

# Fertigungsgerechte Konstruktion

**Prof. Dr.-Ing. Michael Lätzer**

Professur für Konstruktion

Fakultät für Maschinenbau und Fahrzeug-  
technik

Institut für Konstruktion und CA-Techniken

[michael.laetzer@thu.de](mailto:michael.laetzer@thu.de)

Raum D03

Sprechstunde nach Vereinbarung



# Inhalt

1 ORGANISATORISCHES	4
2 EINFÜHRUNG	10
3 URFORMGERECHTE GESTALTUNG	54
4 UMFORMGERECHTE GESTALTUNG	136
5 GESTALTUNG FÜR TRENNENDE FERTIGUNG	179
6 FÜGEGERECHTE GESTALTUNG	232
7 LITERATURVERZEICHNIS	300

# GESTALTUNG - 1 ORGANISATORISCHES

## 1 ORGANISATORISCHES

# GESTALTUNG - 1 ORGANISATORISCHES

## Studien- und Prüfungsordnung - Stupo

- Modul **Konstruktion 1** → besteht aus zwei Lehrveranstaltungen (LV)
  - LV Fertigungsverfahren
  - LV Fertigungsgerechte Konstruktion
  - Vorlesungen: 2 SWS
  - Studienleistungen: -
  - Prüfungsleistungen: K
- K = Klausurarbeit; 90 min

Modulkategorie	Modul/Lehrveranstaltung	Art	SWS	ECTS-Kreditpunkte		Studienleistung	Prüfungsleistung
				Lehrplansemester 1	2		
Mathematisch-naturwissenschaftliche Grundlagen	Mathematik 1	V	6	5		LN	K
	Physik 1	V	6	5		LN	K
Ingenieur-Wissenschaftliche Grundlagen	Werkstoffkunde	V	4	3			K
	Werkstoffprüfung	L	2		2	LA	
	Technische Mechanik 1: Statik	V	6	5			K
	Technische Mechanik 2: Festigkeitslehre	V	6		5		K
Grundlagen Konstruktion	CAx 1	CAD	V + L	2	5	E, 30h	E, 30h
		Visualisierung	V + L	2			
	CAx 2	CAx	V + L	2		E, 60h, BE, RE	K
		Präsentation	S + Ü	2	5		
	Konstruktion 1	Fertigungsverfahren	V	2			K
		Fertigungsgerechte Konstruktion	V	2	5		
	Konstruktion 2		V + U	5	5	E, 60h	K

## Studien- und Prüfungsordnung - Stupo

- LV Fertigungsverfahren:
  - FZ1 – Herr Dr. K.-H. Füller (Lehrbeauftragter)
  - MBA – Herr Prof. S. Faller
  - MBA – Herr Prof. S. Faller
  
- LV Fertigungsgerechte Konstruktion:
  - FZ1 - Herr Prof. Dr. M. Kalenborn
  - MBA - Herr Prof. Dr. M. Kalenborn
  - MBB - Herr Prof. Dr. M. Lätzer

## Studien- und Prüfungsordnung - Stupo

- Prüfungsleistungen:
  - 90 min. Prüfung mit Wissensfragen und Berechnungen
  - Hilfsmittel: keine
  - Hinweis: eine Formelsammlung für Berechnungen sowie entsprechende Tabellen und Diagramme werden gegeben

	Modulprüfung Konstruktion 1	Fakultät Maschinen- und Fahrzeugbau
		Prof. Dr.-Ing. Annika Götz
		Prof. Dr.-Ing. Michael Lätzter

### PRÜFUNG KONSTRUKTION 1

Prüfungsdaten: 90 min. (Fertigungsverfahren + Fertigungsgerechte Konstruktion)  
Studiengang: Maschinenbau und Fahrzeugtechnik  
zugelassene Hilfsmittel: Schreibzeug, Taschenrechner

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	$\Sigma$
Punkte	$k_{1,1}$	$k_{1,2}$	$k_{1,3}$	$k_{1,4}$	$k_{1,5}$	$k_{1,6}$	$k_{1,\Sigma}$

Studiengang: \_\_\_\_\_

Matrikelnummer: \_\_\_\_\_

Name, Unterschrift: \_\_\_\_\_

Raum: \_\_\_\_\_

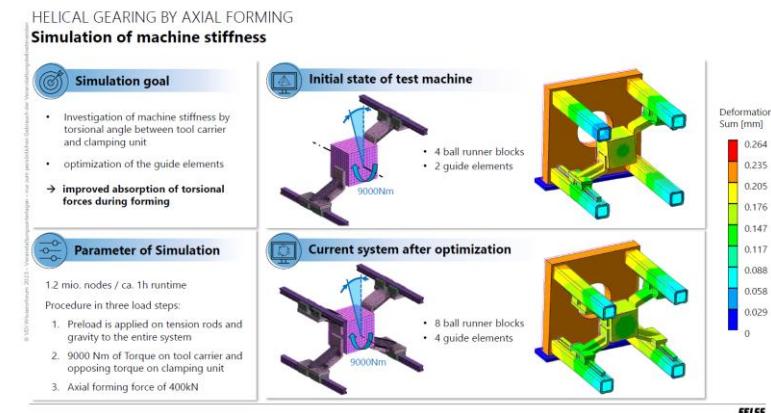
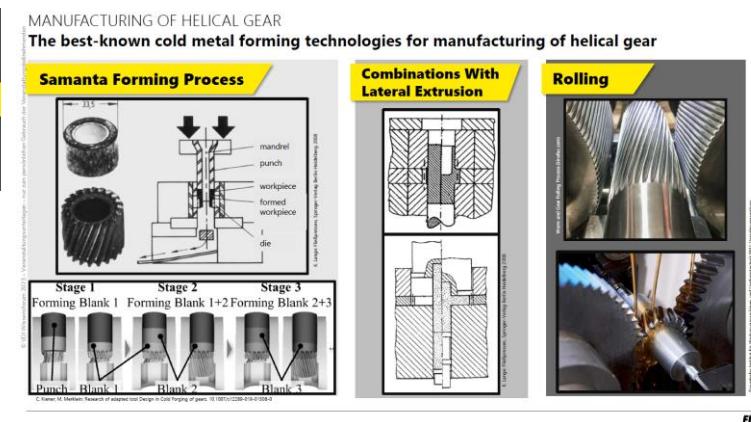
Auf die Prüfungsordnung wurde hingewiesen! Weitere Informationen finden Sie in der Aufgabenstellung!  
Bitte prüfen Sie eigenverantwortlich, dass die Aufgabenstellung und etwaige Zusatzblätter oder herausgetrennte Blätter mit Ihrem Namen versehen sind.

## Semesterablaufplan – MBB

KW	Woche	V/Ü/T	MB	Raum	ca. bis Folie
40	1		Freitag - 1. Einheit - <b>08:00 Uhr - 09:30 Uhr</b> Tag der Deutschen Einheit		
41	2	V	1 Organisatorisches, 2 Einführung	B308	40
42	3	V	3 Urformgerechte Gestaltung	B308	80
43	4	V	3 Urformgerechte Gestaltung	B308	120
44	5	V	4 Umformgerechte Gestaltung	B308	160
45	6	V	<b>Selbststudium 4 Umformgerechte Gestaltung</b>	B308	200
46	7	V	5 Gestaltung für trennende Fertigung	B308	240
47	8		Exkursionswoche		
48	9	V	7 Fügegerechte Gestaltung	B308	280
49	10	V	<b>Gastvortrag - Dr.-Ing. Nadezda Missal</b>	B308	
50	11	V	7 Fügegerechte Gestaltung	B308	320
51	12	V	Prüfungsvorbereitung	B308	
52	13		Vorlesungsfreie Zeit		
1	14		Vorlesungsfreie Zeit		
2	15	V	Reserve	B308	
3	16	V	Reserve	B308	
4	17	V	Reserve	B308	

## Gastvortrag von Frau Dr.-Ing. Nadezda Missal

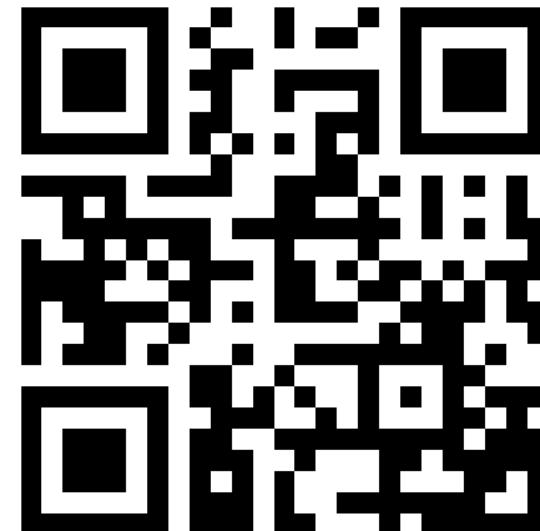
- **Wer?** Frau Dr. Nadezda Missal, Director Technology Center, Felss Systems GmbH
- **Was?** Einblick in die Forschung und Entwicklung bei Felss
- **Wann?** **05.12.2025 08:00 Uhr - 09:30 Uhr**
- **Wo?** B308 THU, PWS



## 2 Einführung

**Welche Erwartungen haben Sie an diese Vorlesungsreihe? - MBB**

AnswerGarden: <https://answergarden.ch/5047606>



## Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580



## Was bedeutet fertigungsgerechte Konstruktion?

Was würden Sie machen, wenn Sie fertigungsgerecht konstruieren?

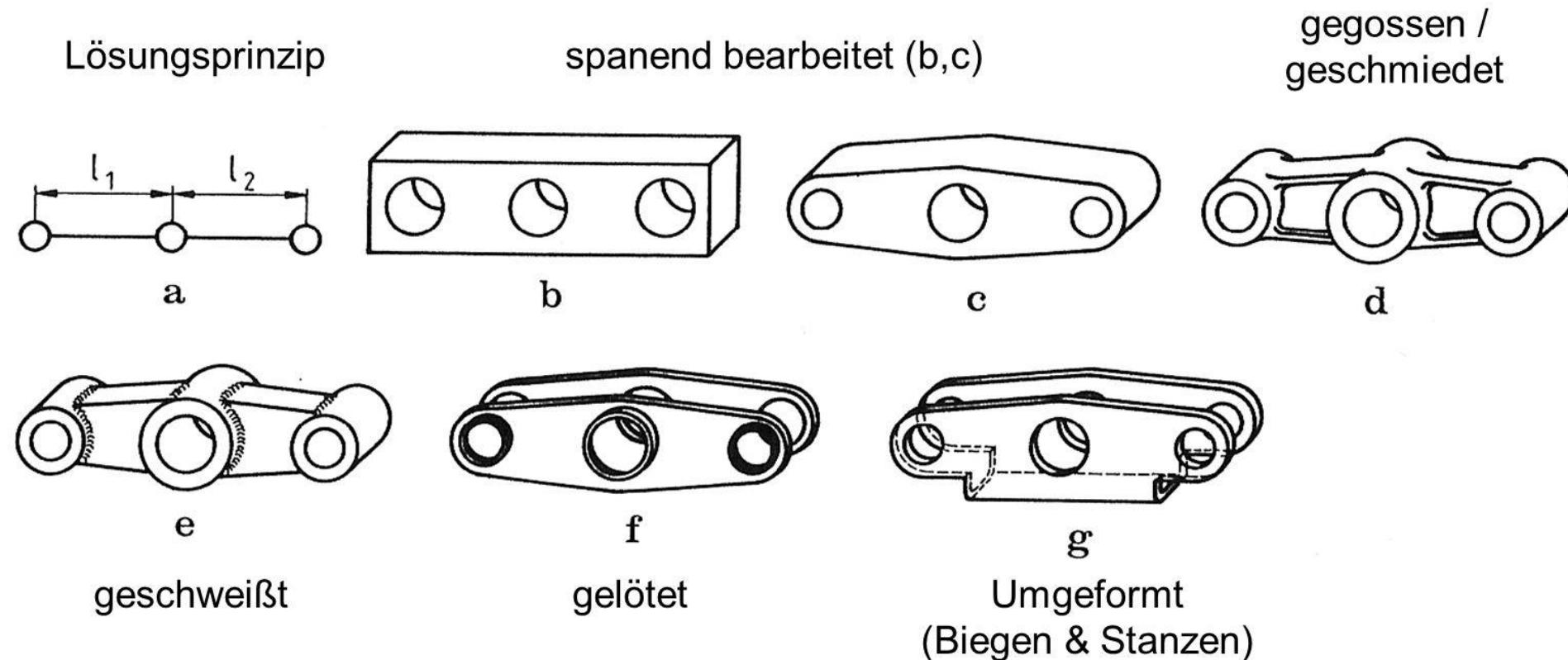
Auf was würden Sie achten?

Welches Fertigungsverfahren wählen Sie aus?

Welche Wandstärken sind möglich?

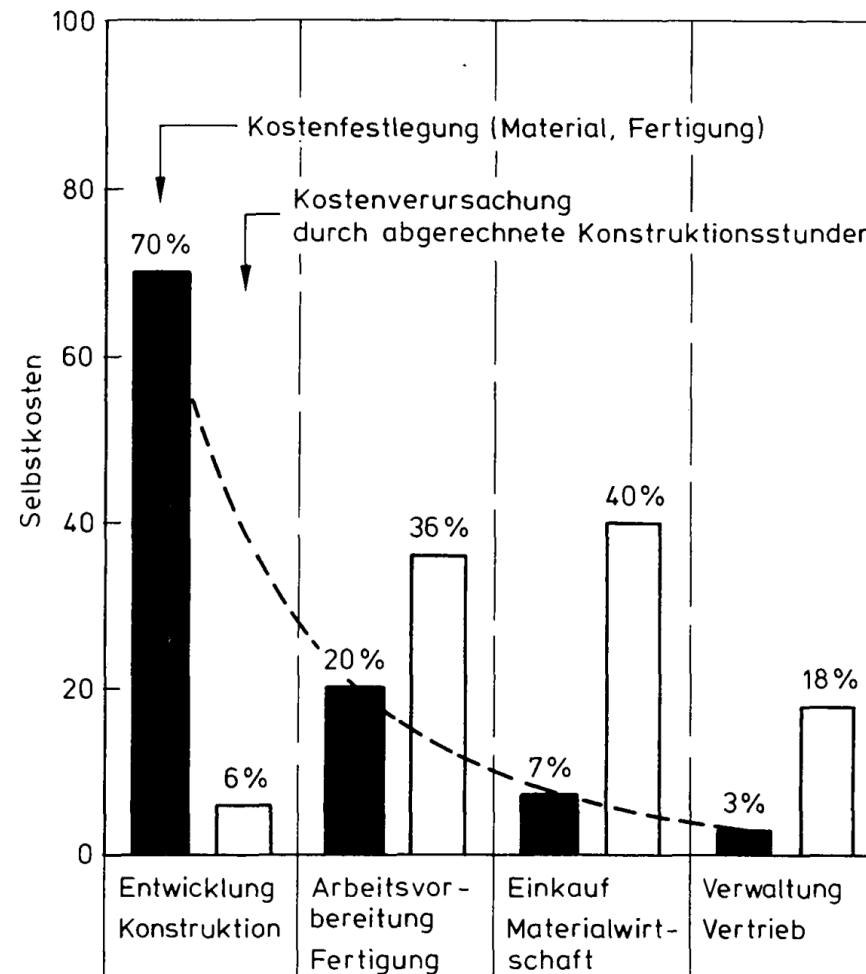
Spielt die Stückzahl eine Rolle?

## Was bedeutet fertigungsgerechte Konstruktion?



→ Die Gestalt ist abhängig vom vorgesehenen Fertigungsverfahren

## Warum sollte die Konstruktion fertigungsgerecht sein?



## Einmalkosten vs. Wiederkehrende Kosten

Kosten in der Konstruktion sind Einmalkosten.

Kosten in der Fertigung sind Wiederkehrende Kosten, sie fallen bei jedem Bauteil an.

→Je höher die Stückzahlen sind, umso mehr lohnt es sich in der Konstruktion den Fertigungsprozess zu berücksichtigen.

## Der Konflikt beim Konstruieren & Gestalten



## Was ist die beste Konstruktion?

Die beste Konstruktion ist die Lösung, die den besten Kompromiss zwischen den widersprüchlichen Anforderungen findet.

Kennen Sie widersprüchliche Anforderungen?

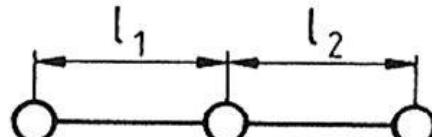
## Fertigungs-, kosten- und werkstoffgerecht

Fertigungsgerecht bedeutet, Gestalt und Werkstoff eines Bauteils so festzulegen, dass es mit den Möglichkeiten des vorgesehenen Fertigungsverfahrens problemlos und in guter Qualität hergestellt werden kann. Dabei gilt:

- Hauptkosten für ein Bauteil entstehen in der Fertigung.
- Über die Höhe der Kosten entscheidet maßgeblich der Konstrukteur.
- Kostengerecht oder kostengünstig konstruieren heißt daher, fertigungsgerecht konstruieren.
- Da nicht jedes Fertigungsverfahren für jeden Werkstoff geeignet ist, bedeutet kostengerecht auch werkstoffgerecht konstruieren.

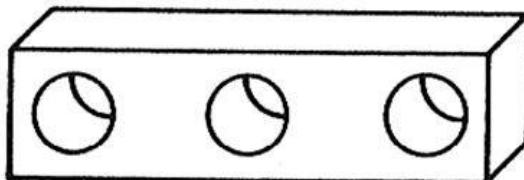
## Die Gestalt ist abhängig vom vorgesehenen Fertigungsverfahren

Lösungsprinzip



a

spanend bearbeitet (b,c)



b

gegossen /  
geschmiedet

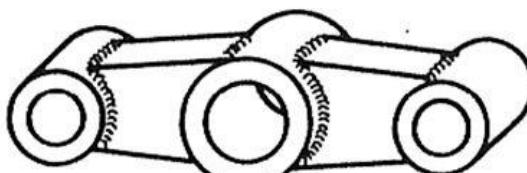


c



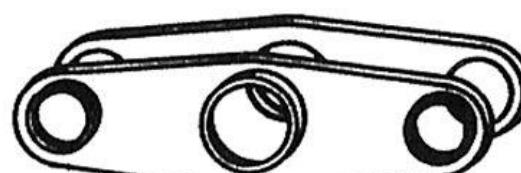
d

geschweißt



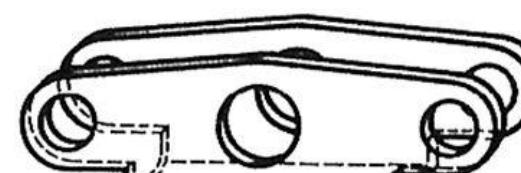
e

gelötet



f

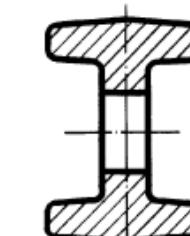
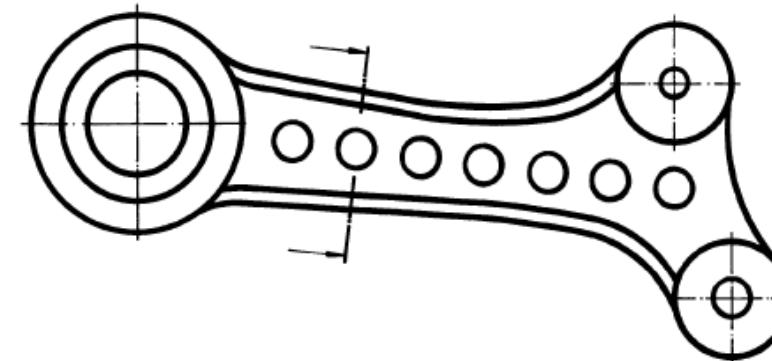
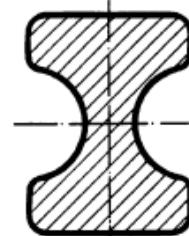
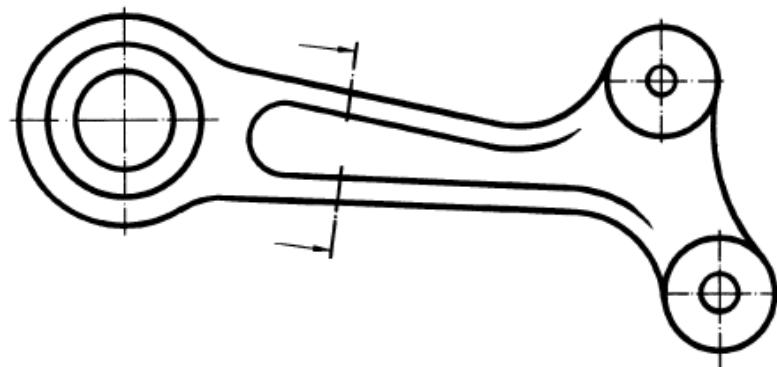
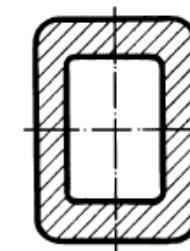
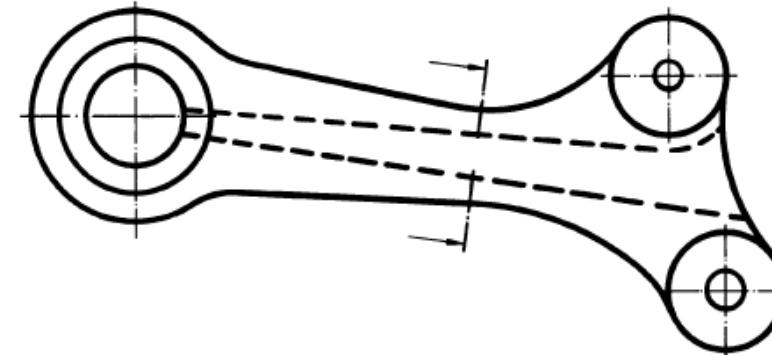
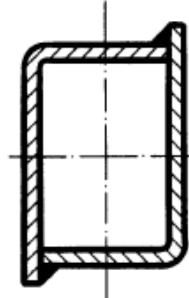
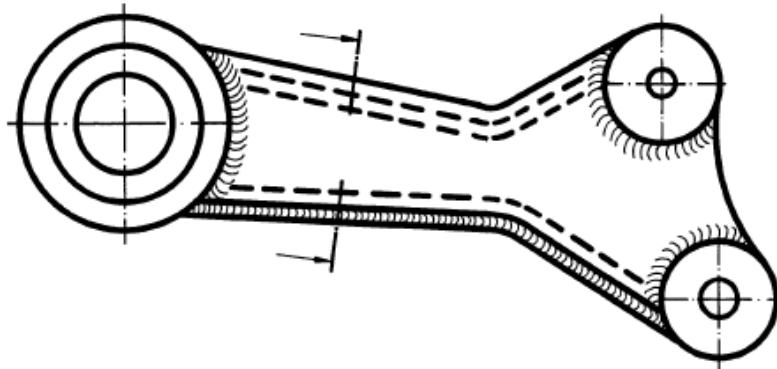
Umgeformt  
(Biegen & Stanzen)



g

## Beispiel Lenkhebel

Welche Fertigungsprozesse sehen Sie?



## Fertigungsgrundsätze

Für jedes Fertigungsverfahren gelten eigene Gestaltungsgrundsätze.

Richtlinien:

- Fertigung auf den Werkstoff abstimmen.
- Fertigung so einfach wie möglich gestalten.
- Keine unnötige Präzision festlegen.
- Alle Möglichkeiten der Vereinheitlichung ausnutzen.

Durch Beachten der Grundregeln „einfach“ und „eindeutig“ verhält sich der Konstrukteur bereits fertigungsgerecht.

## Fertigungsverfahren nach DIN 8580

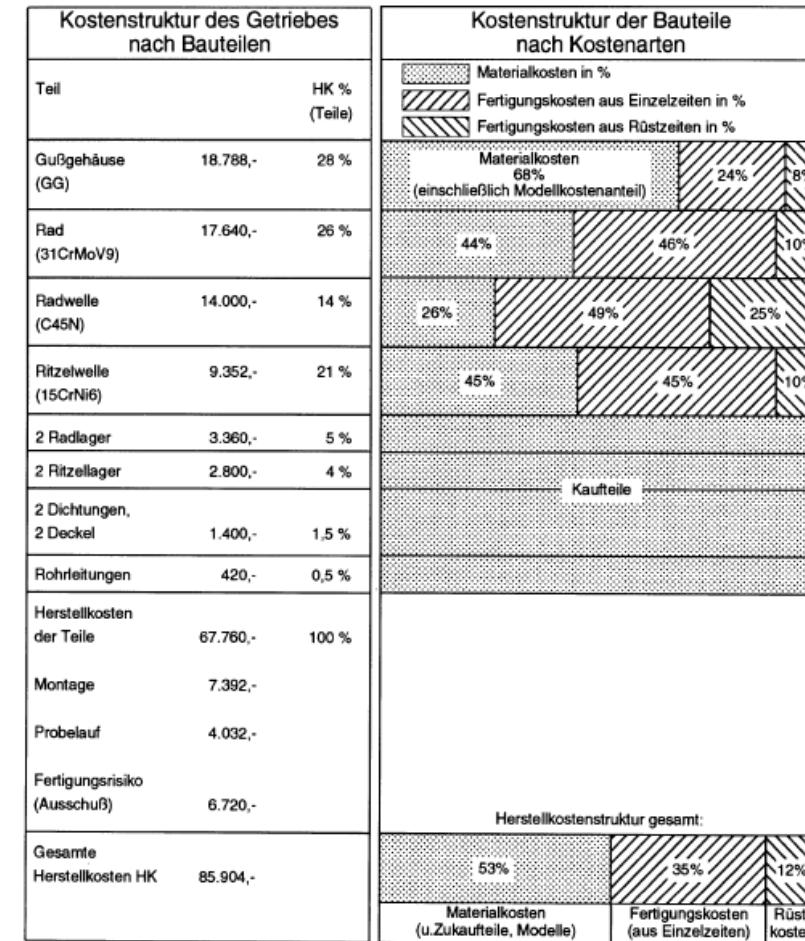
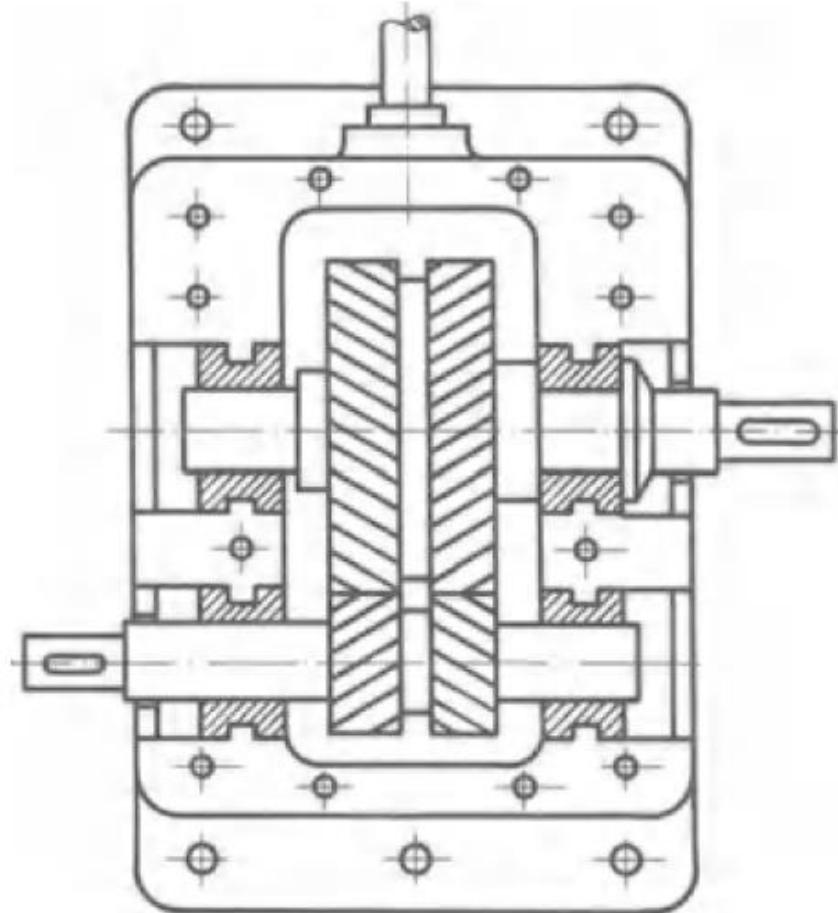


## Transformation in die Gerechtigkeiten

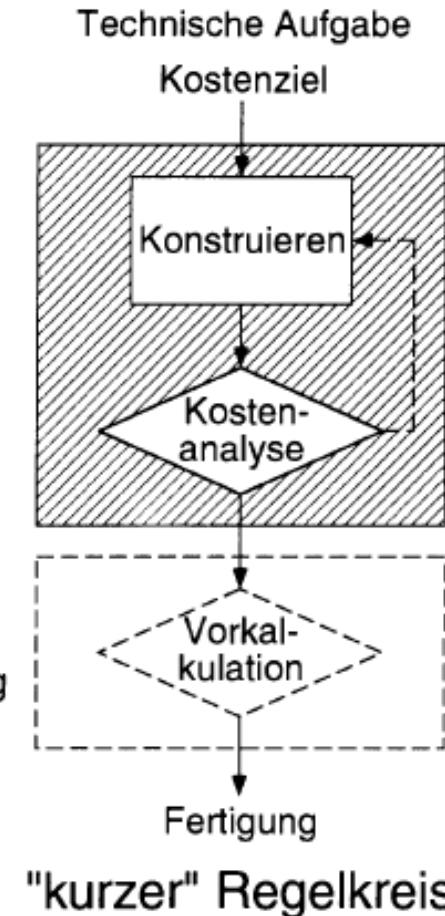
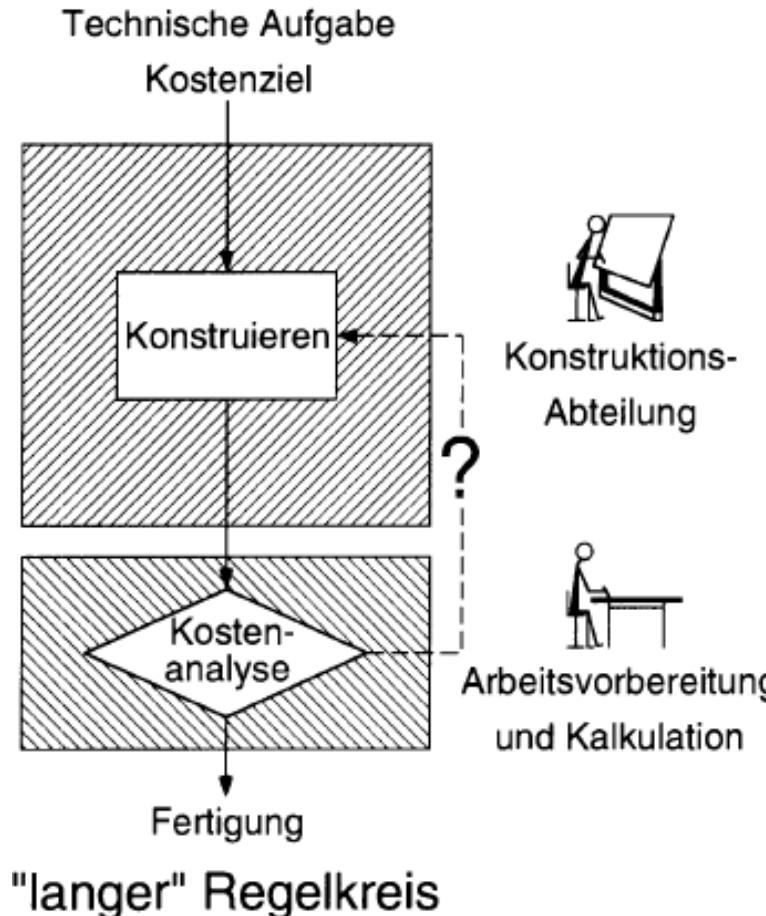


## 2.1 Allgemeine Grundsätze für fertigungsgerichtetes Gestalten

## Kostenstrukturen einer Baugruppe



## Kostenfrüherkennung



Ein kurzer Regelkreis zwischen Konstruktion, Arbeitsvorbereitung und Kalkulation ist die Voraussetzung für die Kostenfrüherkennung.

Nur so ist es möglich, die Kosten z. B. nach Baugruppen oder Kostenarten (Material-, Rüst-, Einzelzeitkosten) aufzuschlüsseln.

## Target Costing

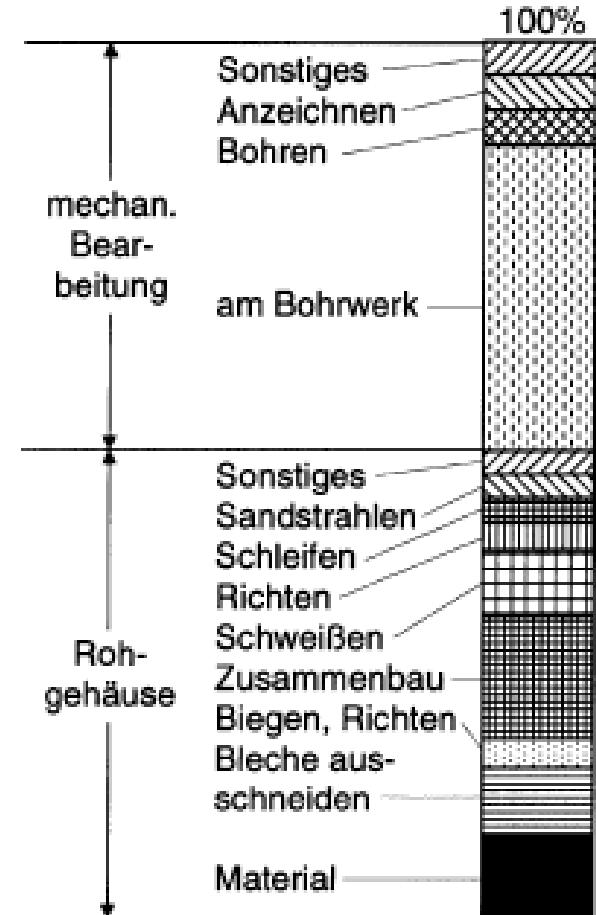
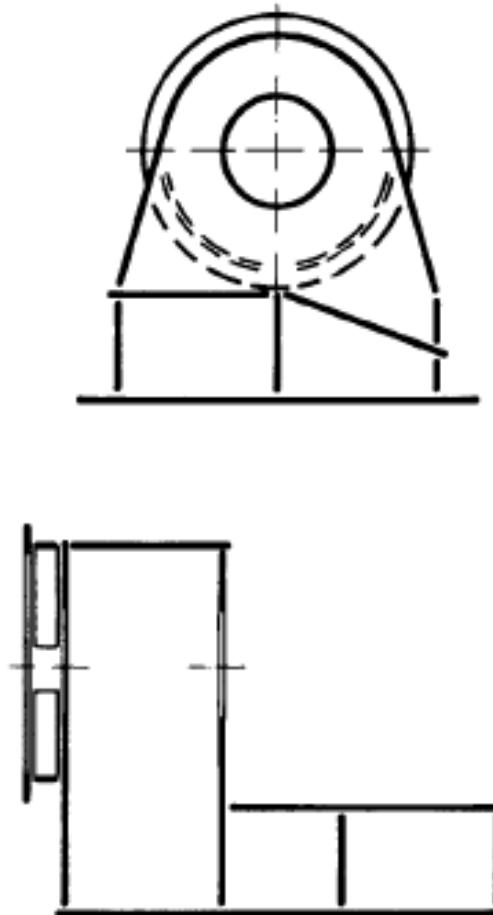
Die Anforderungsliste sollte neben den technischen auch wirtschaftliche Anforderungen enthalten, insbesondere ein Kostenziel.

Ausgangspunkt: „Welchen Preis sind die Kunden, für ein Produkt, das bestimmte Anforderungen und Qualitätsmerkmale erfüllt, zu zahlen?“

Die **zentrale Frage** lautet nicht: „Was wird das Produkt kosten?“, sondern „**Was darf das Produkt kosten?**“

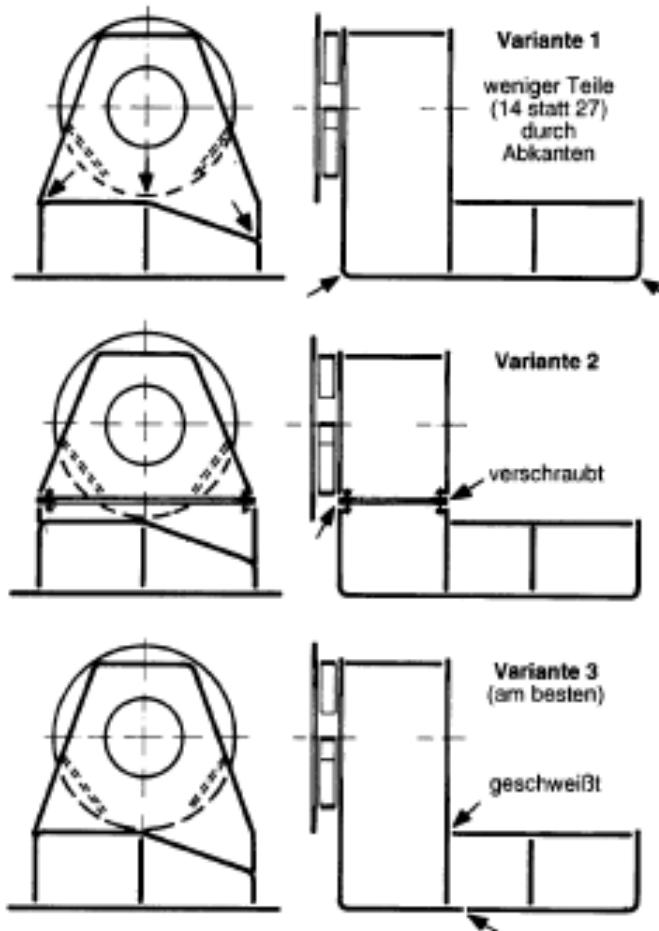
**Die Kunden sollte Ausgangspunkt aller Konstruktionsüberlegungen sein.** Ihre Wünsche sind zum Beispiel durch Marktumfragen oder direkten Kundenkontakt zu ermitteln und in konkrete Anforderungen an die Funktionen und den Preis des Produktes umzuwandeln.

## Beispiel - Cost Optimization



Das Kostenziel des geschweißten Lagerbocks war es, die Herstellkosten um 10 % zu senken.  
Die Herstellkostenstruktur der Lagerbockvarianten zeigt, wo die Schwerpunkte der Kosten-  
senkung liegen

## Beispiel - Cost Optimization



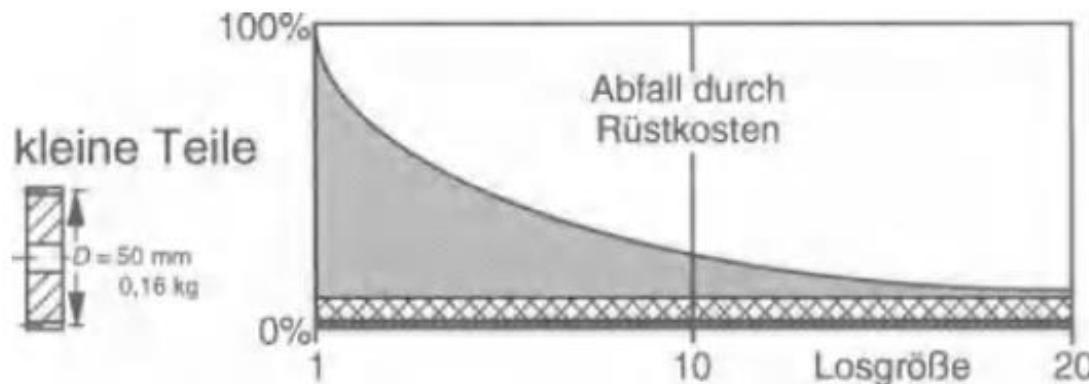
Variante 1 hat eine geringere Teilezahl und eine geringere Schweißnahtlänge.

Bei Variante 2 ist der Öltank verschraubt.

Variante 3 ist die kostengünstigste Lösung durch die Fertigung auf einer Karussell-drehmaschine mit niedrigeren Bearbeitungszeiten und Stundensätzen.

## Baugröße – kleine Teile

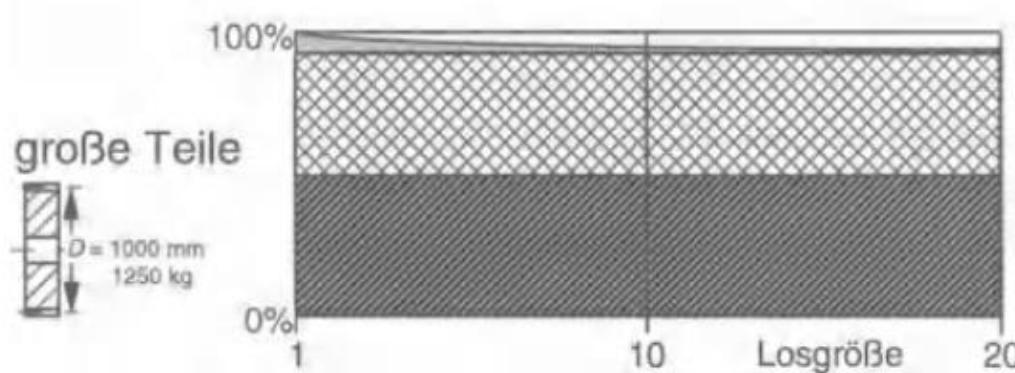
kleine oder sehr komplizierten Teile:



- Produktnormung (Gleichteile, Wiederholteile, Teilefamilien, Baureihen, Baukästen)
- Losgröße erhöhen
- Dies kann zu Lasten der Baugröße oder der Materialkosten erfolgen

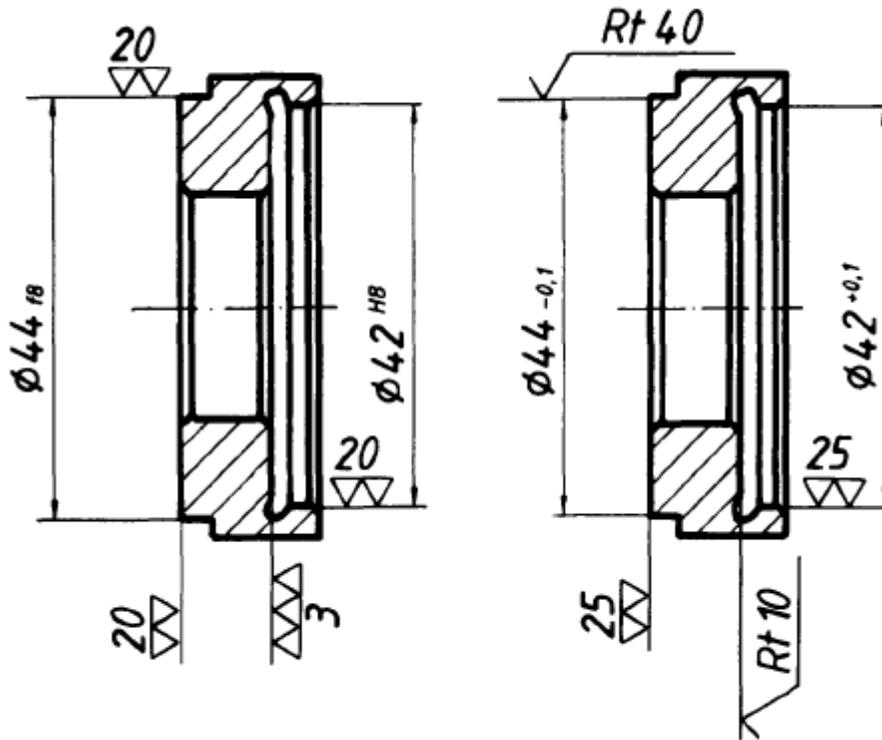
## Baugröße – sehr große Teile

sehr große oder sehr einfache Teile:



- Materialkosten einsparen
- einzelzeitabhängige Fertigungskosten senken
- kleinere Baugröße
- preiswerteres Material
- weniger Material (geringere Wanddicke, weniger Abfall)
- einfach herzustellende Geometrie

## Toleranzentfeinerung



### Links:

- nach dem Vergüten ist ein zweiter Arbeitsvorgang Drehen notwendig
- Wärmebehandlung beeinflusst die Maßhaltigkeit negativ

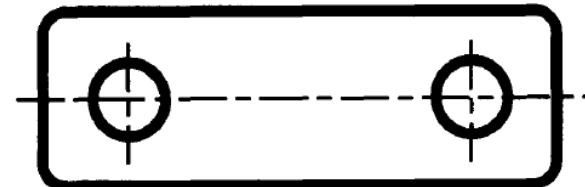
### Rechts:

- Oberflächengüten und der Durchmessertoleranzen vergrößert
- Kein Nachdrehen nach dem Vergüten notwendig

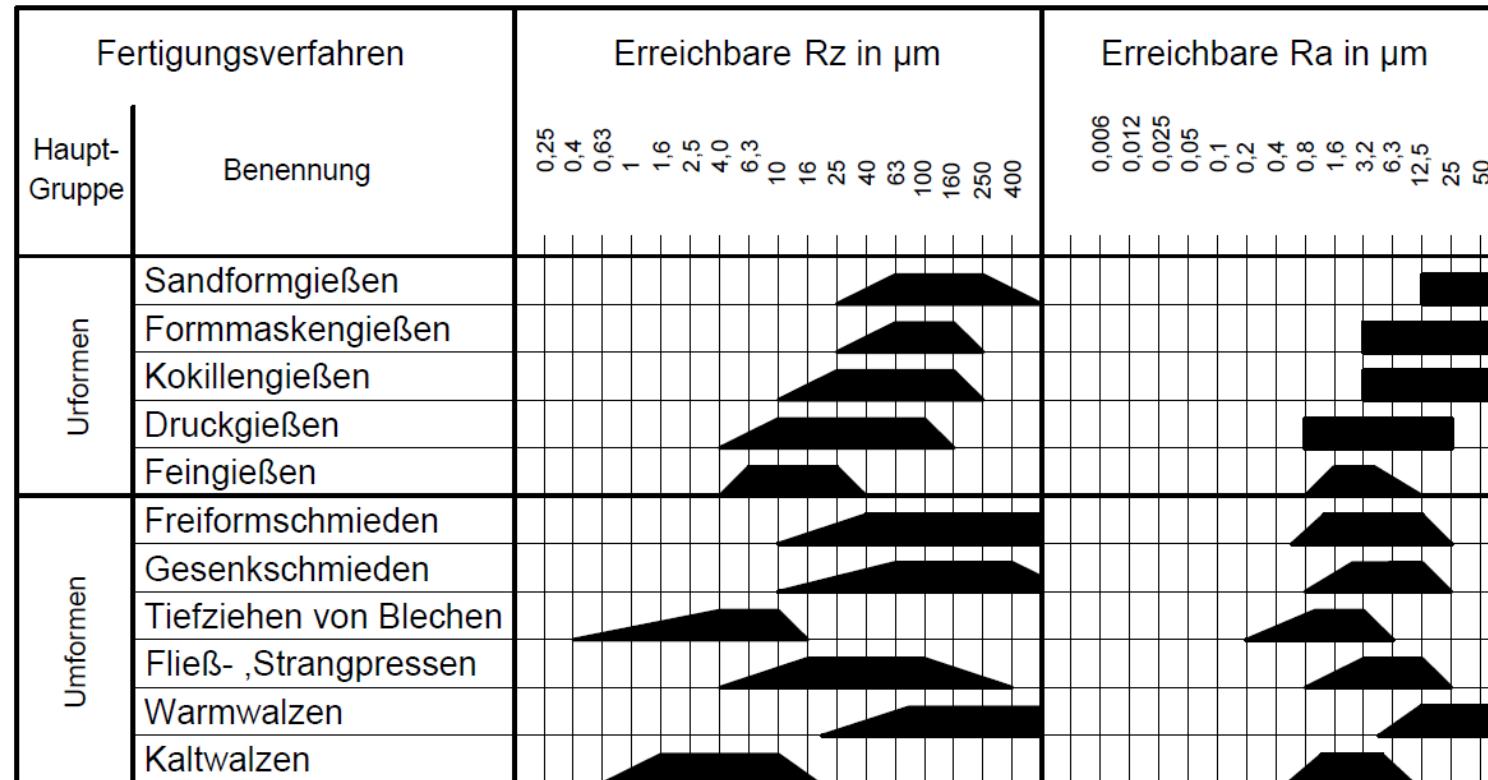
## Toleranzentfeinerung

Kurz gesagt:

- Toleranzen so groß wie möglich und so fein wie nötig wählen.
- Möglichst so, dass sie knapp vor dem nächsten Kostensprung liegen.
- Grobtolerant fertigen und feintolerant montieren.

