	Stahl/Al	Kunststoffe
Dichte	7,85/2,7	$\approx (0,8 - 1,5)$ , PTEF: 2,2
Max. gebr. Temp	unleg.: $\approx 350^\circ$ , leg.: $\approx 450^\circ$ , Al : $\approx 100^\circ$	$\approx 80^\circ - 130^\circ$ , HT bis $250^\circ$
Wärmeleitfähigkeit	$50 \frac{W}{mC} / 170 \frac{W}{mC}$	$0,2 - 0,8 \frac{W}{mC}$
Wärmedehung	$12 \dots 24 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}$	$80 \dots 160 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}$
Verarbeitungstemperatur	Stguss : $1500^\circ$ / Alguss: $660^\circ$	Spritzgießen: $200 - 250^\circ$
mech. Eigenschaften	kaum <sup>1</sup> abh. von t + T	stark abh. von t und T
Verhalten unter Last/Spannung	elastisch	viskoelastisch
max. Zieldehnung	St: $< 0,2 \%$	amorphe Termoplaste: $0,9 \%$ , teilkristallin (hart): $0,5 \%$ teilkristallin (weich): $2 \%$
E-Modul (Young's Modulus)	$200.000 \frac{N}{mm^2} / 70.000 \frac{N}{mm^2}$	$1000 \dots 4000 \frac{N}{mm^2}$ (bei RT)
Spez. Widerstand	$0,13 / 0,03 \cdot 10^{-6} \Omega m$	$10^8 \dots 10^{15} \Omega m$
Färbbarkeit	Al: Eloxieren	gegeben
Lichtdurchlässigkeit	-	amorphe ja
Schweißbarkeit	gegeben	gegeben
Dämpfungsvermögen	niedrig	(sehr) hoch
chem. Beständigkeit	St: mind $12 \%$ Cr	„siehe später“
Wiederverwendbarkeit	Recycling möglich	Recycling möglich

Tabelle 6.1: Kunststoffe + deren Verarbeitung zu Produkten

Name	Abk.	Anwendungen
Polyethylen	PE	Folien, Transportbehälter, Spritzgußteile, Haushaltsgegenstände, Rohre
Polypropylen	PP	Folien, Pumpengehäuse, Lufterflügel, Haushaltsgeräte
Polyvinylchlorid	PVC	<b>Hart:</b> Armaturen, Behälter, Rohre. <b>Weich:</b> Folien, Fußböden, Schuhsohlen
Polystyrol	PS	Spritzgußteile, Verpackungen, glänzend oder verschäumt (Styropor), Spulenkörper
Polymethylmethacrylat	PMMA	Linsen, Brillengläser, Verglasungen (Plexiglas, Acrylglas) Lampen, Sanitärteile
Polycarbonat	PC	Apparaten- und Gehäuseteile, Sicherheitsverglasungen, Spulenkörper, Geschirr, CD's
Polyamid 66	PA 6.6	Zahnräder, Riemenscheiben, Gehäuse (E-Technik), Pumpen, Mauerdübel
Polyoxymethylen	POM	Getriebeteile für Haushaltsgeräte, Nockenscheiben, Spulenkörper, Aerosoldosen
Polyethylenterephthalat	PET	Gehäuse, Kupplungen, Pumpenteile, Faserstoffe, Trevira, Diolen, Colaflaschen
Polybuthylenterephthalat	PBT	Gehäuse, Kupplungen, Pumpenteile, Faserstoffe
Polyimid	PI	temp.-best. Geräteteile, Gleitelemente, Kondensatoren, gedruckte Schaltungen
Polytetrafluorethylen	PTFE	Gleitlager, Dichtungen, Isolierungen, Filter, Membranen

Tabelle 6.2: Beispiele thermoplastischer Polymerwerkstoffe

Name	Abk.	Anwendungen
Phenol-Formaldehyd	PF	Steckdosen, Spulenträger, Pumpenteile, Isolierplatten, Bindemittel, Spanplatten, Hartpapier
Harnstoff-Formaldehyd	UF	Stecker, Schalter, Elektroinstallationsmaterial, Verschraubungen für Kosmetik
Melamin-Formaldehyd	MF	Elektroisolierteile (hell), Geschirr, Oberflächenschichtstoffe (Resopal, Hornitex)
Ungesättigten Polyesterharze	UP	<b>Formmassen</b> : Gehäuse, Spulenkörper <b>Laminate</b> : LKW-Aufbauten, Bootskörper, Lichtkuppeln
Epoxydharze	EP	<b>Gießharze</b> : Isolatoren, Beschichtungen, Klebstoffe <b>Laminate</b> : Bootskörper, Sandwichkonstruktionen
Poleurethanharze	PUR	Skistiefeln, Zahnriemen
Silikonharze	SI	Dichtungen

Tabelle 6.3: Beispiele duroplastischer Polymerwerkstoffe

Duroplastische Werkstoffe können – im Gegensatz zu thermoplastischen Werkstoffen – nicht Aufgeschmolzen werden. Sie werden meist gegossen.

## 6.2 Fertigungsverfahren

### 6.2.1 Extrusion

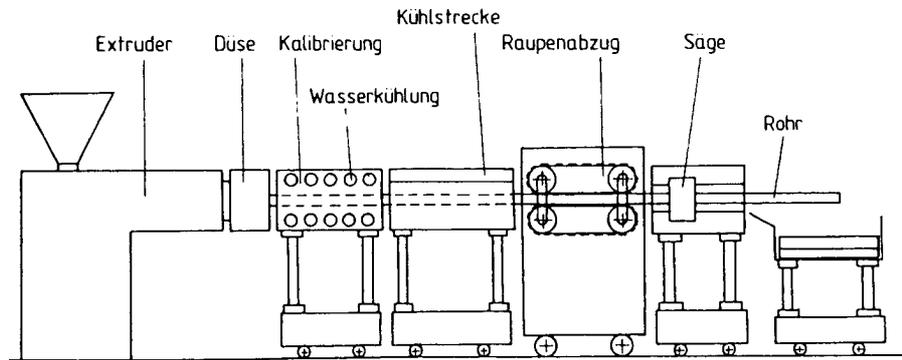


Abbildung 6.1: Rohrextrusion (Prinzip)

Sowas wie Strangguss!

### 6.2.2 Coextrusion

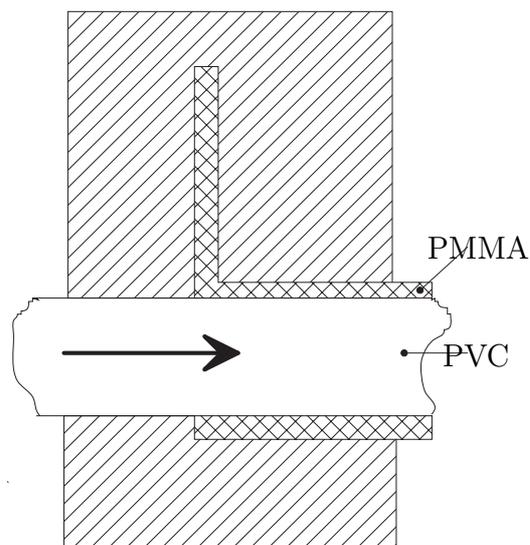


Abbildung 6.2: Prinzip Coextrusion

### 6.2.3 Extrusionsblasformen

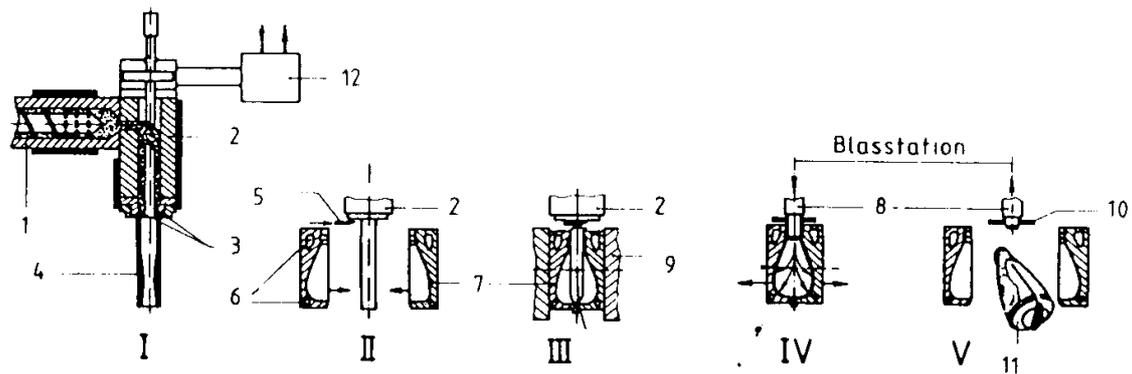


Abbildung 6.3: Verfahrensablauf beim Extrusionsblasformen

- I. Extrusion des Vorformlings
- II. Positionierung des Blasformwerkzeuges
- III. Erfassen und Abtrennen des Vorformlings
- IV. Formgebung und Abkühlung
- V. Entformung und Butzenabtrennung

1. Extruder
2. Umlenkkopf
3. Düse / Dorn
4. Vorformling
5. Abschneider
6. Kühlkanal
7. Blaswerkzeug
8. Blasdorn
9. Schließeinheit
10. Abstreifring
11. Artikel
12. Servohydraulik

Wird z.B für Kfz-Tanks verwendet.