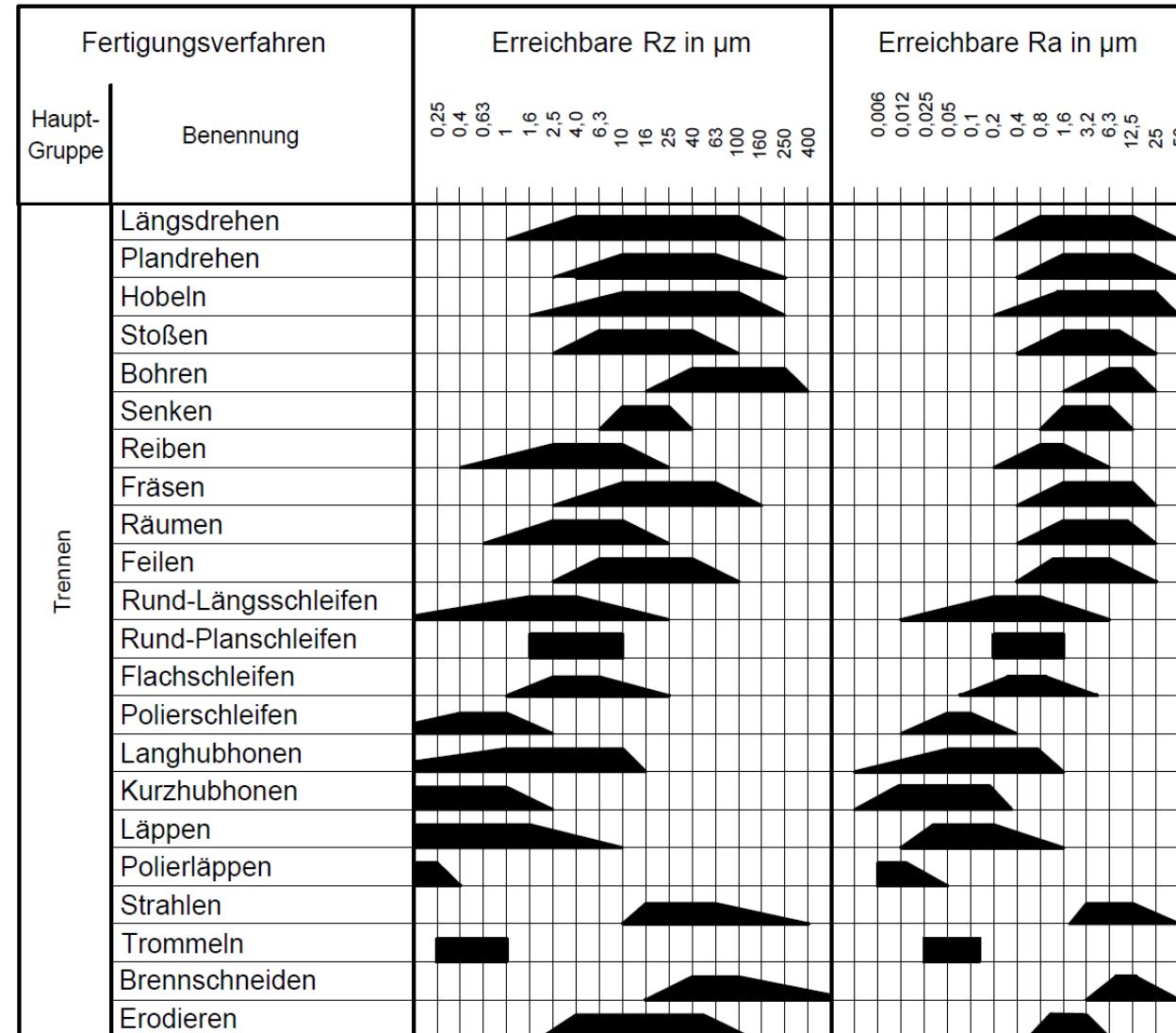


## Erreichbare Toleranzen und Oberflächenrauheit



Die durch parallele Linien gekennzeichneten Bereiche werden mit normalem Fertigungsaufwand erreicht.

# GESTALTUNG - 2 Einführung



## 2.2 Nachhaltigkeit und fertigungsgerechte Konstruktion in der Produktentwicklung

# GESTALTUNG - 2 Einführung

## Allgemeine Vorüberlegungen zur Nachhaltigkeit / Produktentwicklung



# Allgemeine Vorüberlegungen zur Nachhaltigkeit / Produktentwicklung

Die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (**Sustainable Development Goals**) sind politische Zielsetzungen der Vereinten Nationen (**United Nations**).

Diese Ziele sollen weltweit der Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung auf ökologischer, sozialer aber auch ökonomischer Ebene dienen.

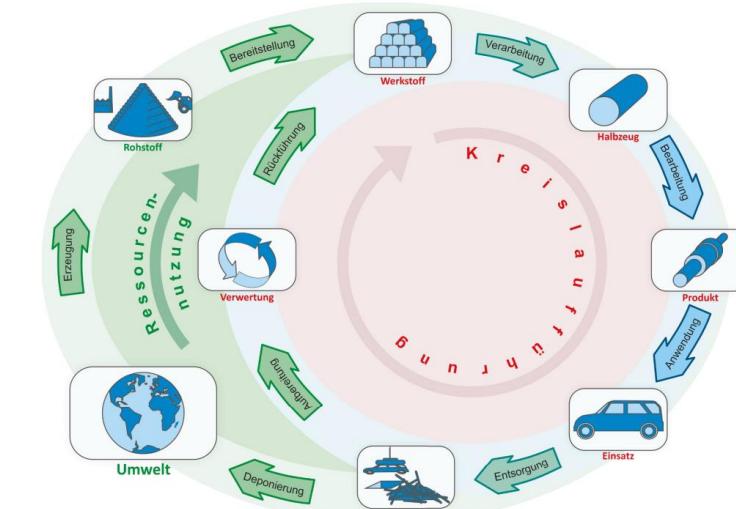
## Allgemeine Vorüberlegungen zur Nachhaltigkeit / Produktentwicklung

Die **Produktentwicklung** beschreibt den **gesamten Prozess** des **Entwickelns** und des **Konstruierens** und setzt sich aus folgenden Teilbereichen zusammen:

- Konstruktion, Berechnung und Simulation
- Versuch und Prototypenbau (Musterbau)
- Projektierung und Normung
- CAD-Betreuung
- Patentwesen
- Wertanalyse

## Allgemeine Vorüberlegungen zur Nachhaltigkeit / Produktentwicklung

- Differenzierte Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus
  - Entwicklung, Herstellung, Nutzung und Entsorgung kennzeichnen die zentralen Phasen des Lebenszyklus
  - **Es gilt:** Jeder Einsatz von natürlichen Ressourcen verursacht Kosten und ruft Umweltauswirkungen hervor.
  - **Ziel:** Ressourcenbewusste und vorausschauende Produktentwicklung um den Ressourceneinsatz und die späteren Umweltauswirkungen maßgeblich zu steuern.

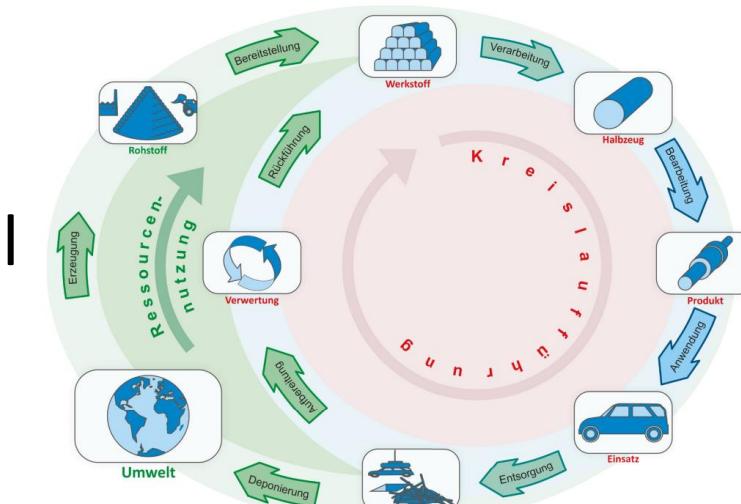


## Allgemeine Vorüberlegungen zur Nachhaltigkeit / Produktentwicklung

- Nachhaltig und umweltgerecht gestaltete Produkte sollten wie folgt gestaltet sein:
  - langlebig
  - reparierbar
  - materialeffizient
  - energieeffizient
  - problemstoffarm
  - aus nachwachsenden Rohstoffen
  - kreislauffähig

## Allgemeine Vorüberlegungen zur Nachhaltigkeit / Produktentwicklung

- Objektive Bestandsaufnahme der eigenen Nachhaltigkeit → Bilanzen erstellen:
  - Wirtschaftsbilanz + Ökobilanz + Human Kapital



- **Ökobilanz (Life Cycle Assessment)**
  - Ökologischer Fußabdruck *in Hektar (ha) Landfläche*
  - CO<sub>2</sub>-Fußabdruck *in Tonnen (t) Kohlenstoff-Emissionen*
  - Wasser-Fußabdruck *in Kubikmeter (m³) Süßwasser*



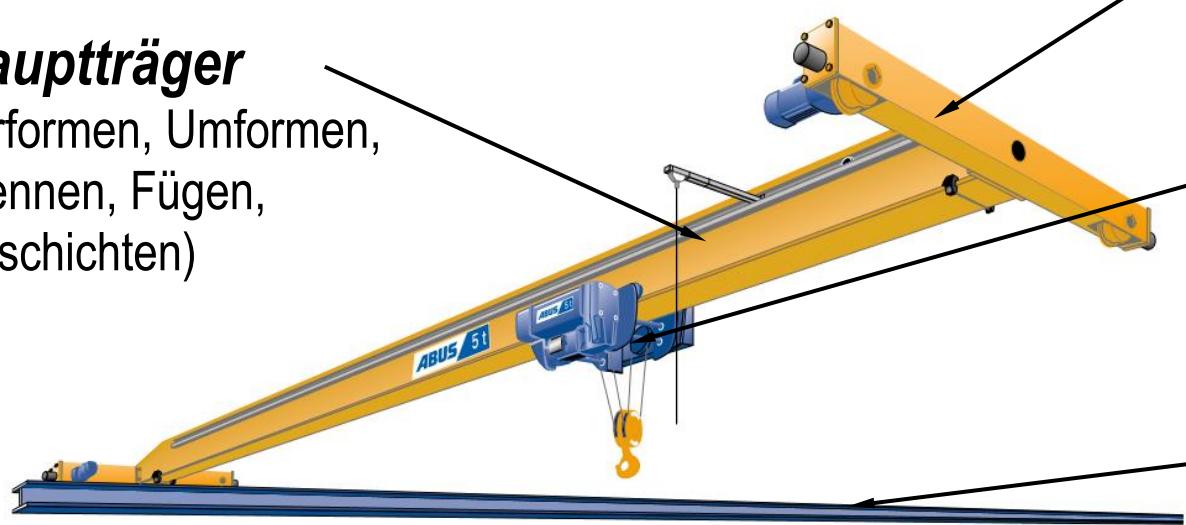
## Nachhaltigkeit am Beispiel eines Brückenkranes

Bestandteile eines Brückenkranes

Aufgabe: Fördern/Heben von Lasten

### **Hauptträger**

(Urformen, Umformen,  
Trennen, Fügen,  
Beschichten)



### **Fahrwerksträger**

(Urformen, Umformen, Trennen,  
Fügen, Beschichten)

### **Elektroseilzug**

(Urformen, Umformen, Trennen, Fü-  
gen, Stoffeigenschaften ändern,  
Beschichten)

### **(Kranbahn)**

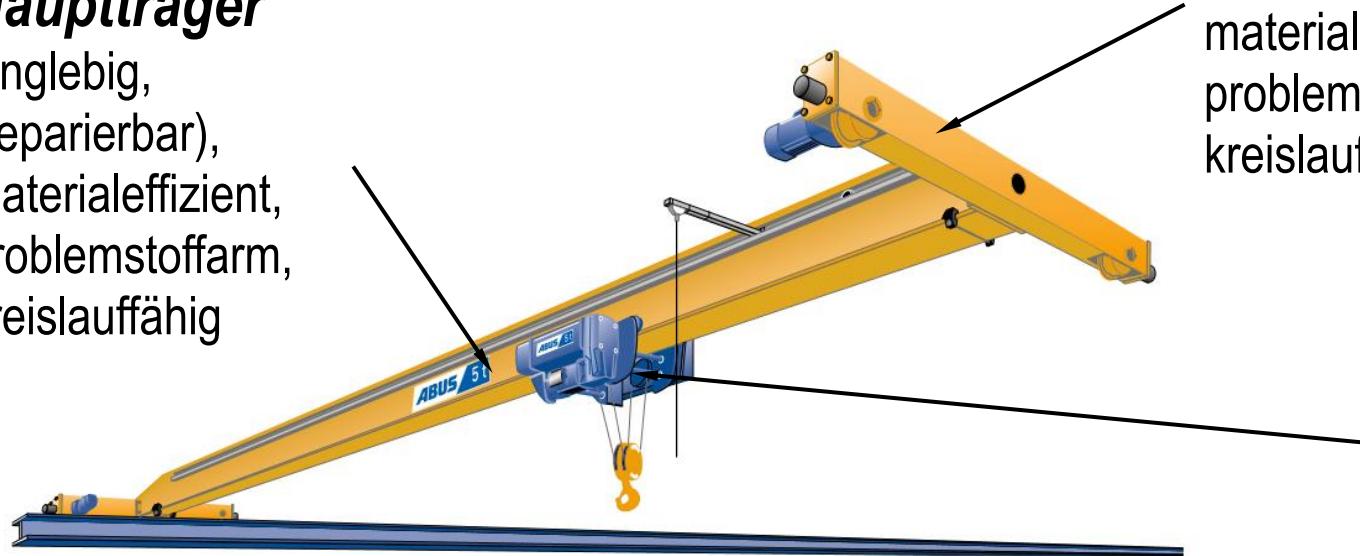
(Urformen, Umformen, Trennen,  
Fügen, Beschichten)

## Nachhaltigkeit am Beispiel eines Brückenkranes

- Gestaltungs-Prinzipien am Brückenkran

### **Hauptträger**

langlebig,  
(reparierbar),  
materialeffizient,  
problemstoffarm,  
kreislauffähig



### **Fahrwerksträger**

langlebig,  
reparierbar,  
materialeffizient,  
problemstoffarm,  
kreislauffähig

### **Elektroseilzug**

langlebig,  
reparierbar,  
materialeffizient,  
(problemstoffarm),  
kreislauffähig

## Nachhaltigkeit am Beispiel eines Brückenkranes

- Gestaltungs-Prinzipien am Fahrwerksträger
  - **langlebig:** Auslegung für > 20 Jahre; modularer Aufbau für Mechanik und Elektronik
  - **reparierbar:** modularer Aufbau; Antriebe, Räder/Radsätze, Puffer und Pufferplatte demontierbar
  - **materialeffizient:** aus genormten U-Stahl-Profilen (S355) verschweißt und mechanisch bearbeitet
  - **problemstoffarm:** kein Materialmix; Verwendung von wasserbasiertem Lack – Lacksystem C2
  - **kreislauffähig:** kein Materialmix, recyclingfähig



## 2.3 Checkliste

## Checkliste

Aufgabe klären:

- Kostenziel festgelegt
- Kostenziel aufgeteilt und grobe Kostenstrukturen ermittelt
- Vorausschauende Terminplanung vorhanden
- Frühzeitige und verbindliche Entscheidungen getroffen
- Teamarbeit und Beratung am Brett durchgeführt
- Kurzen Regelkreis zwischen Konstruktion, Arbeitsvorbereitung (Fertigung) und Kalkulation geschaffen
- Umfassende Informationsbeschaffung abgeschlossen

## Checkliste

Lösungen bewertet und ausgewählt mittels

- Kosten schätzen
- Kostendaten von Kauf- und Wiederholteilen abrufen
- Kurzkalkulationsverfahren
- Kostenwachstumsgesetze

## Checkliste

Konstruktive und wirtschaftliche Maßnahmen beachten

- Kleinere Baugröße erreicht
- Weniger Teile (Gleichteile, Normteile, Modulbauweise) verwendet
- Weniger Material (evtl. durch hochfeste Werkstoffe) verwendet
- Preiswerteres Material gewählt
- Optimierte Form/Gestalt gewählt
- Optimiertes Fertigungsverfahren gewählt
- Toleranzen und Oberflächenrauheit so grob wie möglich gewählt
- Montageaufwand geringgehalten
- Höhere Stückzahlen gewählt (z.B. durch mehr Gleichteile)

## Checkliste

Konstruktion durchführen

- Kontrolle des Kostenziels durchgeführt

Fertigen

- Nachkalkulation erledigt

## Checkliste

### Nachhaltigkeitsaspekte

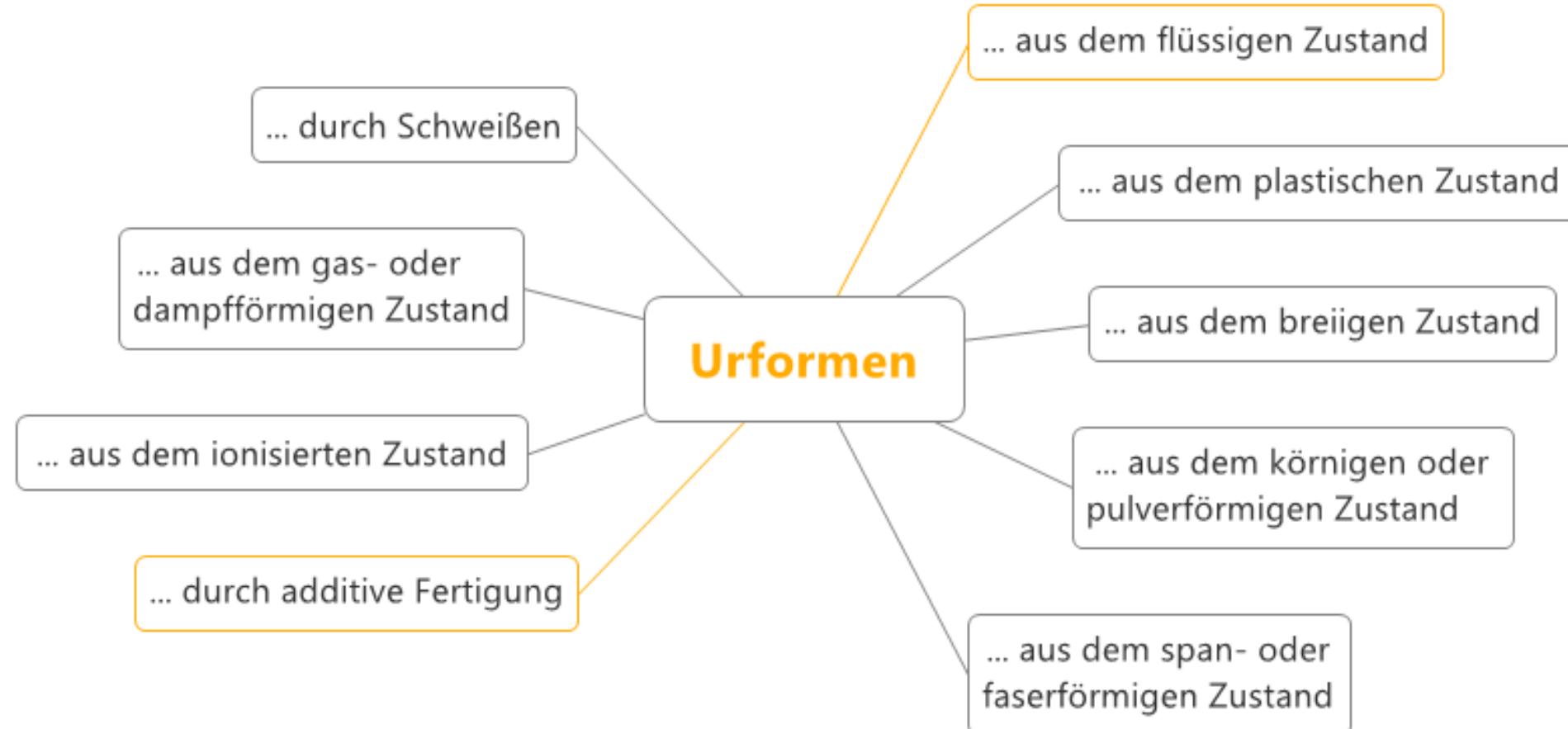
- Phasen des Lebenszyklus betrachtet
- Einsatz von Ressourcen hinterfragt

### Ist das Produkt

- Langlebig, reparierbar, materialeffizient, energieeffizient
- Problemstoffarm, aus nachwachsenden Rohstoffen, kreislauffähig

## 3 Urformgerechte Gestaltung

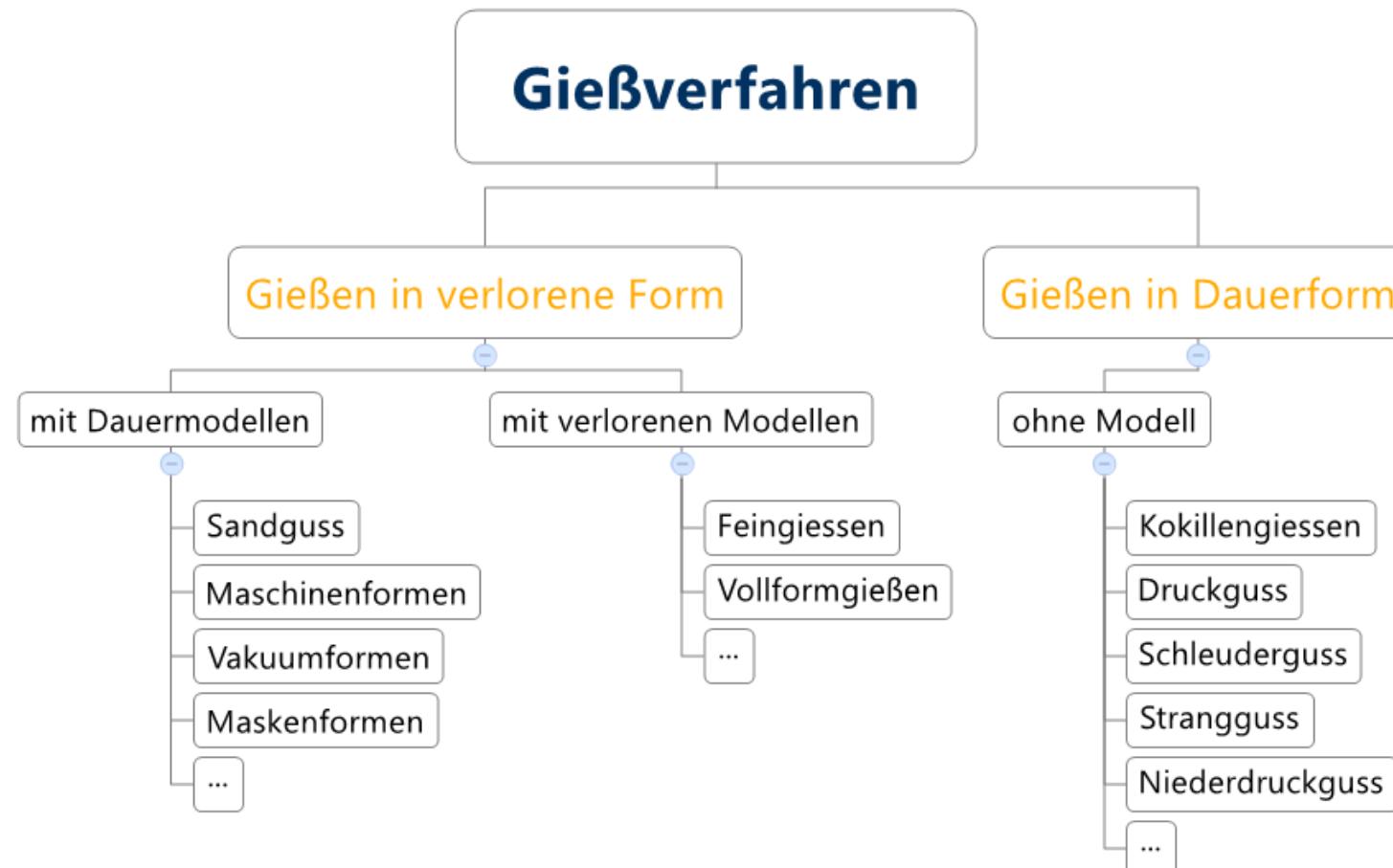
## Überblick Urformen



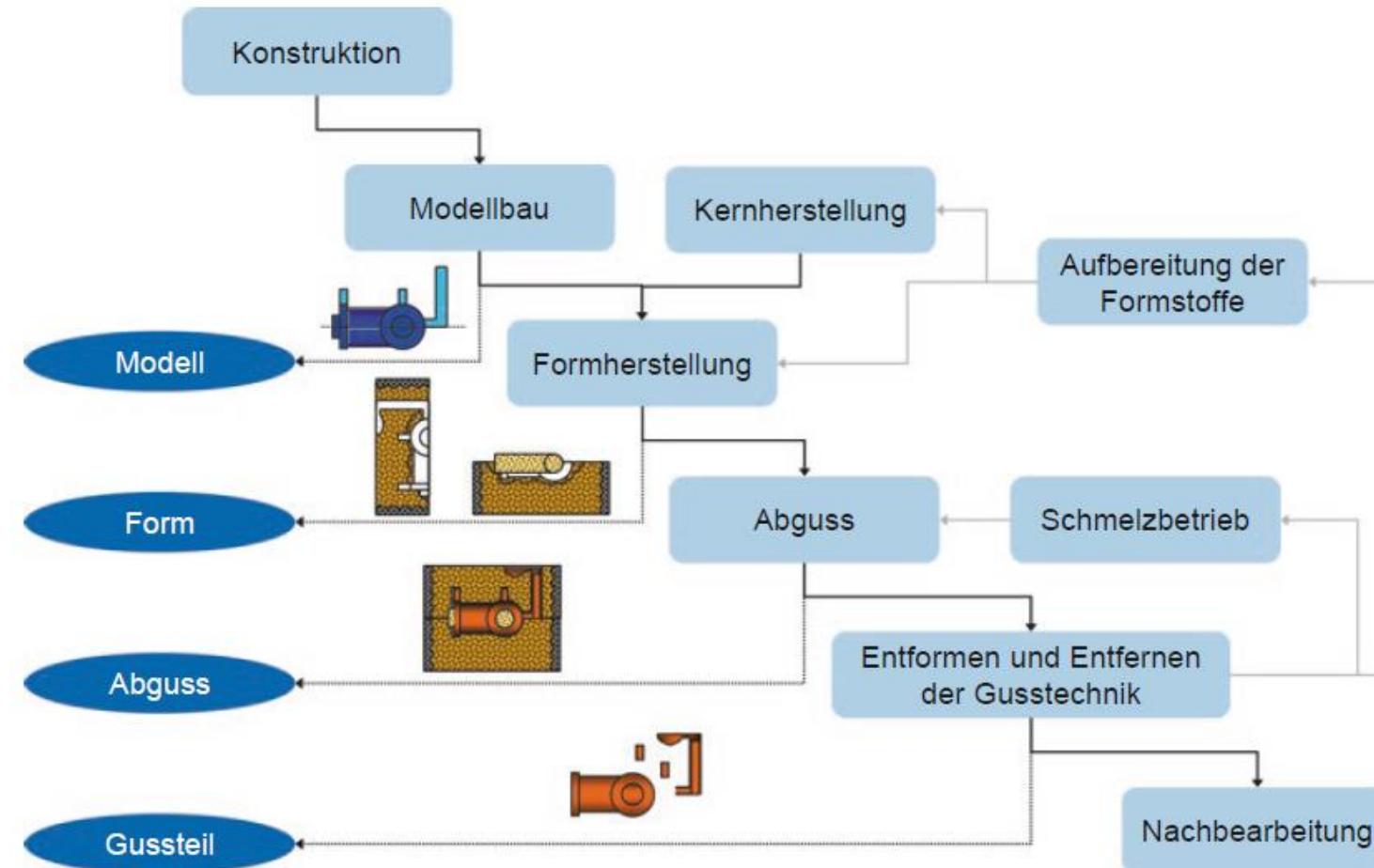
## 3.1 Gussgerechte Gestaltung



## Überblick Gießverfahren



## Prozessablauf beim Gießen



## Gestaltung von Gusshebeln



## 3.1.1 Herstellbarkeit der Form

## Faktoren für günstige Formkosten

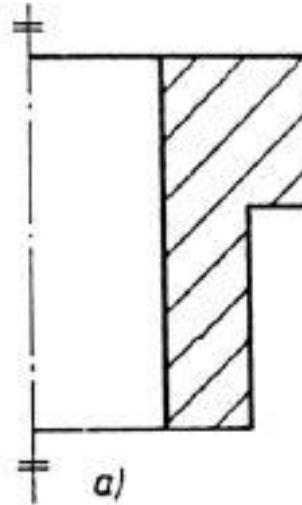
Modell soll einfach aus der Form ausgeformt werden können:

- Formschrägen: Sandguss>2°
- Abrundete Übergänge und Kanten: Sandguss: R > 2 mm

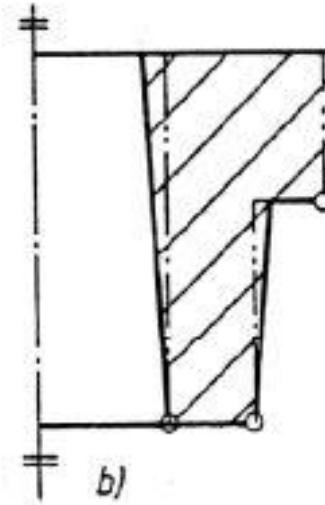
Form soll einfach zusammengesetzt werden können:

- wenige Kerne
  - Vermeidung von Hinterschneidungen
- geringe Einformhöhe
- wenige Formkästen

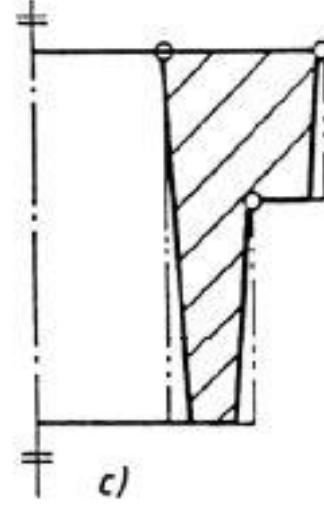
## Ausführungsmöglichkeiten von Formschrägen



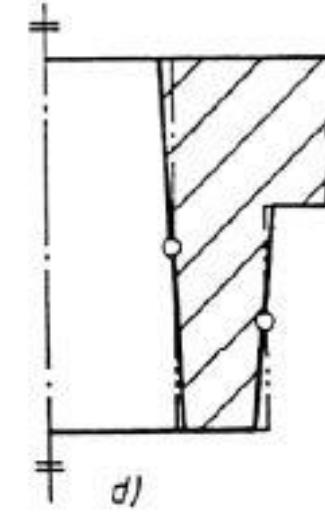
Gußrohteil-  
Nenngestalt



Formschräge mit  
Materialzugabe



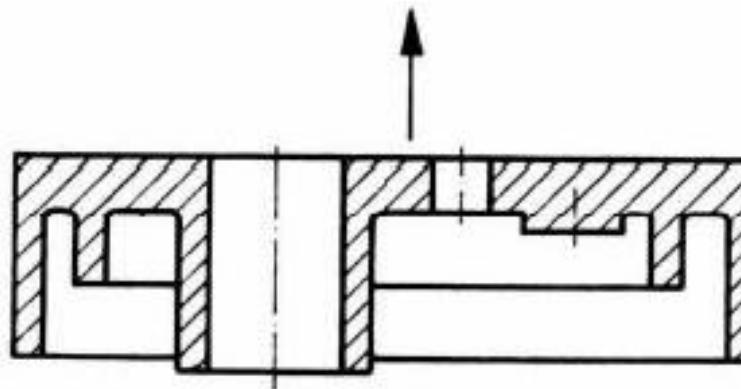
Formschräge mit  
Materialwegnahme



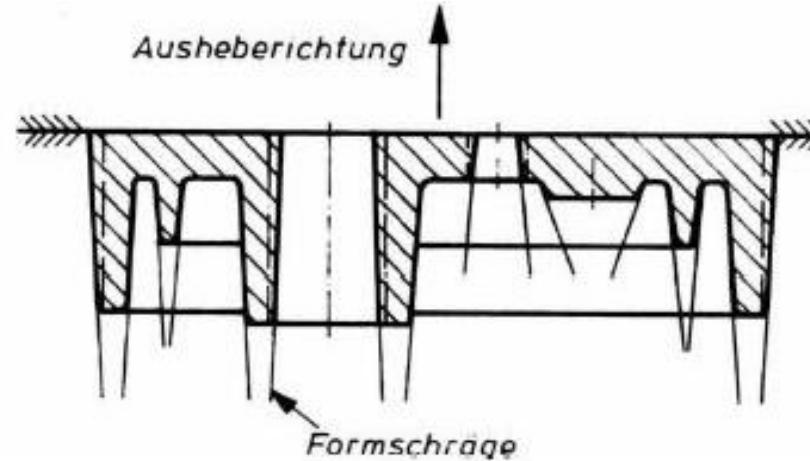
Formschräge mit  
Material vermittelt

Formschräge so wählen, dass für Bearbeitung auch noch genügend Material vorhanden ist → Bearbeitungszugabe

## Formschrägen



Gussrohteil-Nenngestalt



Bauteil mit einer Teilfuge und Formschrägen

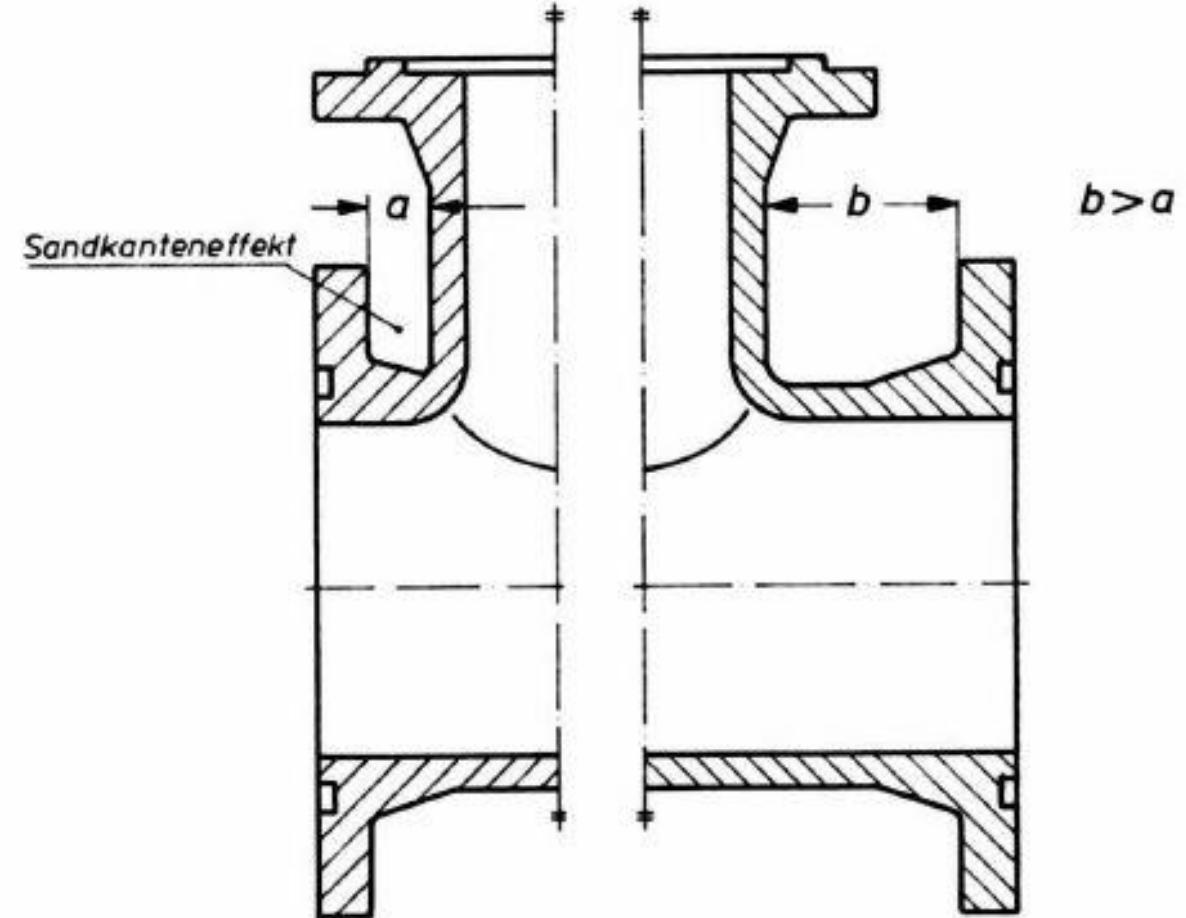
- bei niedrigen Wandhöhen größere Aus-formschrägen verwenden

Radien an Kanten möglichst alle gleich

## Sandkanteneffekt

### Ungünstig

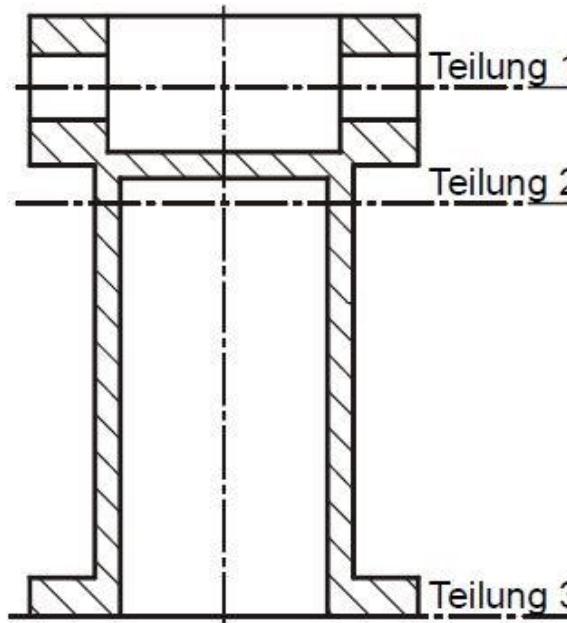
- geringe Verrundung der Ecke führt zum Ablösen von Sand
- Bildung von Porosität oder „vererzten“ Aufdickungen



### Abhilfe

- größere Verrundung

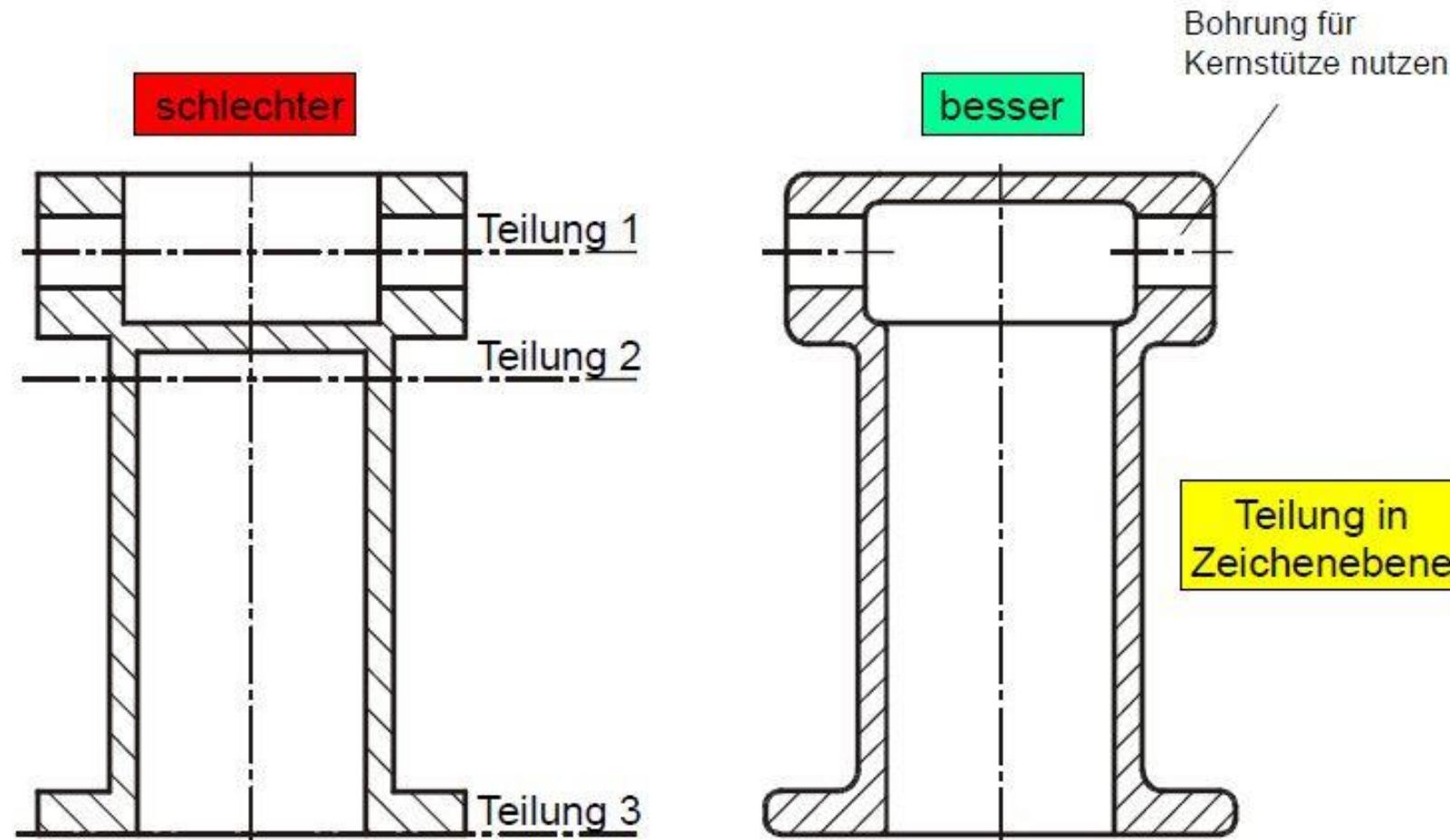
## Beispiel für ein Gussstück aus einfachen Grundformen



Nachteile:

- mehrfache Teilung und zwei Kerne erforderlich, vertikale Einformung
- horizontale / liegende Einformung wegen des Kernauftriebs nicht möglich, da unterer Kern nicht gestützt
- Hinterschneidung auf Teilungsebene 1
- Formsschrägen fehlen
- Radien / Ausrundungen fehlen
- Durchflussquerschnitt zwischen Teilung 1 und 2 man gelhaft

## Beispiel für ein Gussstück aus einfachen Grundformen (Fortsetzung)



## 3.1.2 Abgießbarkeit – Füllen der Form

## Faktoren, um Fehlgüsse zu vermeiden

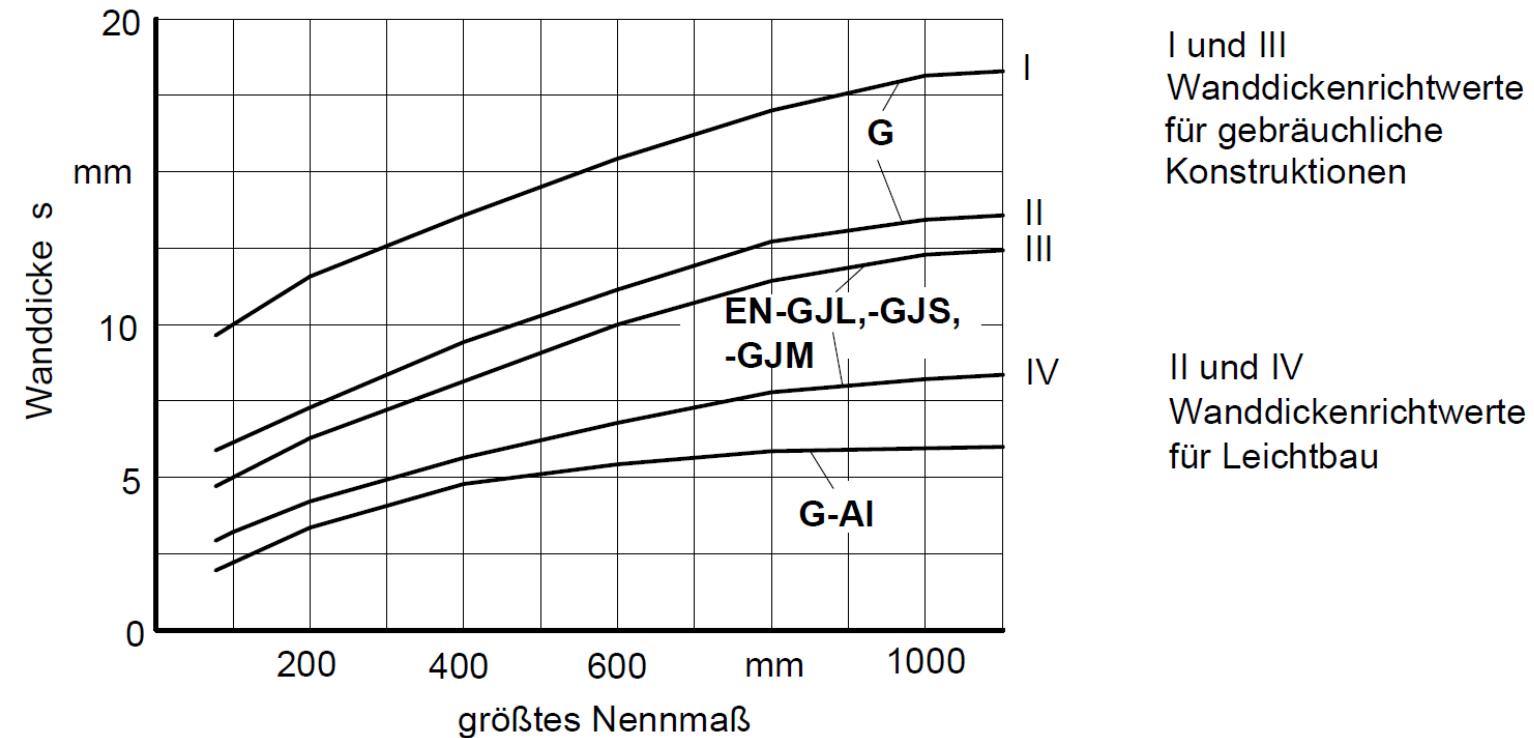
- Korrekte Position des Angusses an der tiefsten Stelle
- Korrekte Position von Steiger und insbesondere des Speisers zum Volumenausgleich beim Abkühlen und um Schlacke und Verunreinigung aus dem Guss teil zu entfernen.
- ausreichende Durchflussquerschnitte
- geringe Fließgeschwindigkeiten, keine Turbulenzen durch scharfe Umlenkungen
- gut abgestützte Kerne
- Berücksichtigung des Gasens und des Schwindens

## Erreichbare Wandstärken, Schwindung, und Maßgenauigkeit

Werkstoff	Gusseisen	Stahlguss	Nichteisenmetalle	Einheit
Wandstärke Sandguss	3 - 5	5	3,5	mm
Wandstärke Kokillenguss	3	4 - 5	3	mm
Wandstärke Druckguss			0,8 - 3	mm
Flüssige Schwindung	3	5		Vol %
Erstarrungsschrumpfung	1,8	5,3		Vol %
Feste Schwindung	1	2		Vol %
Schwindmaß	1	2		Längen %
Maßgenauigkeit Sandguss	+/- 1	+/- 1	+/- 0,9	mm
Maßgenauigkeit Kokillenguss	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,2 - 0,3	mm
Maßgenauigkeit Druckguss			+/- 0,05 - 0,3	mm

## Wanddickenrichtwerte

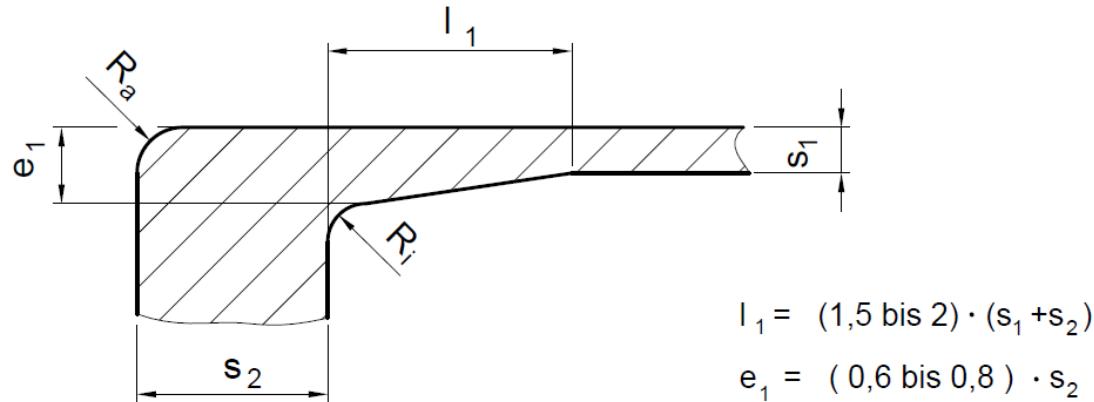
für Aluminium-, Stahl-, Grau- und Temperguss in Abhängigkeit vom größten Nennmaß



I und III  
Wanddickenrichtwerte  
für gebräuchliche  
Konstruktionen

II und IV  
Wanddickenrichtwerte  
für Leichtbau

## Richtwerte für Wanddickenübergänge und Radien



Außenradien  $R_a$ :

$$R_i \leq R_a \leq (R_i + s)$$

$R_a = R_i + s$  (gleiche  
Wanddicke)

Innenradien  $R_i$ :

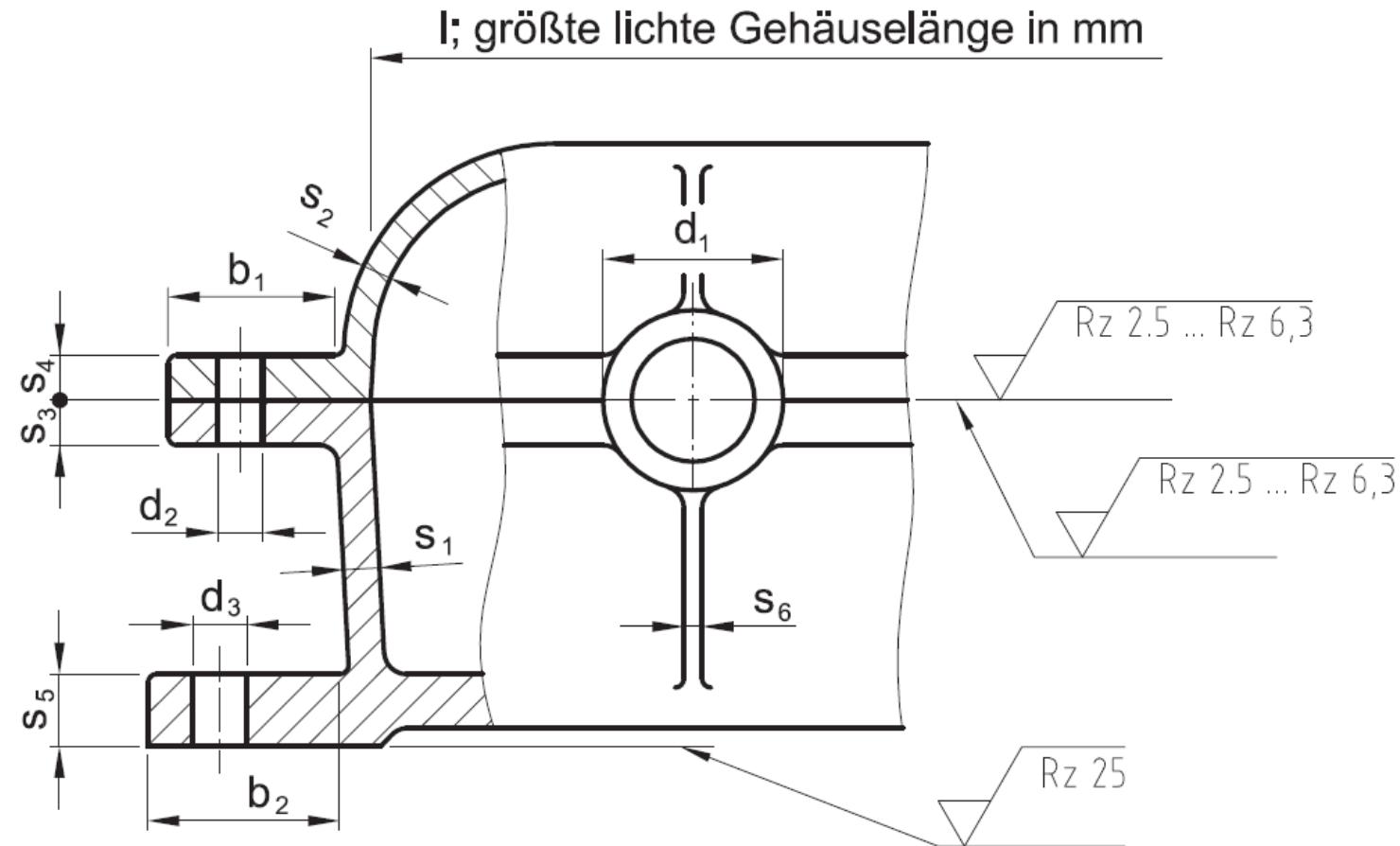
$$\text{Wanddicke } s_1 = s_2: \quad R_i = (0,5 \text{ bis } 1,0) \cdot s_1$$