## 6.2.4 Streckblasformen

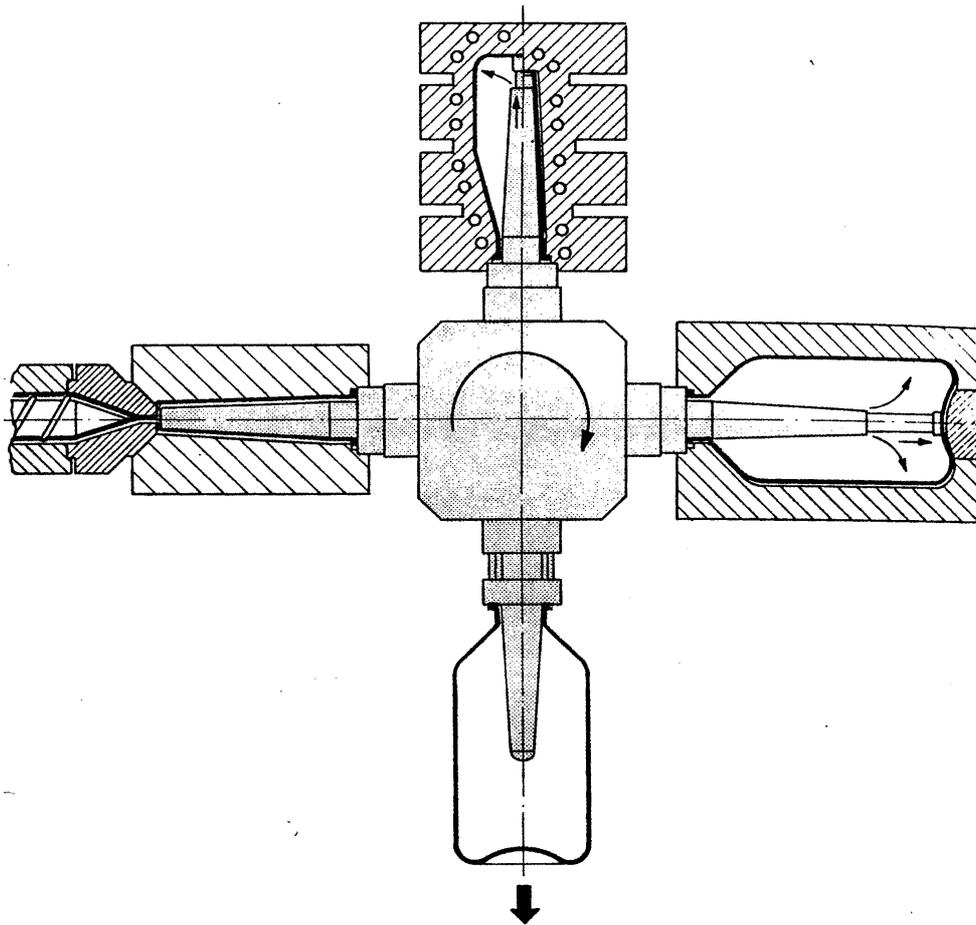


Abbildung 6.4: Verarbeitungsstationen beim Streckblasen

1. Spritzgießen
  2. Konditionieren bzw. Vorblasen
  3. Strecken + Blasen
  4. Auswerfen
- z.B. für PET-Flaschen

## 6.2.5 Spritzgießen

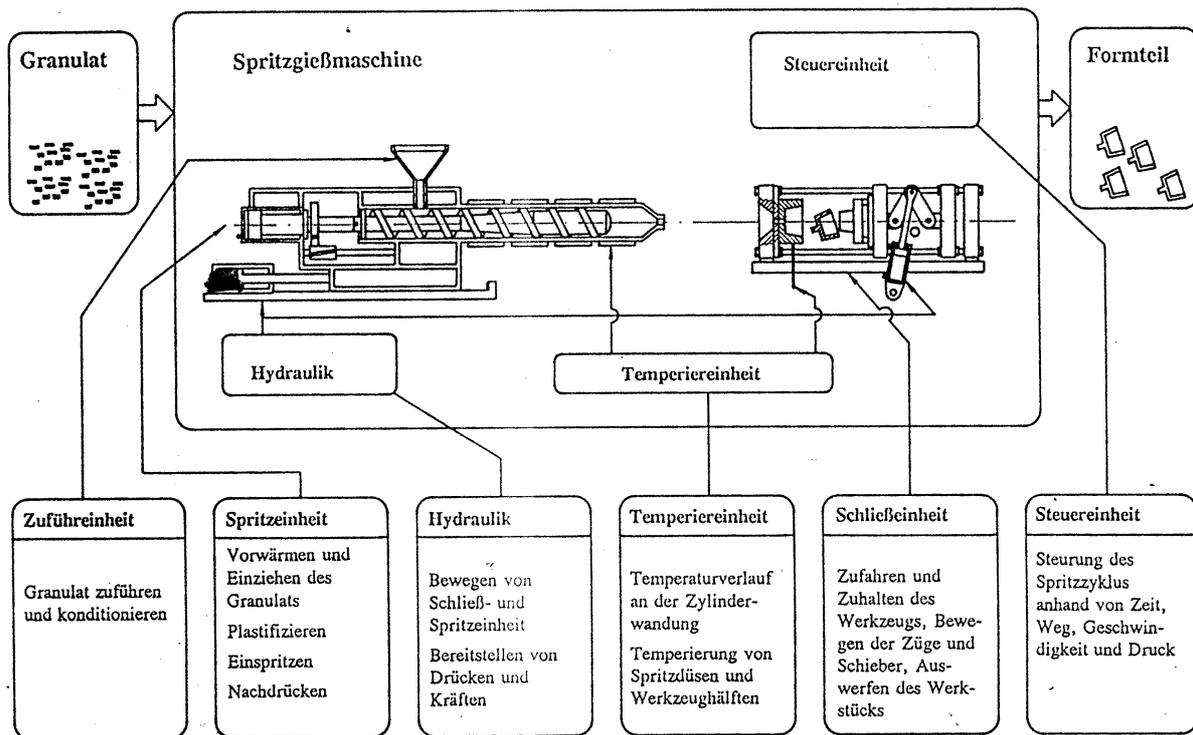


Abbildung 6.5: Aufbau einer Spritzgießmaschine

Der Spritzgießprozess gliedert sich wie folgt:

1. Schließen der Form
2. Vorfahren der Spritzeinheit
3. Einspritzen der plastischen Kunststoffmasse
4. Nachdrücken bis zum Einfrieren des Angusses
5. Einziehen und Aufschmelzen neuen Granulates
6. Zurückfahren der Spritzeinheit
7. Öffnen der Form und Auswerfen des Formteils

## 6.2.6 Outsert Technik

Kunststoffe werden direkt an Metall angespritzt. Z.B. Teil vom Kassettenrekorder.

## 6.2.7 Schäumen / Reaction Injection Moulding

Herstellen von Schaumstoffen durch Expansion physikalisch eingemischter oder chemisch erzeugter Gase in Formgebenden Werkzeugen. Z.B. Turnschuhsohle.

## 6.2.8 Fügen von Kunststoffteilen

- Schweißen
  - HF-Schweißen (einige Kunststoffe weisen polare Gruppen auf (PCV, ABS, PA))
    - \* Ausrichten an elektrischem Feld
    - \* Wechselfeld, Schwingungen, intermolekulare Reibung
    - \* Schmelzen, Schweißen
  - Ultraschallschweißen
  - Laserschweißen
- Fügen durch Schnappverbindungen  
Unterschied Scharnier und Filmscharnier
- Kleben natürlich
- Rotationsschweißen

# 7 Alles andere

## 7.1 Fertigungsorganisation

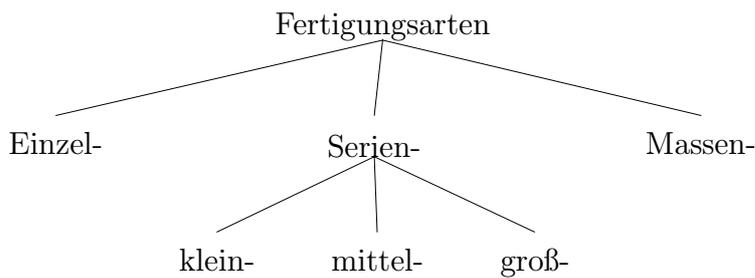


Abbildung 7.1: Übersicht Fertigungsarten

Bei Serienfertigung gibt es eine Losbildung.

### Fertigungsprinzipien:

- Werkstattfertigung
- Fließfertigung
- Fertigungszellen/-inseln
- Baustellenfertigung

## 7.2 Arbeitsplan

- Identifizierende Angaben
  - Stückzahlbereich → Losgröße
  - Art
  - Aktualisierungsangaben
  - Ursprung
  - Bearbeiter
- Fertigungszustand

- Identnummer / Zeichnungsnummer
- Benennung
- Klassifizierung
- Identnummer Ausgangsmaterial
- Werkstoff
- Mengeneinheit
- Rohmaße
- Beschreibung Arbeitsvorgänge
  - Kennzeichen des Arbeitsplatzes / der Maschine
  - Kennzeichen der Werkzeuge / Vorrichtungen
  - Lohngruppe
  - Lohnart
  - Rüstzeit  $t_r$
  - Stückzeit  $t_e$
  - Verfahren der Zeitvorgabe (REFA / MTM)

## 7.3 Vorrichtungen

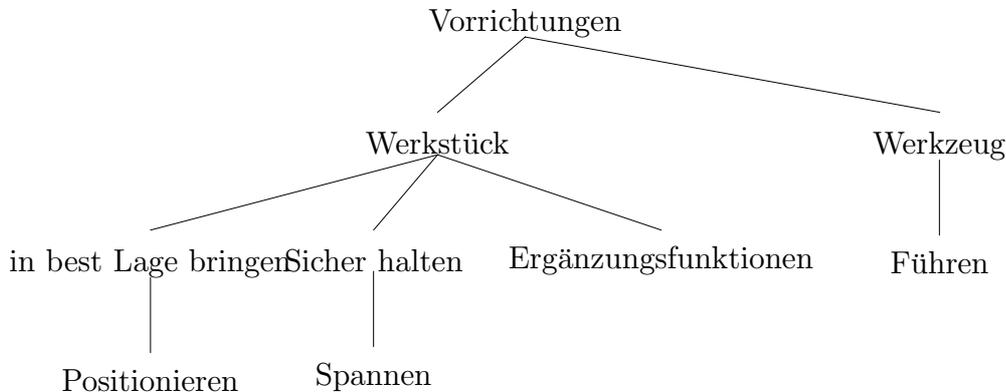


Abbildung 7.2: Übersicht Vorrichtungen

### 7.3.1 Spannen

mechanisch: z.B. Folie

- Fluide:
- hydraulisch (bis 300 bar) (geschlossenes System)
  - pneumatisch (bis 6 bar) (MAK bei Öl)
  - hydropneumatisch

Paste:

Magnet:

Eis: in der VI vorgestellt

### 7.3.2 Ergänzungsfunktionen

Stützen, Indexieren

## 7.4 Taylorismus

the principles of scientific management (1911)

1. Wirkliche Wissenschaft der Vorgänge in einer Firma
2. Systematische Auslese der Mitarbeiter
3. (Wissenschaftliche) Erziehung / Ausbildung der Mitarbeiter
4. Innige Zusammenarbeit zwischen Führung und Arbeitern

Wichtigste Kennzeichen von tayloristischen Arbeitsstrukturen:

- Trennung von planenden und ausführenden Tätigkeiten
- individuelle Leistungsanreizsysteme (Akkordlohn)
- viele Hierarchiestufen
- geringe Qualifikationsanforderungen
- geringe Arbeitsinhalte
- „one best way“ für jede Arbeitsfolge

## 7.5 Qualität

### 7.5.1 Grundlagen

Bezeichnet als „Fitness for Use“

Eigentlich die Übereinstimmung von Soll und Ist.

*Qualität muß meßbar sein!*

Deming: D.-Zyklus:

- Plan (what is needed)

- Do (try out on a small scale)
- Check (does it work)
- Act (implement as a standard)

Juran: Jeder Prozeß hat Kunden und Lieferanten

Ishikawa: I.-Diagramm

Tagushi: loss function

Feigenbaum: Total Quality Control

Crosby: zero defect

### 7.5.2 Prozessfähigkeit

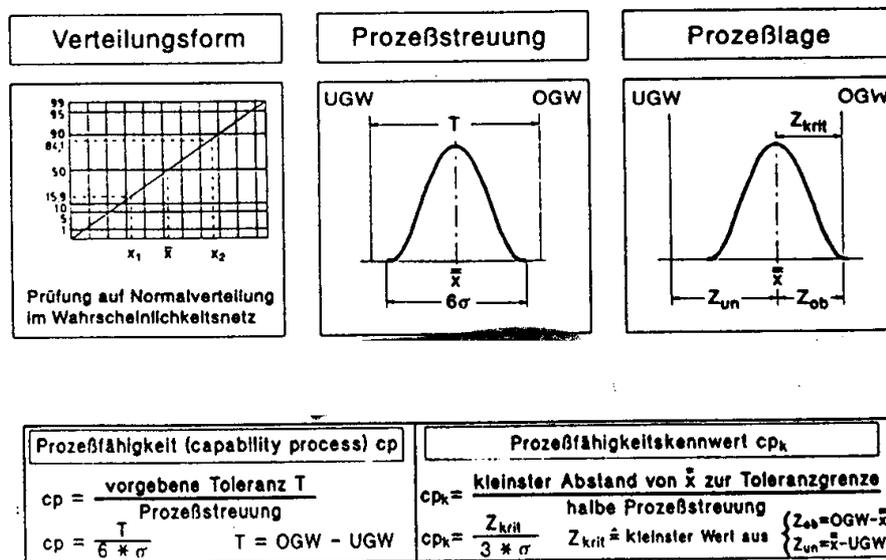


Abbildung 7.3: Ermittlung von Prozeßfähigkeitskennwerten

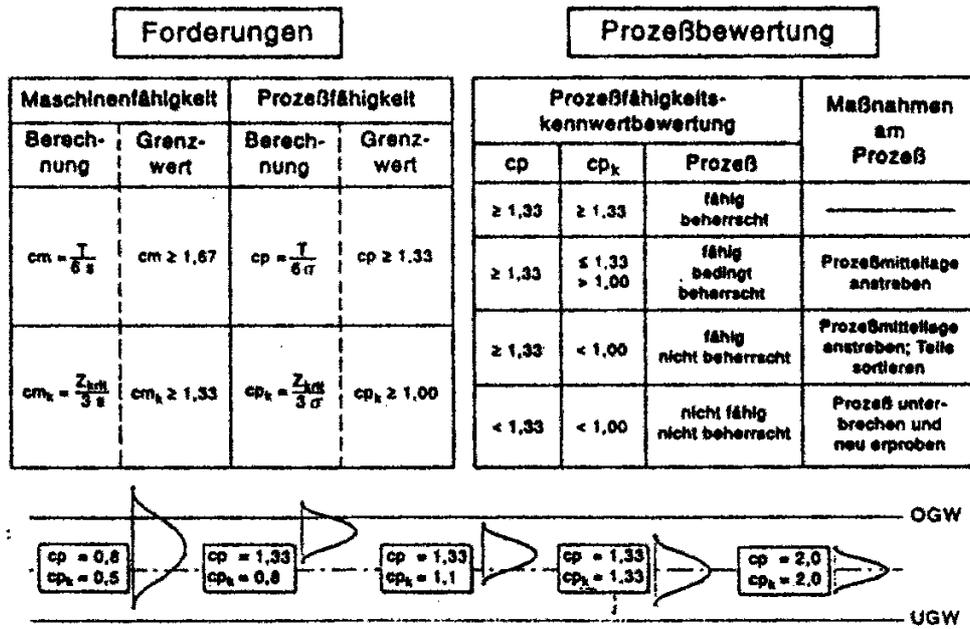


Abbildung 7.4: Bewertung von Kennwerten

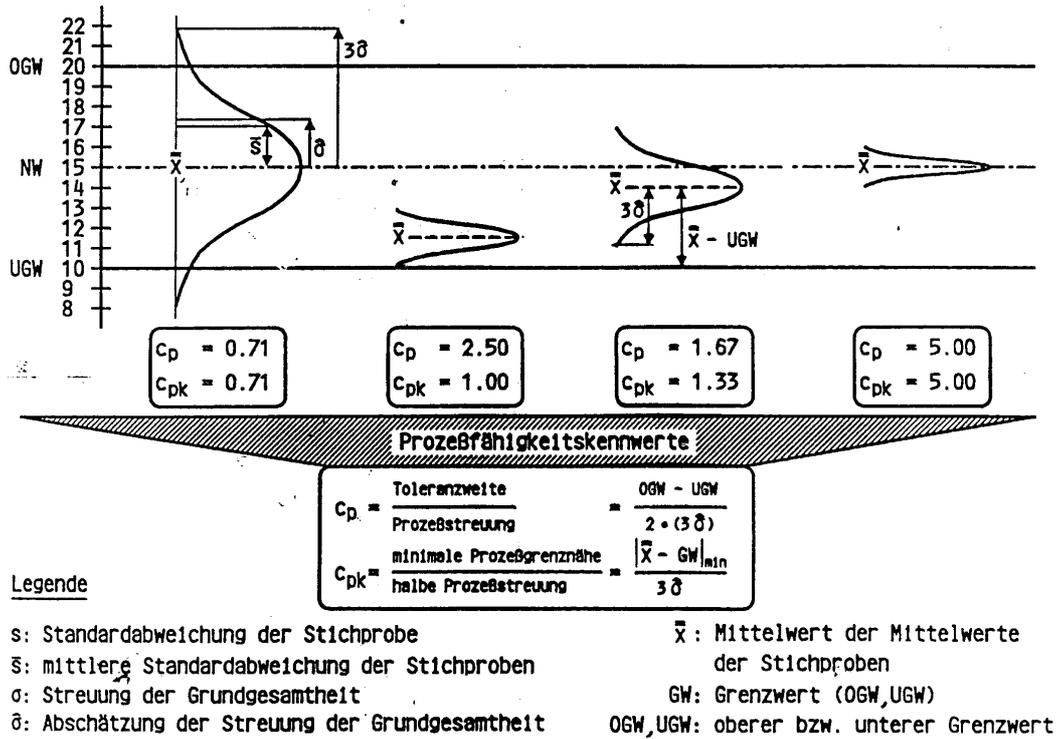


Abbildung 7.5: Fähigkeitskennwerte

## 7.6 Ergonomie

Anpassung der Technik an den Menschen, nicht umgekehrt. Zweck ist es, die Arbeit zu erleichtern.

### 7.6.1 Arbeitsphysiologie

Allgemein: Männer: 5. Perzentil 162cm, 50. Perzentil 173cm, 95. Perzentil 184cm  
 Frauen: 5. Perzentil 151cm, 50. Perzentil 161cm, 95. Perzentil 172cm