Wanddicke  $s_1 \neq s_2$ :  $\frac{s_1}{2} < R_i < \frac{s_2}{2}$  EN-GJL,  
EN-GJS

$$R_i \leq \frac{s_1 + s_2}{2} \quad \text{G, EN-GJM}$$

$$R_i \leq s_1 \quad \text{G-AI}$$

## Empfehlungen für Gehäuseabmessungen



# GESTALTUNG - 3 Urformgerechte Gestaltung

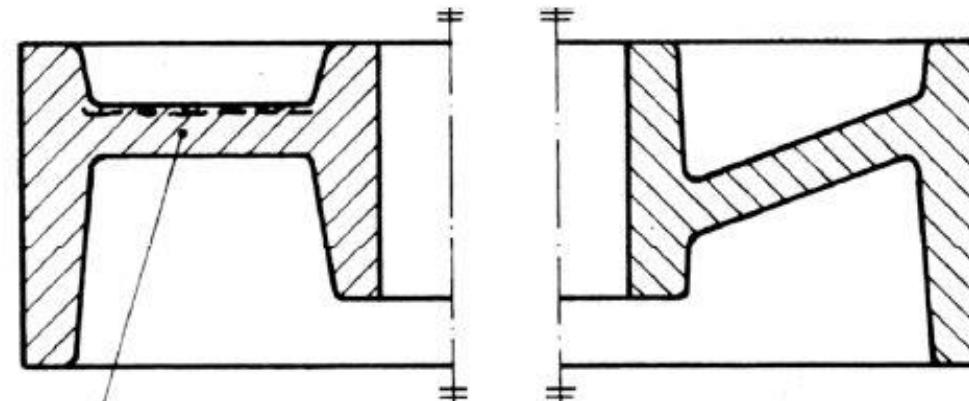
<b>Gehäusewerkstoff</b>	GJL; GJS; GS	
<b>Wanddicke</b>	Unterteil	$s_1 = (0,005...0,01) \cdot l + 6\text{mm}$
	Oberteil	$s_2 \approx 0,8 \cdot s_1$
	Wanddickenrichtwerte beachten!	
Mindestwerte für die Wanddicke	$s_{1;2\min} = 3\text{mm (GJL;GJS); } = 6\text{mm (GS)}$	
<b>Flansch</b>	Flanschdicke	$s_3 \approx s_4 = (1,3...1,6) \cdot s_1$
	Flanschbreite	$b_{1\max} \approx 3 \cdot s_1 + 10\text{mm}$
<b>Flanschschrauben</b>	Durchmesser	$d_s \approx 1,2 \cdot s_1 \quad d_2 \text{ nach ISO 273}$
	Abstand zueinander	$l_F \approx (6...10) \cdot d_s \text{ (je nach Dichtigkeitsforderung)}$
<b>Fußleistendicke</b>		
durchgehend, mit Ausnehmung	$s_5 \approx 3 \cdot s_1$	
durchgehend, ohne Ausnehmung	$s_5 \approx 1,8 \cdot s_1$	
<b>Fußleistenbreite</b>	$b_2 \approx 3,5 \cdot s_1 + 15\text{mm}$	
<b>Versteifungs- und Kühlrippen</b>	$s_6 \approx 0,7 \cdot s_1$ der zu verstifenden Wand	
<b>Außendurchmesser der Lagergehäuse</b>	$d_1 \approx (1,2...1,6) \cdot \text{Lageraußendurchmesser}$	
<b>Durchmesser der Fundamentschrauben</b>	$d_{Fu} \approx 1,6 \cdot s_1$	$d_3 \text{ nach ISO 273}$

## Großflächig liegende Bereiche

- begünstigen die Ansammlung von Luft und Verunreinigungen
- Form wird nicht ausfüllt

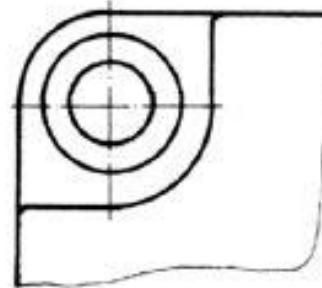
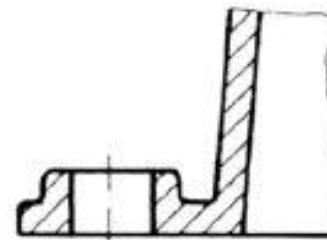
Abhilfe:

- große Flächen schräg anordnen

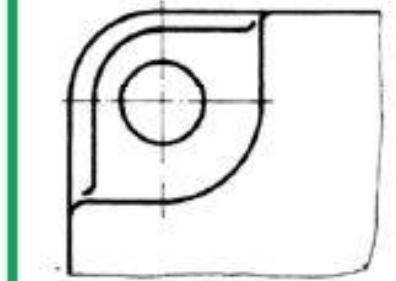
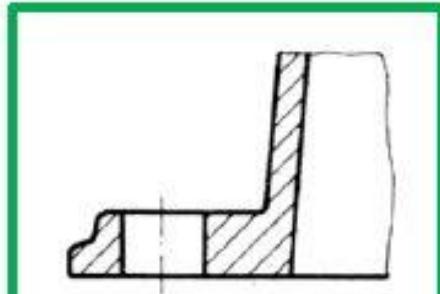


*Luftblasen, Einbrüche*

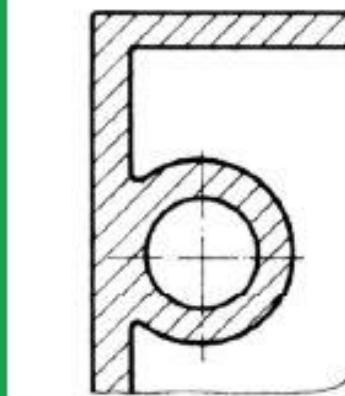
## Gestalt von Augenverstärkungen



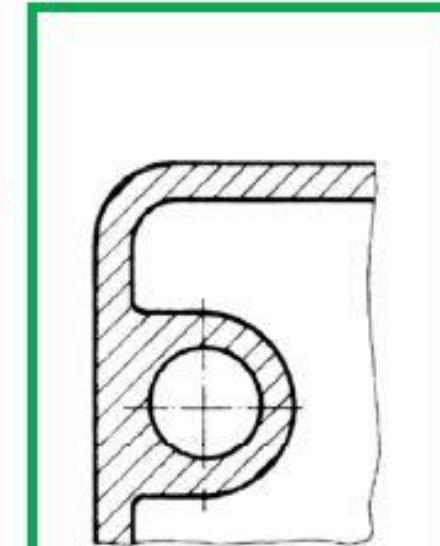
a)



b)



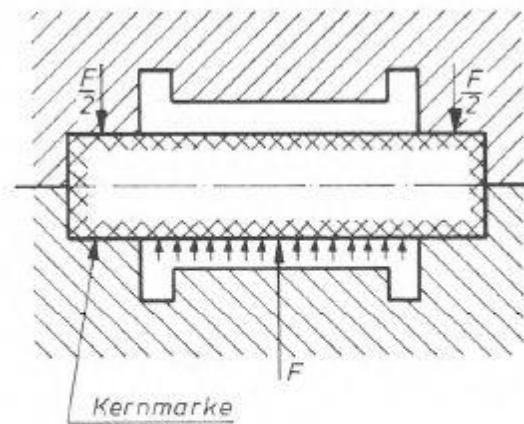
c)



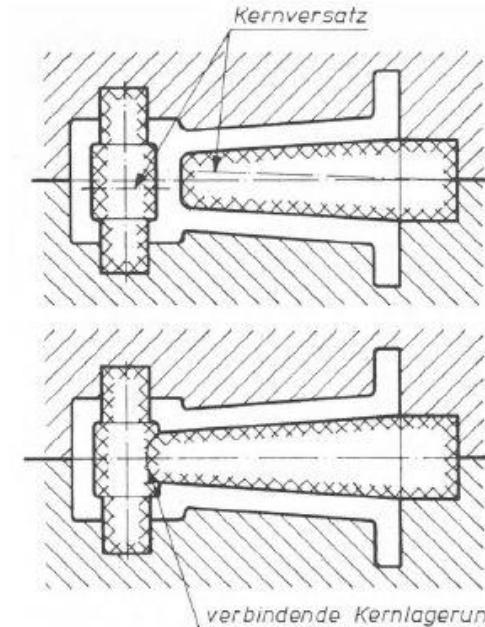
d)

Ausführungen b) und d) vorziehen

## Gut abgestützte Kerne



Kernmarken bzw. Kernstützen dienen der sicheren Aufnahme des Kerns in der Form und zur Abfuhr von „Kerngasen“



Unzureichend gestützte Kerne können durch den Auftrieb der Schmelze brechen oder führen zu Kernversatz.

**Abhilfe:** Kerne verbinden, oder besser einteilig ausführen

## 3.1.3 Abgießbarkeit – Erstarren der Schmelze

## Faktoren, um eine hohe Maßhaltigkeit zu erreichen

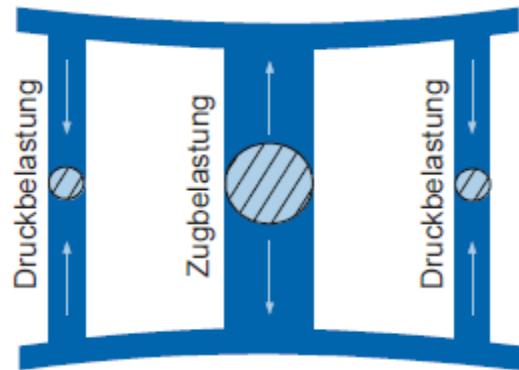
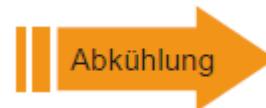
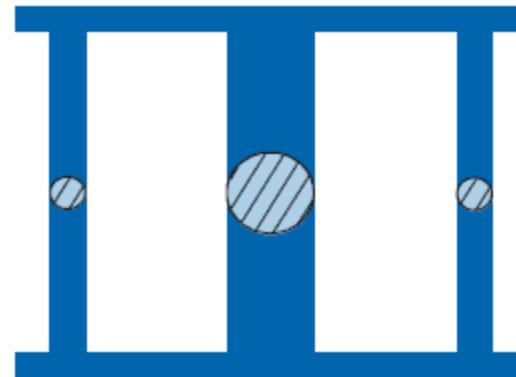
Grundsätzlich sind zu vermeiden:

- Materialanhäufungen
- Übergänge mit starken Wandstärkeunterschied
- scharfe Ecken / Kanten

## Abkühlvorgang

- Abkühlen erzeugt Schwindung in drei Phasen:
  - flüssige Schwindung
  - Erstarrungsschrumpfung
  - feste Schwindung
- 
- Größere Querschnitte z.B. durch große Wandstärken oder Materialanhäufungen erstarren später und kühlen auch nach der Erstarrung langsamer ab.  
→ Eigenspannungen → Rissbildung
- 
- Bei der Abkühlung geht die Erstarrung des Gusses von den Formwänden nach innen.  
→ Lunkerbildung

## Entstehung von Eigenspannungen

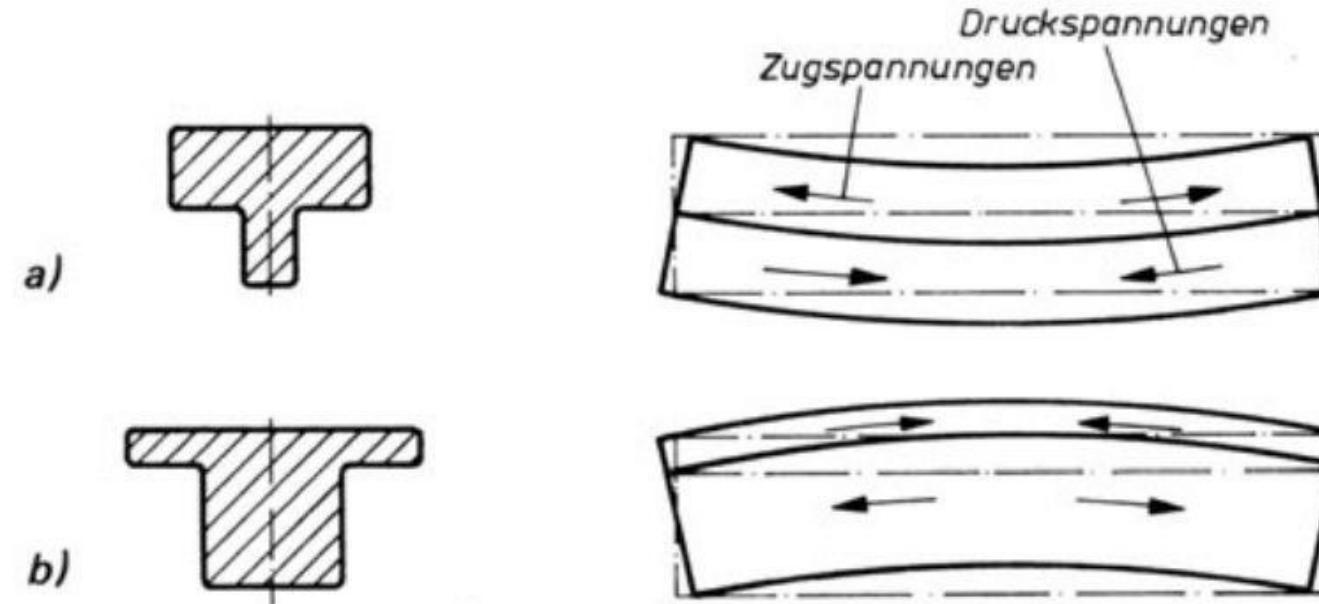


- Bauteil mit unterschiedlichen Wandstärken
- massiver Steg kühlt am langsamsten ab
- dünner Rahmen außen erstarrt zuerst
- Steg ist nach Erstarrung deutlich wärmer als der Rest → größere feste Schwindung

Folgen:

- Eigenspannungen: Druck und Biegung in den schwachen Stegen; Zug im starken Steg; Biegung in den Querverbindungen
- Bauteilverzug

## Verzug an unsymmetrischen Profilen

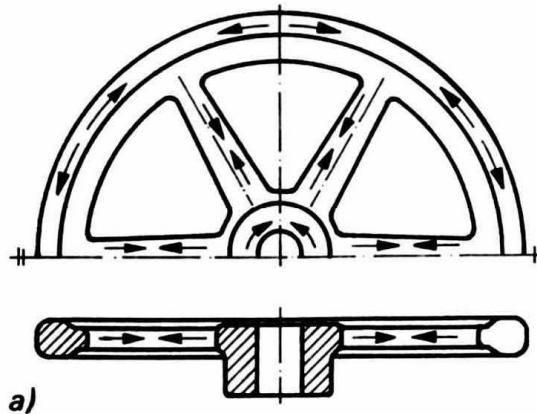


Gegenmaßnahmen:

- gleichmäßiges Abkühlen (Kühleisen)
- Spannungsarmglühen

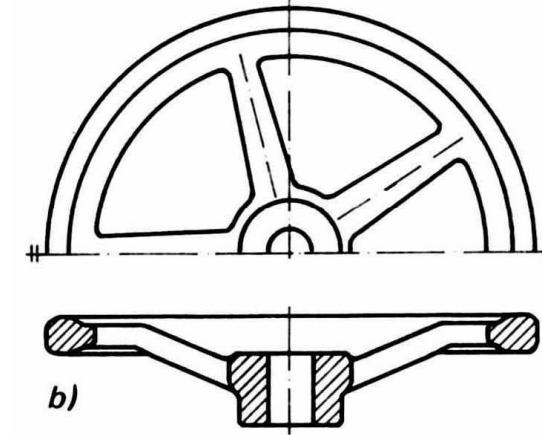
## Eigenspannungen

Typisches Bauteil: Gussrad



Ungünstig

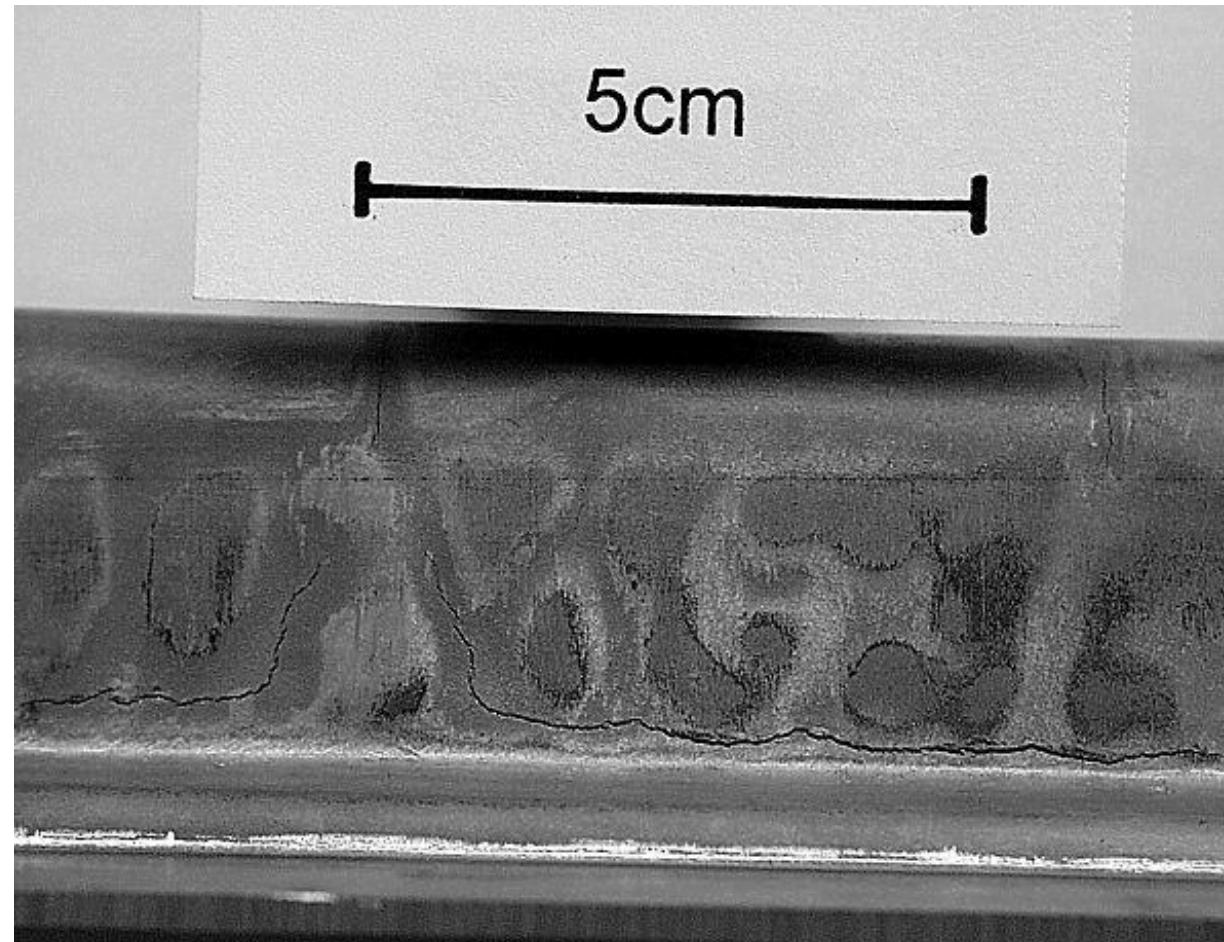
- ungleiche Werkstoffverteilung



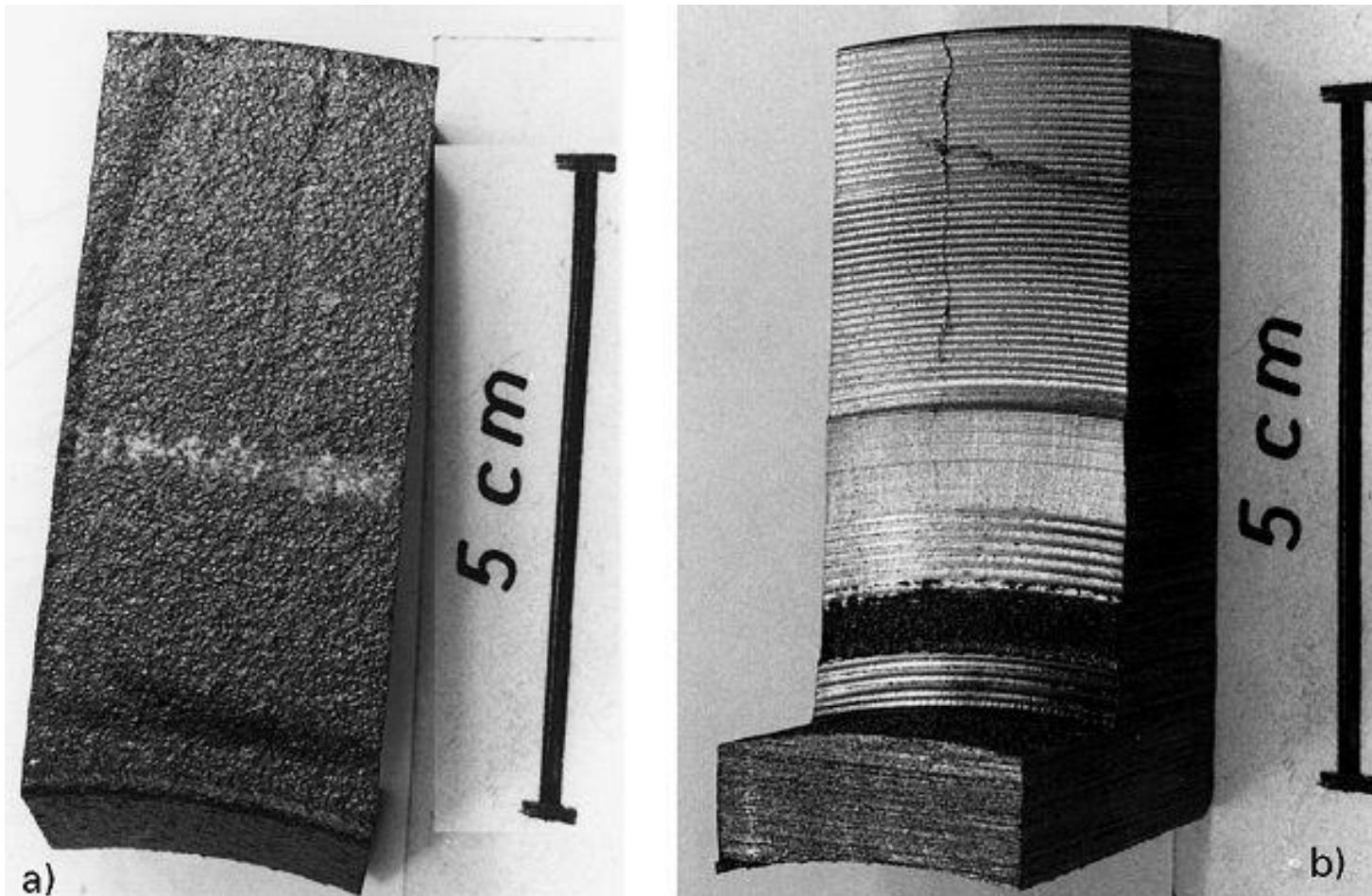
Abhilfe

- Speichen kröpfen, ungerade Speichenanzahl
- Nachteil: Formteilung komplizierter

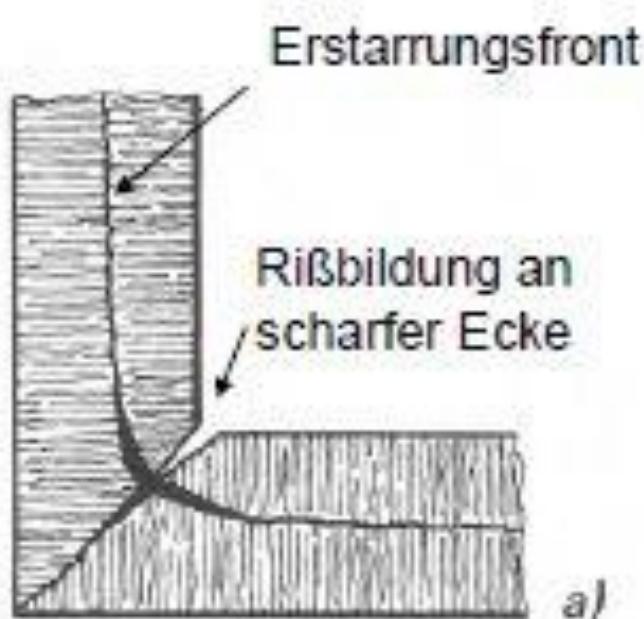
## Warmrisse (Erstarrungsphase)



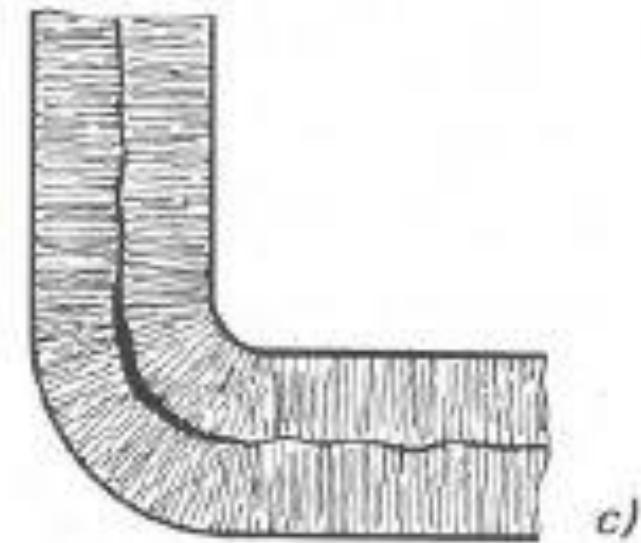
## Kaltrisse (Abkühlphase)



## Lunkerbildung



Durch Abrundung schnelleres Erstarren, gleichmäßigeres Kristallwachstum



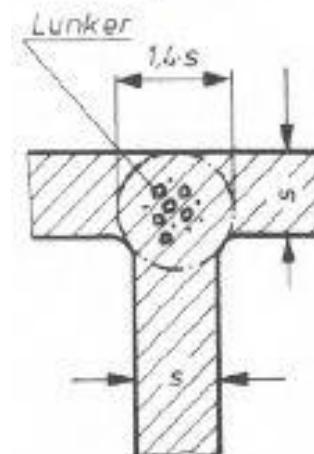
## Vermeidung von Materialanhäufung mit „Heuverschen“ Kreisen

Es muss gelten:  $d \leq 1,4 \dots 1,6 \cdot s$

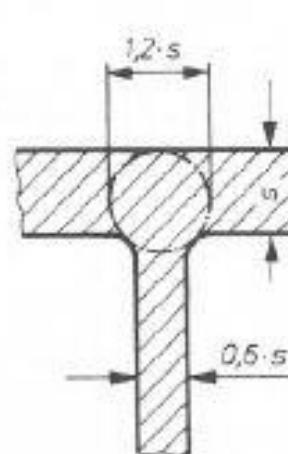
s: größte Wandstärke am Knoten

d: max. einpassbarer Kreis- $\varnothing$

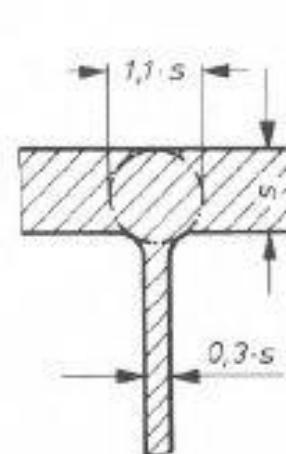
Knotenpunkte



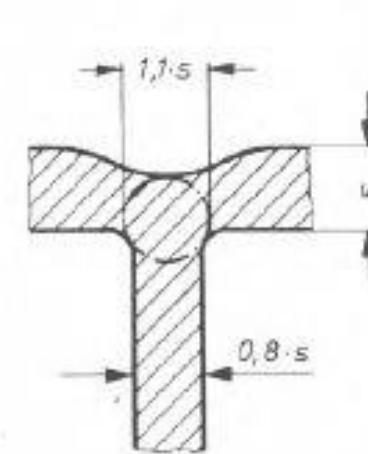
Lunkerbildung



keine Lunkerbildung durch  
dünne angeschlossene Rippe

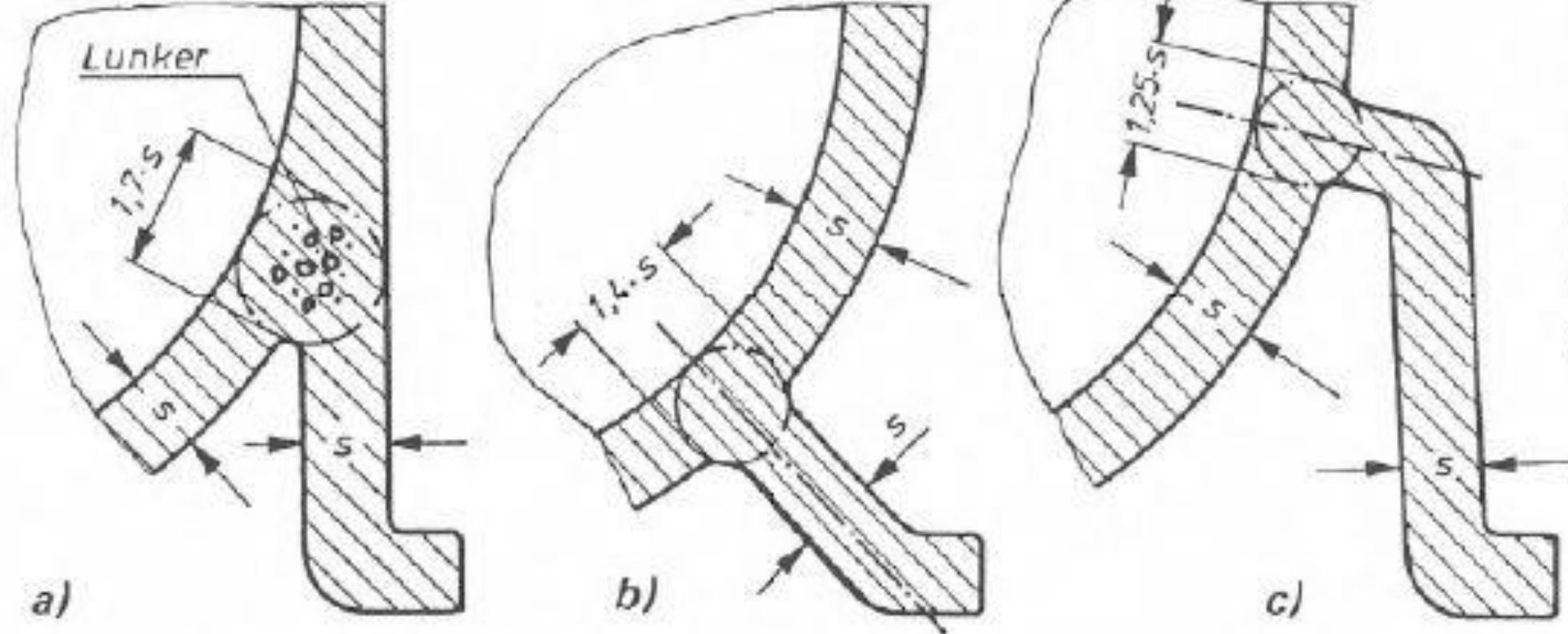


keine Lunkerbildung durch  
Einziehen der Wand



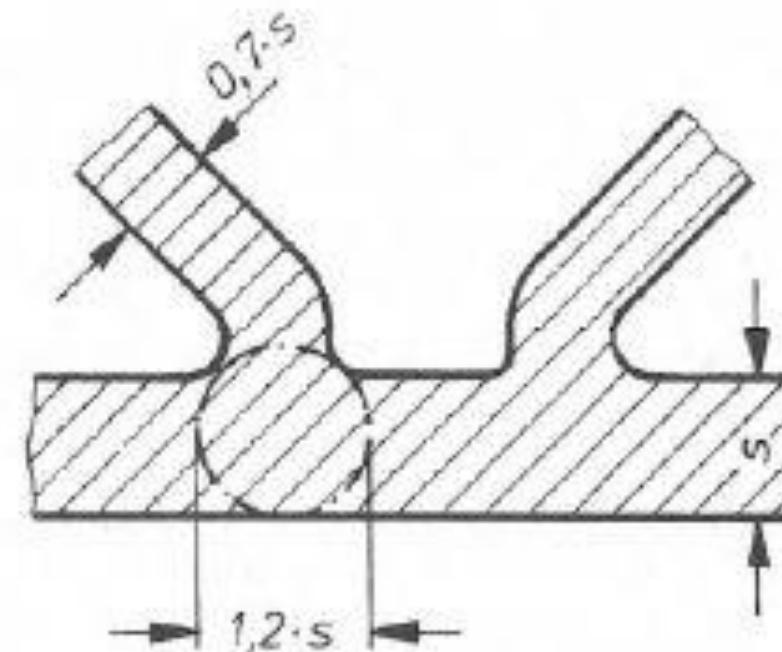
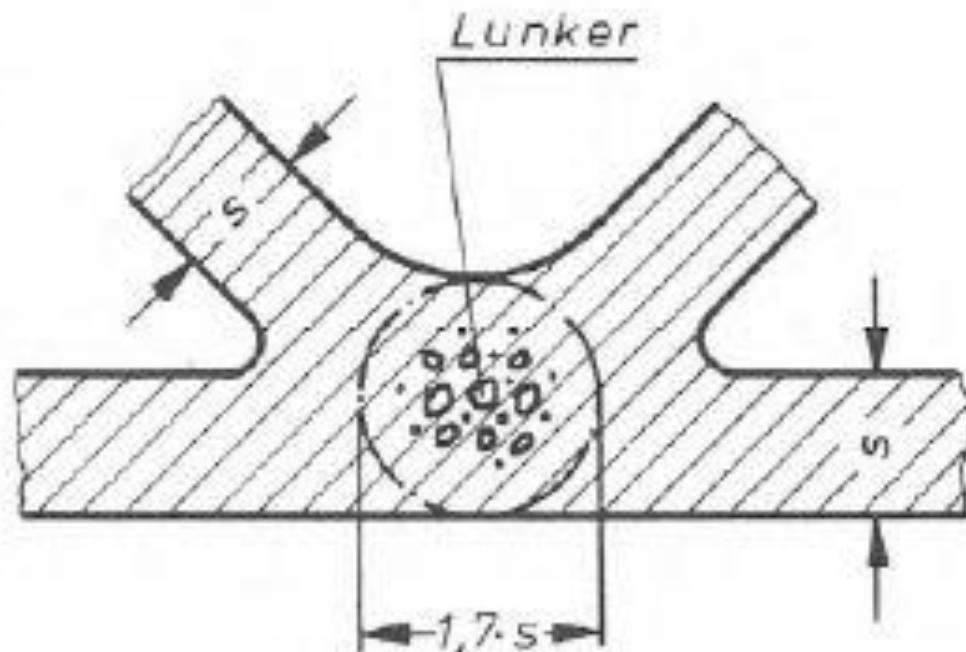
## Gestaltung von Knoten mit spitzen Winkeln

Prinzip der konstanten Wandstärken

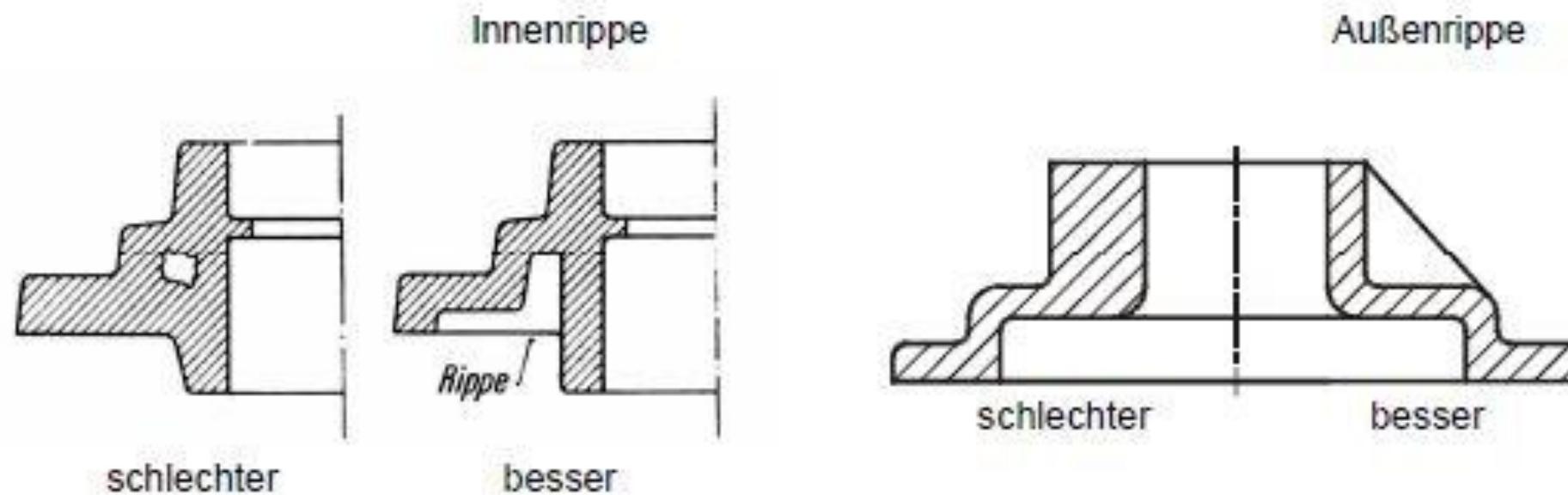


## Kontenpunkte von Rippen

- zusammenlaufende Rippen verursachen Materialanhäufung
- Kontenpunkte zur Vermeidung von Lunker auflösen



## Vermeidung von Materialanhäufung durch Rippen



Weiterer Nutzen von Rippen:

- Versteifung und
- Reduzierung der Bauteilmasse

## 3.1.4 Entformbarkeit

## Faktoren für einfache Entformbarkeit

Für Gießen mit verlorener Form und verlorenen Kernen, spielt die Entformbarkeit eine untergeordnete Rolle.

Für Dauerformen gelten folgende Richtlinien:

- Formschrägen: Kokille > 1:100
- Abrundete Übergänge und Kanten
- wenige Formen
- wenig Kerne

## 3.1.5 Nachbearbeitbarkeit von Gussteilen

## Grundlagen

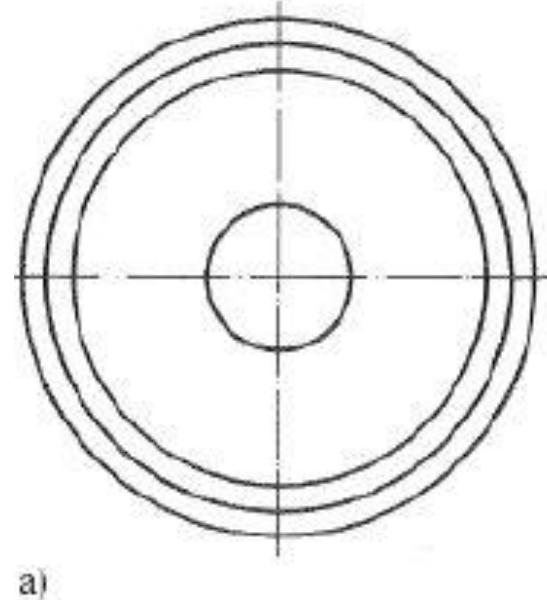
Eine funktionsfähige Maschine erfordert das Zusammenwirken von Bauteilen, die sich mit einem Teil ihrer Oberfläche berühren.

Berührflächen sind:

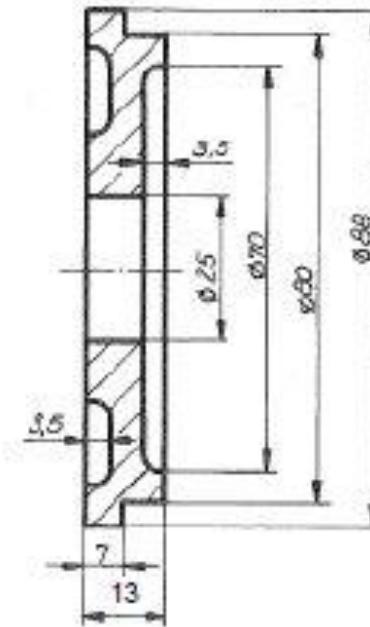
- Passflächen (relativ zueinander in Ruhe) oder
- Gleitflächen (relativ zueinander bewegt)

Die Oberflächenstruktur (Rauheit) und Formgenauigkeit gegossener Bauteile reichen nicht aus, um die an Gleit- und Passflächen gestellten Forderungen zu erfüllen → spanende Bearbeitung.

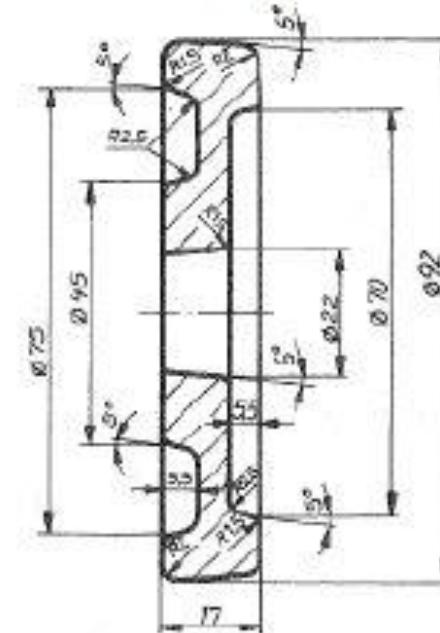
## Beispiel: Gussdeckel



Fertigteil



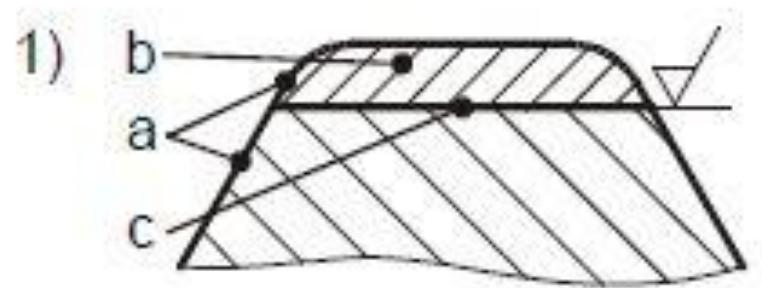
Rohteil



Immer beachten:

Rohteile benötigen eine Bearbeitungszugabe!

## Abarbeiten von Kuppen (Methode 1)



- a) ursprüngliche Gußkontur
- b) durch Bearbeiten entferntes Material
- c) bearbeitete Fläche

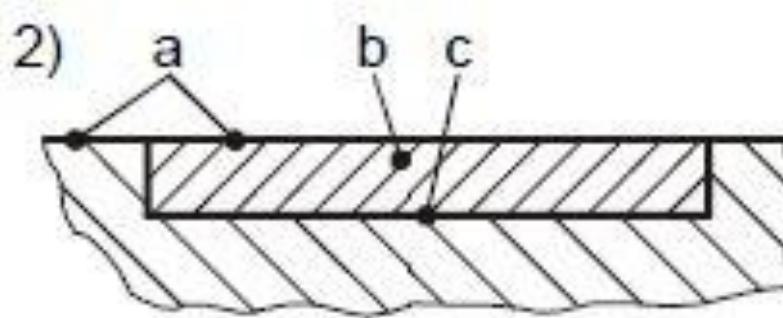
Vorteile:

- Erfordert keine besonderen Vorkehrungen am Gussstück
- Bearbeitung ist einfach

Nachteile:

- Bearbeitete Fläche hat unregelmäßige Form infolge der Gussungenauigkeiten und schleifenden Schnitte
- Größe der bearbeiteten Fläche unsicher

## Einarbeiten von bearbeiteten Flächen (Methode 2)



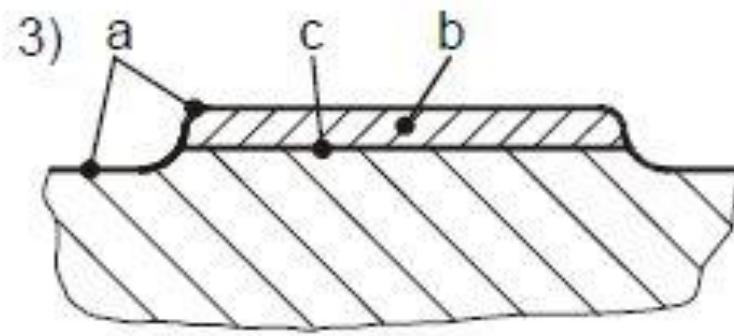
Vorteile:

- Erfordert keine besonderen Vorkehrungen am Gussstück, jedoch ist ausreichende Wandstärke vorzusehen
- Bearbeitung in der Regel einfach (z.B. runde Auflagefläche für Schraubenköpfe), eckigen Konturen nur mit Eckradien (Stirnfräsen mit Schaftfräser)

Nachteile:

- Gegenstücke müssen in die Vertiefung passen

## Abarbeiten eigens am Gussstück vorgesehener vorspringender Bearbeitungsflächen (Methode 3)



Vorteile:

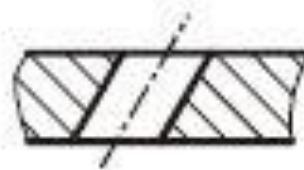
- Größe u. Form bearbeiteter Flächen sind genau definiert
- Bearbeitung einfach

Nachteile:

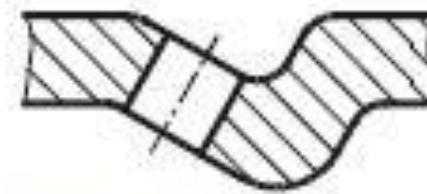
- Aufwendigeres Modell
- Um Hinterschneidung zu vermeiden muss senkrecht zur Fläche c) entformt werden

## Gestaltung von Bearbeitungsflächen

- Rohe Oberfläche senkrecht zur Bearbeitungsrichtung legen, insbesondere wenn im ersten Arbeitsgang gebohrt wird.

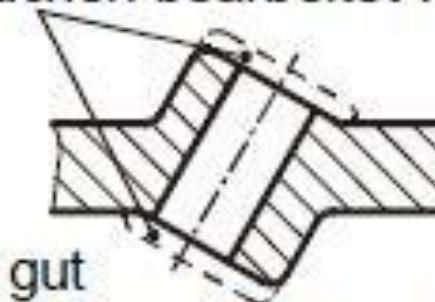


ungünstig



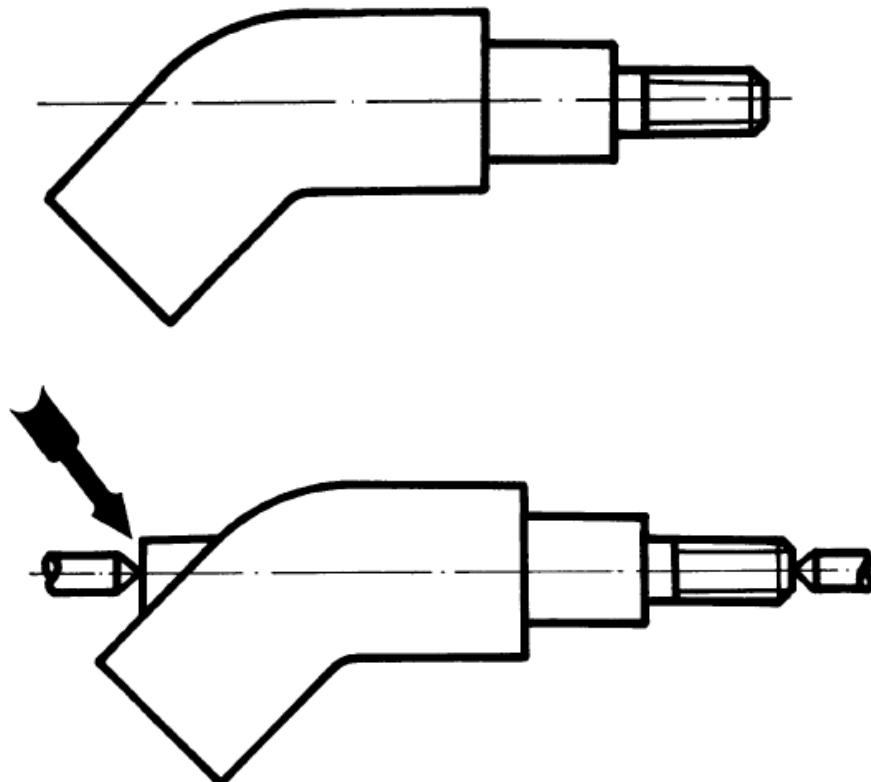
besser

Bearbeitungszugaben, falls  
Stirnflächen bearbeitet werden sollen



gut  
(Lochrand verstärkt)

## Zenter- und Spannsätze



Wie ein Bauteil spannen, dass kaum ebene Flächen besitzt und alle Kanten verrundet sind?