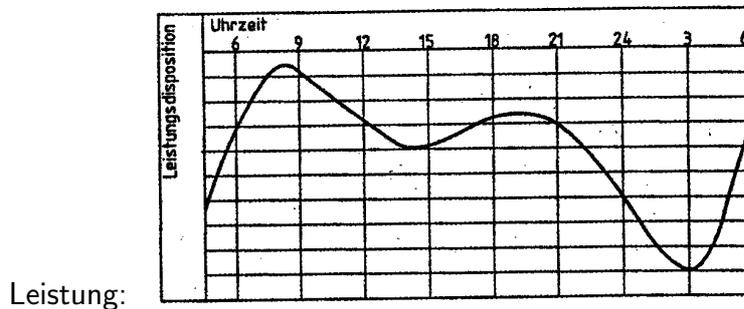


Abbildung 7.6: Leistungsdiposition

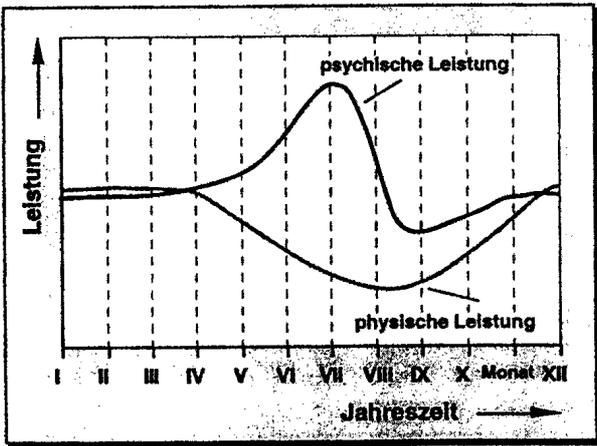


Abbildung 7.7: Leistung über das Jahr

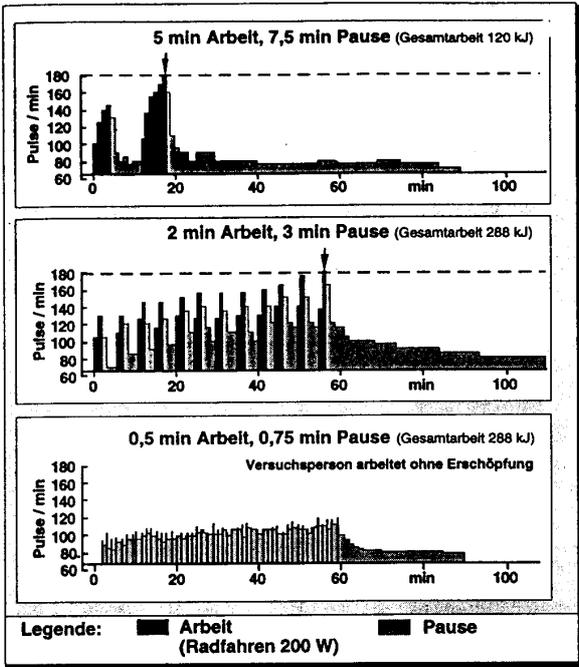
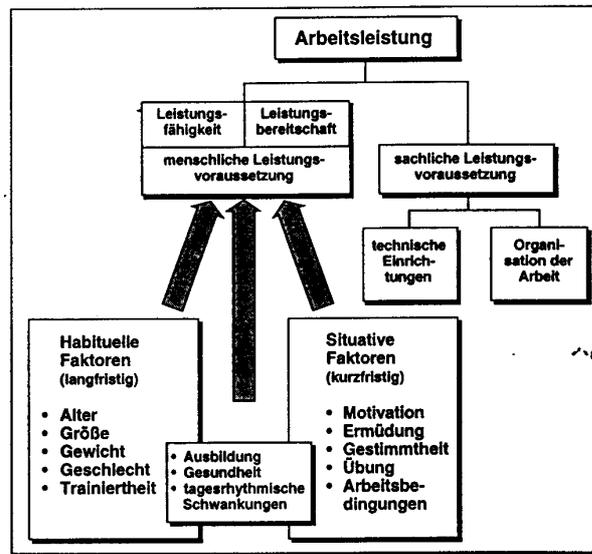


Abbildung 7.8: Arbeit, Leistung und Pause

Typ der Arbeit	Energetische Arbeit				
	Energetische Arbeit		Informatische Arbeit		
Art der Arbeit	mechanisch	motorisch	reaktiv	kombinativ	kreativ
Was verlangt die Erfeldigung der Aufgabe vom Menschen?	Kräfte abgeben "Mechanische Arbeit" im Sinne der Physik	Bewegungen ausführen Genaue Bewegungen bei geringer Kraftabgabe	Reagieren und Handeln Informationen aufnehmen und darauf reagieren	Informationen kombinieren Informationen mit Gedächtnisinhalten verknüpfen	Informationen erzeugen Verknüpfen von Informationen zu "neuen" Informationen
Weiche Organe oder Funktionen werden beansprucht?	Muskeln Sehnen Skelett Atmung Kreislauf	Sinnesorgane Muskeln Sehnen Kreislauf	Sinnesorgane Reaktions-, Merkfähigkeit sowie Muskeln	Denk- und Merkfähigkeit sowie Sinnesorgane	Denk-, Merk- sowie Schlussfolgerungsfähigkeit
Beispiele	Tragen	Montieren	Autofahren	Konstruieren	Erfinden

Typ der Arbeit:

Abbildung 7.9: Systematik der Typen und Arten von Arbeit



Arbeitsleistung:

Abbildung 7.10: Struktur der Arbeitsleistung

- Montagsauto
- Ermüdung durch Erholung entgegenwirken

### 7.6.2 Arbeitspsychologie

- Beleuchtung
- Farbe
- Schall
- Klima
  1. Lufttemperatur
  2. Luftfeuchtigkeit
  3. Wärmestrahlung

## 4. Luftgeschwindigkeit

## • Arbeitsplatz

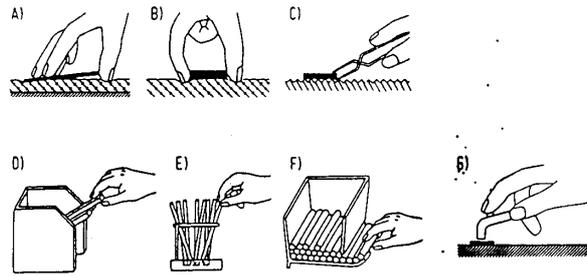


Abbildung 7.11: Greifhilfen

- I. Verschiebungssicheres Abkanten auf einer Schaustoffunterlage
- II. Greifen durch Zufassungsgriff
- III. Greifen mit Kreuzpinzette von gerippter Unterlage
- IV. Entnahme aus Fächern
- V. Entnahme der teilweise vereinzelt Teile aus ringförmiger Halterung
- VI. Entnahme der Teile von Vereinzlungsstrecke des Behälters
- VII. Aufnahme mit Vakuumpinzette

## 7.7 Arbeitssysteme

- REFA (Reichsausschuß für Arbeitsstudien)  
6 Schritte zur Gestaltung von Arbeitssystemen:
  1. Ziel setzen
  2. Aufgabe abgrenzen
  3. *ideale* Lösung suchen
  4. Daten Sammeln und praktikable Lösungen entwickeln
  5. Optimale Lösung auswählen
  6. Lösung einführen / realisieren + Zielerfüllung kontrollieren
- MTM (Methode time measurement) (qualitativ und quantitativ). Die ursprünglich 17 Vorgangselemente wurden auf 6 reduziert:
  - a. Hinlangen
  - b. Bringen
  - c. Greifen
  - d. Loslassen

e. Verrichten

f. Fügen

MTM wird aus einer Bewegungszeittabelle abgelesen und in 1 TMU ( $\frac{1}{100.000}h = 0,036s$ ) gemessen.