Für das sichere Spannen beim Bearbeiten sind entsprechende Zenter- und Spannansätze vorzusehen (s. Pfeil).

Eventuell müssen diese später entfernt werden.

## 3.1.6 Allgemeintoleranzen für Gussteile

## DIN EN ISO 8062-3

Diese Norm legt ähnlich wie DIN ISO 2768 Toleranzklassen für

- Längenmaße (DCTG 1-16)
- Form und Lage (GCTG 2-8)
- Bearbeitungszugabe (RMAG A-K)

fest, welche sich auf den **fertiggegossenen Zustand** beziehen (ohne Bearbeitung!).

Angabe (Nähe Schriftfeld):  
**Allgemeintoleranzen ISO 8062-3 – DCTG 8 – GCTG5**

vorderer  
Großbuchstabe  
für Längen- und  
Winkelmaße

hinterer Großbuchstabe  
für Form und Lage

## Längenmaßtoleranzen (DCT)

Maße in Millimeter

Nennmaße des Formteils	Längenmaßtoleranzen für Maßtoleranzgrade von Gussstücken <sup>a</sup>															
	DCTG 1	DCTG 2	DCTG 3	DCTG 4	DCTG 5	DCTG 6	DCTG 7	DCTG 8	DCTG 9	DCTG 10	DCTG 11	DCTG 12	DCTG 13	DCTG 14	DCTG 15	DCTG 16 <sup>b</sup>
—	≤ 10	0,09	0,13	0,18	0,26	0,36	0,52	0,74	1	1,5	2	2,8	4,2	—	—	—
> 10	≤ 16	0,1	0,14	0,2	0,28	0,38	0,54	0,78	1,1	1,6	2,2	3	4,4	—	—	—
> 16	≤ 25	0,11	0,15	0,22	0,3	0,42	0,58	0,82	1,2	1,7	2,4	3,2	4,6	6	8	10
	> 25	≤ 40	0,12	0,17	0,24	0,32	0,46	0,64	0,9	1,3	1,8	2,6	3,6	5	7	9
	> 40	≤ 63	0,13	0,18	0,26	0,36	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	10
	> 63	≤ 100	0,14	0,2	0,28	0,4	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6	9	11
	> 100	≤ 160	0,15	0,22	0,3	0,44	0,62	0,88	1,2	1,8	2,5	3,6	5	7	10	12
	> 160	≤ 250	—	0,24	0,34	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	14
	> 250	≤ 400	—	—	0,4	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6,2	9	12	16
	> 400	≤ 630	—	—	—	0,64	0,9	1,2	1,8	2,6	3,6	5	7	10	14	18
	> 630	≤ 1 000	—	—	—	—	1	1,4	2	2,8	4	6	8	11	16	20
	> 1 000	≤ 1 600	—	—	—	—	—	1,6	2,2	3,2	4,6	7	9	13	18	23
	> 1 600	≤ 2 500	—	—	—	—	—	—	2,6	3,8	5,4	8	10	15	21	26
	> 2 500	≤ 4 000	—	—	—	—	—	—	—	4,4	6,2	9	12	17	24	30
	> 4 000	≤ 6 300	—	—	—	—	—	—	—	—	7	10	14	20	28	35
	> 6 300	≤ 10 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	16	23	32	40

<sup>a</sup> Für Wanddicken in den Graden DCTG1 bis DCTG15 gilt der nächsthöhere Grad (siehe Abschnitt 7).
   
<sup>b</sup> Grad DCTG16 gilt nur für Wanddicken, die allgemein mit Grad bis DCTG15 festgelegt sind.

Beispiel: Maß hat 30 mm, Klasse DCTG 8 → Toleranz +/- 0,65 mm

## Bearbeitungszugaben

Tabelle 2: Erforderliche Bearbeitungszugaben (RMA) nach DIN ISO 8062

Größtes Maß <sup>1)</sup>		Erforderliche Bearbeitungszugabe mm Grad der erforderlichen Bearbeitungszugabe									
über	bis einschließlich	A <sup>2)</sup>	B <sup>2)</sup>	C	D	E	F	G	H	J	K
-	40	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	1	1,4
40	63	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	2
63	100	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	2	1,8	4
100	160	0,3	0,4	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3	2,8	6
160	250	0,3	0,5	0,7	0,1	1,4	2	2,8	4	4	8
250	400	0,4	0,7	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	5,5	10
400	630	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3	4	6	7	12
630	1000	0,6	0,9	1,2	1,8	2,5	3,5	5	7	9	14
1000	1600	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8	10	16
1600	2500	0,8	1,1	1,6	2,2	3,2	4,5	6	9	11	18
2500	4000	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7	10	13	20
4000	6300	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8	11	14	22
6300	10000	1,1	1,5	2,2	3	4,5	6	9	12	16	24

<sup>1)</sup> Größtes Maß des Gussstückes nach der Endbearbeitung.

<sup>2)</sup> Die Grade A und B sind nur in besonderen Fällen anzuwenden, z. B. bei Serienfertigung, wenn die Modelleinrichtung, das Gießverfahren und das Bearbeitungsverfahren unter Berücksichtigung der Spannflächen und Bezugsf lächen oder Bezugsstellen zwischen dem Kunden und der Gießerei vereinbart wurden.

## 3.1.7 Checkliste

## Checkliste

### Allgemeines

- Materialanhäufung vermieden
- Unterschiedliche Wanddicken durch stetige, keilförmige Übergänge angeglichen
- Innenkanten und -ecken ausgerundet
- Hinterschneidungen vermieden
- Auf ausreichende Aushebeschrägen geachtet
- Ungünstige Zugspannungen konstruktiv in günstige Druckbeanspruchung umgewandelt

## Checkliste

### Knotenpunkte

- Knotenpunkte niedriger Verzweigung und mit rechten Winkeln bevorzugt
- Knotenpunkte hoher Verzweigung aufgelöst

### Kerne

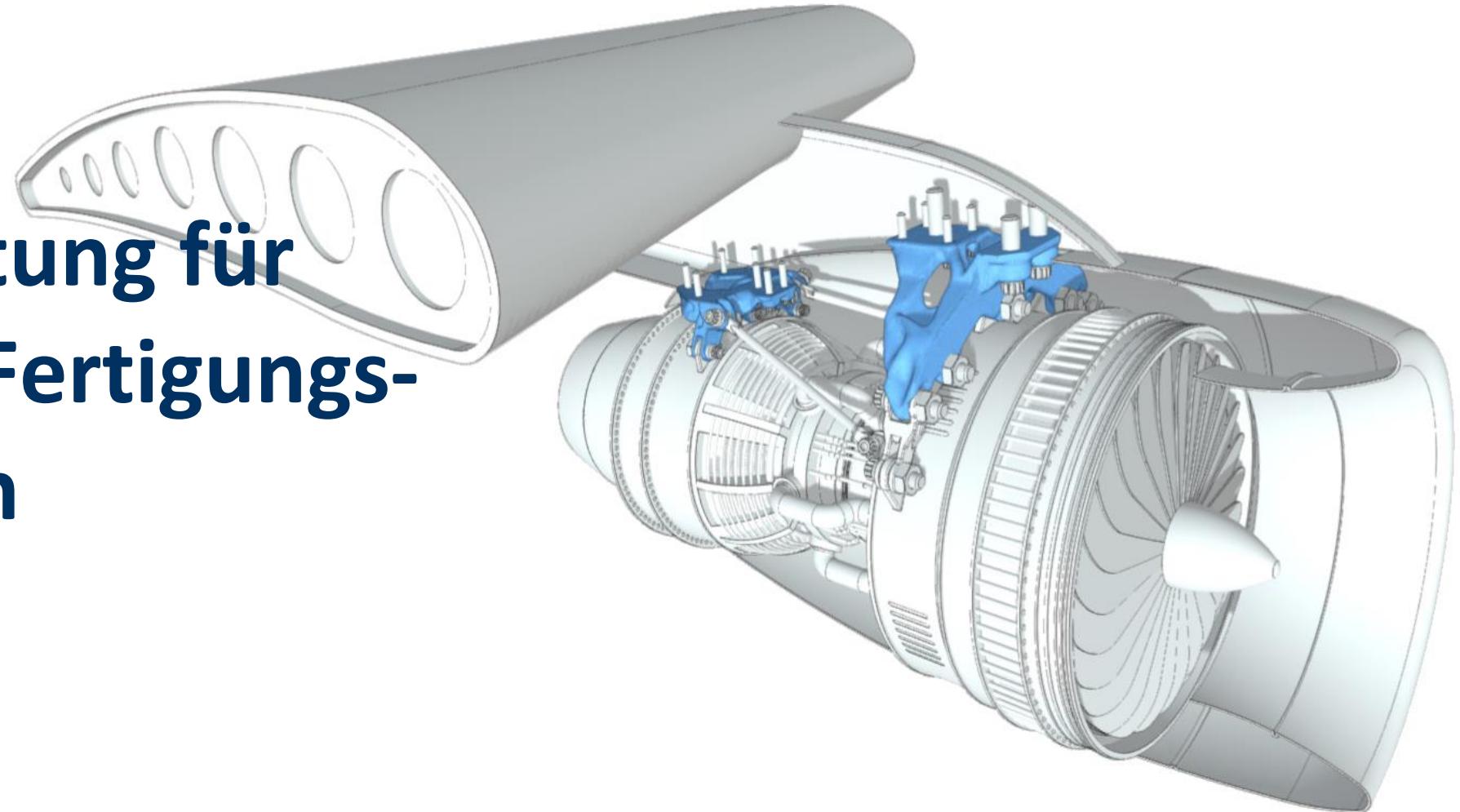
- Möglichst wenig Kerne vorgesehen
- Hinterschneidungen vermieden
- Kerne leicht entferbar gestaltet
- Einfache Kerne bevorzugt
- Kerne stabil gelagert

## Checkliste

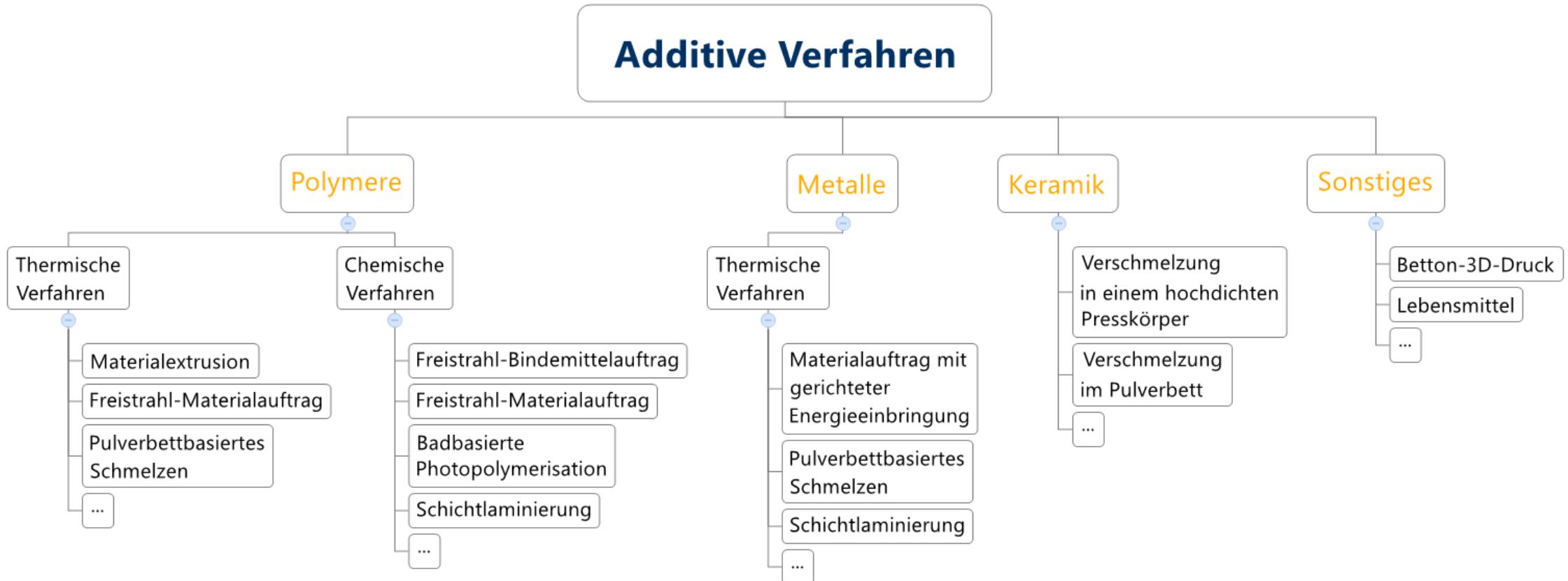
### Bearbeitung

- Bearbeitungsflächen abgesetzt und in eine Ebene gelegt, um den Bearbeitungsaufwand zu verringern
- Zum sicheren Bearbeiten Zenter- und Spannansätze vorgesehen, die eventuell später entfernt werden
- Bei Flächen mit zu bohrenden Löchern ist auf einen rechtwinkligen Bohreransatz geachtet worden.

## 3.2 Gestaltung für additive Fertigungsverfahren

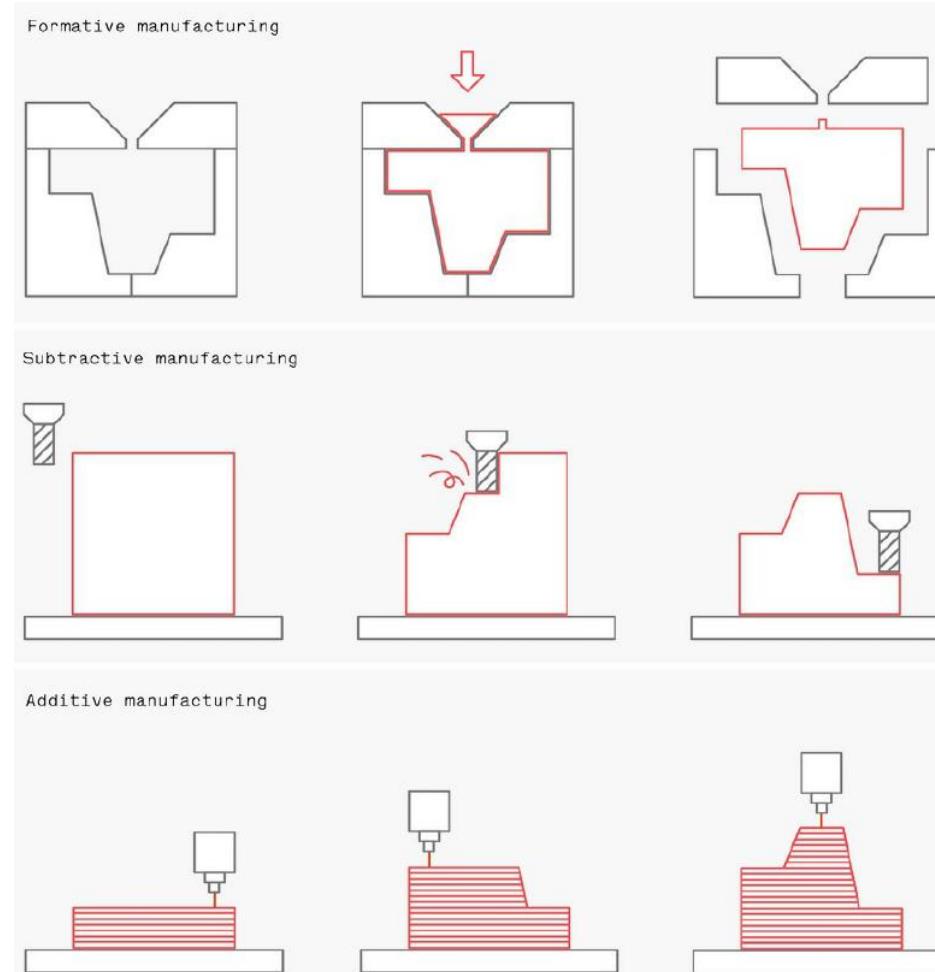


## Überblick additive Verfahren



# GESTALTUNG - 3 Urformgerechte Gestaltung

## Vergleich – Gießen – Fräsen – Additive Fertigung

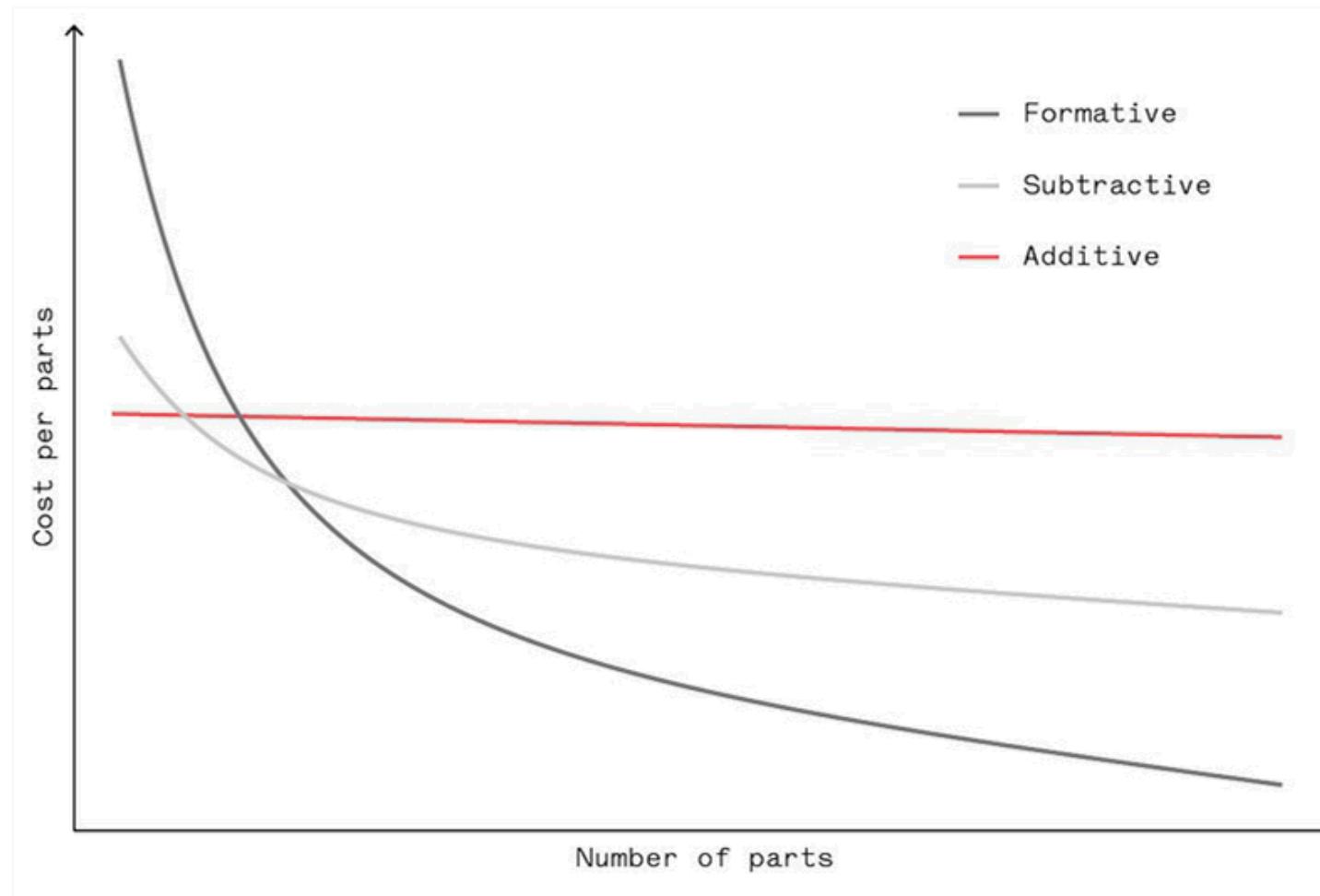


## Materialaufwand / Druckdauer

Im Gegensatz zur trennenden Fertigung ist das 3D-Drucken am wirtschaftlichsten, wenn der Materialaufwand, und damit die Druckdauer, gering sind.

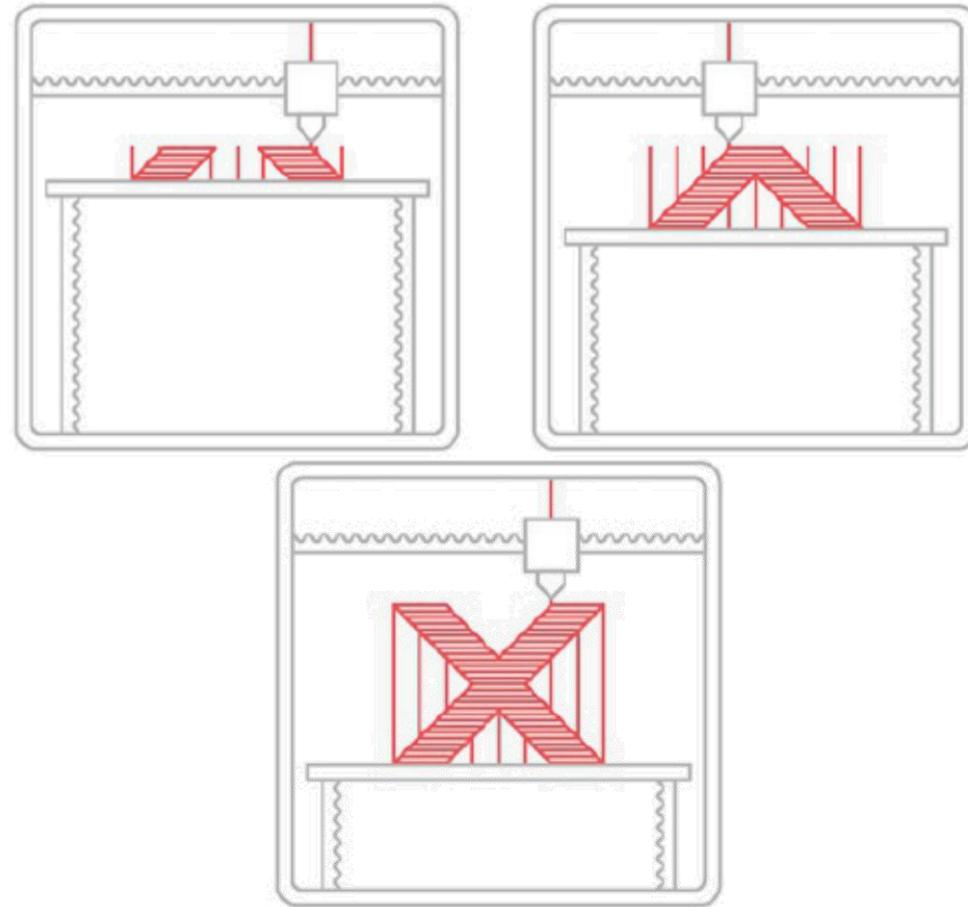
Bei trennender Fertigung ist die Fertigungszeit am geringsten, wenn möglichst wenig Späne produziert werden, → das Bauteil bleibt so weit wie möglich im Ausgangszustand

## Kosten pro Bauteil vs. Stückzahl



## 3.2.1 Gestaltung für Materialextrusion

## Prozessablauf bei Materialextrusion



- Filament aufschmelzen
- Filament schichtweise auftragen:
  - 1. Schicht: auf Druckbett aufgetragen
  - Alle weiteren Schichten: auf die vorhergehende Schicht auftragen
- Druckbett bewegt sich langsam nach unten
- Nach dem Druckvorgang: Bauteil vom Druckbett lösen

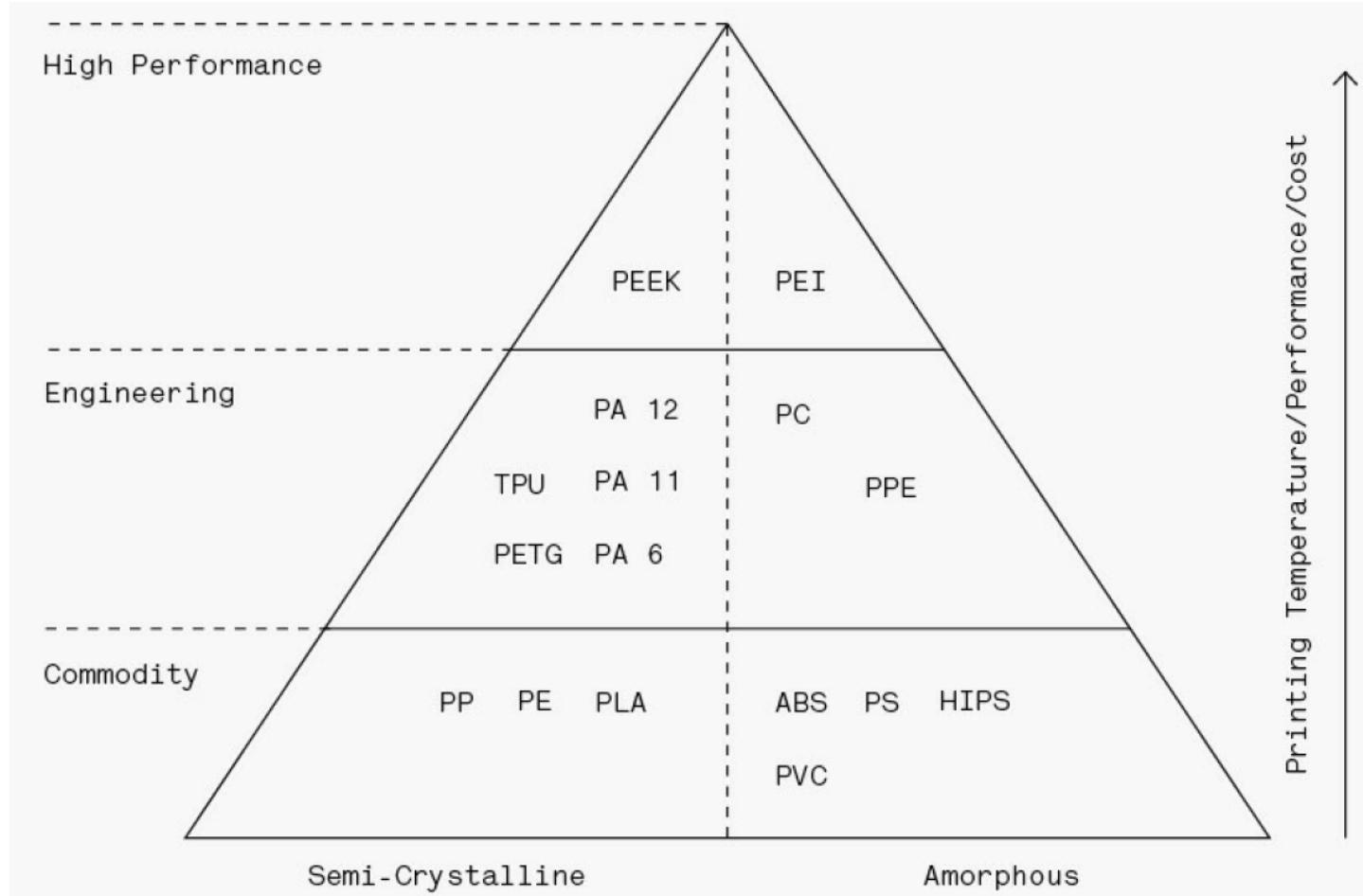
## Fertiges Bauteil

Die Schichten sind bei Materialextrusion grundsätzlich zu sehen.



# GESTALTUNG - 3 Urformgerechte Gestaltung

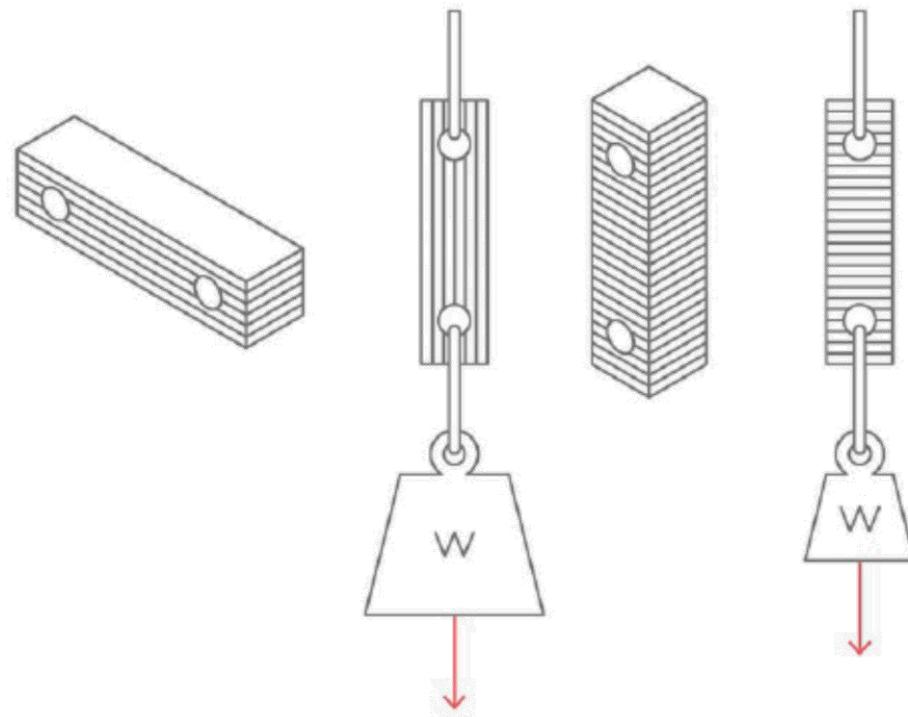
## Materialien



## Materialeigenschaften

Material	Common Brands	Characteristics
ABS	eSun Stratasys Ultimaker	<ul style="list-style-type: none"><li>- Good mechanical properties</li><li>- Good temperature resistance</li><li>- Susceptible to warping</li></ul>
PLA	ColorFabb (PLA/PHA) Formfutura Innofil Polymaker Ultimaker	<ul style="list-style-type: none"><li>- Most common 3D printing plastic</li><li>- Easy to print with</li><li>- Lower impact strength, elongation and temperature resistance than ABS</li></ul>
Nylon (PA)	Stratasys Taulman3D Ultimaker	<ul style="list-style-type: none"><li>- Suitable for end-use prints</li><li>- Good flexibility</li><li>- Excellent chemical resistance</li></ul>
PETG	ColorFabb (XT) eSun	<ul style="list-style-type: none"><li>- High impact &amp; chemical resistance</li><li>- Good thermal properties</li><li>- Susceptible to warping</li></ul>
TPU	Ninjaflex Ultimaker TPU 95A Polymaker Polylex	<ul style="list-style-type: none"><li>- Flexible and rubber-like parts</li><li>- Good elongation</li><li>- Difficult to print accurately</li></ul>
PEI	Stratasys (ULTEM)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Excellent strength to weight</li><li>- Fire and chemical resistance</li><li>- High cost</li></ul>

## Bauteilausrichtung



Die gedruckten Bauteile sind entlang der gedruckten Schichten belastungsfähiger als senkrecht zu ihnen.

- Schichten parallel zur Belastungsrichtung legen
- dies kann dazu führen, dass das Bauteil gekippt gedruckt wird.

## Infill

Das gedruckte Bauteil ist nicht massiv, sondern wird mit einer Stützstruktur im Inneren versehen.

Rectangulinear (Rechteck)

Triangular (Dreieck)

Wiggle (Welle)

Honeycomb (Wabe)



12%      30%      50%



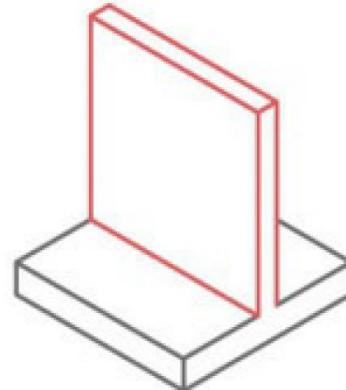
## Infill Dichte

Jeder Infill kann mit einer geringen oder hohen Dichte gedruckt werden.

Damit kann die Stabilität des Bauteils beeinflusst werden.

Den Infill zu drucken benötigt auch Zeit! → nur so viel Infill verwenden, wie nötig.

## Wandstärken

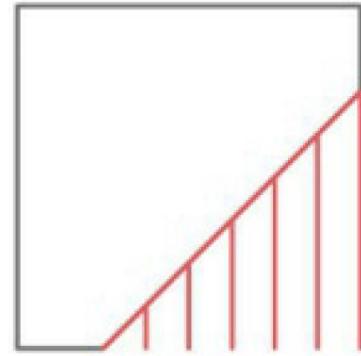


$\geq 0,8 \text{ mm}$

Die minimal druckbare Wandstärke ist ein Vielfaches des Düsendurchmessers.

Der gängigstes Düsendurchmesser ist 0,4 mm.

## Überhänge



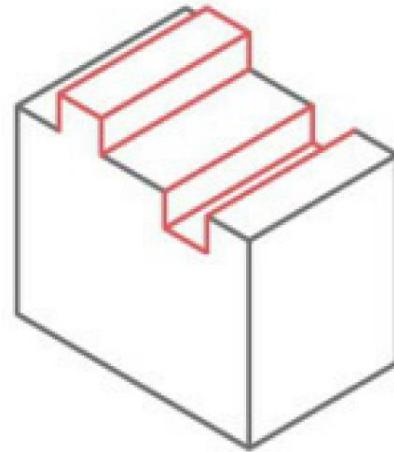
45°

Da der Drucker nicht in die Luft drucken kann, wird Support ab einen Überhang von 45° benötigt.



Das Drucken von Support benötigt auch Zeit,  
→ wenn möglich, vermeiden

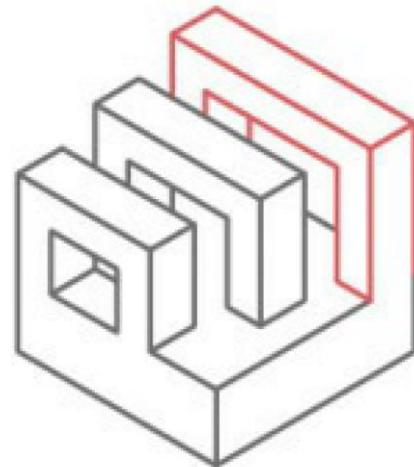
## Erhabene / geprägte Details



0,6 mm x 2 mm

Alle erhabenen und geprägten Details sollten nicht schmäler als 0,6 mm und nicht niedriger als 2 mm sein.

## Brücken

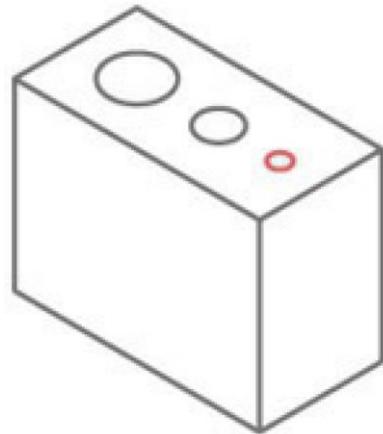


10 mm

Brücken, ohne Support, sollten nicht mehr als 10 mm überspannen.

Andernfalls besteht die Gefahr, dass die Struktur einsackt.

## Löcher



$\varnothing 0,2$  mm

Fused Filament Fabrication (FFF) hat die Tendenz leicht kleinere Löcher zu erzeugen, als das 3D-Modell vorgibt.

Wenn genaue Durchmesser benötigt werden, empfiehlt sich eine spanende Nachbearbeitung.

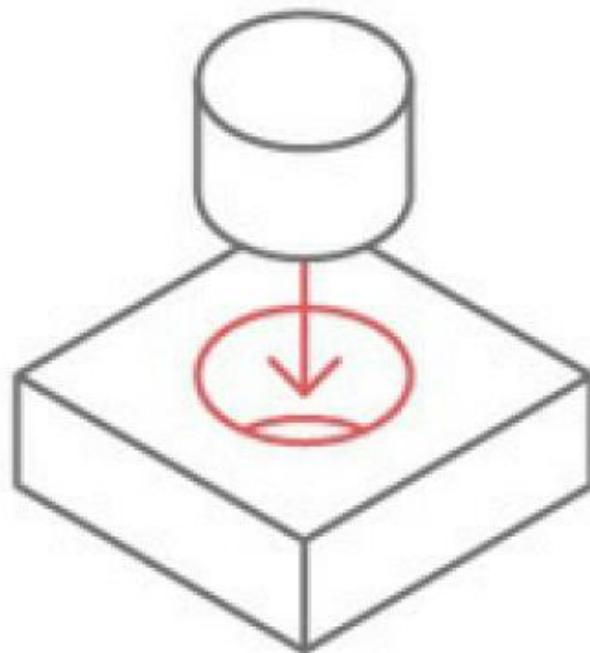
Löcher kleiner als  $\varnothing 0,2$  mm sollten vermieden werden.

## Löcher



Löcher sollten senkrecht zu den Druckschichten ausgerichtet werden, damit sie rund werden. Löcher in anderer Ausrichtung werden stufig und benötigen Stützstruktur.

## Fugen

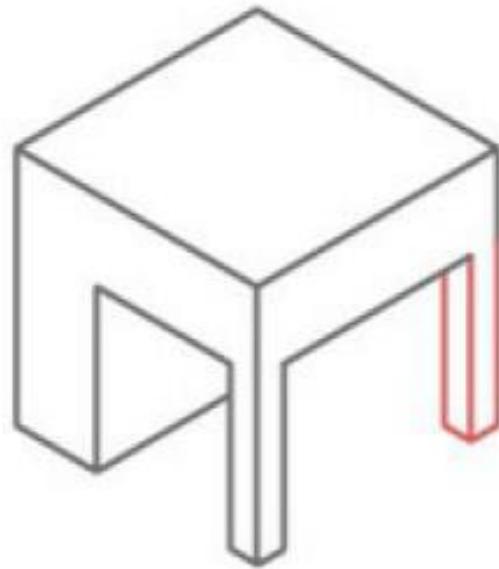


0,5 mm

Wenn Fugen zwischen Teilen erforderlich sind, dann sollten sie nicht schmäler als 0,5 mm sein.

Dieser Wert kann auf die gewünschte Passung angepasst werden.

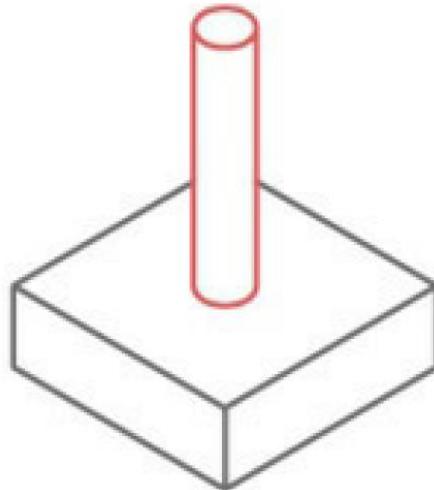
## Details



0,2 mm

Details sollten nicht kleiner als 0,2 mm sein.

## Pins

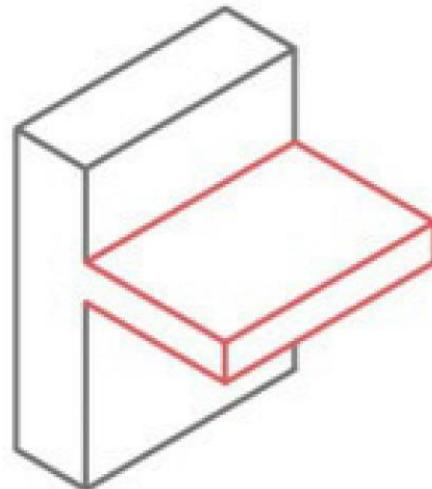


$\varnothing 3\text{ mm}$

Senkrechte Zylinder sollten einen Durchmesser von 3 mm nicht unterschreiten.

Sollten Zylinder notwendig sein, kann auch ein zweites Bauteil in eine Bohrung eingeklebt werden.

## Wände ohne Abstützung



3 mm

Waagerechte Wände ohne Abstützung verlieren die Formgenauigkeit, je weiter sie überstehen.

Waagerechte Wände ohne Abstützung sollten nicht mehr als 3 mm über den Grundkörper hinausragen.

## Post Processing – Entfernen des Supports

Wenn ein Design Support erfordert, muss es nach dem Druck entfernt werden.

Die Stützen werden entweder abgeschnitten oder abgebrochen.

Die Oberfläche in Kontakt mit dem Trägermaterial muss üblicherweise geschliffen werden, wenn eine glatte Oberfläche erforderlich ist.

- dieser Prozess zählt zur Fertigungszeit und kostet Geld!
- wenn es möglich ist, dann verzichten Sie auf Support.

## Post Processing – Schleifen / Spachteln

3D-Drucke können geschliffen werden, wenn eine glatte Oberfläche erforderlich ist.

Leichtes Schleifen erfolgt mit Schleifpapier (Körnung > 600)

Um Lücken zu füllen und die Oberfläche gleichmäßiger zu machen eignet sich Epoxidharz.

Nach dem Aushärten der Spachtelmasse sollte die Oberfläche nachgeschliffen werden.

## Post Processing – Lackieren / Beschichten

Das Grundieren und Lackieren ist die gebräuchlichste Methode. Dazu wird zunächst die Oberfläche geschliffen und dann grundiert. Anschließend wird die Farbe in mehreren dünnen Schichten aufgetragen.

3D-Druck-Teile können leitfähig beschichtet werden, und dann mit einer Metallbeschichtung versehen werden. So bekommen 3D-Druck-Teile ein metallisches Aussehen.

## Allgemeintoleranzen für 3D-Druck

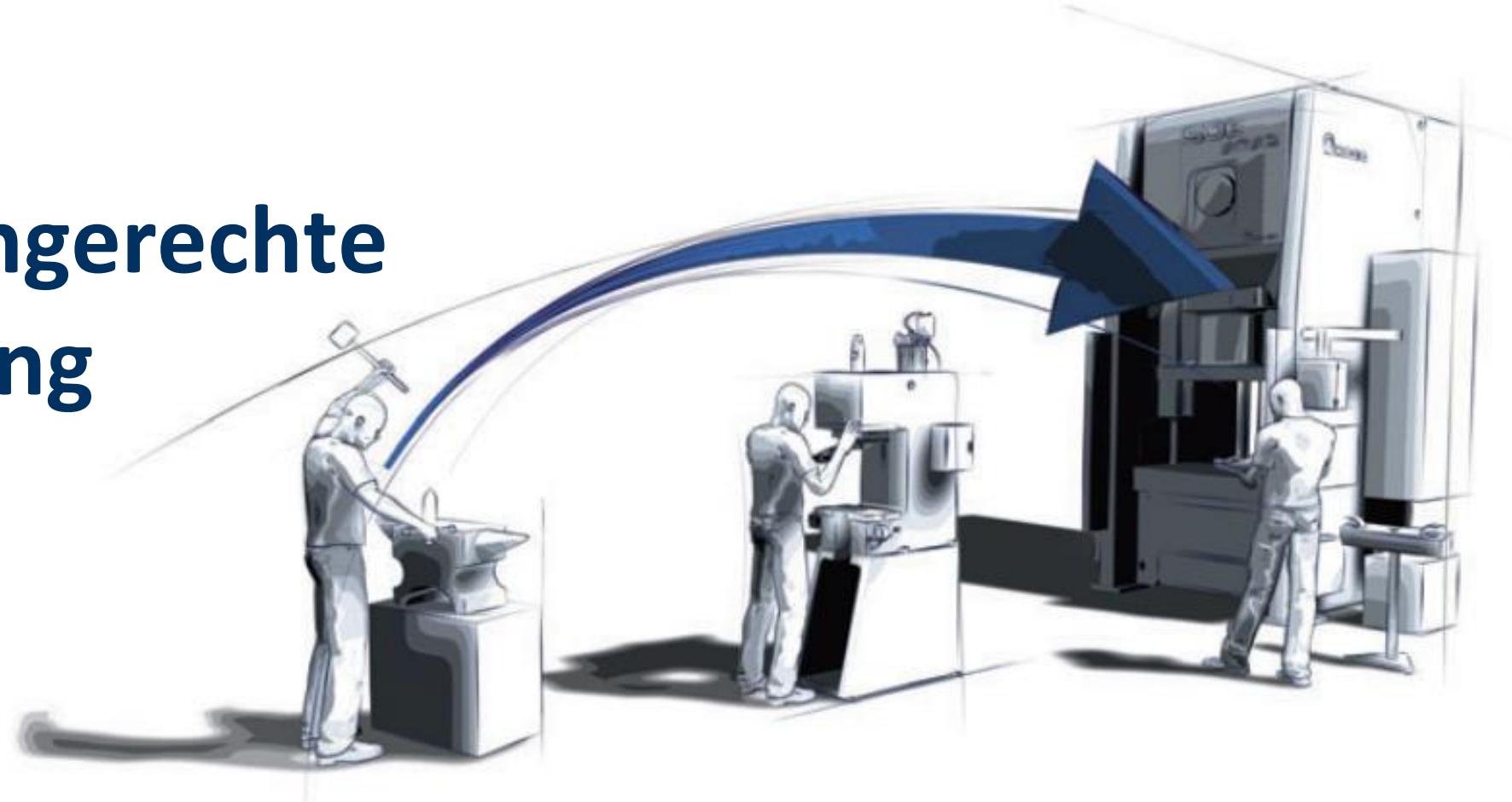
Die druckbare Genauigkeit hängt beim 3D-Druck stark vom eingesetzten Drucker und von den Druckeinstellungen ab.

Eine Norm gibt es noch nicht.

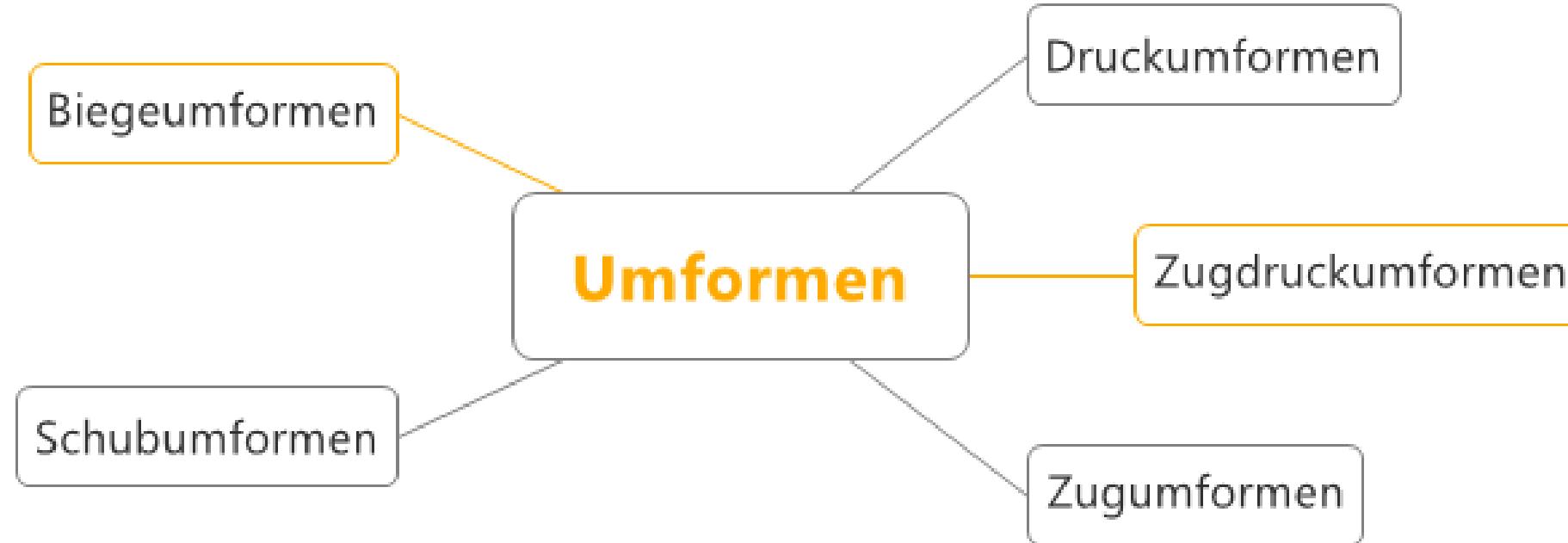
## Checkliste

- Das Bauteil wurde so ausgerichtet, dass die Druckebene parallel zur Kraftrichtung liegt.
- Die Druckdauer wurde so weit als möglich reduziert.
- Überhänge sind nicht größer als 45°
- Löcher liegen senkrecht zur Druckebene
- Es wurden auf die minimalen Größen von Details, Fugen, Pins und Brücken geachtet.

## 4 Umformgerechte Gestaltung

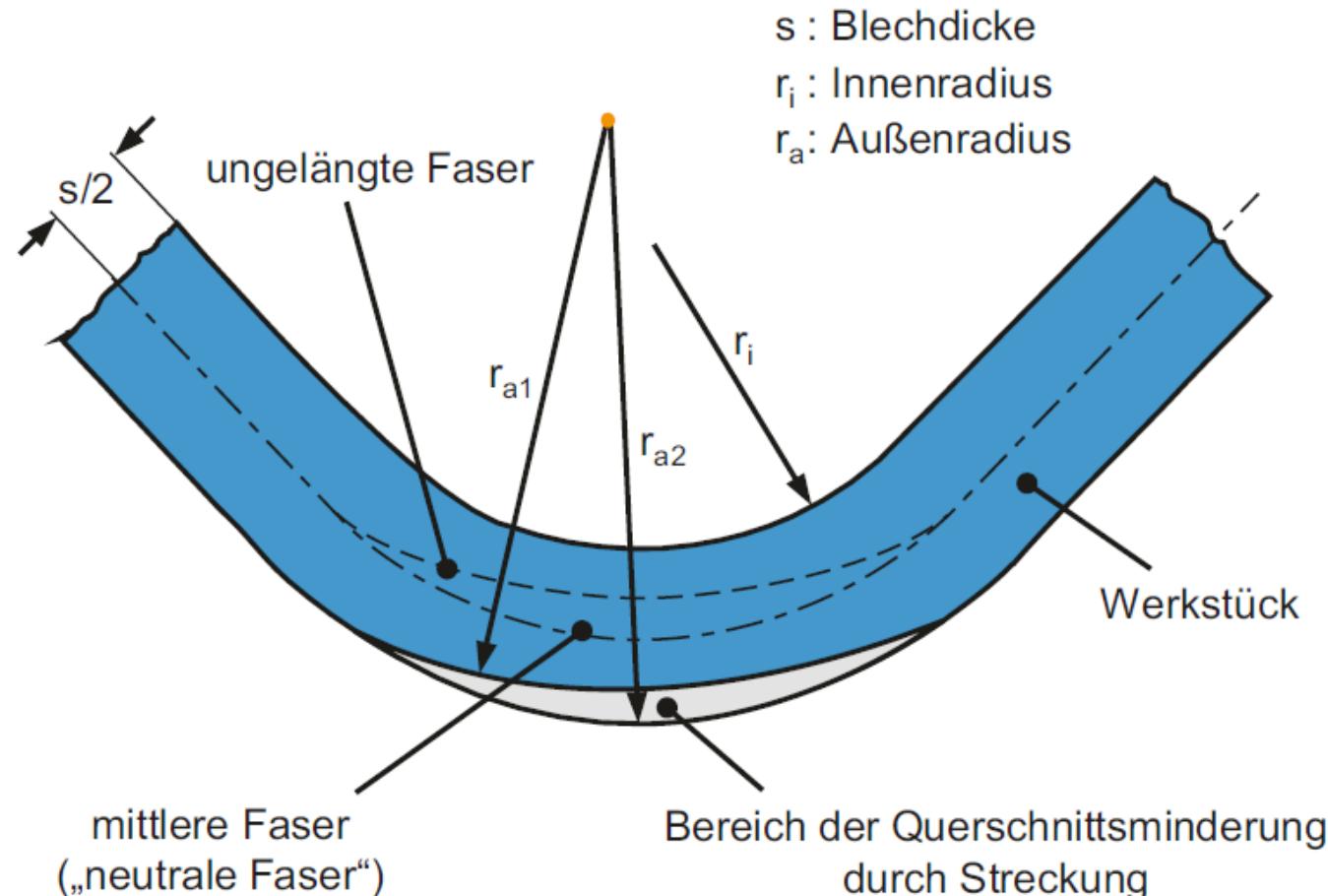


## Überblick Umformen



## 4.1 Biegegerechte Gestaltung

## Verfahrensprinzip



## Verfahrensprinzip

Bei  $r_i / s \geq 50$ :

Ungelängte Faser und neutrale Faser liegen in der Querschnittsmitte. z.B.  $r_i / s = 100\text{mm}/2\text{mm} = 50$

Bei  $r_i / s < 50$ :

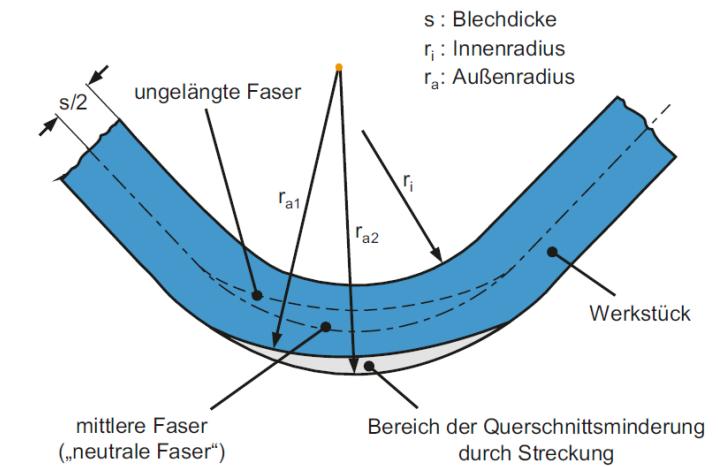
Ungelängte Faser verlagert sich nach innen.

In der Außenfaser ergeben sich eine Abflachung → ungleichmäßiger Krümmungsradius an der Außenseite.

z.B.  $r_i / s = 10\text{mm}/2\text{mm} = 5$

$r_i$ : Biegeradius

$s$ : Blechdicke



## Kleinstmögliche Biegeradien

Im gebogenen Teil des Bleches entstehen durch Streckung und Stauchung Verfestigungen im Werkstoff.

Diese Verfestigungen bringen die Gefahr mit sich, dass an der Außenseite Risse auftreten können. Der kleinstmögliche Biegeradius folgt zu:

$$r_{i,min} = c \cdot s$$

$r_{i,min}$ : kleinstmögliches Biegeradius

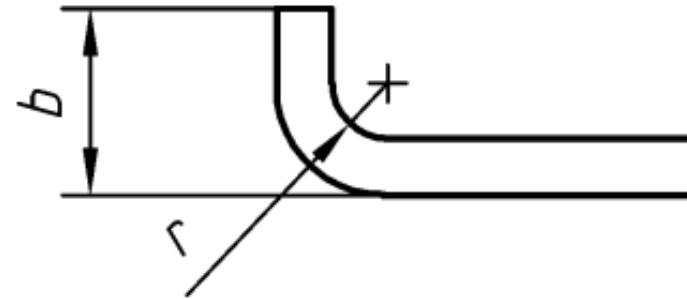
$c$ : Mindestrundungsfaktor

$s$ : Blechdicke

## Mindestrundungsfaktor

Werkstoff	c-Faktor	Werkstoff		c-Faktor	Werkstoff		c-Faktor
Stahlblech	0,6	Aluminium	halbh.	0,9	AlMn	weich	1,0
Tiefziehblech	0,5		hart	2,0		preßh.	1,2
rostfreier Stahl		AlMg 3	weich	1,0		hart	1,2
mart. ferrit.	0,8		halbh.	1,3	AlCu	weich	1,0
austenitisch	0,5	AlMg 7	weich	2,0		ausgeh.	3,0
Kupfer	0,25		halbh.	3,0	AlCuMg	weich	1,2
Zinnbronze	0,6	AlMg 9	weich	2,2		preßh.	1,5
Aluminiumbronze	0,5		halbh.	5,0		ausgeh.	3,0
CuZn 28	0,3	AlMgSi	weich	1,2	AlCuNi	geglüht	1,4
CuZn 40	0,35		ausgeh.	2,5		ungegl.	3,5
Zink	0,4	AlSi	weich	0,8	MgMn		5,0
Aluminium,weich	0,6		hart	6,0	MgAl 6		3,0

## Kleinstmögliche Schenkellänge



Beim maschinellen Biegen von Blechprofilen gilt für die kleinstmögliche Schenkellänge  $b_{\min}$  als Ungefährmaß

$$b_{\min} \approx 4 \cdot r$$

$b_{\min}$ : kleinstmögliche Schenkellänge

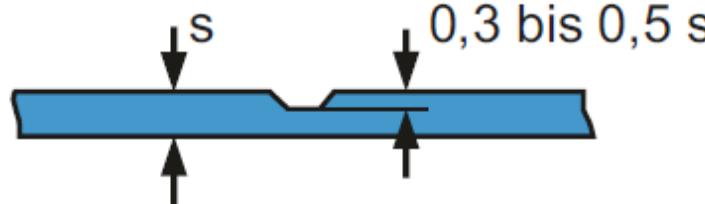
$r$ : Biegeradius

## Scharfe Kanten

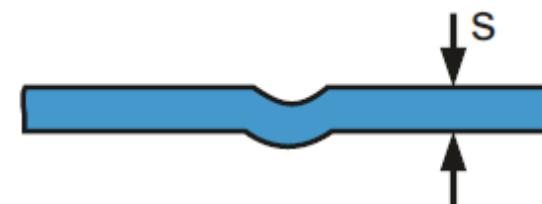
Scharfe Kanten können durch Warm-Umformung erzeugt werden oder es ist eine Einkerbung/Sicke auf der Rückseite des Bleches notwendig.

Das Aufdicken des Blechs beim Biegen wird so kompensiert.

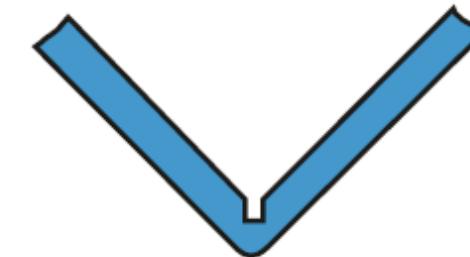
Vorbehandlung: Einkerben



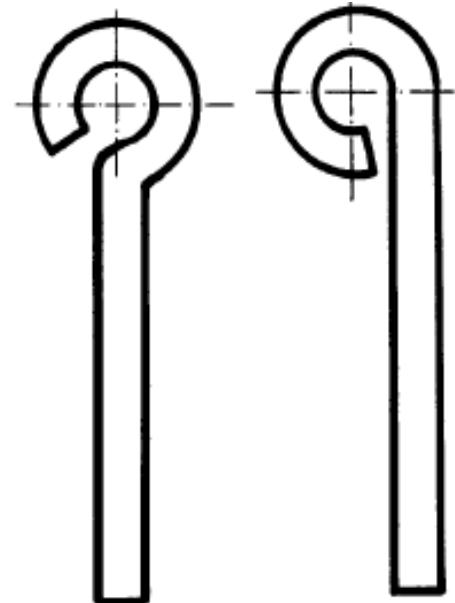
Vorbehandlung: Sicken



Querschnitt nach Biegen



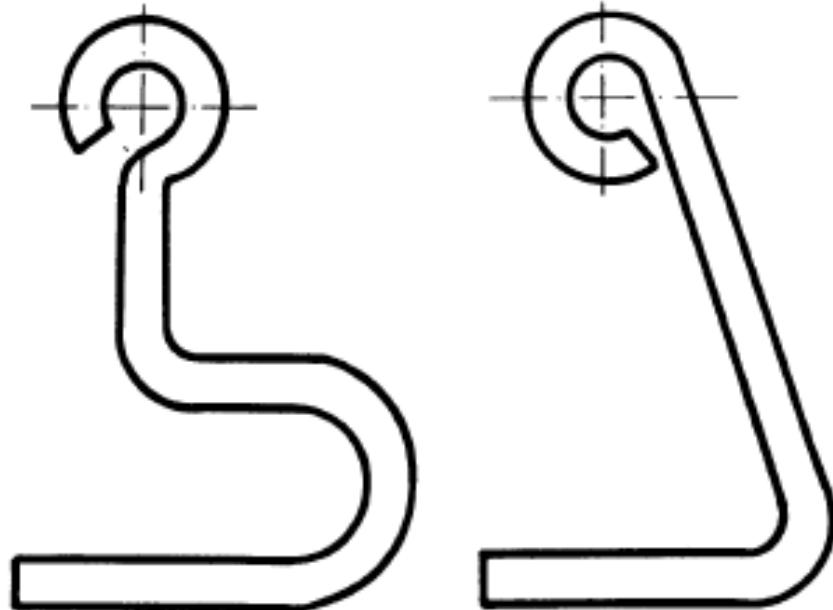
## Gerollte Bleche



Der Innendurchmesser gerollter Bleche sollte größer als  $1,5 \times$  der Blechdicke sein.

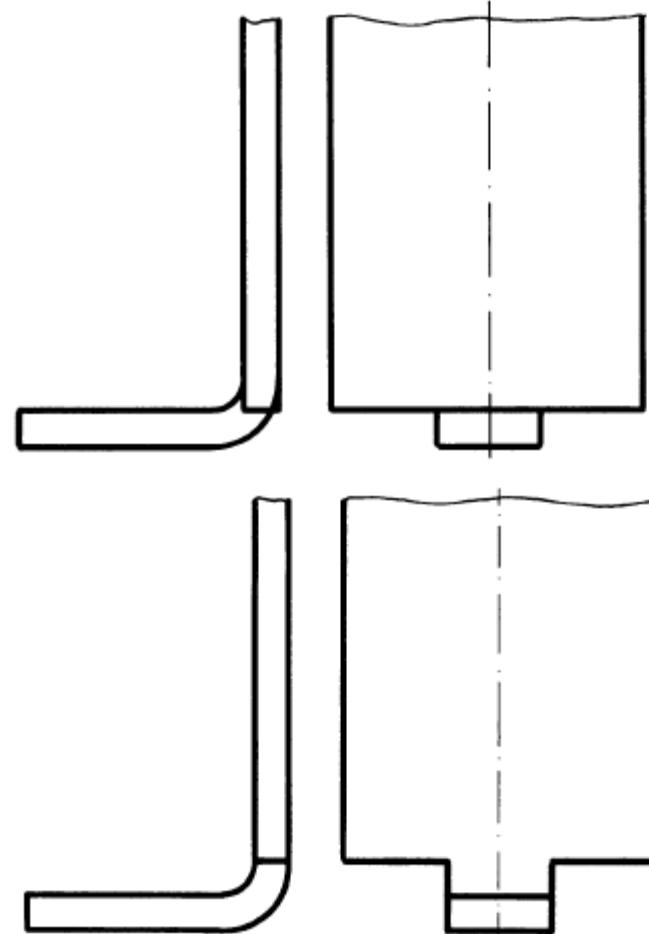
Die rechte Ausführung ist wegen der einfacheren Biegearbeit zu bevorzugen.

## Biegearbeit



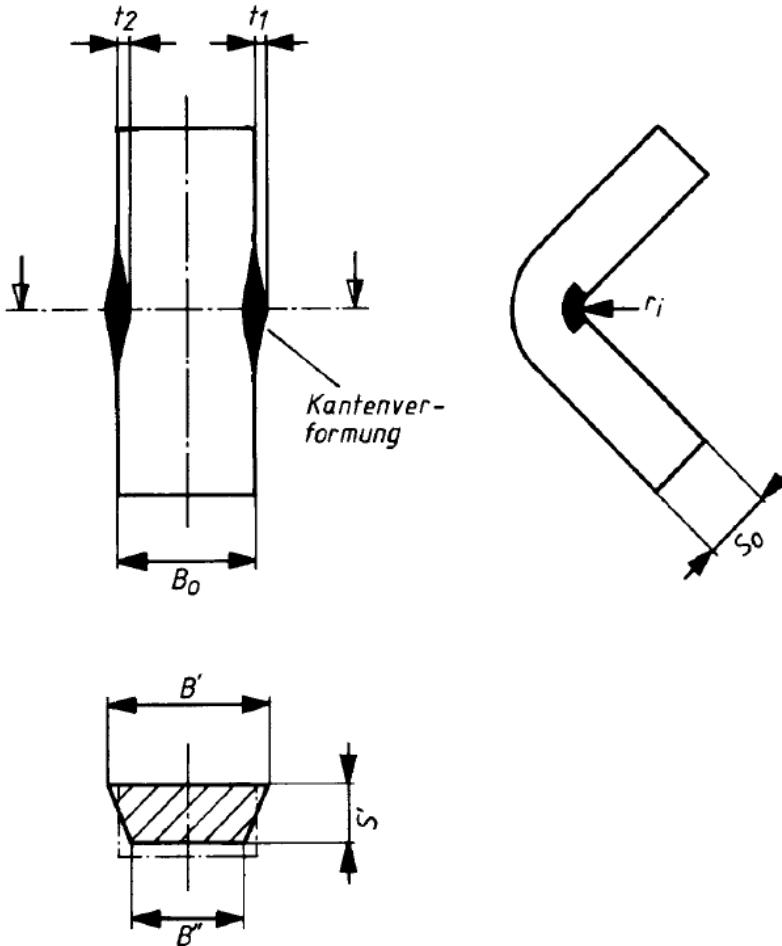
Blechteile gleicher Funktion, jedoch rechts mit erheblich weniger Biegearbeit herzustellendes Teil.

## Abgesetzte Bleche



Abgesetzte Blechteile sollten nicht am Ausschnitt abgewinkelt werden, da die Gefahr des Einreißen besteht.

## Kantenverformung



Bei scharfkantigen Biegungen bilden sich an den Biegeteilen Ausbuchtungen.

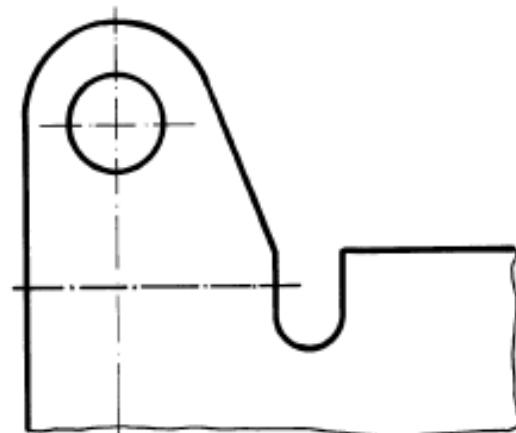
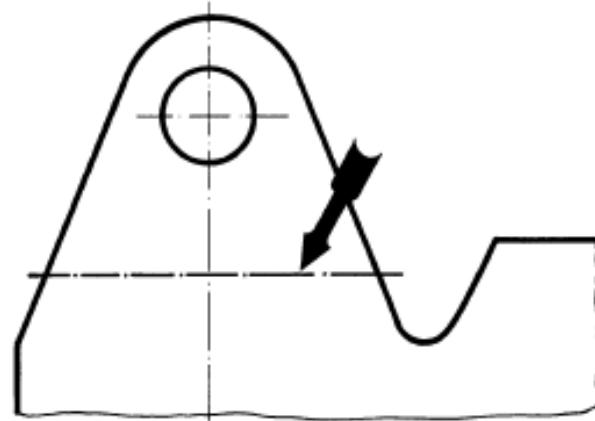
Diese Kantenverformungen sind abhängig von der Breite des zu biegenden Bleches.

Bei sehr breiten Blechen sind diese bei weitem nicht so groß wie bei schmalen Blechen.

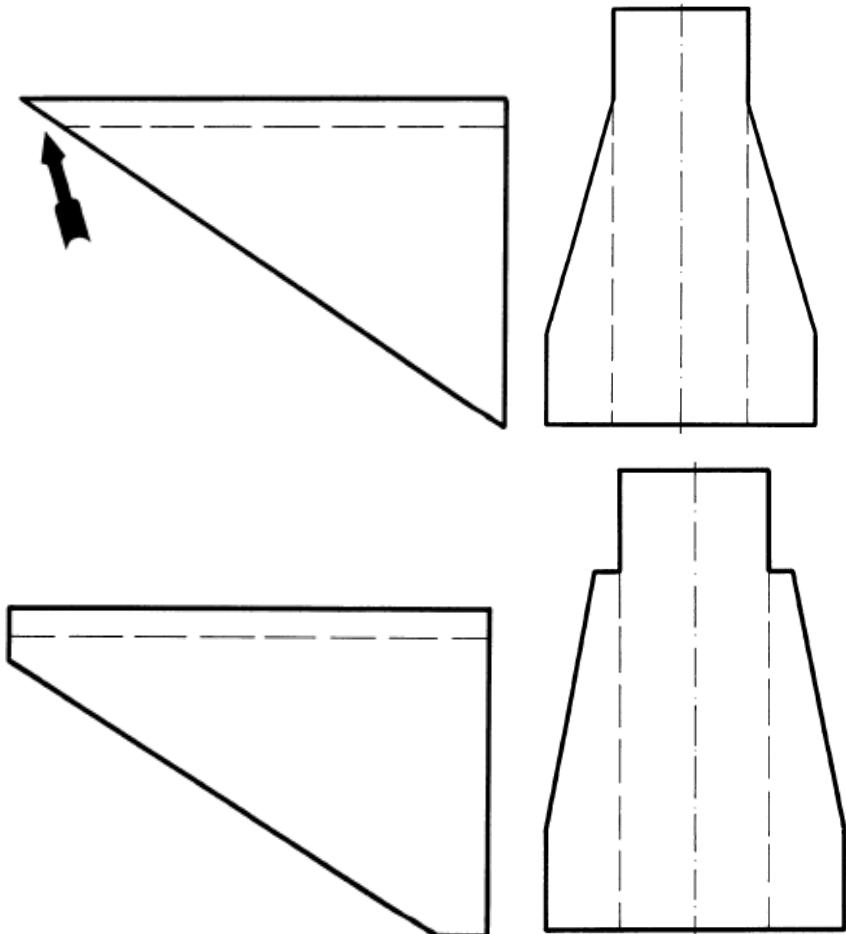
Verwendbarkeit des Werkstücks prüfen!

## Biegekanten

Biegekante (Pfeil) rechtwinklig zur Blechkontur vorsehen.



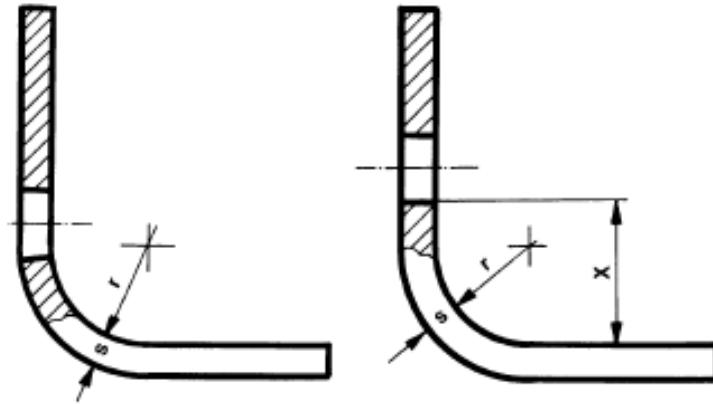
## Spitz auslaufende Biegeteile



Spitz auslaufende Blechbiegeteile vermeiden.

Die technisch bessere Ausführung hat stumpf Enden, an denen die Biegung sauber durchgeführt werden kann.

## Öffnungen nahe der Biegezone



Bei Bohrungen und Aussparungen in der Nähe der Biegezone (Biegekante) dürfen diese nicht zu nahe an die Biegung gelegt werden, da sich sonst die Durchbrüche verziehen.

Der minimale Randabstand  $x$  ist:

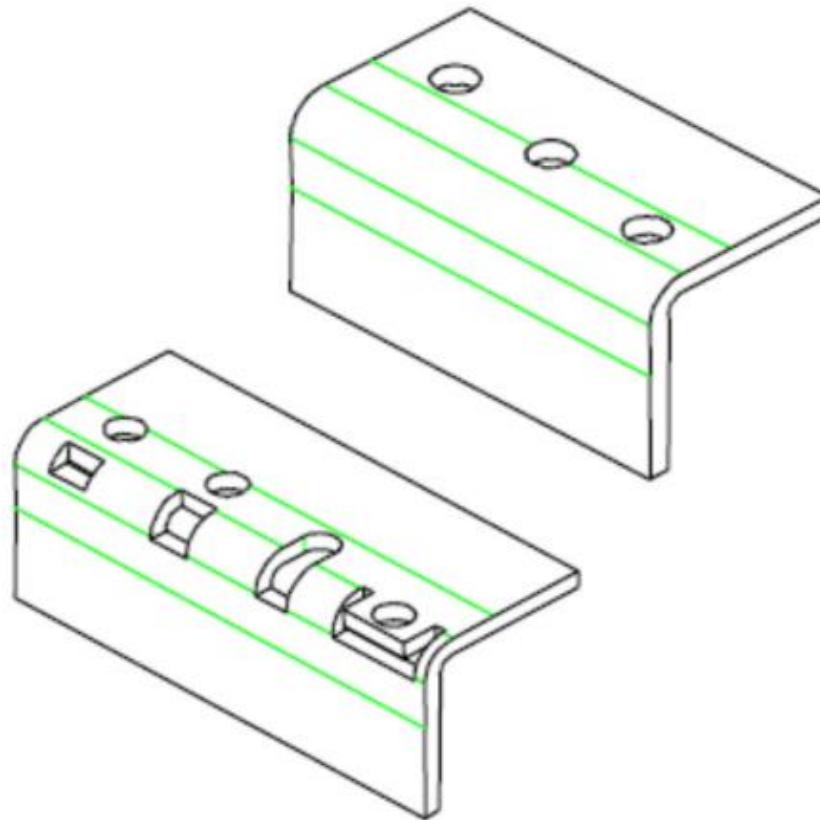
$$x \geq r + 1,5 \cdot s$$

$x$ : minimaler Randabstand

$r$ : Biegeradius

$s$ : Blechdicke

## Öffnungen innerhalb der Biegezone



Abhilfemaßnahmen:

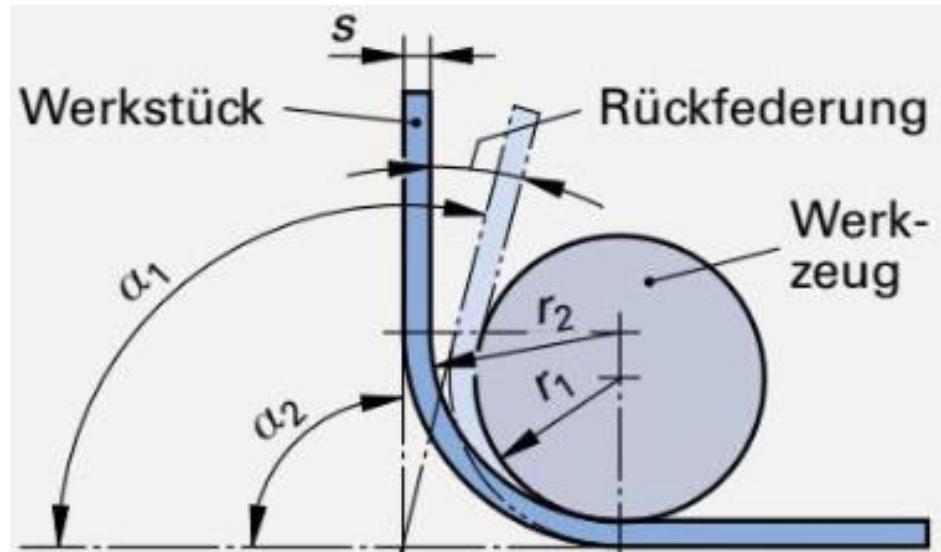
- Laserschnitt auf der Biegelinie
- Biegung komplett freischneiden
- Öffnungen über die Biegezone legen
- Lasche in die Biegezone stehen lassen

Beste Lösung:

Bohrungen nach dem Biegen bohren.  
Das ergibt die größte Genauigkeit!

## Rückfederung

Der Biegevorgang ist eine plastisch-elastische Umformung. Am Ende des Biegeprozesses kommt es zu einer Rückfederung → elastische Rückfederung.



$\alpha_1$ : Biegewinkel vor Rückfederung

$\alpha_2$ : Biegewinkel nach der Rückfederung

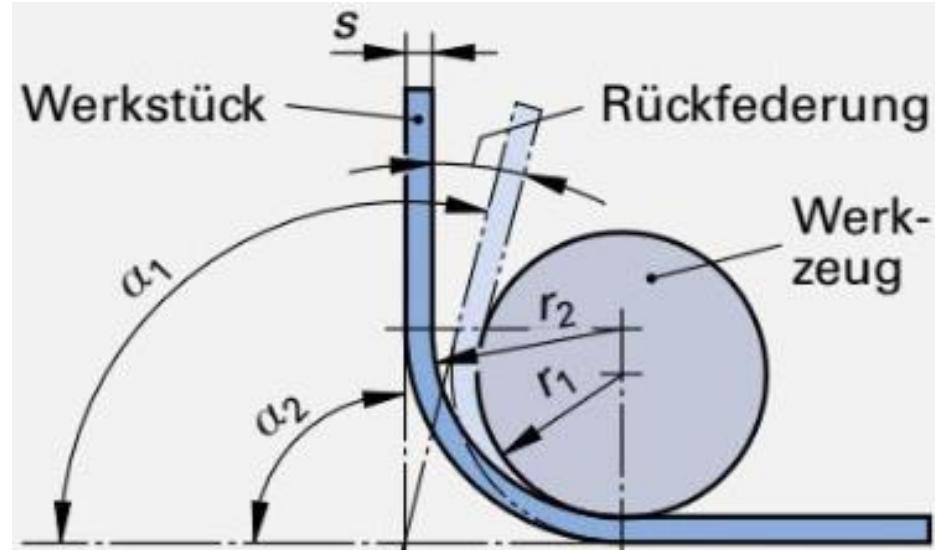
$r_1$ : Radius am Werkzeug

$r_2$ : Biegeradius am Werkstück

$k_R$ : Rückfederungsfaktor

$s$ : Blechdicke

## Rückfederung



$\alpha_1$ : Biegewinkel vor Rückfederung

$r_1$ : Radius am Werkzeug

$r_1$ : Radius am Werkzeug

Radius am Werkzeug:

$$r_1 = k_R \cdot (r_2 + 0,5 \cdot s) - 0,5 \cdot s$$

Biegewinkel vor Rückfederung:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_2}{k_R}$$

$\alpha_2$ : Biegewinkel nach der Rückfederung

$r_2$ : Biegeradius am Werkstück

$s$ : Blechdicke

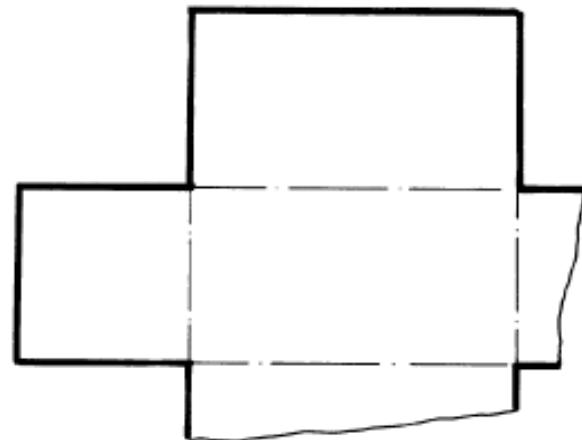
## Rückfederungsfaktor

Werkstoff der Biegeteile	Rückfederungsfaktor $k_R$ für das Verhältnis $r_2/s$										
	1	1,6	2,5	4	6,3	10	16	25	40	63	100
DC04	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,97	0,96	0,94	0,91	0,87	0,83
DC01	0,99	0,99	0,99	0,97	0,96	0,96	0,93	0,90	0,85	0,77	0,66
X12CrNi18-8	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,89	0,84	0,76	0,63	–	–
E-Cu-R200	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90	0,85	0,79	0,72	0,6
CuZn33-R290	0,97	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,89	0,86	0,83	0,77	0,73
CuNi18Zn20-R400	–	–	–	0,97	0,96	0,95	0,92	0,87	0,82	0,72	–
Al99,0	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,93
AlCuMg1	0,92	0,90	0,87	0,84	0,77	0,67	0,54	–	–	–	–
AISiMgMn	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90	0,86	0,82	0,76	0,72

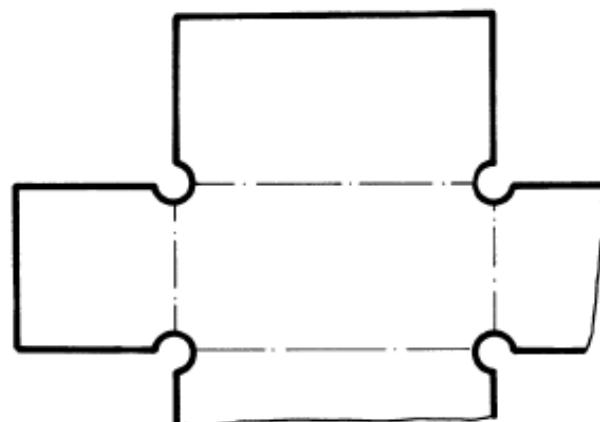
**DC04:** <https://www.thyssenkrupp-materials-processing-europe.com/de/c-stahl/kaltgewalztes-feinblech/dco1-dc07/dc04>

**DC01:** <https://www.thyssenkrupp-materials-processing-europe.com/de/c-stahl/kaltgewalztes-feinblech/dco1-dc07/dc01>

## Allseitig umgebogene Schenkel



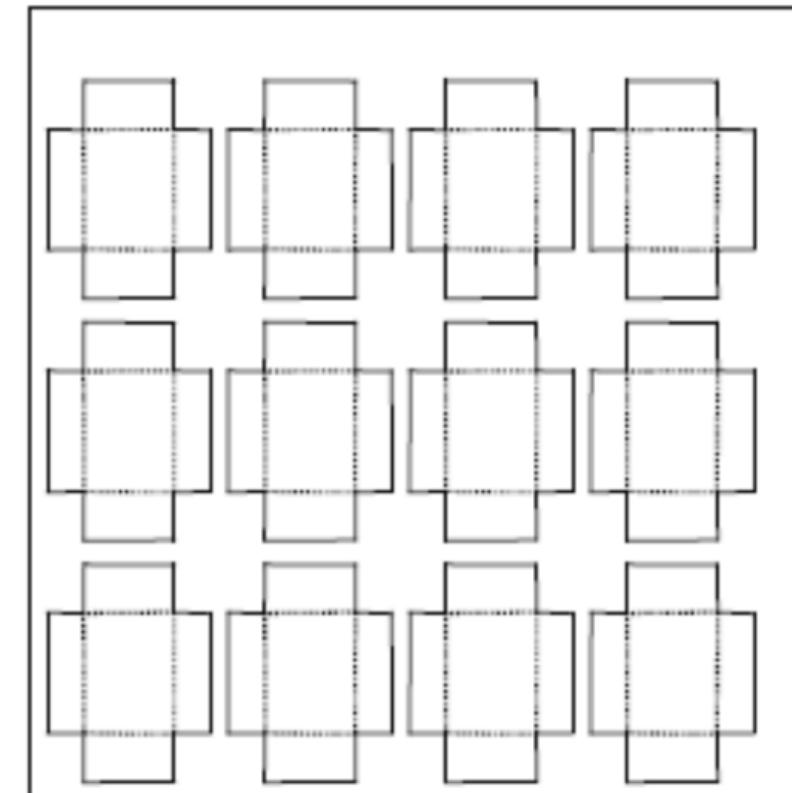
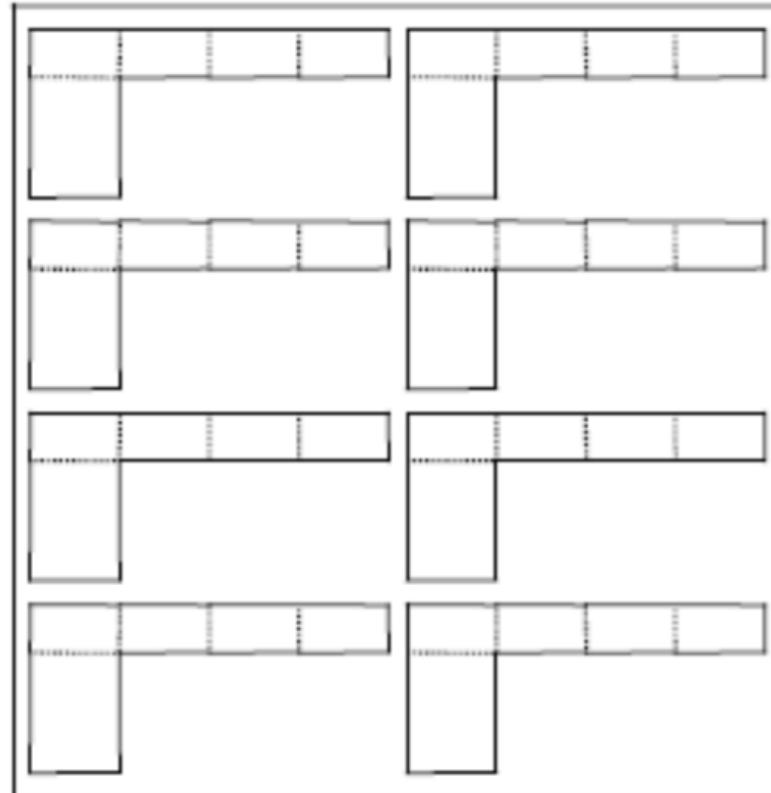
An den Ecken Aussparungen vorsehen.



Die Biegung soll senkrecht zu Blechkon-  
tur verlaufen.

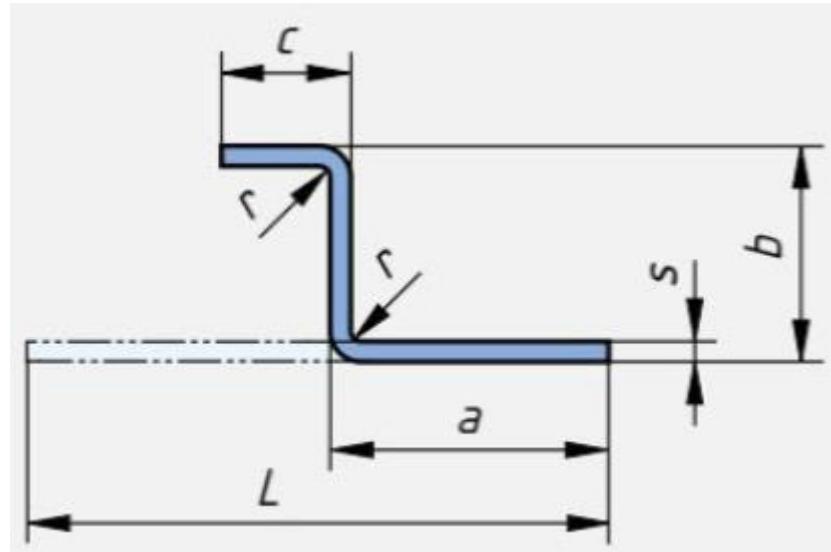
## Abwicklung

Kompakte Abwicklungen verringern den Verschnitt.



## Zuschnittsermittlung für 90°- Biegeteile

Beim Biegen wird der Werkstoff in der Biegezone etwas gereckt d.h. plastisch verlängert. Daher muss die Abwicklung für das Blechrohrtel vor dem Biegen eingekürzt werden. Diese Längenkorrektur ist die sogenannte Biegeverkürzung.



*L: gestreckte Länge*

*a, b, c: Längen der Schenkel, inklusive Dicke s*

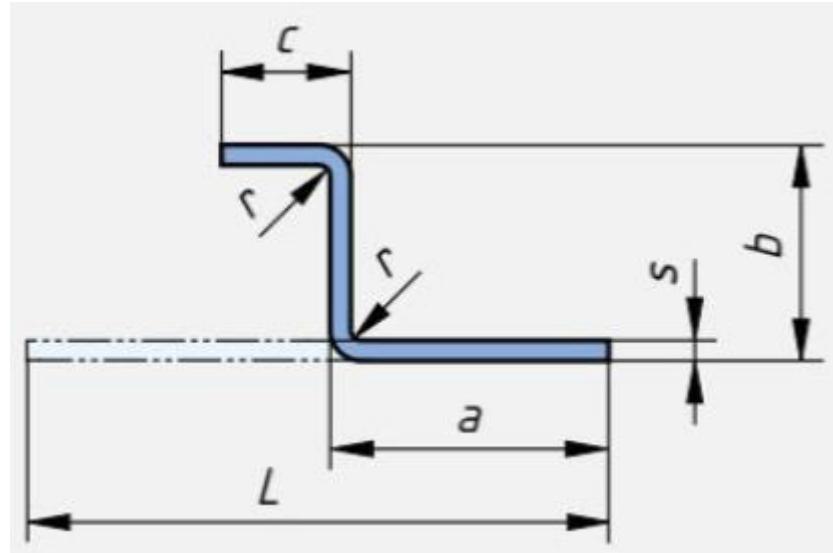
*s: Dicke*

*r: Biegeradius*

*n: Anzahl der Biegestellen*

*v: Ausgleichswert*

## Zuschnittsermittlung für 90°-Biegeteile



gestreckte Länge:

$$L = a + b + c + \dots - n \cdot v$$

## Ausgleichswerte $v$ für Biegewinkel $90^\circ$

**Ausgleichswerte  $v$  für Biegewinkel  $\alpha = 90^\circ$**

vgl. Beiblatt 2 zu DIN 6935 (2011-10) zurückgezogen

Biege- radius $r$ in mm	Ausgleichswert $v$ je Biegestelle in mm für Blechdicke $s$ in mm														
	0,4	0,6	0,8	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	8	10
1	1,0	1,3	1,6	1,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,6	1,2	1,5	1,8	2,1	2,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,5	1,5	1,8	2,1	2,4	3,2	4,0	4,8	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	2,4	2,7	3,0	3,7	4,5	5,2	6,0	6,9	—	—	—	—	—	—
6	—	—	3,5	3,8	4,5	5,2	5,9	6,7	7,5	8,3	9,1	9,9	—	—	—
10	—	—	—	5,5	6,1	6,7	7,4	8,1	8,9	9,6	10,4	11,2	12,7	—	—
16	—	—	—	8,1	8,7	9,3	9,9	10,5	11,2	11,9	12,6	13,3	14,8	17,8	21,0
20	—	—	—	9,8	10,4	11,0	11,6	12,2	12,8	13,4	14,1	14,9	16,3	19,3	22,3
25	—	—	—	11,9	12,6	13,2	13,8	14,4	15,0	15,6	16,2	16,8	18,2	21,1	24,1

## Blechtafelgröße beachten

Die Abwicklung muss auf die vorhandenen Blechtafeln passen.

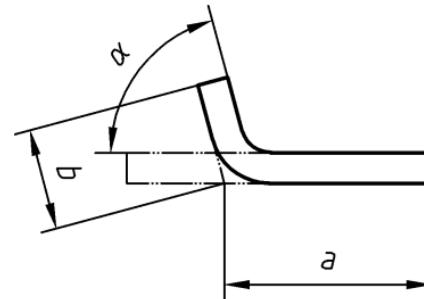
Klingt banal, aber ...

... dafür müssen Sie wissen welche Blechtafelgrößen in der Fertigung verwendet werden.

→ Dieser Faktor ist extrem Firmenabhängig!

## Allgemeintoleranzen für Biegeteile

Zulässige Abweichungen der Winkelstellungen (für  $r/s = 4$ ) nach DIN 6935



Maße in Millimeter

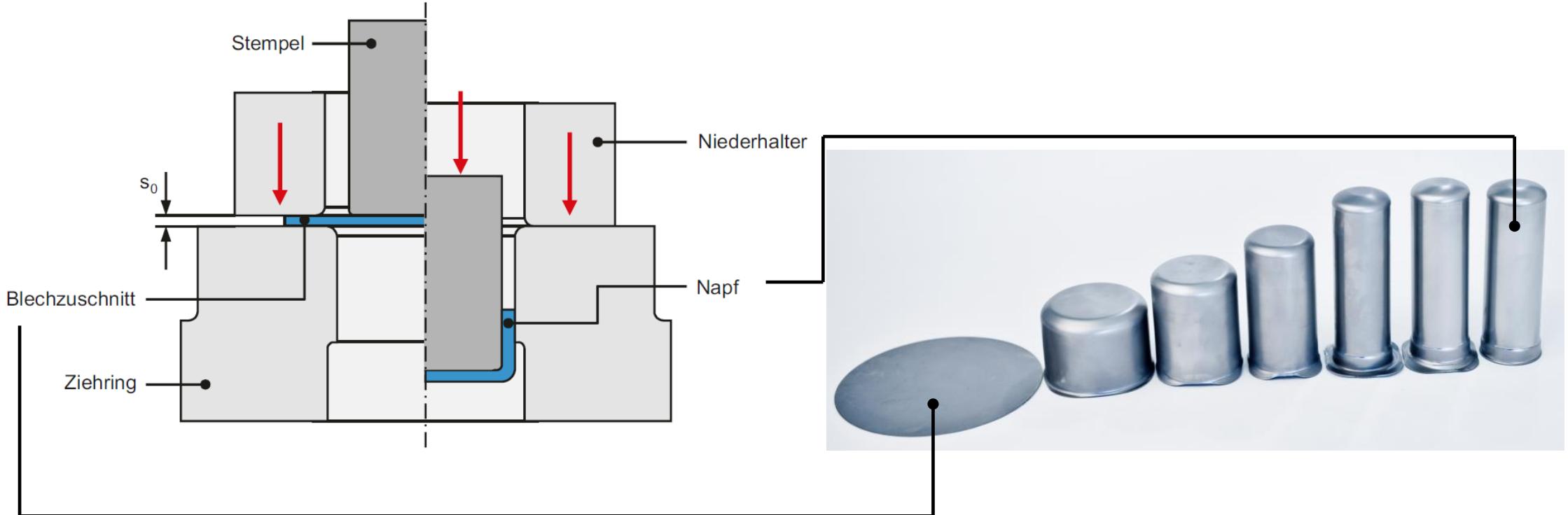
Schenkellänge <b>a</b> und <b>b</b> (Die kürzere Schenkellänge gilt als Nennmaß)	bis 30	über 30 bis 50	über 50 bis 80	über 80 bis 120	über 120
Zulässige Abweichungen des Biegewinkels $\alpha$	$\pm 2^\circ$	$\pm 1^\circ 45'$	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 1^\circ 15'$	$\pm 1^\circ$

## Checkliste

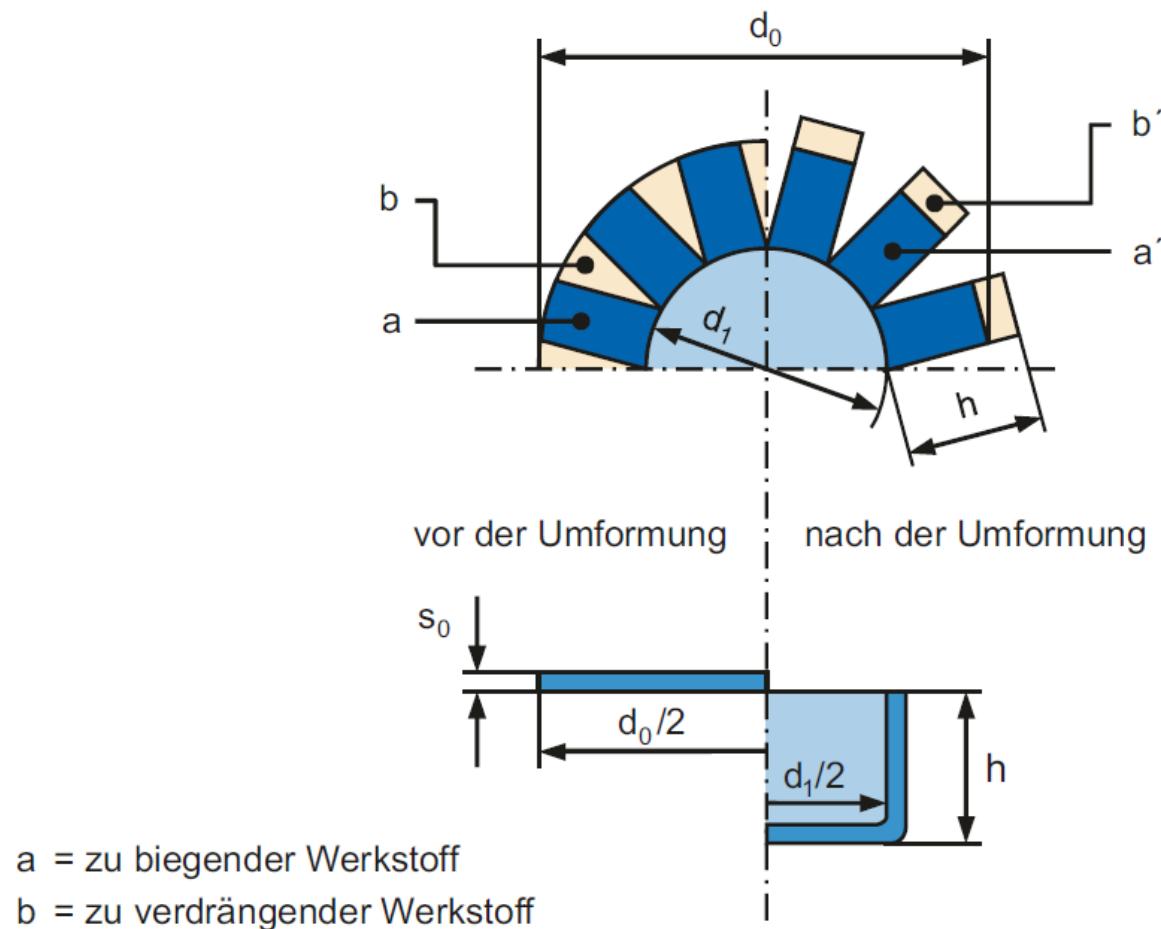
- Einfache Biegearbeit bevorzugt
- Scharfkantige Biegungen vermieden
- Innendurchmesser gerollter Bleche groß genug gewählt
- Biegekante möglichst rechtwinklig zum Blechteil vorgesehen
- Löcher und Aussparungen nicht zu dicht an die Biegekante gelegt

## 4.2 Tiefziehgerechtes Gestalten

## Verfahrensprinzip



## Verfahrensprinzip



Zipfelbildung

## Ermittlung des Blechzuschnitts

Für die Ermittlung des Blechzuschnitts wird von der Konstanz des Volumens ausgegangen.

Bei einem kreisrunden Ziehteil ergibt sich der Durchmesser des Zuschnitts:

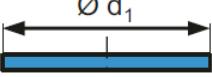
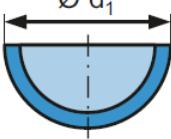
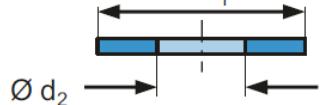
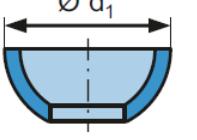
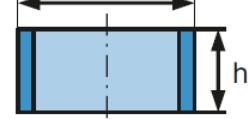
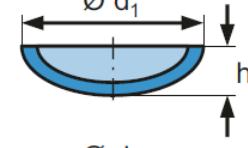
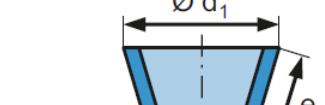
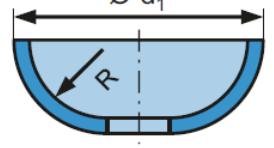
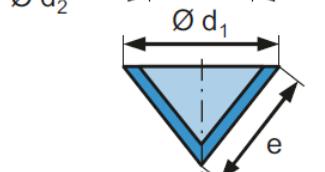
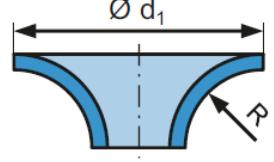
$$D = \sqrt{\frac{\pi}{4} \cdot A_z}$$

Für die genaue Ermittlung der Blechzuschnitte sind oft Versuche erforderlich!