- WF (Work factor) (wie MTM, aber nur quantitativ)

## 7.8 Montage

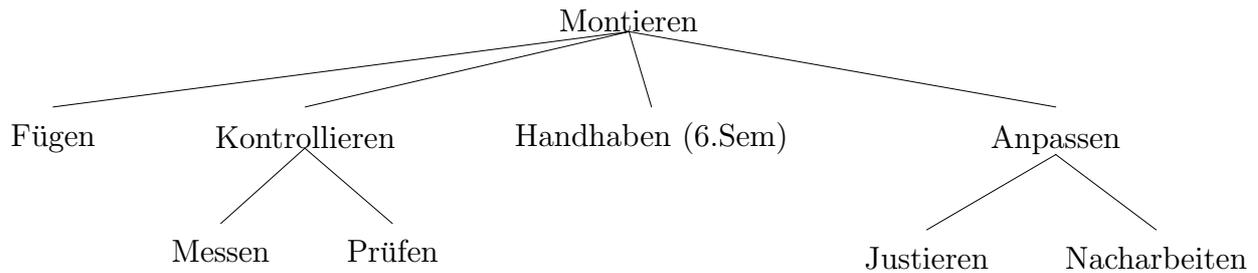


Abbildung 7.12: Übersicht Vorrichtungen

- auf montagegerechte Konstruktion achten
- Keine Späne in der Montage!
- Anpassungen möglichst vermeiden
- Unterteilung in:
  - Primäre Tätigkeiten (Fügen) (Wertschöpfung!!!)
  - Sekundäre Tätigkeiten (alles andere)

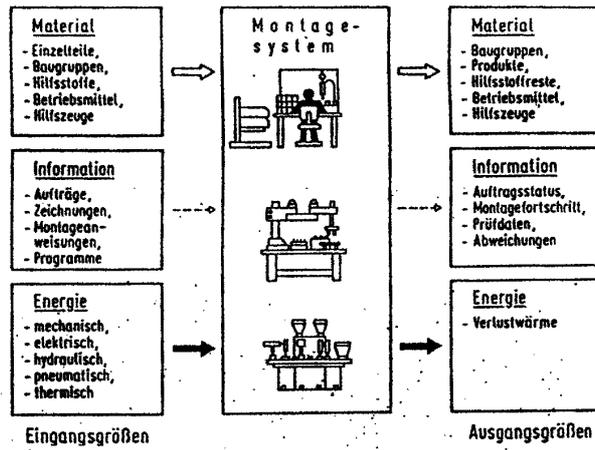


Abbildung 7.13: Montagesystem

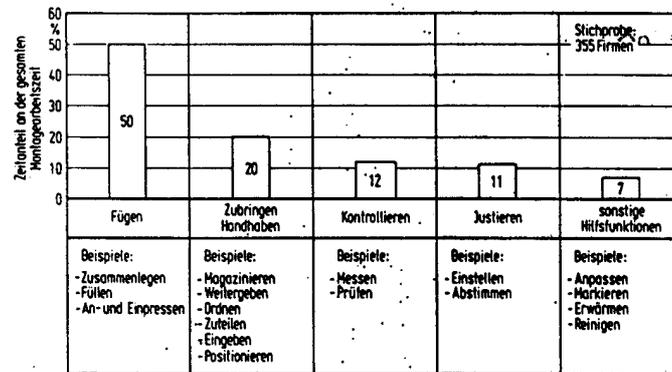


Abbildung 7.14: Verteilung der Tätigkeiten im Montagebereich

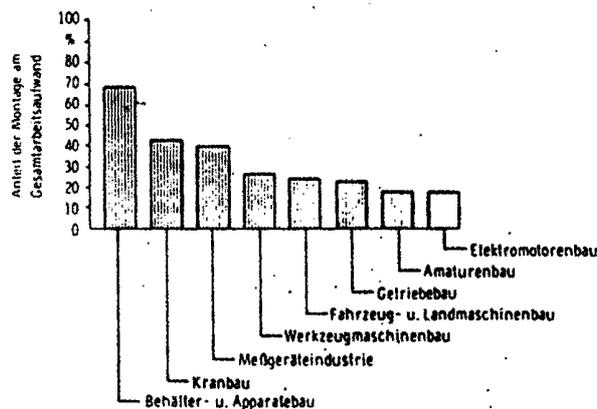


Abbildung 7.15: Aufwand für Montage nach Industriezweig