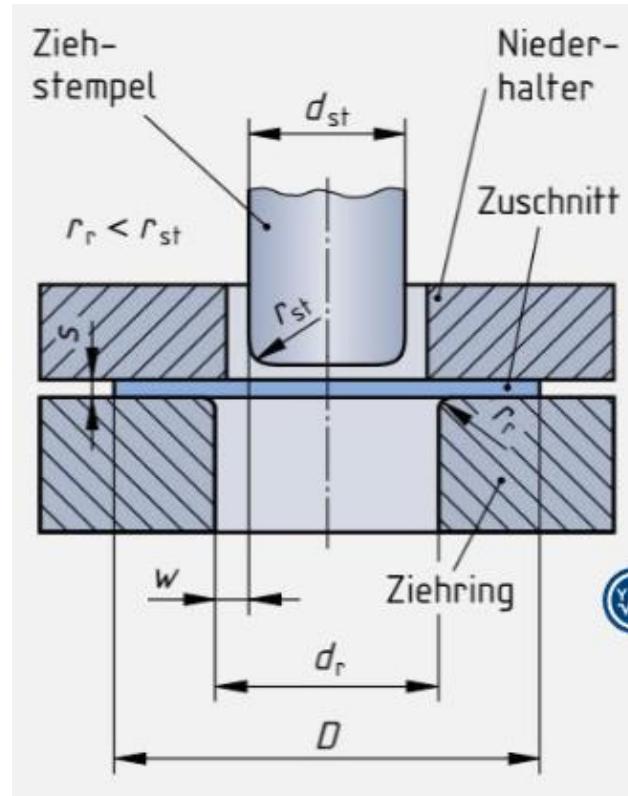
*D: Zuschnitt- oder Rondendurchmesser*

*A<sub>z</sub>: Oberfläche des Fertigteils (die Summe der einzelnen Flächenelemente)*

## Flächenelemente für Zuschnittsberechnung

Flächenelement	Fläche A	Flächenelement	Fläche A
	$\frac{\pi}{4} d_1^2$		$\frac{\pi}{2} d_1^2$
	$\frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2)$		$\pi \cdot d_1 \cdot h$
	$\pi \cdot d_1 \cdot h$		$\frac{\pi}{4} (d_1^2 + 4h^2)$
	$\frac{\pi \cdot e}{2} (d_1 + d_2)$		$\frac{\pi^2 \cdot R}{2} (d_1 - 0,7R)$
	$\frac{\pi \cdot d_1 \cdot e}{2}$		$\frac{\pi^2 \cdot R}{2} (d_1 - 1,3R)$

## Ziehspalt und Radien



$w$ : Ziehspalt

$s$ : Blechdicke

$k$ : Werkstofffaktor

$r_r$ : Radius am Ziehring → bauteilrelevant

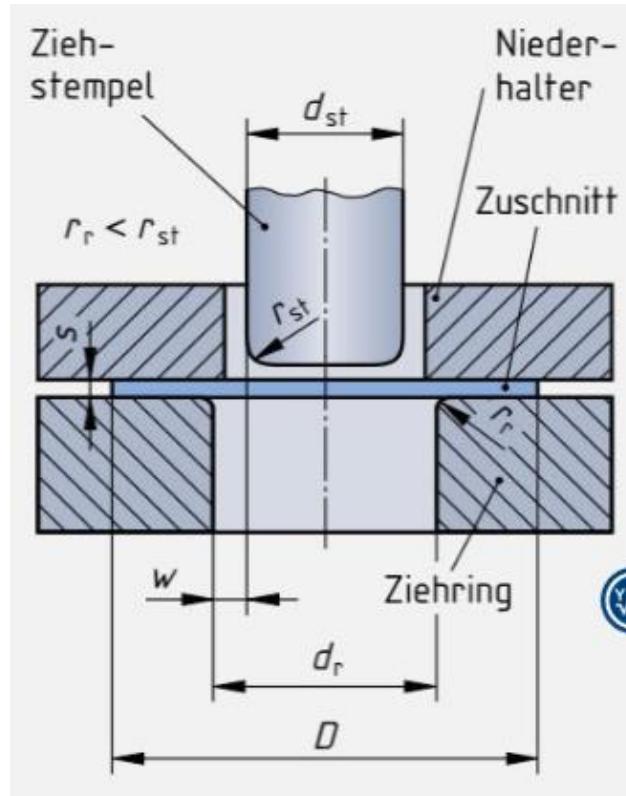
$r_{st}$ : Radius am Ziehstempel → bauteilrelevant

$D$ : Zuschnitt- oder Rondendurchmesser

$d_{st}$ : Stempeldurchmesser

$d_r$ : Ziehringdurchmesser

## Ziehspalt und Radien



$$r_r[\text{mm}] = 0,035 \cdot [50 + (D - d_{st})] \cdot \sqrt{s}$$

$$w[\text{mm}] = s + k \cdot \sqrt{10 \cdot s}$$

$$r_{st} = (4 \dots 5) \cdot s$$

$$d_r = 2 \cdot w + d_{st}$$

Werkstofffaktor <i>k</i>	
Stahl	0,07
Aluminium	0,02
Sonstige NE-Metalle	0,04

w: Ziehspalt; s: Blechdicke; k: Werkstofffaktor

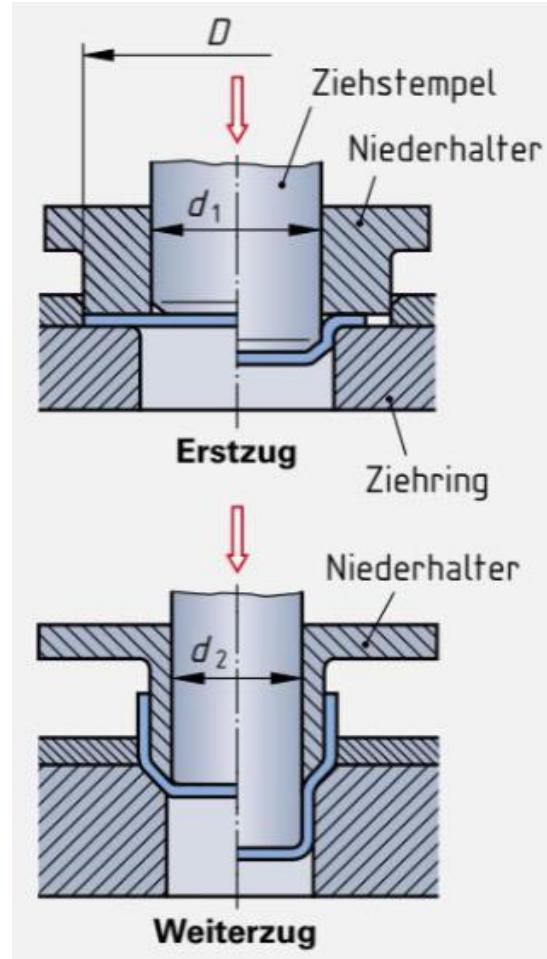
*r<sub>r</sub>*: Radius am Ziehring → bauteilrelevant

*r<sub>st</sub>*: Radius am Ziehstempel → bauteilrelevant

D: Zuschnitt- oder Rondendurchmesser

*d<sub>st</sub>*: Stempeldurchmesser; *d<sub>r</sub>*: Ziehringdurchmesser

## Ziehstufen und Ziehverhältnisse



$D$ : Zuschnitt- oder Rondendurchmesser

$d$ : Innen- oder Napfdurchmesser des fertigen Teils

$d_1$ : Stempeldurchmesser beim 1. Zug

$d_2$ : Stempeldurchmesser beim 2. Zug

$d_n$ : Stempeldurchmesser beim  $n$ . Zug

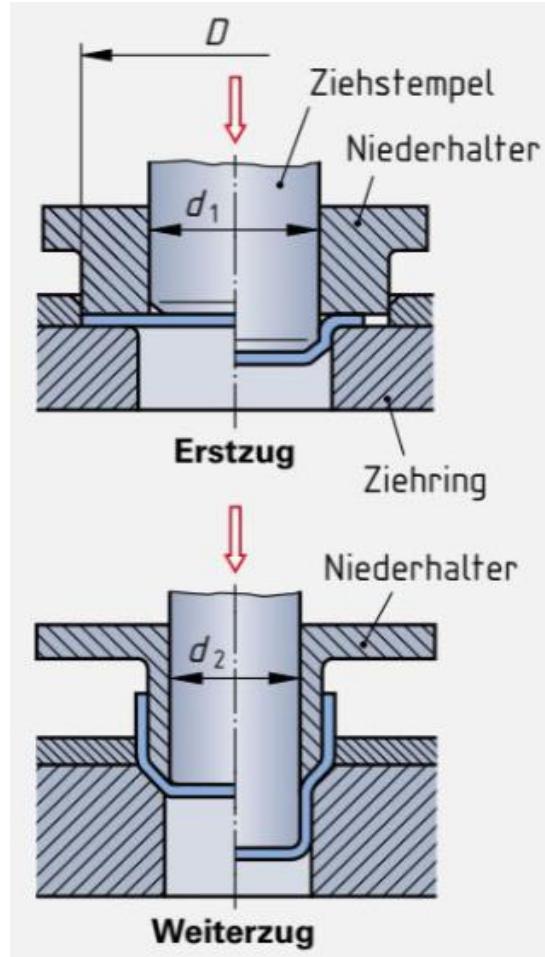
$\beta_1$ : Ziehverhältnis für 1. Zug

$\beta_2$ : Ziehverhältnis für 2. Zug

$\beta_{ges}$ : Gesamt-Ziehverhältnis

$s$ : Blechdicke

## Ziehstufen und Ziehverhältnisse



Stempel-  
durchmesser:

$$1. \text{ Zug} : d_1 = \frac{D}{\beta_1}$$

$$2. \text{ Zug} : d_2 = \frac{d_1}{\beta_2}$$

$$n. \text{ Zug} : d_n = \frac{d_{n-1}}{\beta_n}$$

Ziehverhältnis  
allgemein

$$\beta = \frac{D}{d}$$

Gesamt-Zieh-  
verhältnis:

$$\beta_{ges} = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \dots$$

$$\beta_{ges} = \frac{D}{d_n}$$

*D: Zuschnitt- oder Ronden-Ø; d: Innen-Ø Fertigteil oder Napf-Ø  
 d<sub>1</sub>: Stempel-Ø 1. Zug; d<sub>2</sub>: Stempel-Ø 2. Zug; d<sub>n</sub>: Stempel-Ø n. Zug  
 β<sub>1</sub>: Ziehverh. 1. Zug; β<sub>2</sub>: Ziehverh. 2. Zug, β<sub>ges</sub>: Gesamt-Ziehverh.*

## max. Ziehverhältnisse

### Stahl

Werkstoff	Max. Zieh-verhältnisse <sup>1)</sup>		$R_m$ <sup>2)</sup> N/mm <sup>2</sup>
	$\beta_1$	$\beta_2$	
DCO1 (St12)	1,8	1,2	410
DCO3 (St13)	1,9	1,3	370
DCO4 (St14)	2,0	1,3	350
X10CrNi18-8	1,8	1,2	750

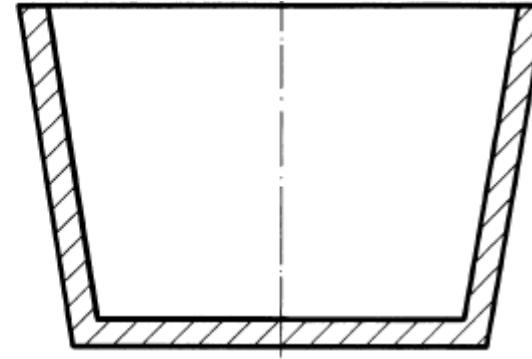
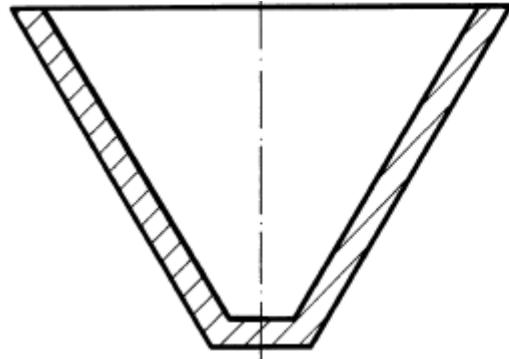
### Messing/Bronze

Werkstoff	Max. Zieh-verhältnisse <sup>1)</sup>		$R_m$ <sup>2)</sup> N/mm <sup>2</sup>
	$\beta_1$	$\beta_2$	
CuZn30-R280	2,1	1,3	270
CuZn37-R290	2,1	1,4	300
CuZn37-R460	1,9	1,2	410
CuSn6-R340	1,5	1,2	350

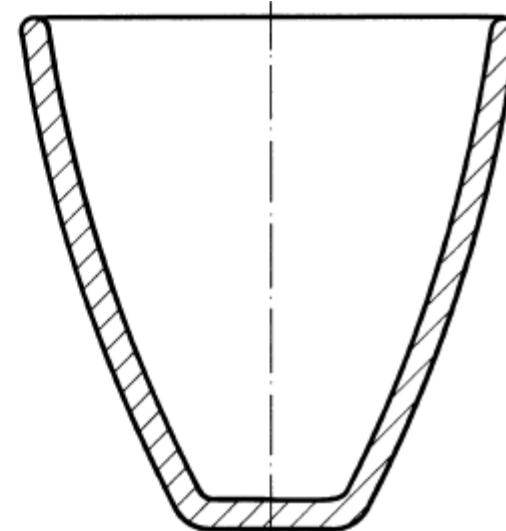
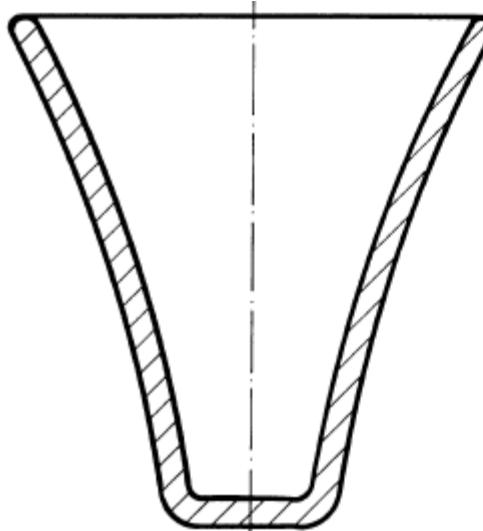
### Aluminium

Werkstoff	Max. Zieh-verhältnisse <sup>1)</sup>		$R_m$ <sup>2)</sup> N/mm <sup>2</sup>
	$\beta_1$	$\beta_2$	
Al99,5 H111	2,1	1,6	95
AlMg1 H111	1,9	1,3	145
AlCu4Mg1 T4	2,0	1,5	425
AlSi1MgMn T6	2,1	1,4	310

## Kegelförmige/Eingeschnürte Ziehteile

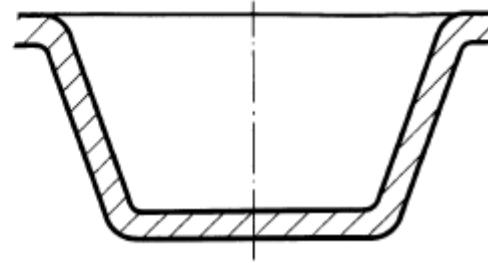
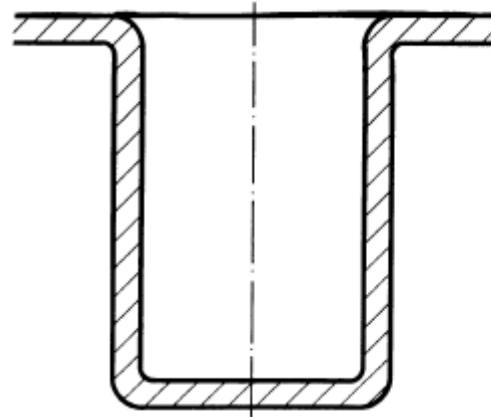


Kegelförmige Ziehteile sollten möglichst geringe Konizität aufweisen

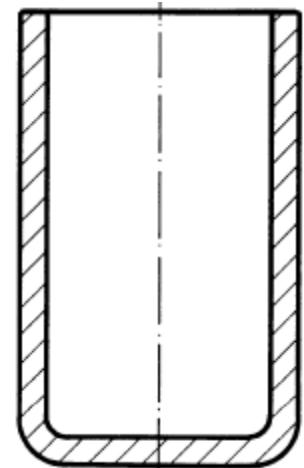
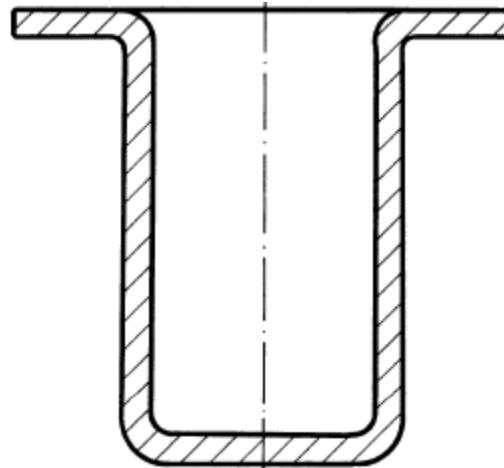


Eingeschnürte Ziehteile neigen stark zur Faltenbildung.  
Anzustreben sind nach außen bau-chige Formteile

## Vertiefungen – Großflächige Flansche

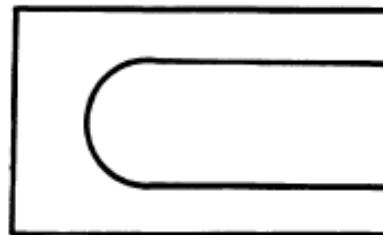
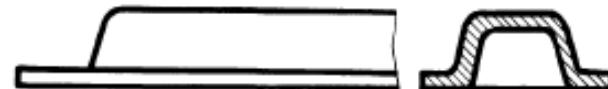


Vertiefungen an Ziehteilen sind mit möglichst geringer Tiefe vorzusehen, da hierbei keine Rissgefahr.



Großflächige Flansche sind möglichst zu vermeiden, da hier das Teil oft nur in mehreren Zügen hergestellt werden kann.

## Sicken



Besser:



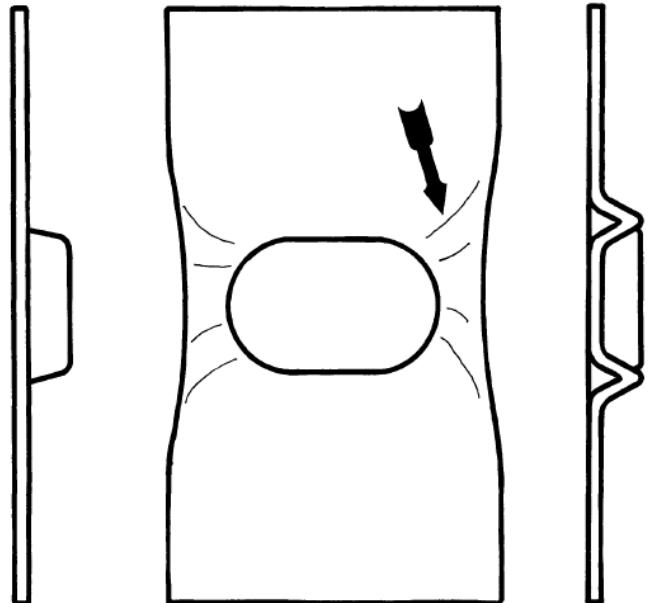
Sicken sind langgezogene Vertiefungen im Blech. Sie erhöhen die Stabilität des Blechs.

Sie sollten am Rand auslaufen.

Scharfkantige Sicken und Sickenenden möglichst vermeiden.

Die Eigenspannungen an der Biegestelle setzen die Festigkeit des Bauteils herab.

## Randsicken

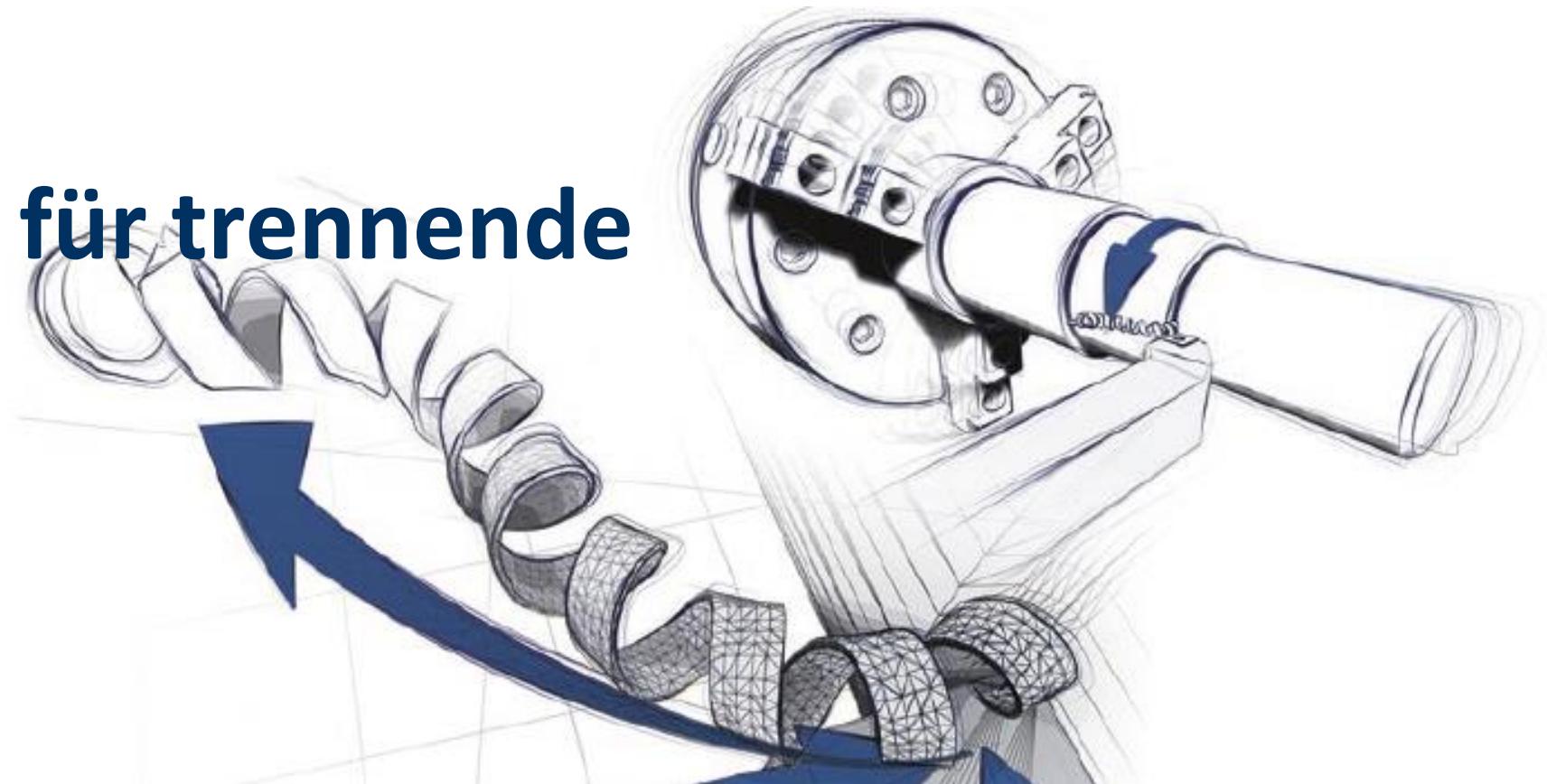


Faltenbildung an den Blechrändern lässt sich durch zusätzliche Randsicken vermeiden.

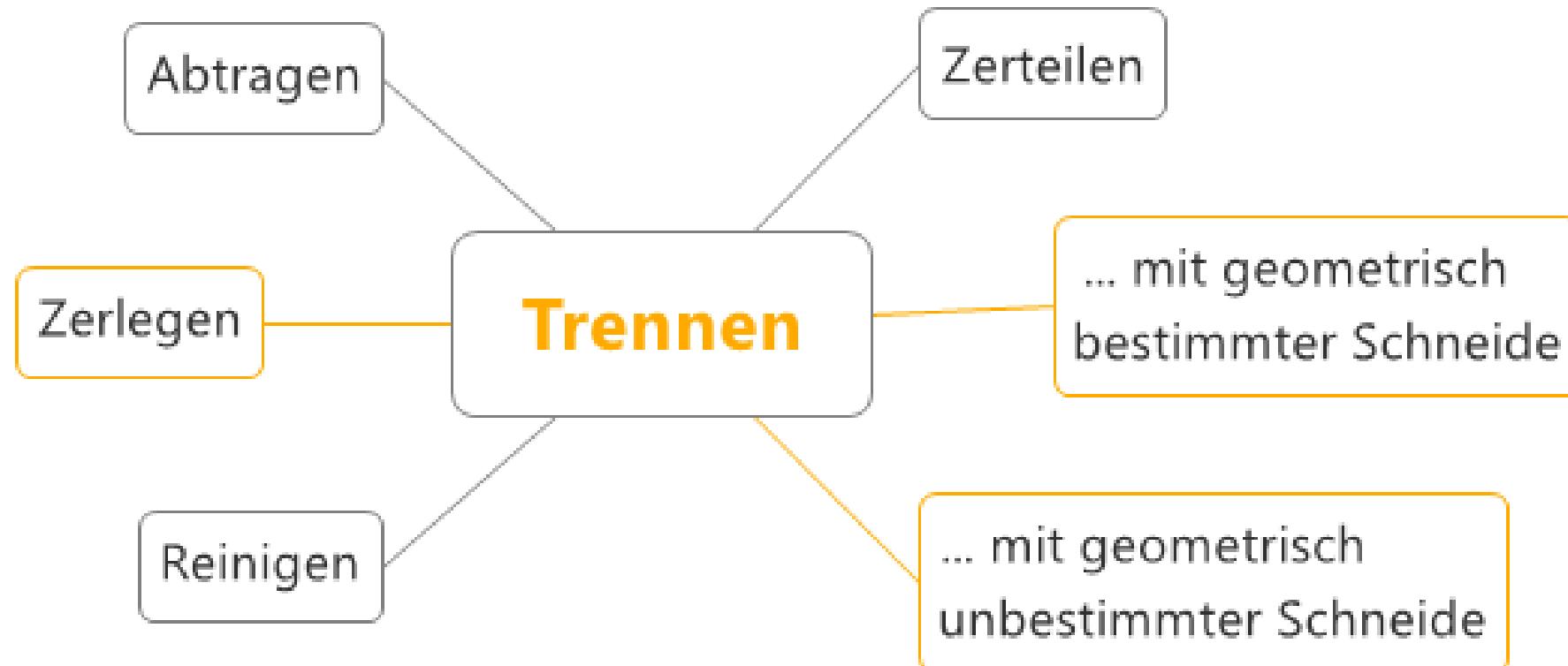
## Checkliste

- Ziehverhältnisse überprüft → kann das Bauteil überhaupt hergestellt werden?
- Radien auf Ziehstempel angepasst
- Sicken laufen am Rand aus; Scharfkantige Sicken und Sickenenden vermieden
- Sich kreuzende Sicken wegen Spannungsspitzen vermieden

## 5 Gestaltung für trennende Fertigung

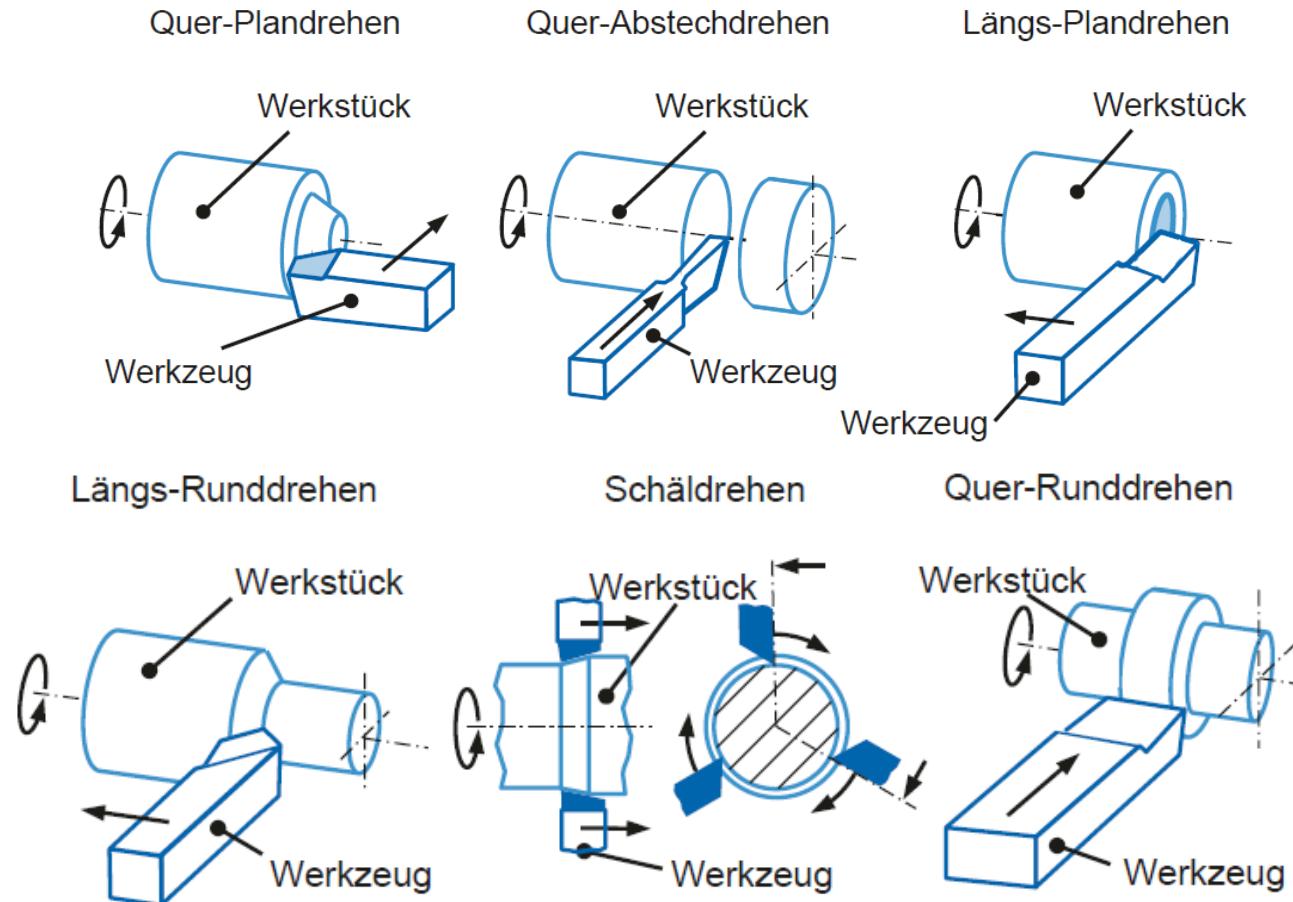


## Überblick Trennen

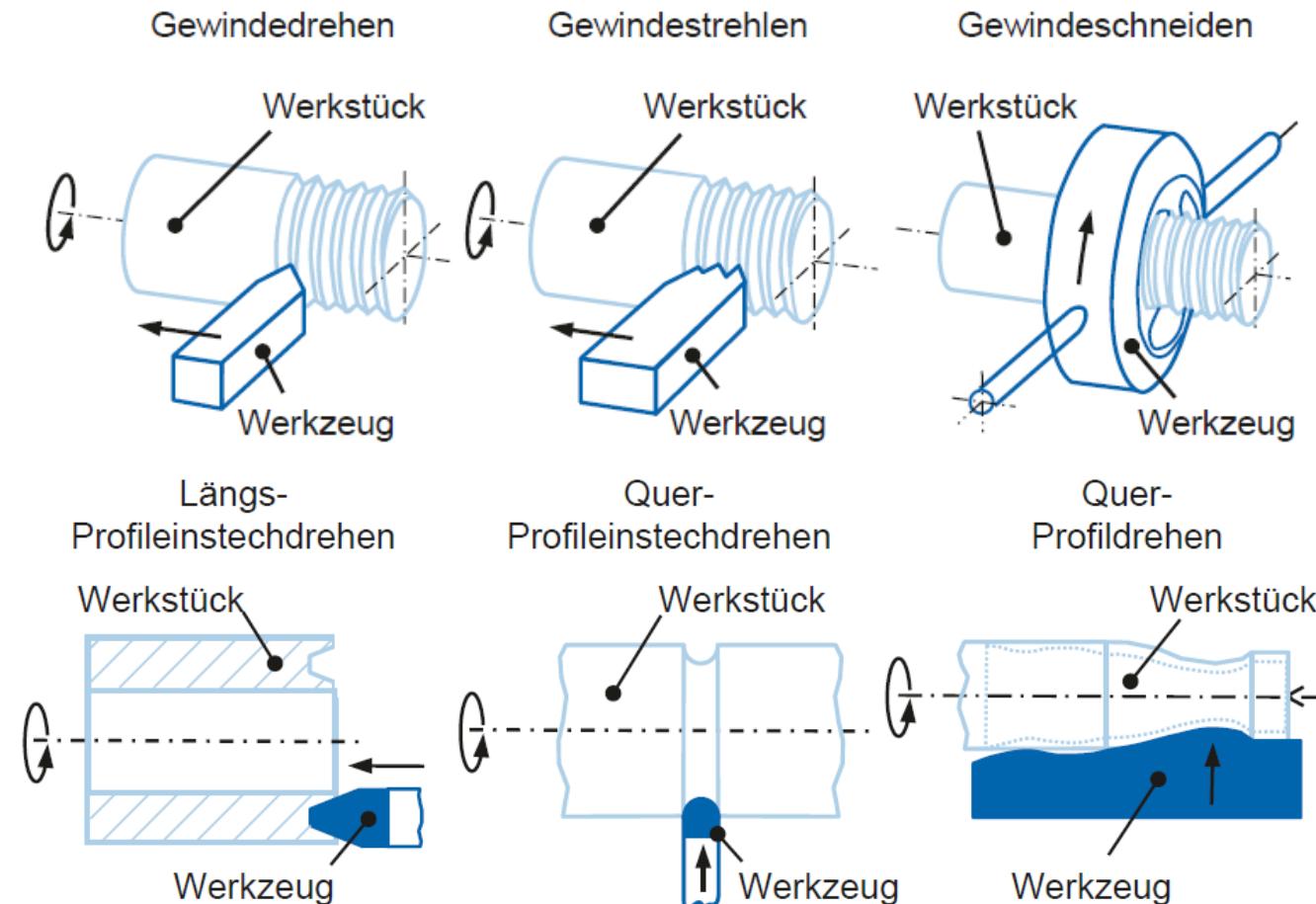


## 5.1 Drehgerechtes Gestalten

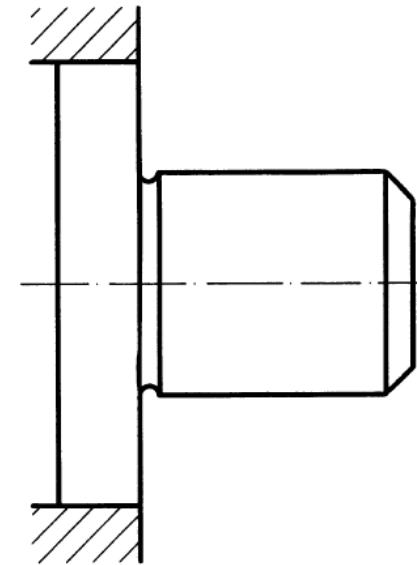
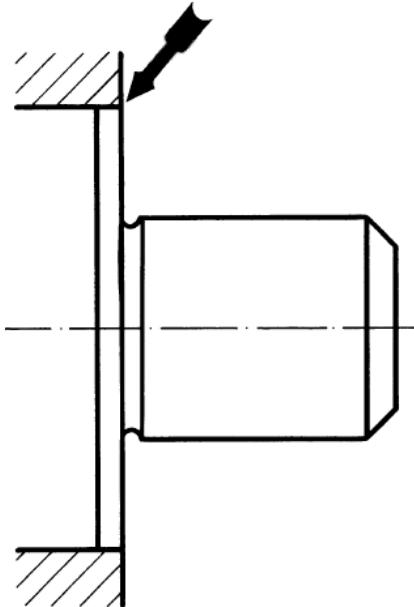
## Verfahrensprinzip



## Verfahrensprinzip



## Spannflächen

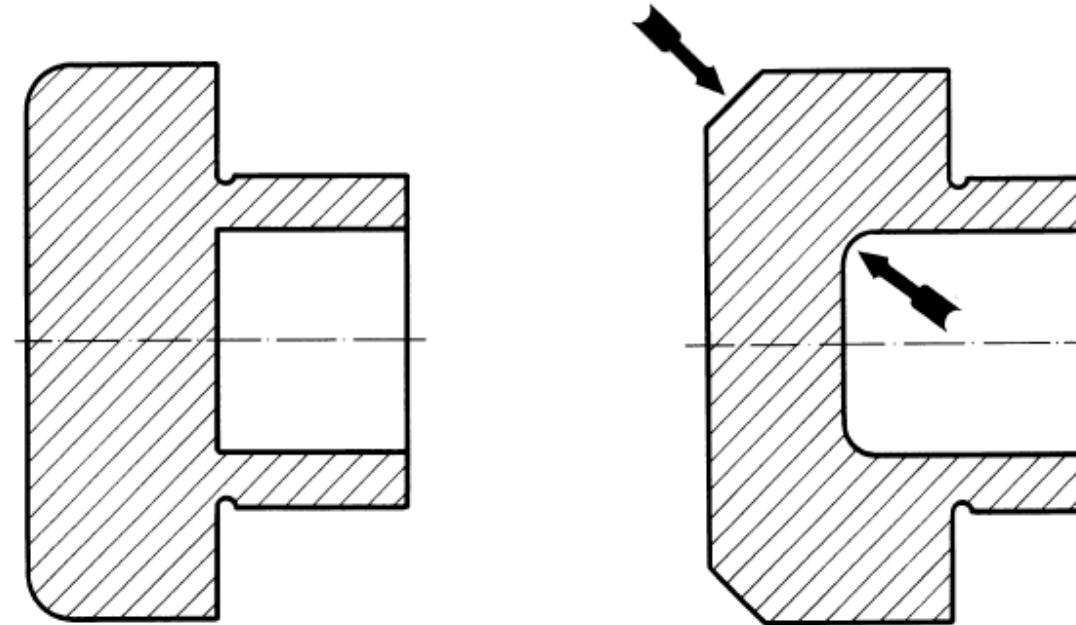


Bei zu drehenden Teilen ist auf ausreichende Spannflächen im Dreibackenfutter zu achten.

**Links:** unsicheres Aufspannen und dadurch nur geringes Zerspanungsvolumen pro Zeiteinheit möglich

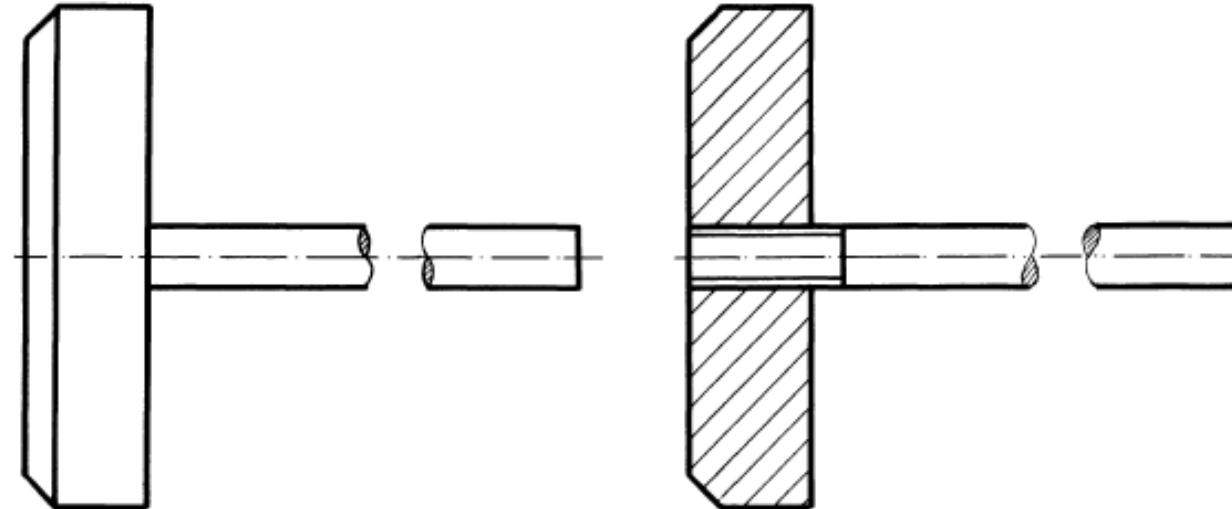
**Rechts:** konstruktiv richtige Ausführung.

## Außen- und Innenkanten



Aus wirtschaftlichen Gründen sind Außenkanten möglichst anzufasen und Innenkanten mit Radien zu versehen.

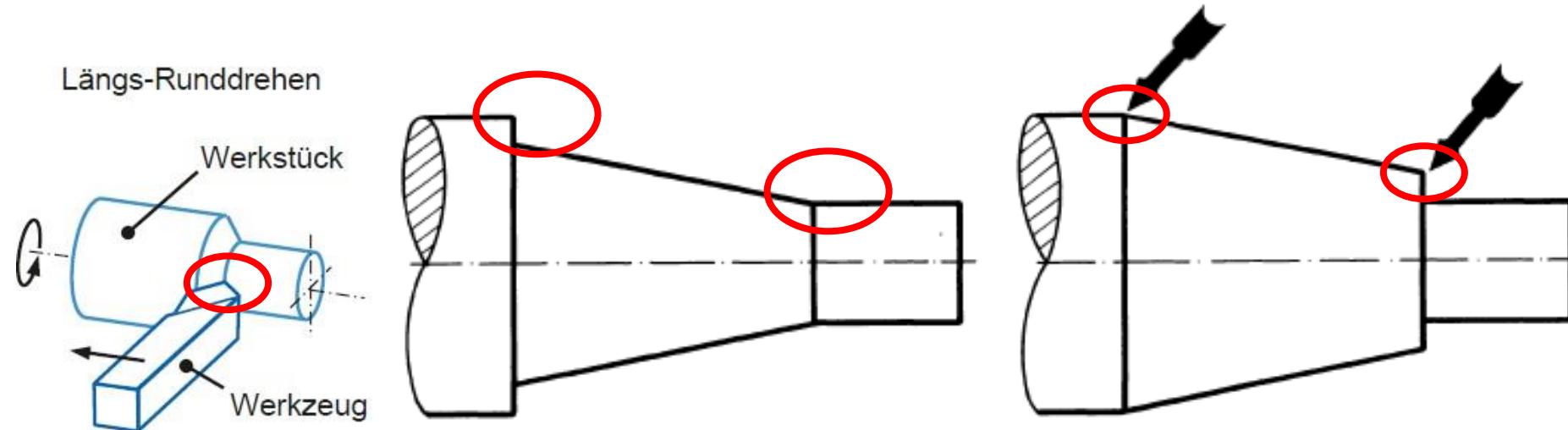
## Stark abgesetzte Drehteile



Stark abgesetzte Drehteile mit großem Zerspanungsvolumen sind wirtschaftlicher mehrteilig auszuführen.

→ Zerspanungsvolumen geringhalten („Möglichst wenig fliegende Späne“)

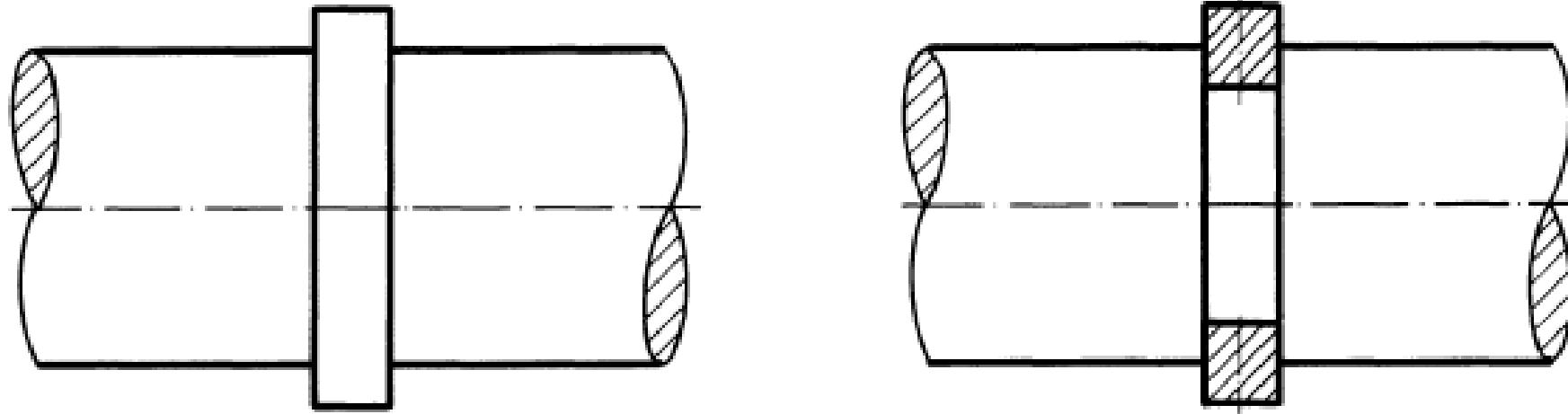
## Konusteile



Konusteile sind so vorzusehen, dass der Werkzeugauslauf nicht behindert wird.

**Links:** technisch schwieriger herzustellendes Bauteil, das wesentlich mehr Zeitaufwand erfordert; **rechts:** einfacher herzustellendes Bauteil.

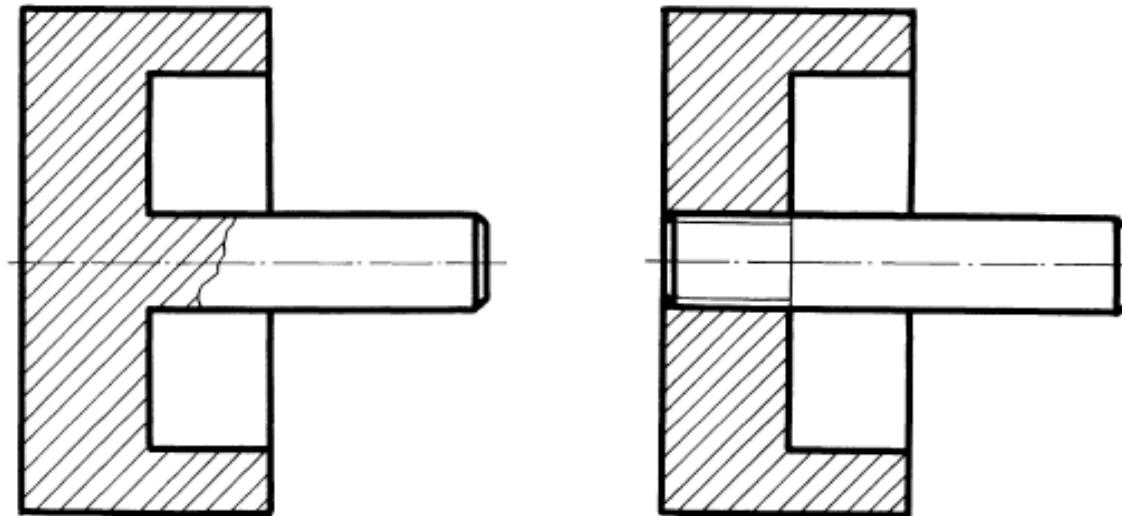
## Bund an Wellen



Ein Bund an Wellen erfordert viel Zerspanungsaufwand.

Wesentlich wirtschaftlicher ist ein Einstich in die Welle und das Einsetzen eines entsprechenden zweiteiligen, zu verschraubenden Sicherungsringes  
→ Ziel: Zerspanungsvolumen nach Möglichkeit gering halten.

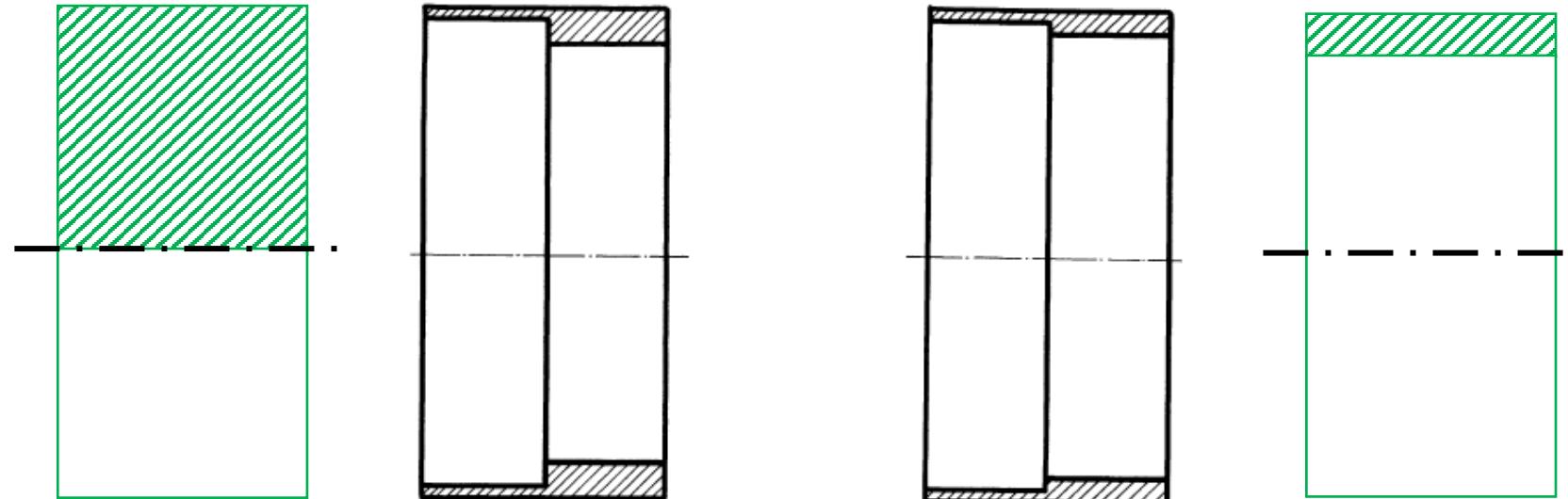
## Hinterdrehte Teile



Teile, die hinterdreht werden müssen, sind wirtschaftlicher zweiteilig herzustellen, da das Zerspanungsvolumen wesentlich geringer ist.

→ Ziel: Zerspanungsvolumen nach Möglichkeit gering halten.

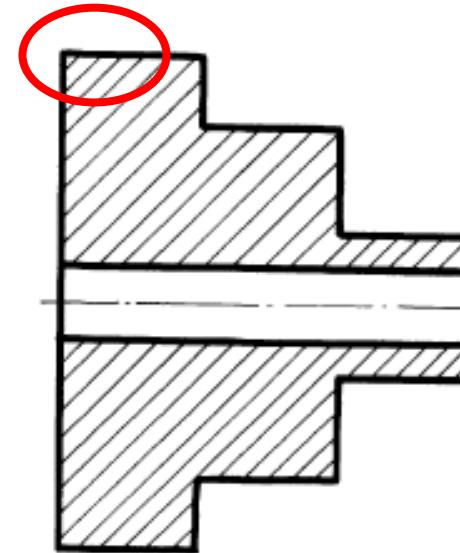
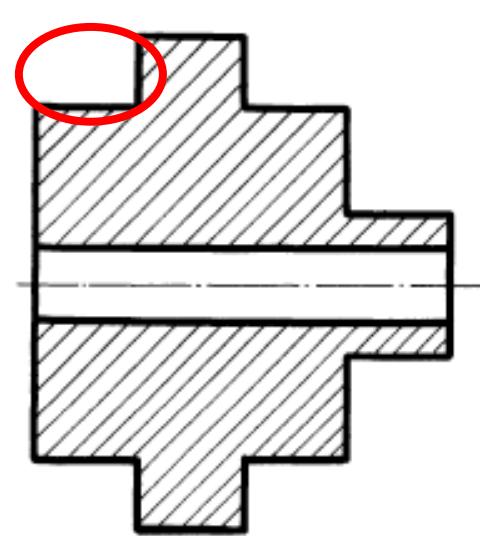
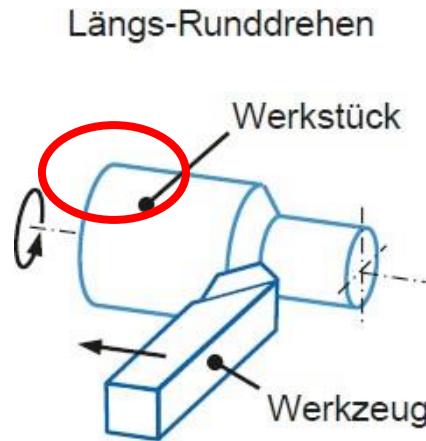
## Großer Innen- und Außendurchmesser



Drehteile mit großem Außen- und Innendurchmesser erfordern erheblichen Zerspanungsaufwand.

Besser ist eine Teilekonstruktion, bei der das Drehteil (Halbzeug) aus einem Rohr hergestellt werden kann.

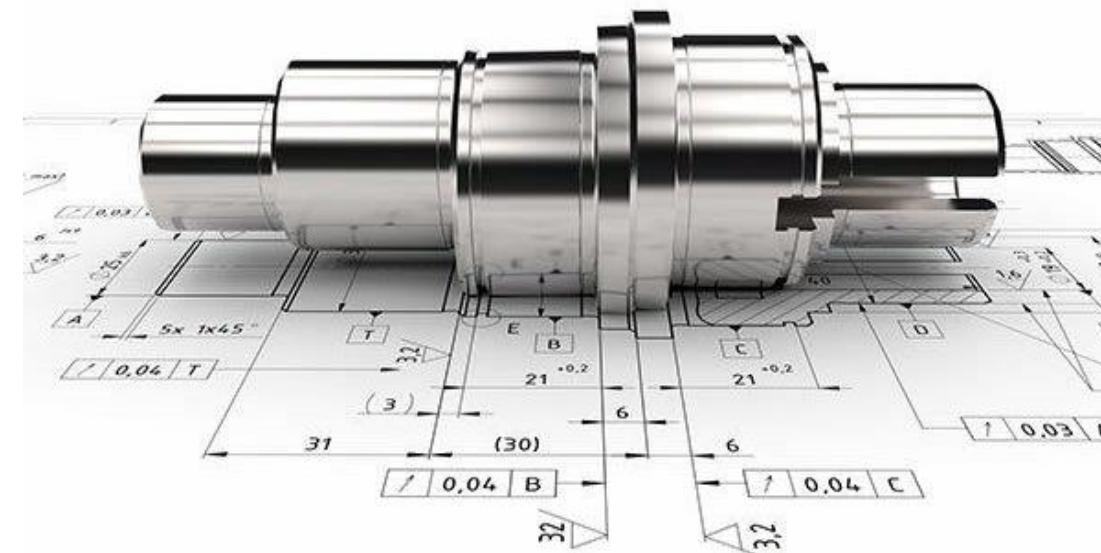
## Stufenabsätze



Drehteile sind möglichst so zu gestalten, dass sie steigende Stufenabsätze nach einer Richtung und nach einer Seite aufweisen.

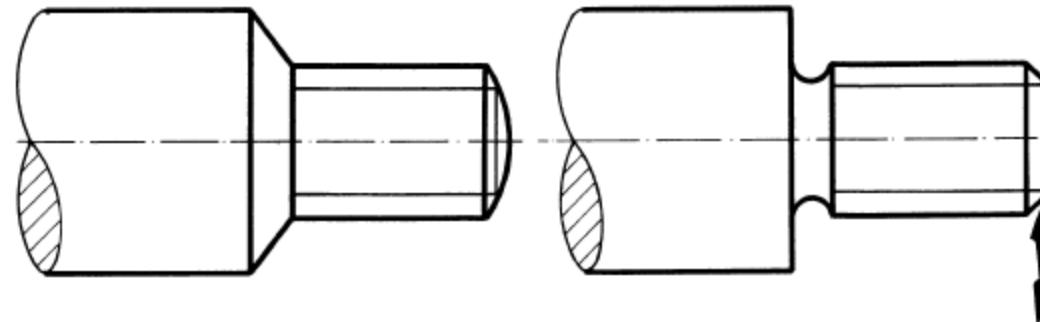
Die linke Konstruktion erfordert, dass das Teil umgespannt werden muss.

## Zweiseitig bearbeitete Drehteile



Müssen Drehteile umgespannt werden, da Sie von zwei Seiten bearbeitet werden müssen, ergibt sich klassischerweise die sogenannte „Zigarrenform“ für das Drehteil.

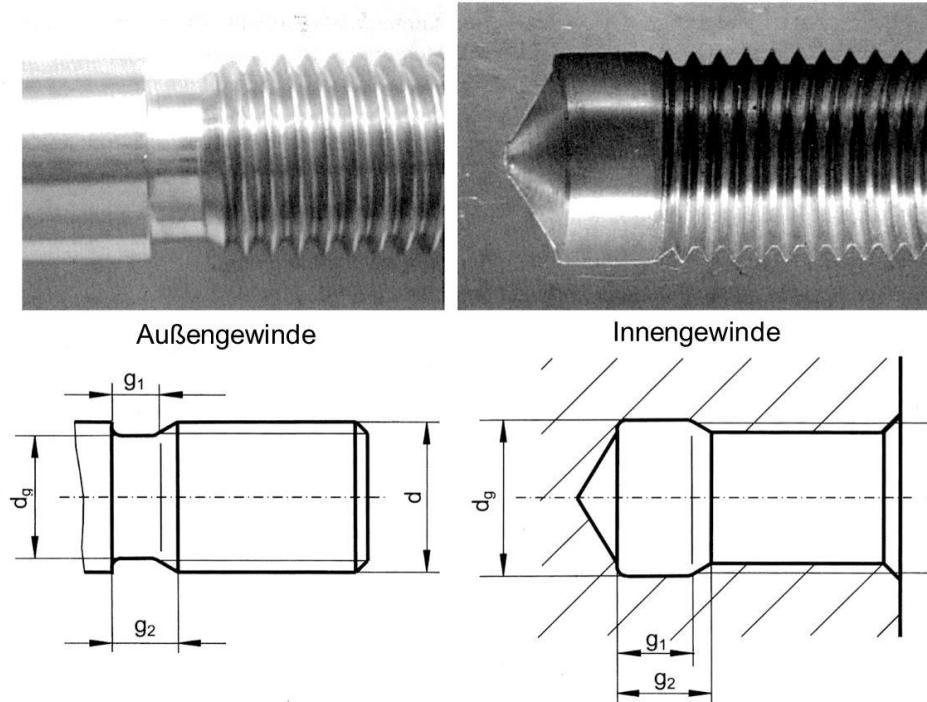
## Gewindeausläufe und Gewindefreistiche



Bei Drehteilen mit Gewinde ist für ausreichenden Gewindeauslauf zu sorgen.

Außerdem ist das angefaste Drehteil wirtschaftlich günstiger herzustellen als eine Kugelkuppe, vergleiche hierzu auch Folie „Außen- und Innenkan-ten“.

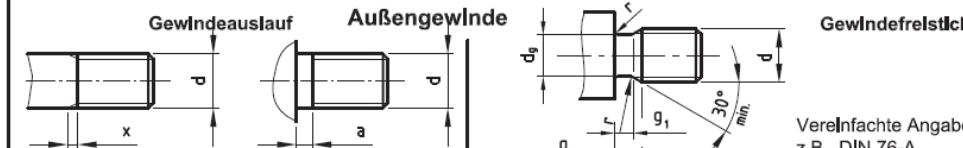
## Gewindeausläufe und Gewindefreistiche



Gewindefreistich nach DIN 76 für Innen- und Außengewinde

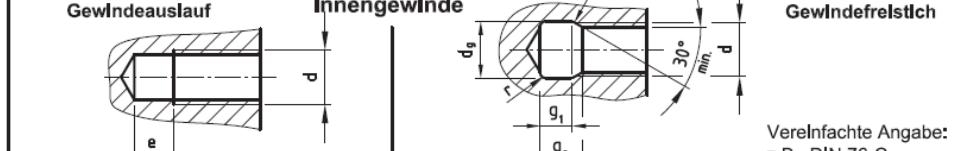
Gewindefreistiche immer zeichnen

## Gewindeausläufe und Gewindefreistiche



The top section shows three views: 'Gewindeauslauf' (external thread exit), 'Außengewinde' (external thread), and 'Gewindefreistich' (thread relief slot). Dimensions shown include pitch  $P$ , diameter  $d$ , and various clearance values  $x_{max}$ ,  $a_{max}$ ,  $a$ ,  $g_1$ ,  $g_2$ , and  $r$ . A note indicates simplified notation like 'z.B. DIN 76-A'.

P	d (Regelgew.)	Regelfall		kurz		$d_g$ h 13	Form A (Regelfall)		Form B (kurz)		$r \approx$
		$x_{max}$	$a_{max}$	$x_{max}$	$a_{max}$		$g_{1min}$	$g_{2max}$	$g_{1min}$	$g_{2max}$	
0,8	5	2	2,4	1	1,6	$d - 1,3$	1,7	2,8	0,9	2	0,4
1,0	6	2,5	3	1,25	2	$d - 1,6$	2,1	3,5	1,1	2,5	0,6
1,25	8	3,2	3,75	1,6	2,5	$d - 2,0$	2,7	4,4	1,5	3,2	0,6
1,5	10	3,8	4,5	1,9	3	$d - 2,3$	3,2	5,2	1,8	3,8	0,8
1,75	12	4,3	5,25	2,2	3,5	$d - 2,6$	3,9	6,1	2,1	4,3	1
2,0	14;16	5	6	2,5	4	$d - 3,0$	4,5	7	2,5	5	1
2,5	18;20;22	6,3	7,5	3,2	5	$d - 3,6$	5,6	8,7	3,2	6,3	1,2
3,0	24;27	7,5	9	3,8	6	$d - 4,4$	6,7	10,5	3,7	7,5	1,6

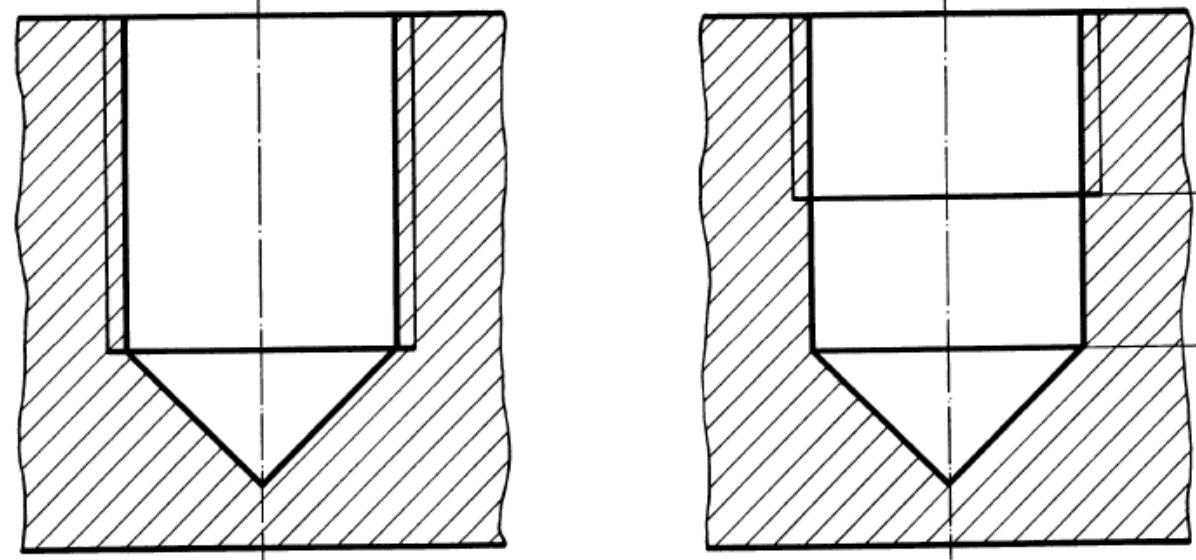
The bottom section shows three views: 'Gewindeauslauf' (internal thread exit), 'Innengewinde' (internal thread), and 'Gewindefreistich' (thread relief slot). Dimensions shown include pitch  $P$ , diameter  $d$ , and various clearance values  $e$ ,  $a$ ,  $g_1$ ,  $g_2$ , and  $r$ . A note indicates simplified notation like 'z.B. DIN 76-C'.

P	d (Regelgew.)	Regelfall		kurz		$d_g$ H 13	Form C (Regelfall)		Form D (kurz)		$r \approx$
		$e$	$e$	$e$	$e$		$g_{1min}$	$g_{2max}$	$g_{1min}$	$g_{2max}$	
0,8	5	4,2	2,7	5,3	5,3	$d + 0,5$	3,2	4,2	2	3	0,4
1,0	6	5,1	3,2	6,5	6,5	$d + 0,5$	4	5,2	2,5	3,7	0,6
1,25	8	6,2	3,9	8,5	8,5	$d + 0,5$	5	6,7	3,2	4,9	0,6
1,5	10	7,3	4,6	10,5	10,5	$d + 0,5$	6	7,8	3,8	5,6	0,8
1,75	12	8,3	5,2	12,5	12,5	$d + 0,5$	7	9,1	4,3	6,4	1
2,0	14;16	9,3	5,8	d+0,5	d+0,5	$d + 0,5$	8	10,3	5	7,3	1
2,5	18;20;22	11,2	7	d+0,5	d+0,5	$d + 0,5$	10	13	6,3	9,3	1,2
3,0	24;27	13,1	8,2	d+0,5	d+0,5	$d + 0,5$	12	15,2	7,5	10,7	1,6

## Gewindefreistische - Nützliche Normen

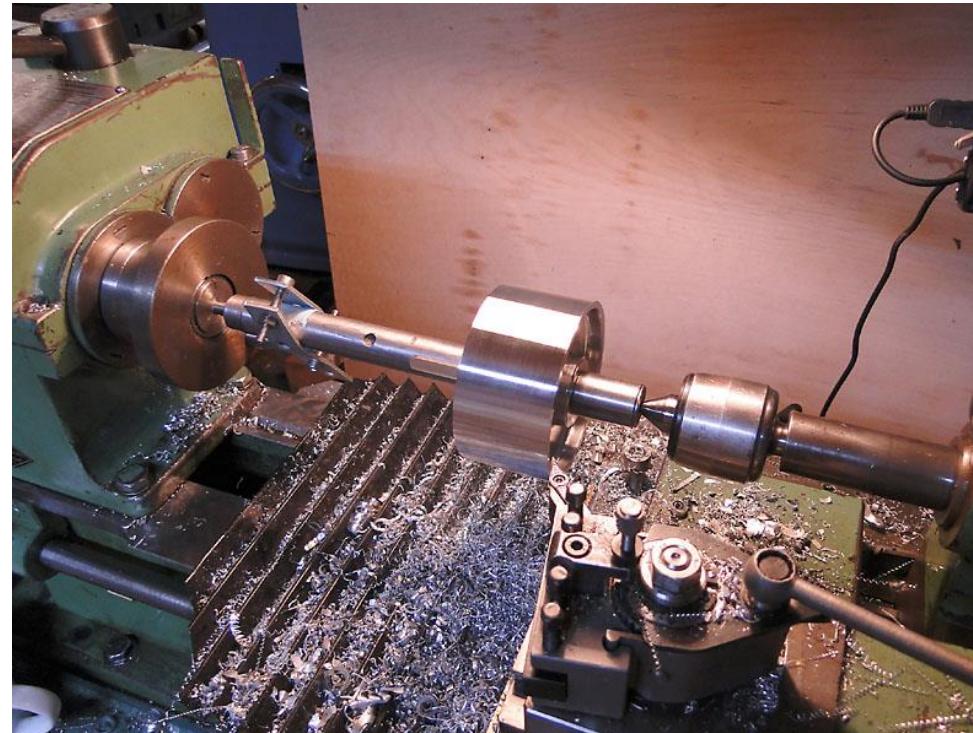
- DIN 76 Gewindeausläufe und Gewindefreistische
  - Teil 1 Für Metrisches ISO-Gewinde nach DIN 13-1
    - Außengewinde Form A/B
    - Innengewinde Form C/D
  - Teil 2 Für Rohrgewinde nach DIN ISO 228 Teil 1
    - Außengewinde Form A2/B2
    - Innengewinde Form C2/D2
  - Teil 3 Für Trapez-, Sägen- und Rundgewinde und andere Gewinde mit grober Steigung

## Gewindeausläufe, -freistiche und -grundlöcher mit Innengewinde



Bei Gewindegroßlöchern (Sackloch mit Innengewinde), kann das Gewinde nicht bis zum Bohrungsgrund hergestellt werden. Es muss ein ausreichender Gewindeauslauf oder Gewindefreistich (DIN 76) vorgesehen werden.

## Zentrierbohrungen



Zentrierbohrungen werden benötigt, wenn die Genauigkeitsanforderungen des Drehteils es erfordern, das Drehteil zweiseitig zu spannen.

## Zentrierbohrungen

DIN 332-1 Zentrierbohrungen 60°

Form R

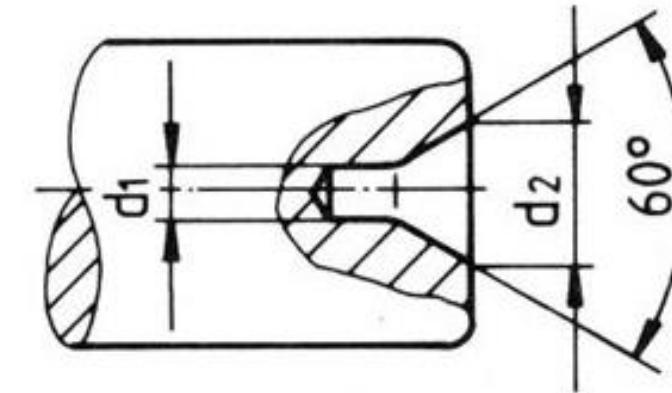
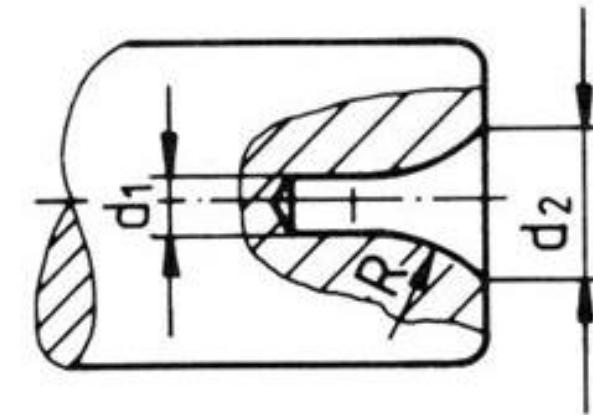
mit gewölbten Laufflächen, ohne  
Schutzsenkung

Bohrer: ISO 2541

Form A

mit geraden Laufflächen, ohne  
Schutzsenkung

Bohrer: ISO 866



## Zentrierbohrungen

Form B

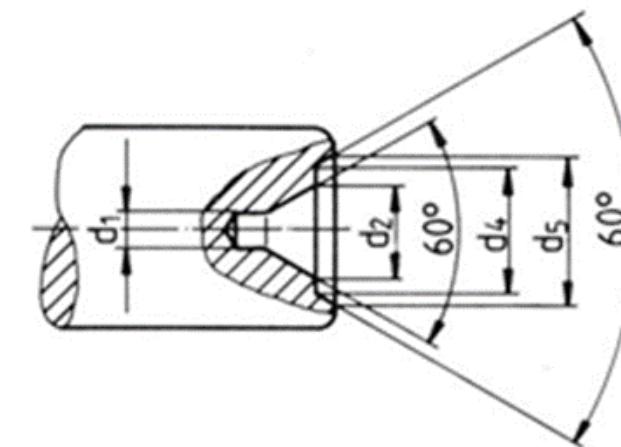
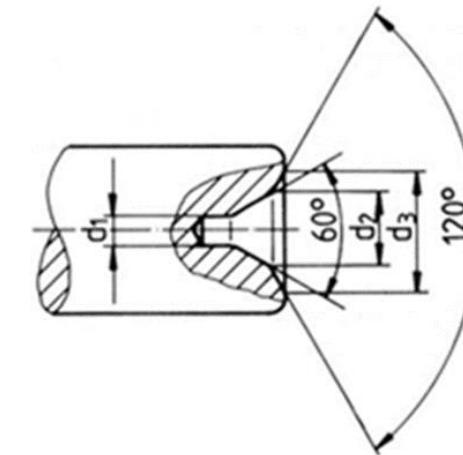
mit geraden Laufflächen, mit kegel-förmiger Schutzsenkung

Bohrer: ISO 2540

Form C

mit geraden Laufflächen, mit kegel-stumpfförmiger Schutzsenkung

Bohrer: ISO 2541



## Ermittlung der erforderlichen Zentrierbohrung

$$d_1 \approx 1,15 \cdot \sqrt{(F_{G1} + 2,5 \cdot a \cdot f \cdot R_m) \cdot \left( \frac{2,9}{R_m} \right)}$$

für zylindrische Drehteile:  $F_{G1} = F_G / 2$

mit:  $d_1$  - Durchmesser der Zentrierbohrung in mm

$F_G$  - Gewichtskraft des Drehteiles in N

$F_{G1}$  - Gewichtskraft an der Zentrierung in N

$R_m$  - Zugfestigkeit des Materials in N/mm<sup>2</sup>

$a$  - Abstechmaß in mm

$f$  - Vorschub in mm

## Allgemeintoleranzen

Maßtoleranzen				Form- und Lagetoleranzen	
-f	-f	fein	Feinwerktechnik	H	fein
-m	-m	mittel	Maschinenbau	K	mittel
-c	-g	grob	Halbzeuge	L	grob
-v	-sg	sehr grob			

DIN ISO 2768-1: Längen, Rundungen, Fasenhöhen, Winkel

DIN ISO 2768-2: Geradheit, Ebenheit, Rechtwinkligkeit, Symmetrie

## Grenzabmaße für Längenmaße

Toleranzklasse Kurzzeichen	Benennung	Grenzabmaße für Nennmaßbereiche							
		von 0,5 <sup>1)</sup> bis 3	über 3 bis 6	über 6 bis 30	über 30 bis 120	über 120 bis 400	über 400 bis 1000	über 1000 bis 2000	über 2000 bis 4000
f	fein	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	—
m	mittel	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2
c	grob	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4
v	sehr grob	—	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8

<sup>1)</sup> Für Nennmaße unter 0,5 mm sind die Grenzabmaße direkt an dem (den) entsprechenden Nennmaß(en) anzugeben.

Beispiel: Nennmaß 30 mm, Toleranzklasse m (mittel) à Toleranz +/- 0,2 mm. Wenn die Allgemeintoleranzen (z.B. mK) nicht ausreichend sind, dann das Maß direkt in der Zeichnung mit der erforderlichen Toleranzangabe versehen.

## Checkliste

Spannmöglichkeiten vorsehen:

- Große und feste Spannfläche vorgesehen, um die Fläche beim Spannen nicht zu zerdrücken
- Bei schwierig zu spannenden Teilen Aussparungen zum Spannen vorgesehen
- Teile sind möglichst in einer Aufspannung fertig bearbeitbar. Dies ist preiswerter und genauer
- Die Spannfläche bei fliegend zu bearbeitenden Teilen ist nahe an die Bearbeitungsfläche gelegt worden.

## Checkliste

Bearbeitungserleichterungen:

- Bei den zu bearbeitenden Flächen ist auf gute Zugänglichkeit für das Werkzeug geachtet worden
- Werkzeugauslauf vorgesehen, z. B. für Fräser, Schleifscheibe, Verzahnungswerkzeug; auch bei kegelförmigen Flächen

Kostengünstig gestalten:

- Das Zerspanvolumen ist so klein wie möglich gehalten!
- Es sind einfache geometrische Grundkörper gewählt worden und Kegel- oder Kugelflächen vermieden
- Möglichst genormte Werkzeuge eingesetzt

## Checkliste

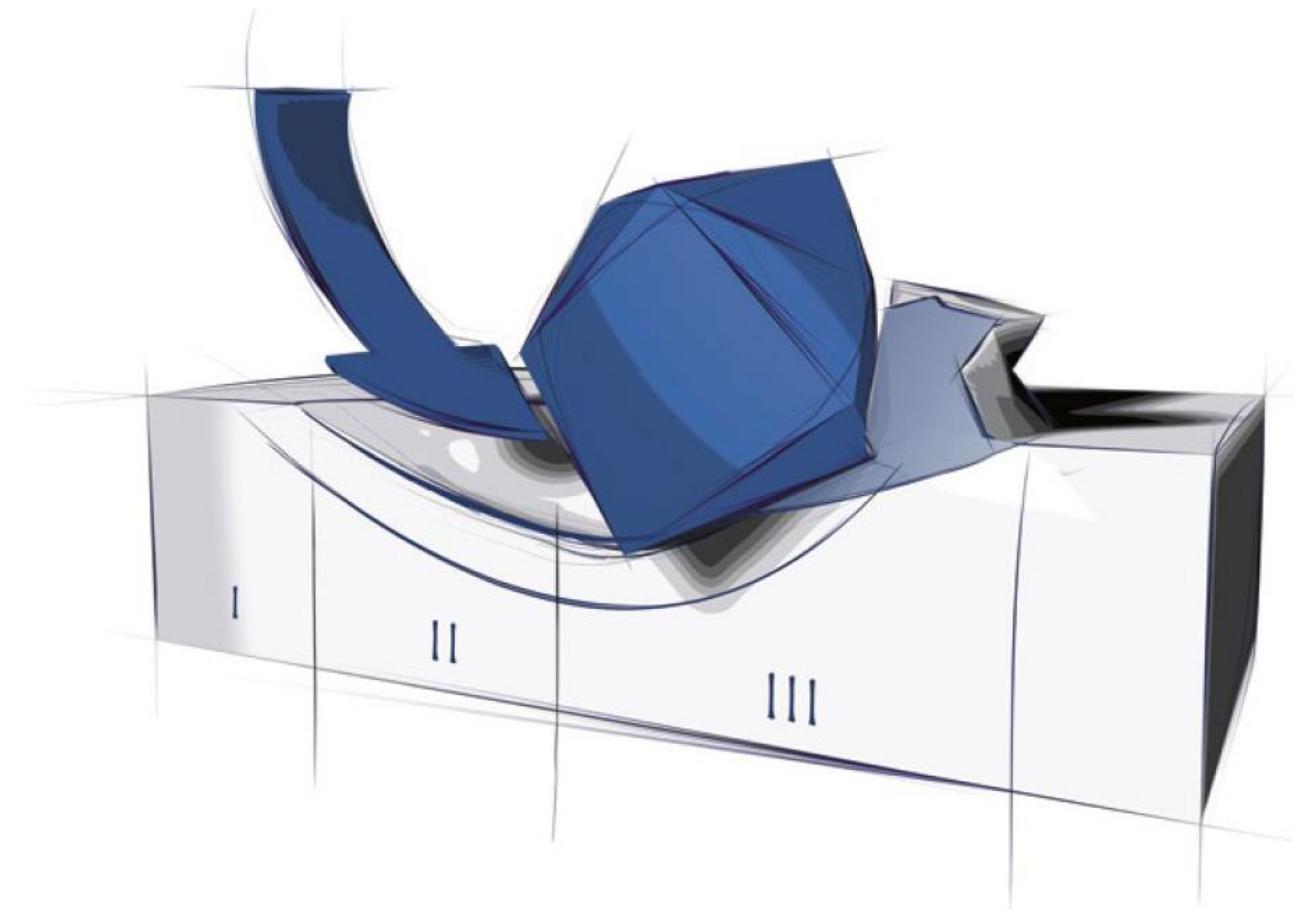
- Drehen und Bohren vor Fräsen und Hobeln ausgeführt
- Oberflächen, die keine Funktionsflächen sind, sind rau gelassen.
- Oberflächengüten und Toleranzen sind nur auf das unbedingt Notwendige beschränkt
- An einem Teil sind gleiche Lochdurchmesser, gleiche Radien und gleiche Gewinde vorgesehen
- Kompliziert gestaltete Teile sind oft preiswerter zu bearbeiten, wenn sie geteilt konstruiert, getrennt bearbeitet und wieder montiert werden

## Checkliste

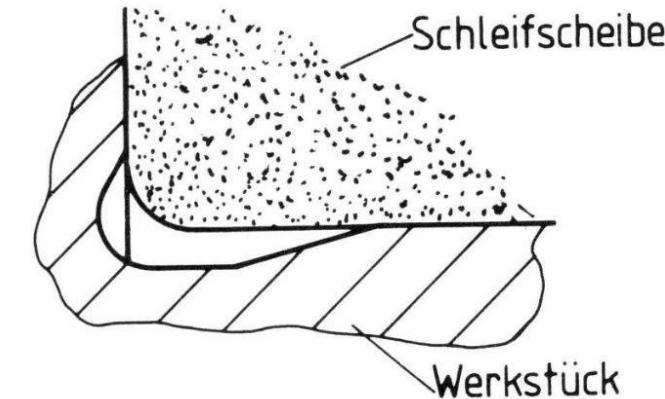
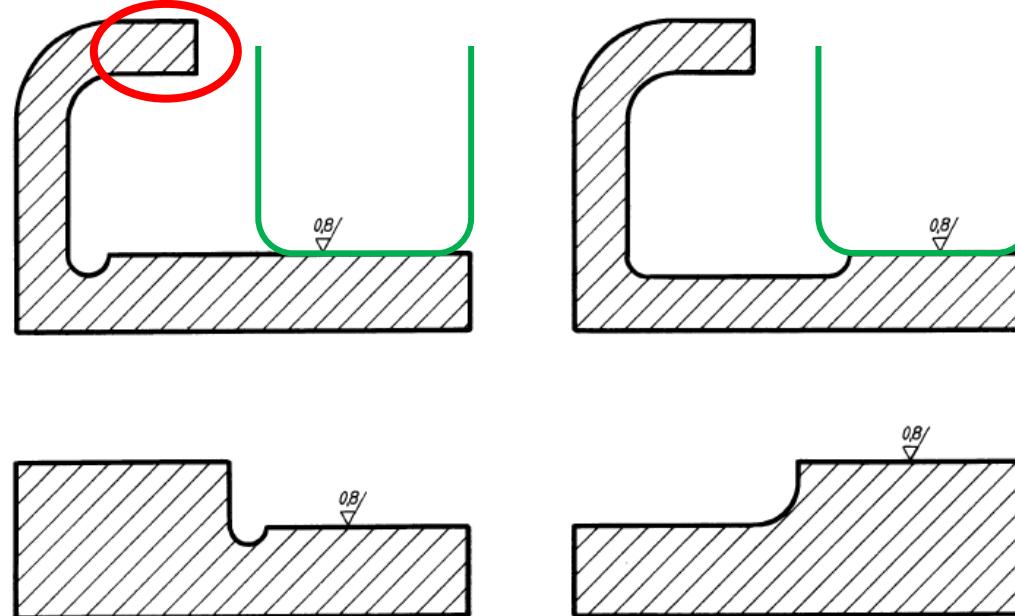
- Gewindeggrundlöcher (Sacklöcher) wurden möglichst vermieden
- Ausrundungen (konvexe Formen) möglichst nicht an ebene oder zylindrische Flächen tangierend anschließen, sondern im stumpfen Winkel. Der tangierende Übergang ist schwer herstellbar.
- Um enge Toleranzen zu vermeiden, elastische oder nachstellbare Teile verwenden

## 5.2 Schleifgerechtes Gestalten

## Verfahrensprinzip

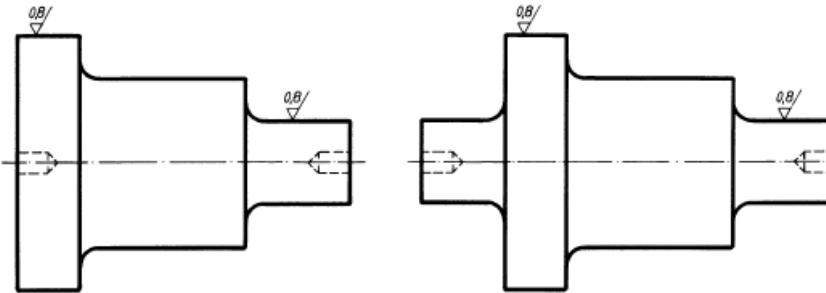


## Zugänglichkeit

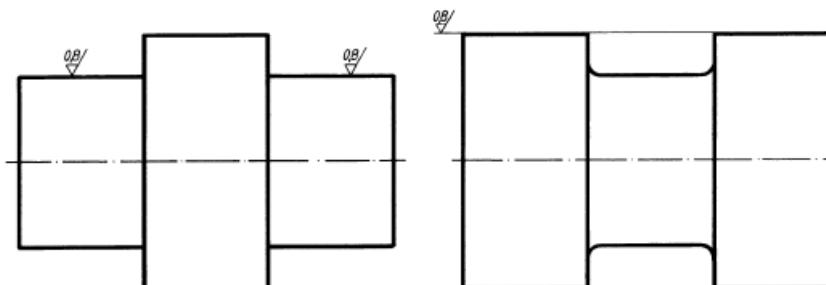


Die zu schleifenden Flächen sollten möglichst gut zugänglich und erhaben gestaltet werden, damit wirtschaftliche Topfschleifkörper zum Einsatz kommen können.

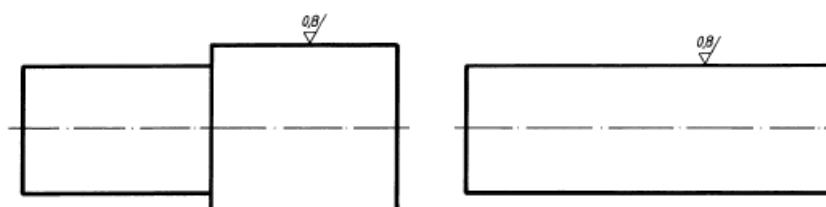
## Abgesetzte Wellen und Achsen



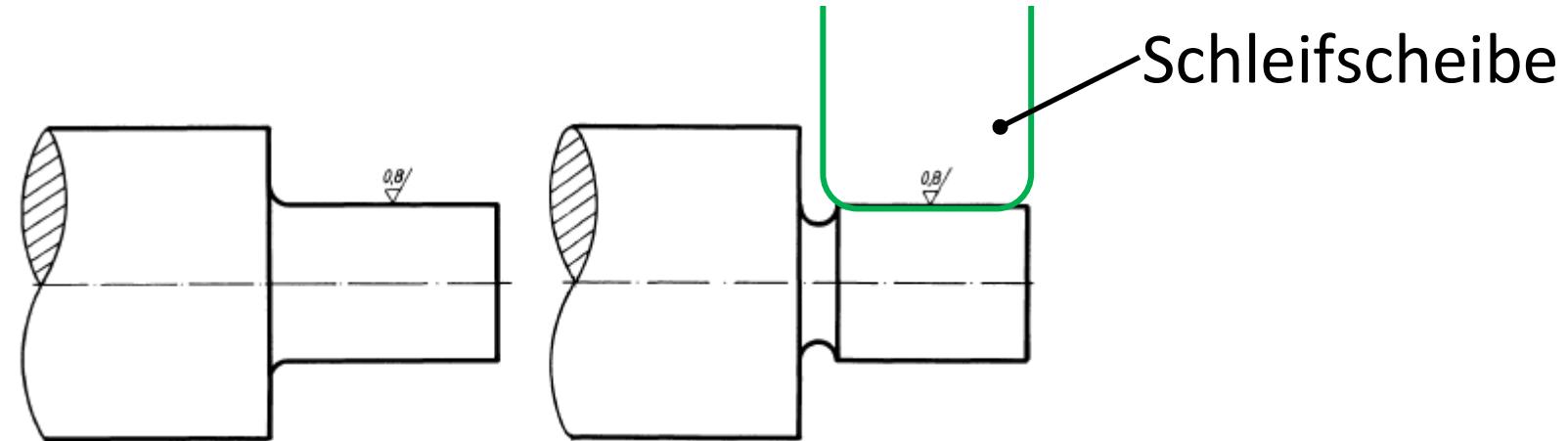
Teile sind möglichst so zu gestalten, dass in einem Durchlauf (**rechts Mitte**) geschliffen werden kann.



Abgesetzte Wellen und Achsen erfordern viel Bearbeitungsaufwand. Gezogenes Halbzeug, das dann durchgehend geschliffen wird, ist eine wirtschaftlichere Lösung (**rechts unten**).



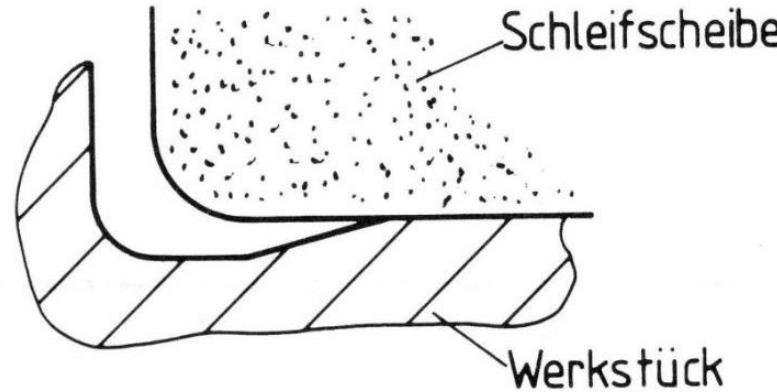
## Radien an Wellen- und Achsabsätzen



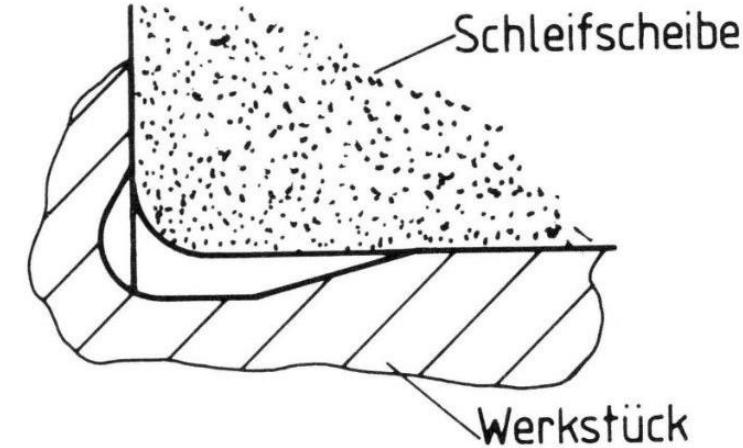
Nach Möglichkeit sind Radien bei Wellen- und Achsenabsätzen zu vermeiden.

Anzustreben sind Freistich (DIN 509) zum freien Auslauf des Schleifkörpers (rechts).

## Freistiche



Form E



Form F

Der Freistich (DIN 509) ist für die Weiterbearbeitung z.B. beim Schleifen von Wellensitzen als Auslauf für die Schleifscheibe sowie zur Reduzierung der Kerbwirkung durch den weicheren Übergang notwendig.

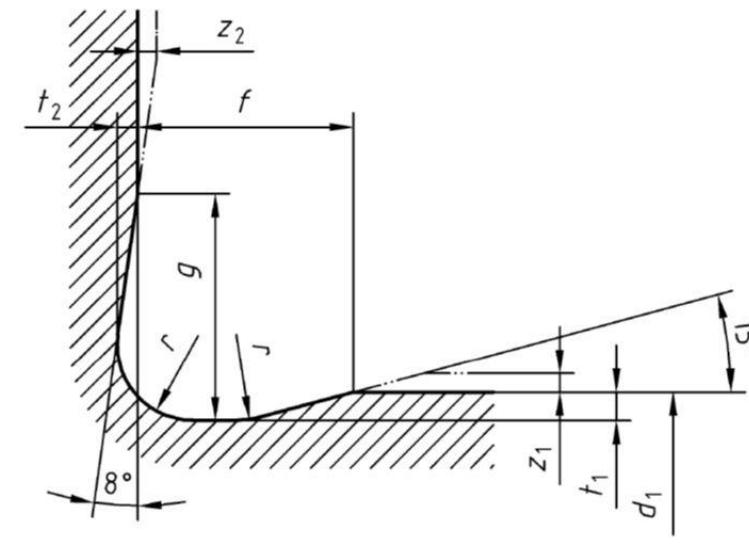
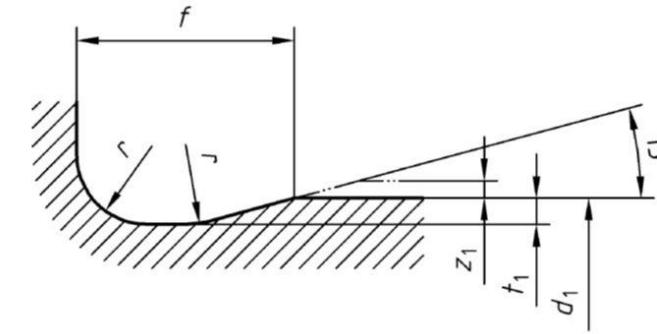
## Freistiche

### DIN 509 – Form E

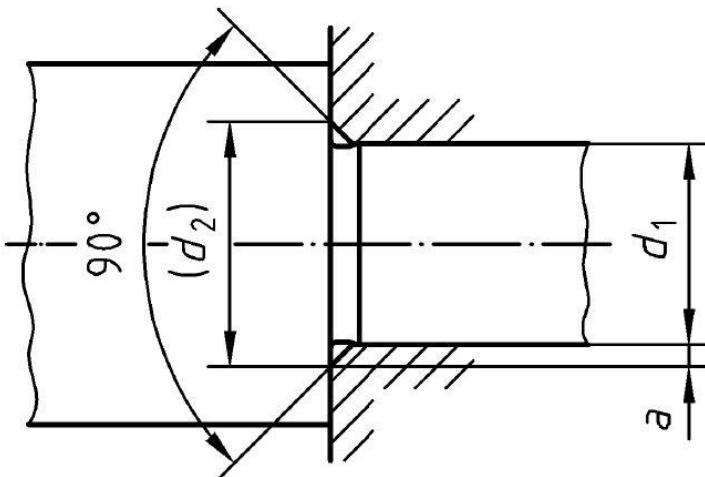
Wenn die Planfläche nicht bearbeitet werden und keine erhöhte Anforderung erfüllen muss.

### DIN 509 - Form F

Wenn beide zueinander rechtwinkligen Flächen bearbeitet werden müssen.

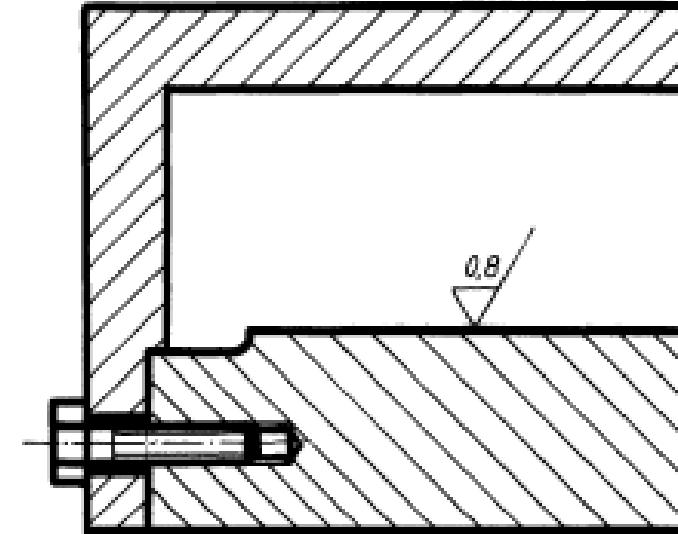
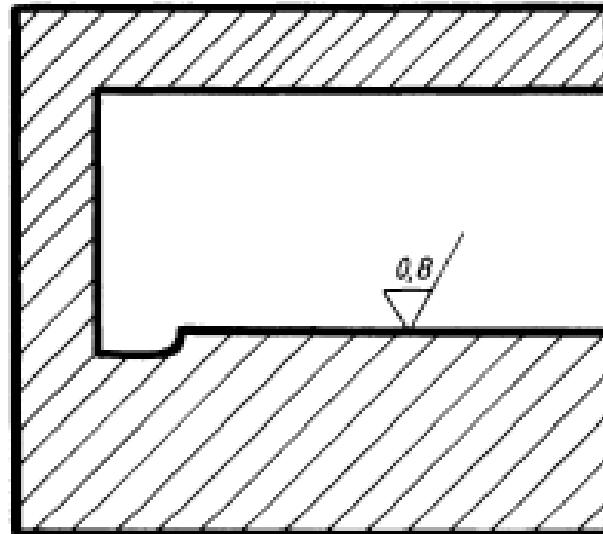


## Senkung am Gegenstück nach DIN 509



Freistich Größe $r \times t_1$	<sup>a</sup> Mindestmaß			
	Form E	Form F	Form G	Form H
$0,2 \times 0,1$	0,2	0	-	-
$0,4 \times 0,2$	0,3	0	0	-
$0,6 \times 0,2$	0,5	0,15	-	-
$0,6 \times 0,3$	0,4	0	-	-
$0,8 \times 0,3$	0,6	0,05	-	0,35
$1,0 \times 0,2$	0,9	0,45	-	-
$1,0 \times 0,4$	0,7	0	-	-
$1,2 \times 0,2$	1,1	0,6	-	-
$1,2 \times 0,3$	-	-	-	0,65
$1,2 \times 0,4$	0,9	0,1	-	-
$1,6 \times 0,3$	1,4	0,6	-	-
$2,5 \times 0,4$	2,2	1,0	-	-
$4,0 \times 0,5$	3,6	2,1	-	-

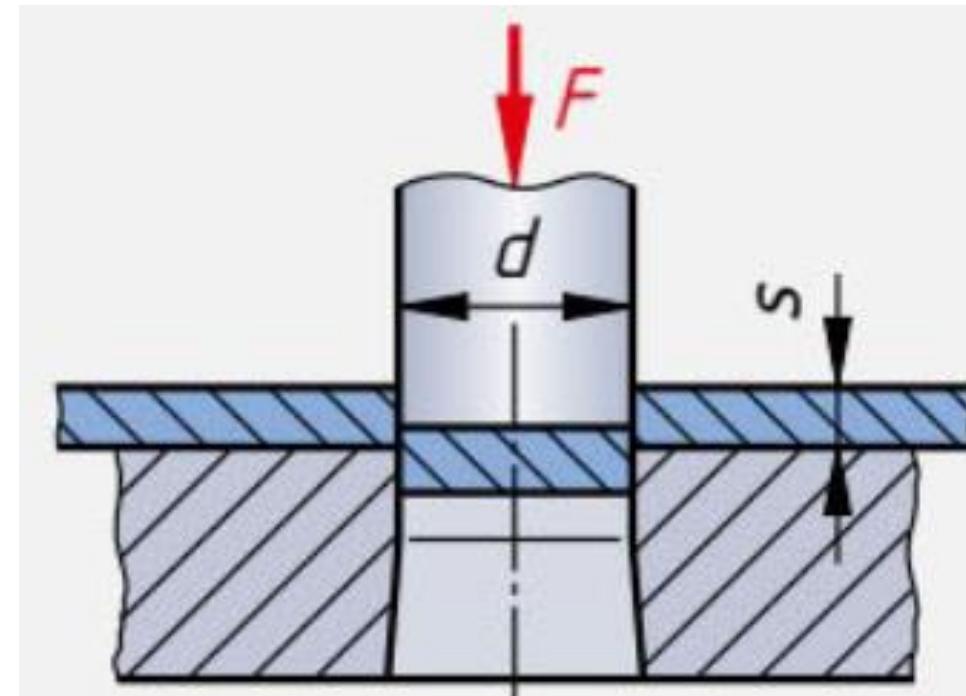
## Schwerzugängliche Flächen



Die Körper von schwer zugänglich zu schleifenden Flächen sind mehrteilig zu gestalten, da besonders bei Serienfertigung der Schleifaufwand in einer teiliger Ausführung sehr aufwendig ist.

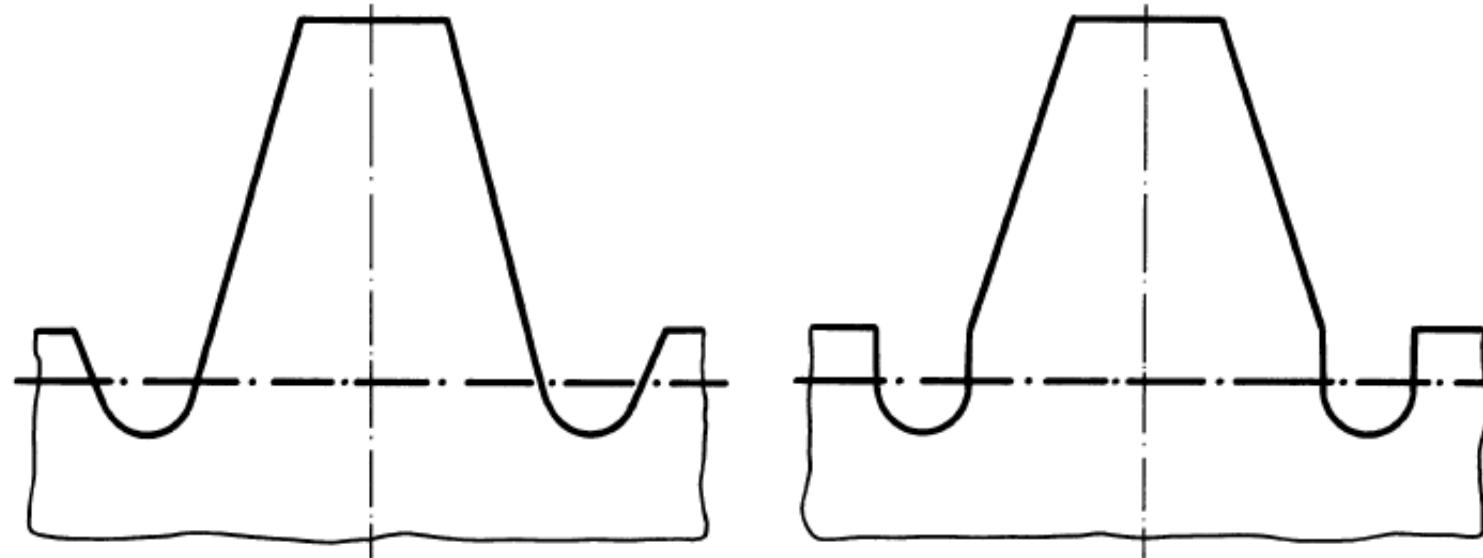
## 5.3 Stanzgerechtes Gestalten

## Verfahrensprinzip



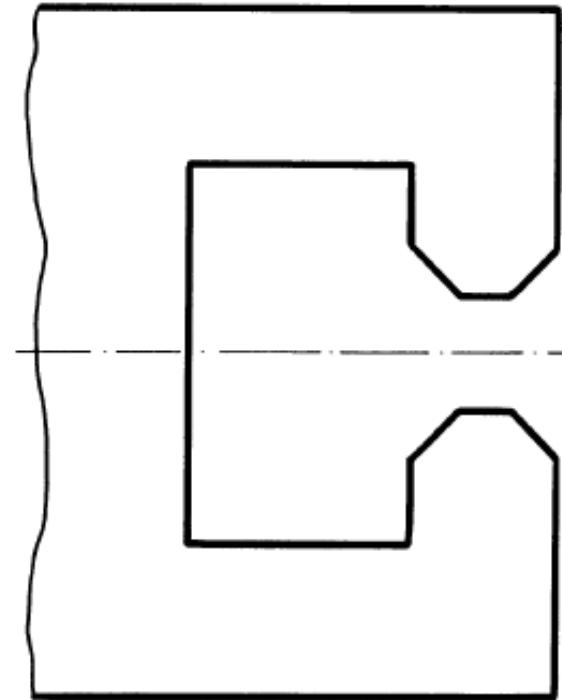
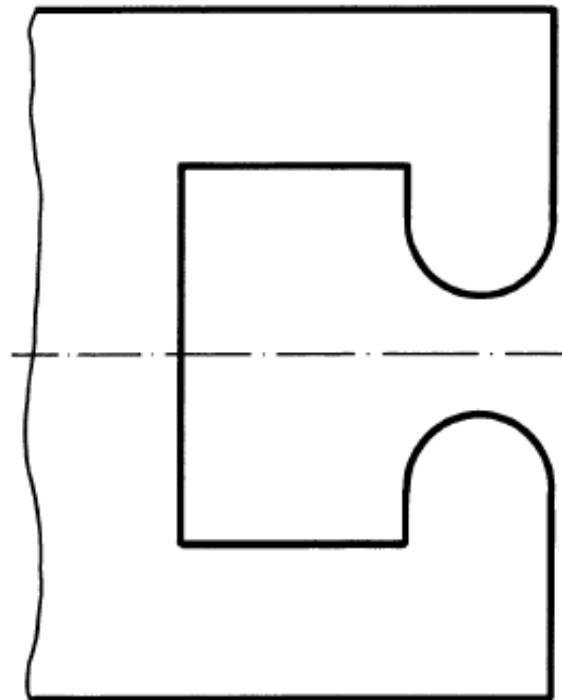
Aus Blechteilen werden mittels einer Presse, eines Schneidstempels und Schneidplatte Bauteile ausgestanzt.

## Außenkanten



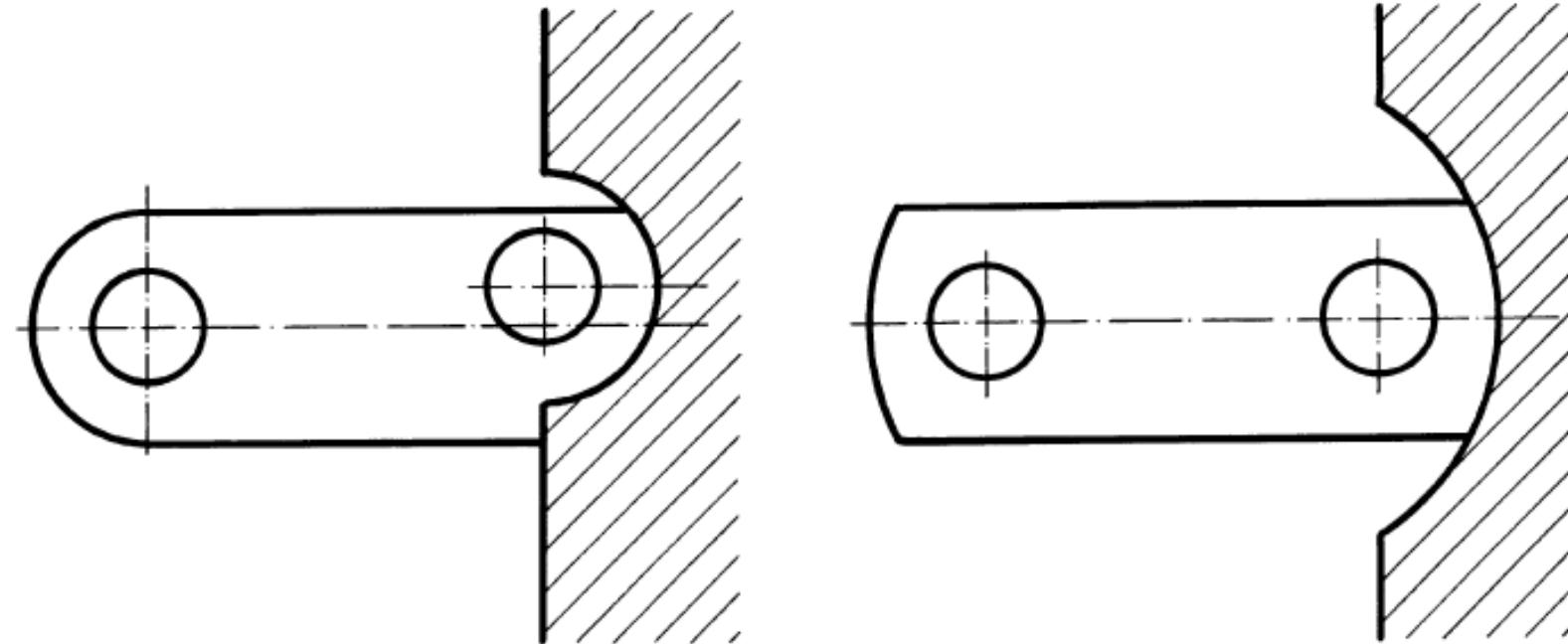
Die Außenkanten von Stanzteilen, die anschließend auf der strichpunktierten Linie abgewinkelt werden, müssen rechtwinklig zur Biegekante verlaufen, weil sonst Einreißgefahr besteht, vergleiche hierzu auch *Umformen/Biegekanten*.

## Kanten



Bei Ausstanzungen empfehlen sich abgeschrägte Kanten, da gerundete Ecken nicht passgenau hergestellt werden können.

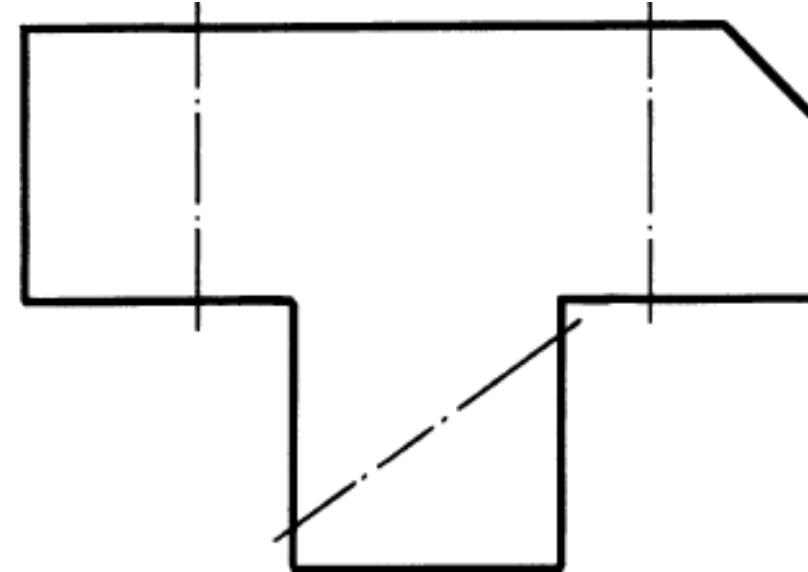
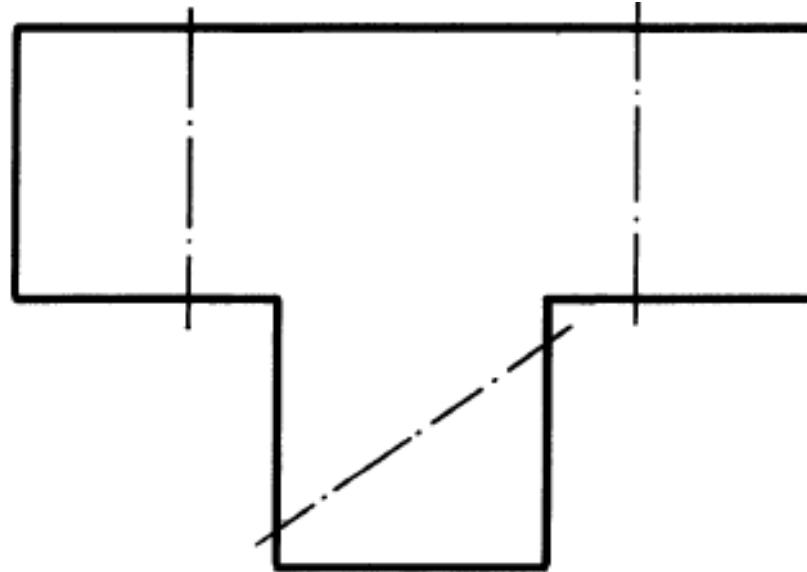
## Fertigungstoleranzen



Fertigungstoleranzen sind bei Ausstanzungen des linken Bauteils sofort erkennbar.

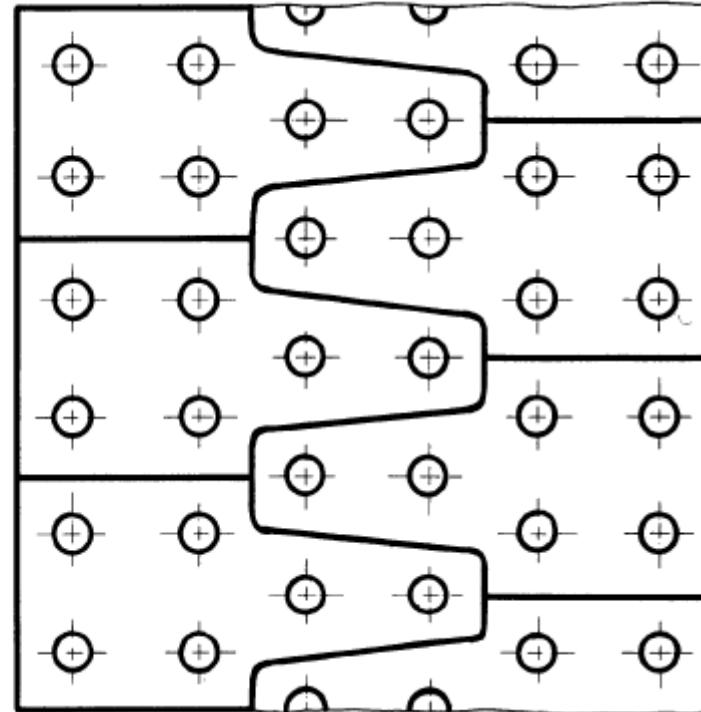
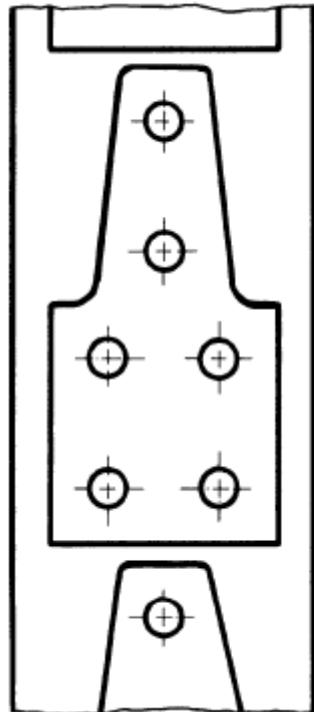
Die Ausführung nach der Darstellung rechts ist vorzuziehen.

## Symmetrische Stanzteile



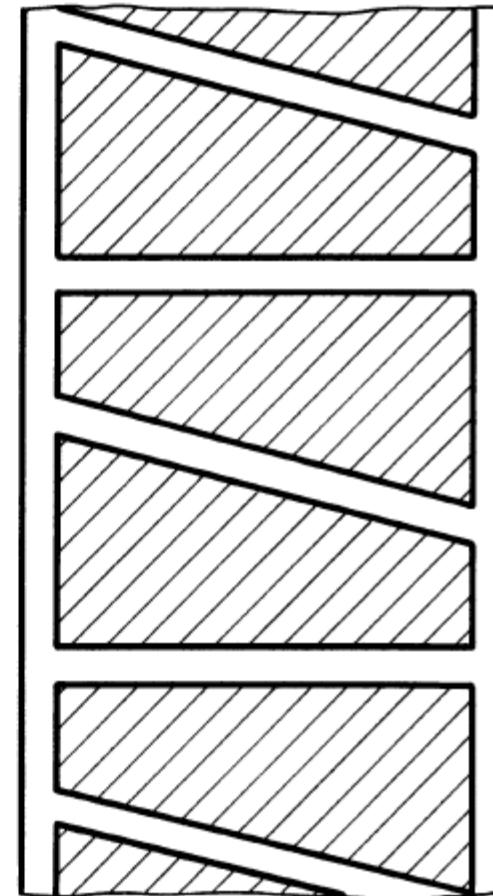
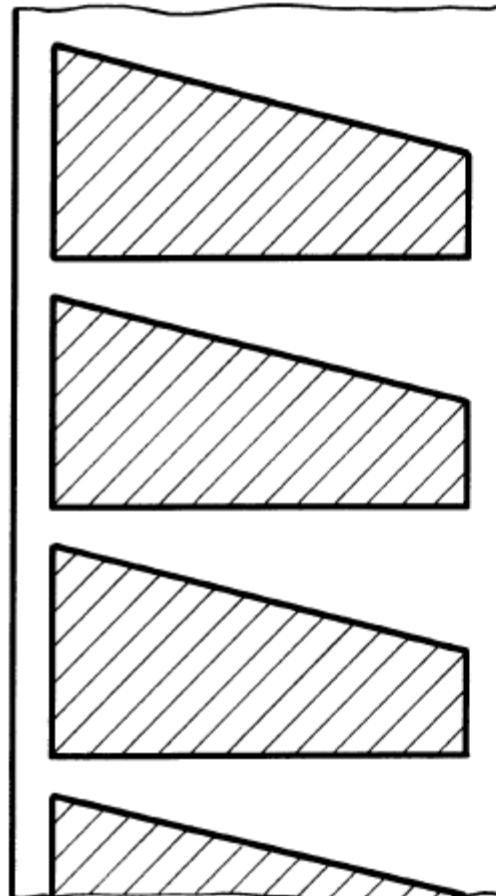
Bei symmetrischen Stanzteilen, die anschließend asymmetrisch gebogen werden, ist zur sicheren Kennzeichnung der Gratseite eine asymmetrische Ausführung (**wie rechts**) zu bevorzugen.

## Abfallose Herstellung



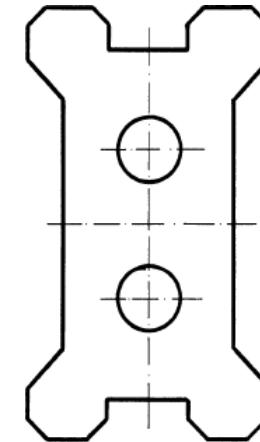
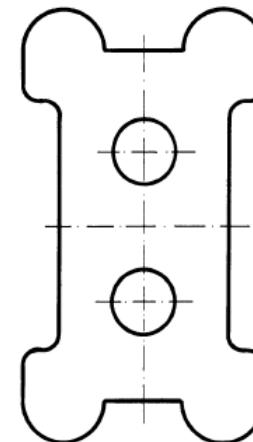
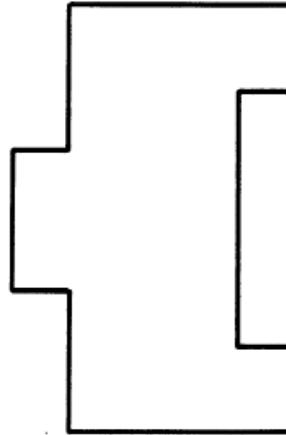
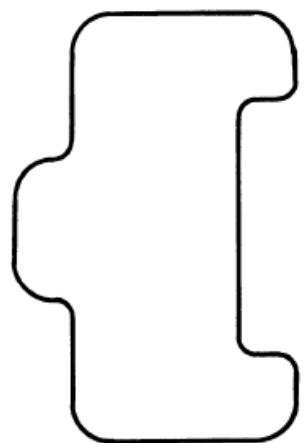
Stanzteile möglichst so gestalten,  
dass eine nahezu abfallose Her-  
stellung möglich ist, *siehe hierzu  
auch Umformen/Abwicklung.*

## Geringstmöglicher Abfall



Bauteile so gestalten, dass durch Gegenüberanordnung geringstmöglicher Abfall entsteht, siehe hierzu auch *Umformen/Abwicklung*.

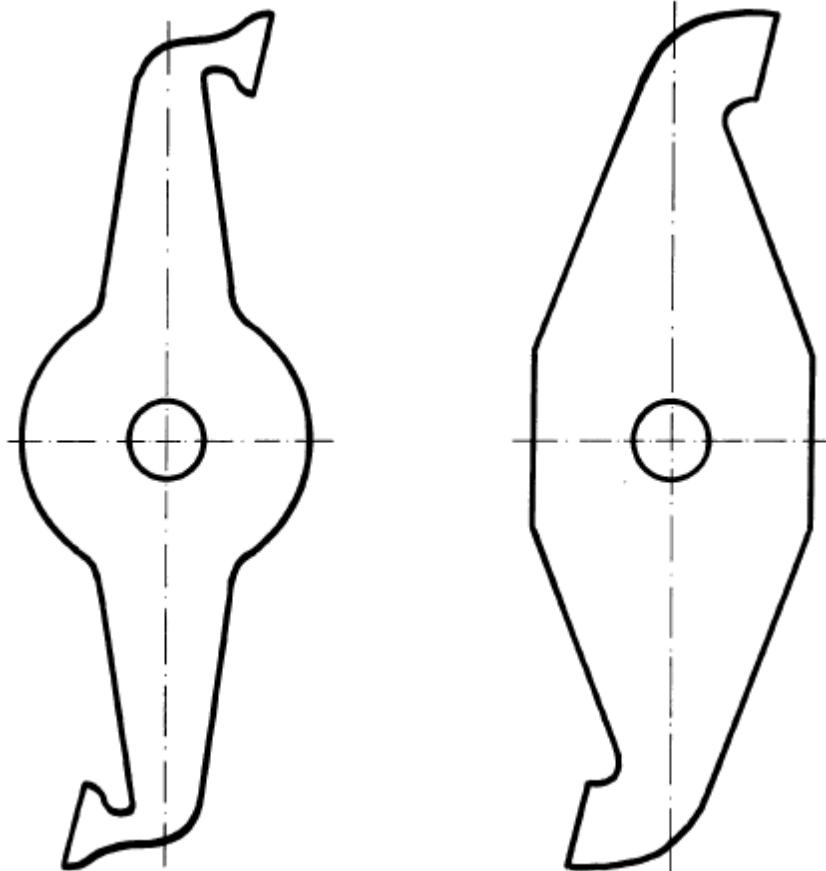
## Geradlinige Konturen



Bei Stanzteilen einfache geradlinige Konturen bevorzugen.

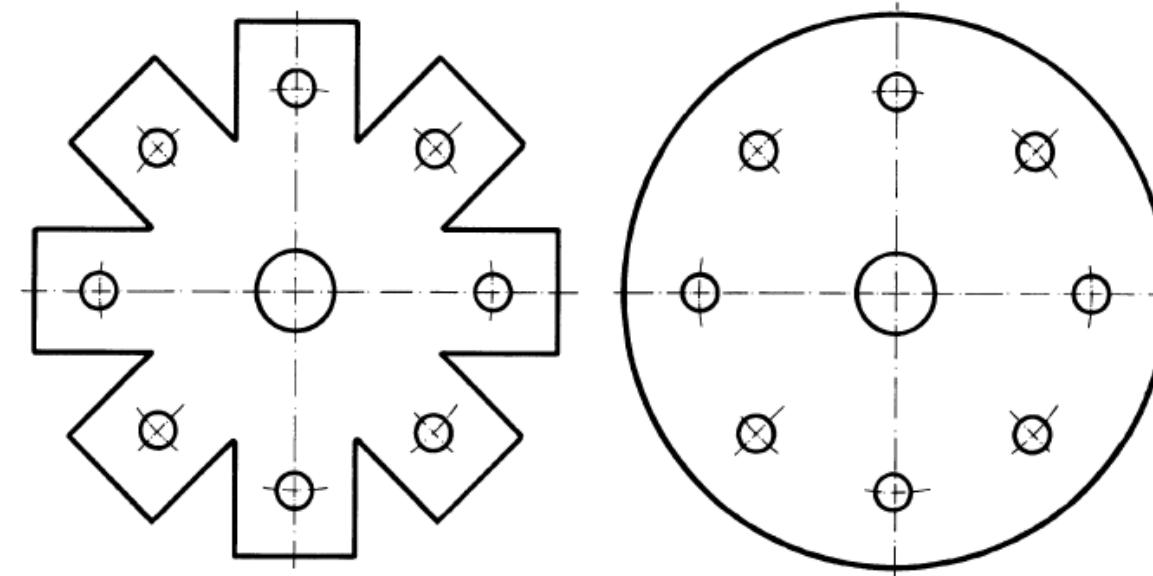
Ecken möglichst nicht abrunden,  
sondern abschrägen

## Einfache Schnittformen



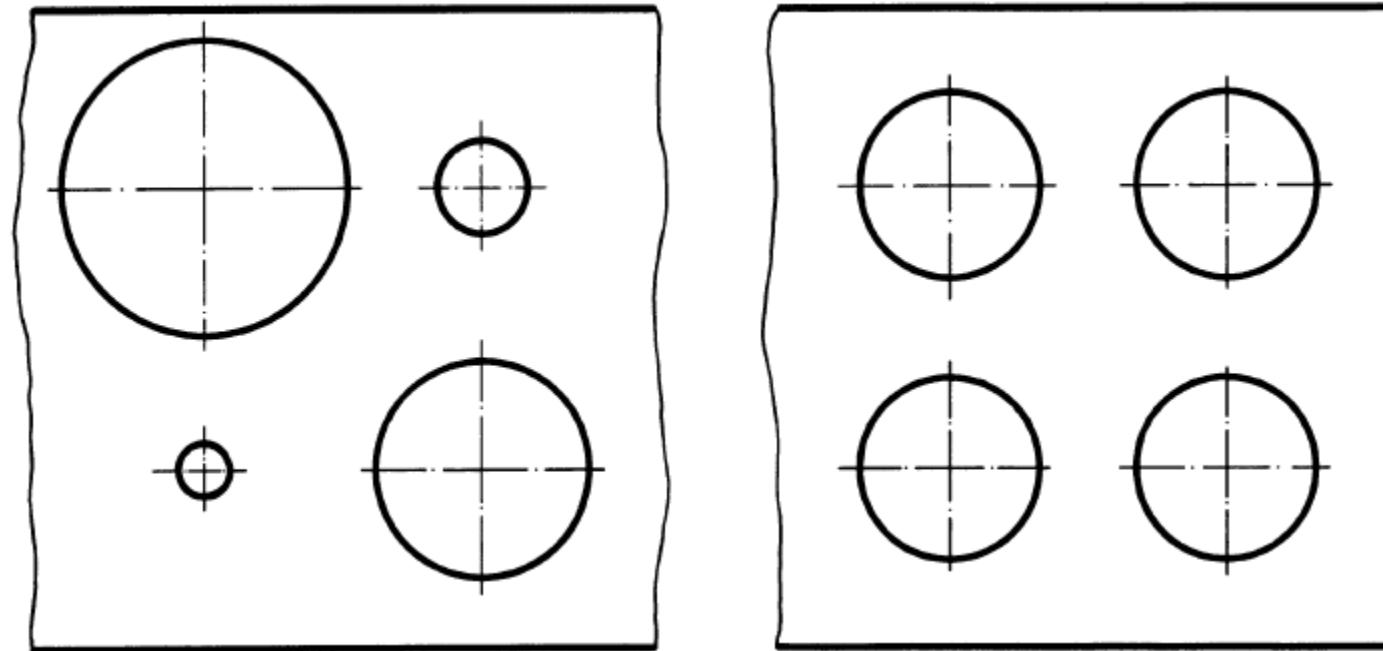
Komplizierte Schnittformen vermeiden.  
Einfache Grundformen bevorzugen.

## Konturenausstanzen



Aufgrund der hohen Werkzeugkosten und der fixen Kontur ist das Konturen-ausstanzen nur bei einer Massenfertigung (Stückzahl ↑↑) wirtschaftlich, sonst bitte einfache und kostengünstigere Stempelformen bevorzugen.

## Verschiedenartige Ausstanzungen



Verschiedenartige Ausstanzungen möglichst vermeiden. Sinnvoll sind Ausstanzungen gleicher Größe und gleicher Kontur, da einfache Werkzeugherstellung

## Allgemeintoleranzen – DIN 6930-2

In der DIN 6930-2 sind geregelt:

- Toleranzen für Längenmaße
- Toleranzen für Rundungshalbmesser
- Toleranzen für Winkelmaße
- Lagetoleranzen für Koaxialität und Symmetrie

## Grenzabmaße für Längenmaße

Nennmaß- bereich	Genauigkeits- grad	Grenzabmaße für Dickenbereich				
		bis 1	über 1 bis 3	über 3 bis 6	über 6 bis 10	über 10
bis 6	f	± 0,05	± 0,08	± 0,1	± 0,2	± 0,4
	m	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,4
	g	± 0,2	± 0,3	± 0,4	± 0,6	± 0,8
	sg	± 0,5	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 1,5
über 6 bis 10	f	± 0,08	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,4
	m	± 0,15	± 0,2	± 0,25	± 0,4	± 0,4
	g	± 0,3	± 0,4	± 0,5	± 0,8	± 0,8
	sg	± 0,8	± 1	± 1	± 1,5	± 1,5
über 10 bis 25	f	± 0,1	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,4
	m	± 0,2	± 0,25	± 0,3	± 0,4	± 0,6
	g	± 0,4	± 0,5	± 0,6	± 0,8	± 1
	sg	± 1	± 1	± 1,5	± 1,5	± 2
über 25 bis 63	f	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,4
	m	± 0,25	± 0,3	± 0,4	± 0,5	± 0,6
	g	± 0,5	± 0,6	± 0,8	± 1	± 1,2
	sg	± 1	± 1	± 1,5	± 2	± 3

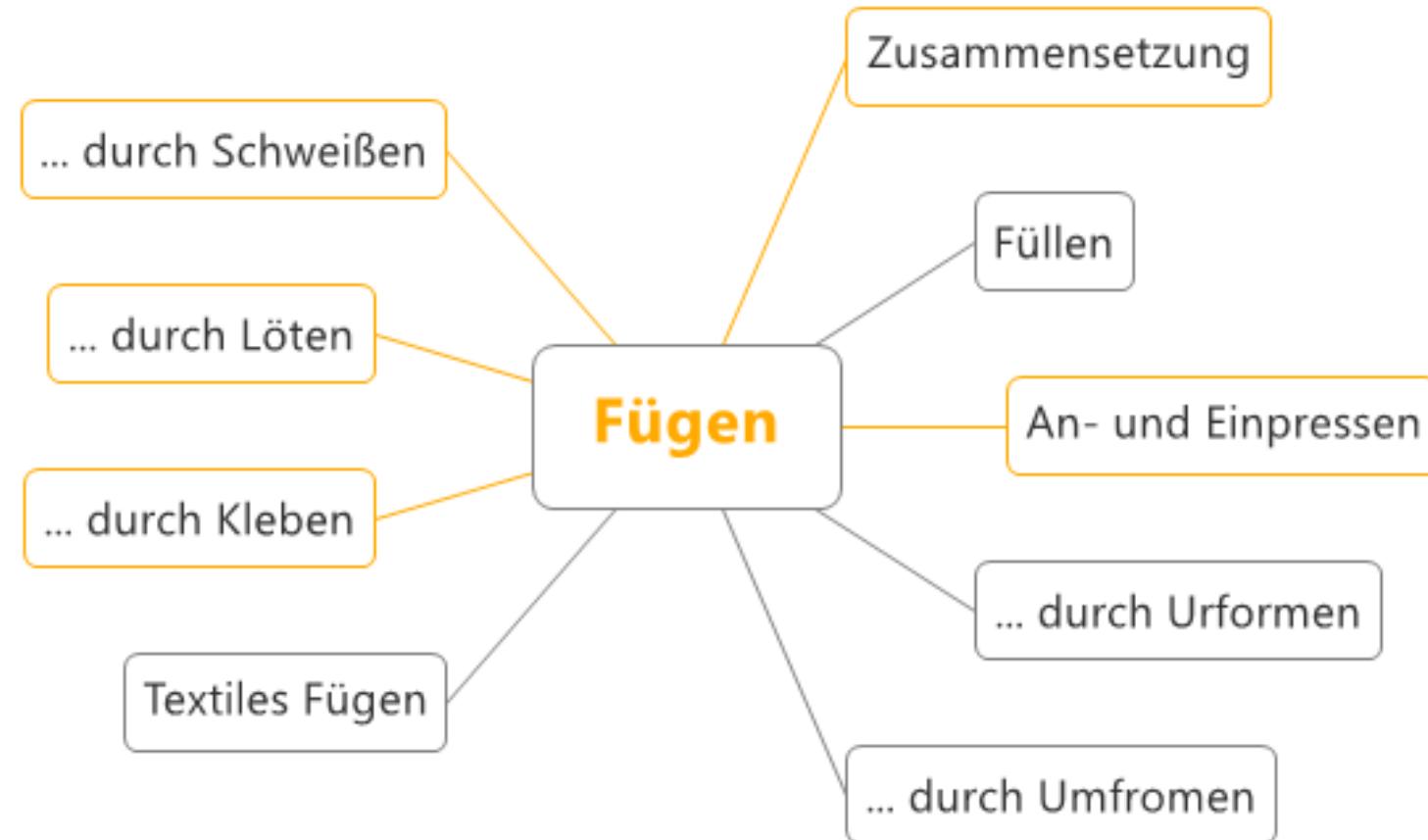
Beispiel: Maß hat 30 mm,  
Klasse m  
→ Toleranz +/- 0,25 mm bis  
+/- 0,6 mm abhängig von der  
Blechdicke

## Checkliste

- Statt abgerundeter Ecken abgeschrägte Ecken vorgesehen
- Einfache, rechteckige, zusammensetzbare Stempel bevorzugt
- Enge Lochabstände vermieden
- Filigrane Formen vermieden, da sie sehr dünne Stempelausführungen erfordern
- Stanzteile so gestaltet, dass eine nahezu Abfalllose Herstellung möglich ist
- Gleichartige Ausstanzungen vorgesehen

# 6 Fügegerechte Gestaltung

## Übersicht Fügen

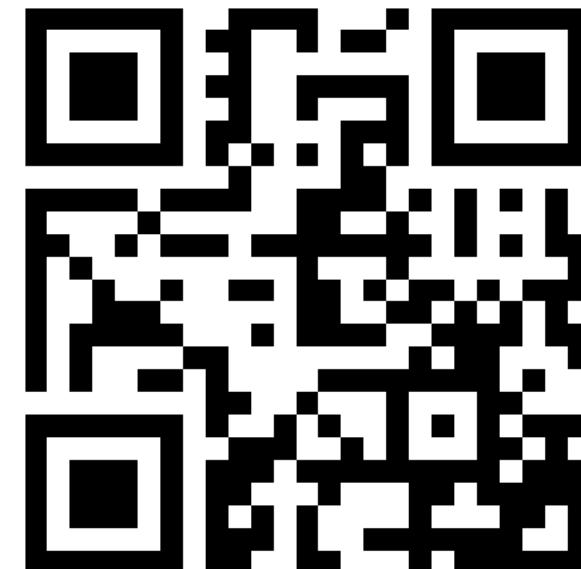


## 6.1 Schweißgerechte Gestaltung

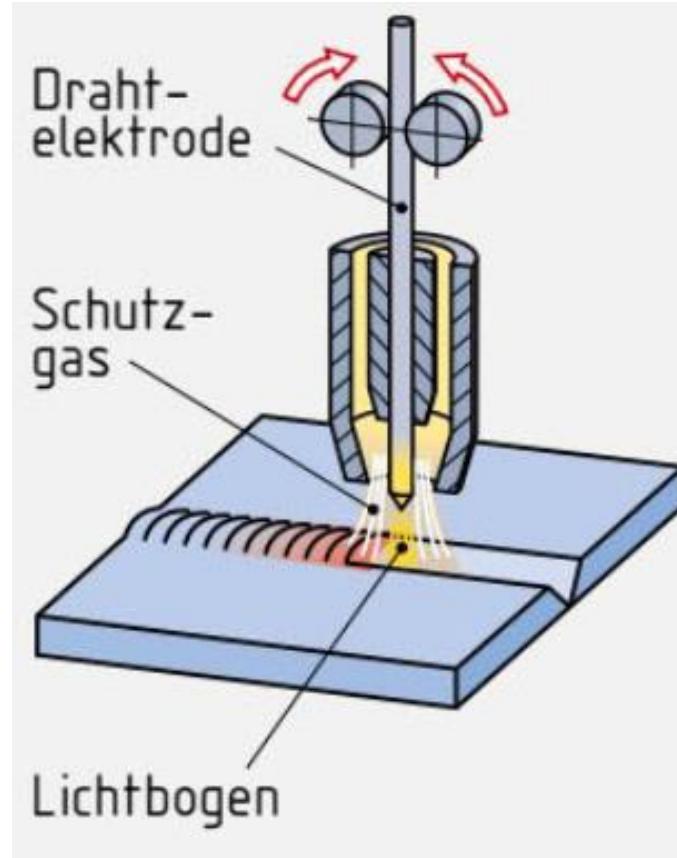
**Was wissen Sie bis jetzt über das Fertigungsverfahren Schweißen?**

**MB1**

AnswerGarden: <https://answergarden.ch/5047626>



## Verfahrensprinzip MIG und MAG Schweißen



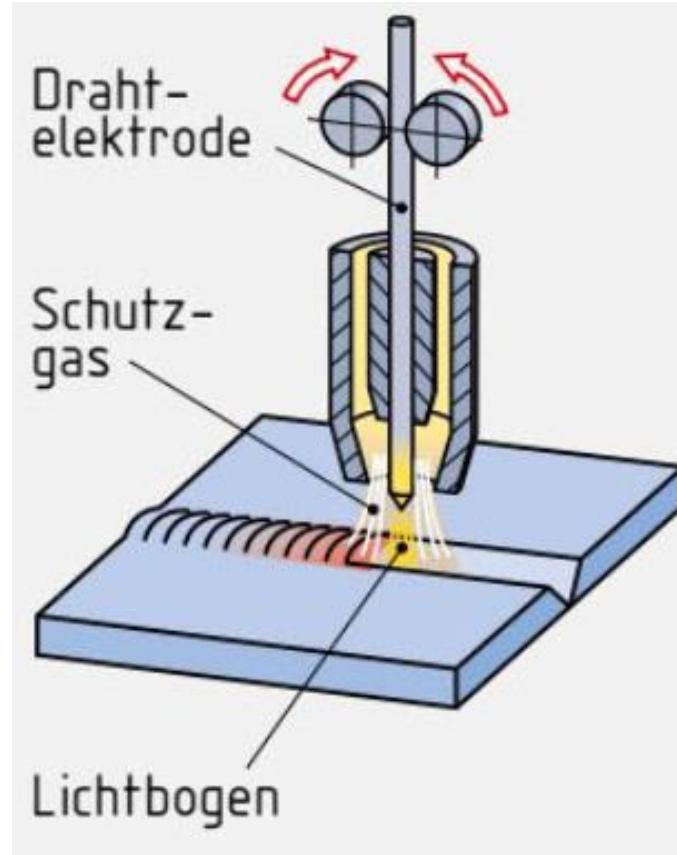
Definition – MAG: Ein stetig zugeführter Draht wird in einem Lichtbogen unter Schutzgasatmosphäre abgeschmolzen.

Schutzgas schirmt die Umgebungsluft vom Lichtbogen ab.

MIG – für hochlegierte Stähle und Aluminiumlegierungen

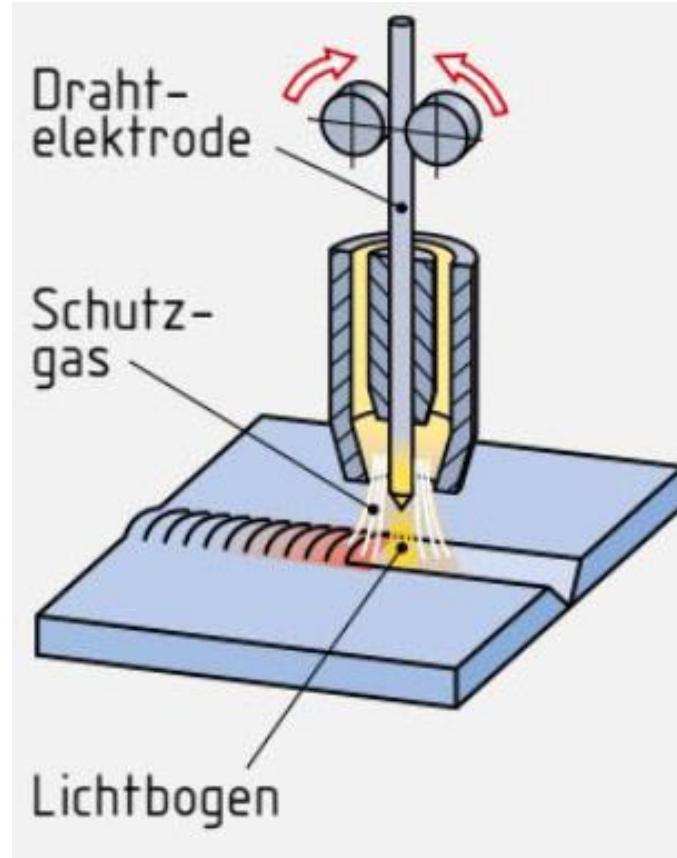
MAG – für un- und niedriglegierte Stähle  
Kohlenstoffanteil 0,2%

## Verfahrensprinzip MIG und MAG Schweißen



Schutzgasatmosphäre: Schutz vor O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>  
O<sub>2</sub> auf der Schmelze: Legierungselemente verbrennen  
H<sub>2</sub>: löst sich in Metallschmelze: → interkristalliner Riss → Sprödbruch  
N<sub>2</sub>: löst sich in Eisen: heftet sich an Korngrenzen → Alterung → Korngrenzen reißen auf → interkristalliner Riß

## Verfahrensprinzip MIG und MAG Schweißen



- Metallschweißen mit inerten Gasen (MIG) nach DIN EN ISO 4063: Prozess 131 beziehungsweise
- MIG-Schutzgas wie z.B. Argon und selten Helium (teuer)
- Metallschweißen mit aktiven Gasen (MAG) nach DIN EN ISO 4063: Prozess 135
- MAG-Schutzgas wie z.B. Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) oder Mischgas Argon und geringen Anteilen CO<sub>2</sub> oder O<sub>2</sub>

## Vormaterialien

Am kostengünstigsten:

- Bleche, Flachstahl, gerade geschnitten und gebogen
- Walzprofile, ausgebrannte Blech-Formteile, Rohre

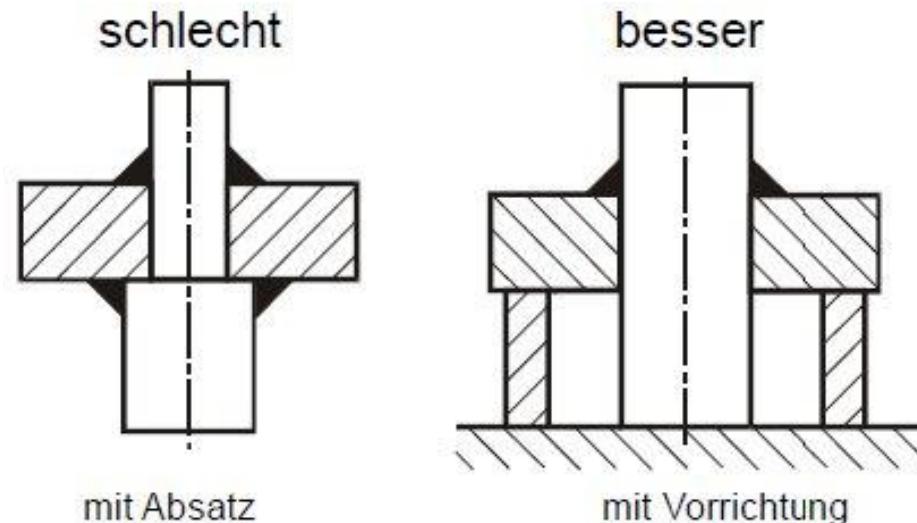
Weniger kostengünstig:

- Anschweißteile, geschmiedet oder gegossen
- Anschweißteile, spanend hergestellt

## Spanende Vorbearbeitung

- möglichst vermeiden
- Schweißvorrichtungen verwenden (nur einmalige Kosten)

Beispiel: Nabe auf Welle positionieren

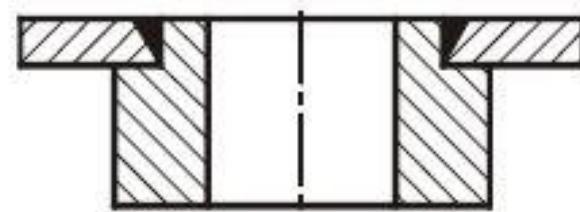


Hülse und Auflage als Hilfsvorrichtung, nach dem Schweißen der oberen Naht Werkstück wenden.

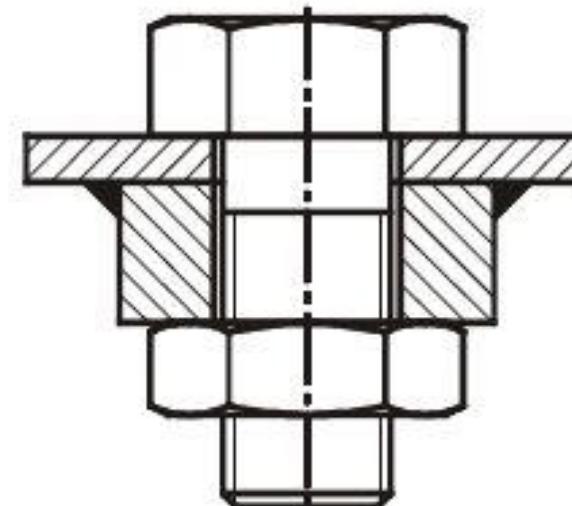
## Spanende Vorbearbeitung

Beispiel: Lochverstärkung

schlecht



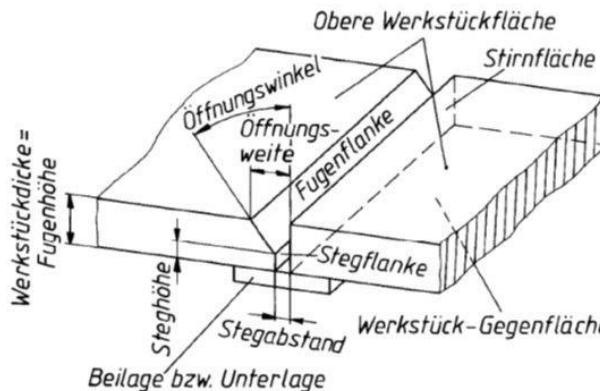
besser



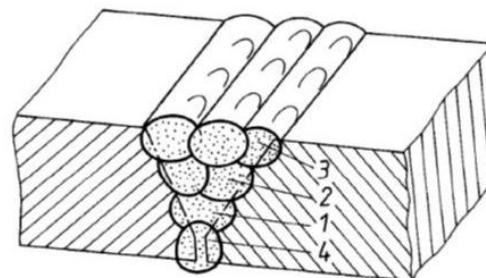
Schraube mit Mutter als Hilfsvorrichtung zum Schweißen.

# GESTALTUNG - 6 Fügegerechte Gestaltung

## Nahtvorbereitung



Beispiel HY-Naht (halbe Y-Naht)



Beispiel Y-Naht:

1 Wurzel-, 2 Mittel-, 3 Deck- und 4 Gegenlage

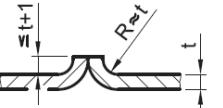
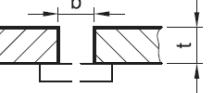
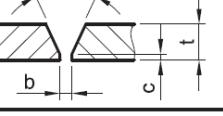
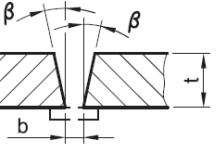
### Vorteile:

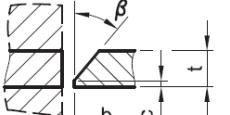
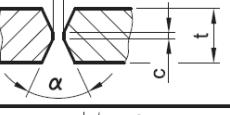
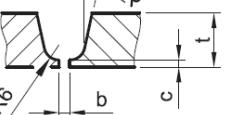
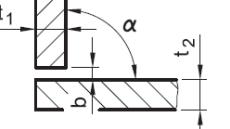
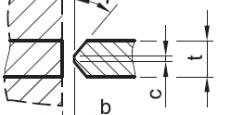
- das Aufschmelzen der Blechkanten
- das Durchschweißen
- die Nahtfüllung
- Kerbspannung niedrig

### Nachteile:

- Zusätzlicher Arbeitsschritt → teuer, daher Nahtvorbereitung möglichst vermeiden.

## Schweißnahtvorbereitung für Stahl – (DIN EN 29692)

Werkstück-dicke $t$	Benennung	Fugenform					Bemerkung
		Schnitt	Winkel $\alpha, \beta$	Spalt $b$	Steghöhe $c$		
$t \leq 2$	Bördelnaht		-	-	-		Meist ohne Zusatzwerkstoff
$t \leq 4$	I - Naht		-	$b \approx t$	-		-
$3 < t \leq 8$			-	$6 \leq b \leq 8$	-		Mit Bad-sicherung
$3 \leq t \leq 10$	V - Naht		$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$b \leq 4$	$c \leq 2$		Gegebenenfalls mit Bad-sicherung
$t > 16$	Steilflanken-naht		$5^\circ \leq \beta \leq 20^\circ$	$5 \leq b \leq 15$	-		Mit Bad-sicherung

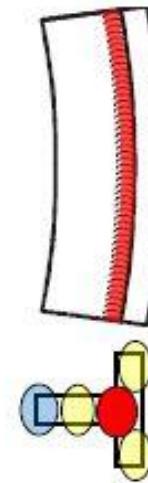
$3 < t \leq 10$	HV - Naht		$35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$2 \leq b \leq 4$	$1 \leq c \leq 2$	-
$t > 10$	X-Naht (Doppel-V-Naht)		$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$1 \leq b \leq 3$	$c \leq 2$	-
$t > 12$	U - Naht		$8^\circ \leq \beta \leq 12^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$c \leq 3$	-
$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	Kehlnaht, T - Stoß		$70^\circ \leq \alpha \leq 100^\circ$	$b \leq 2$	-	-
$t > 10$	K - Naht (Doppel-HV-Naht)		$35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$c \leq 2$	-

## Nahtanhäufungen vermeiden

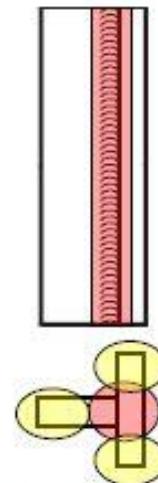
Vor dem Schweißen



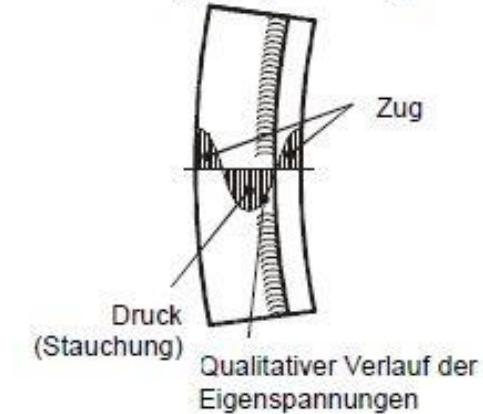
Verzug während und unmittelbar nach dem Schweißen



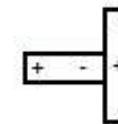
Vorübergehender Zustand beim Abkühlen



Nach dem Abkühlen umgekehrter Verzug mit Eigenspannungen



Beachte:  
 Bereich der Materialanhäufung hat immer noch eine höhere Temperatur als die Außenbereiche mit großer wärmeabführender Fläche! Die Außenbereich kühlen schneller ab und erfahren Zugspannung.



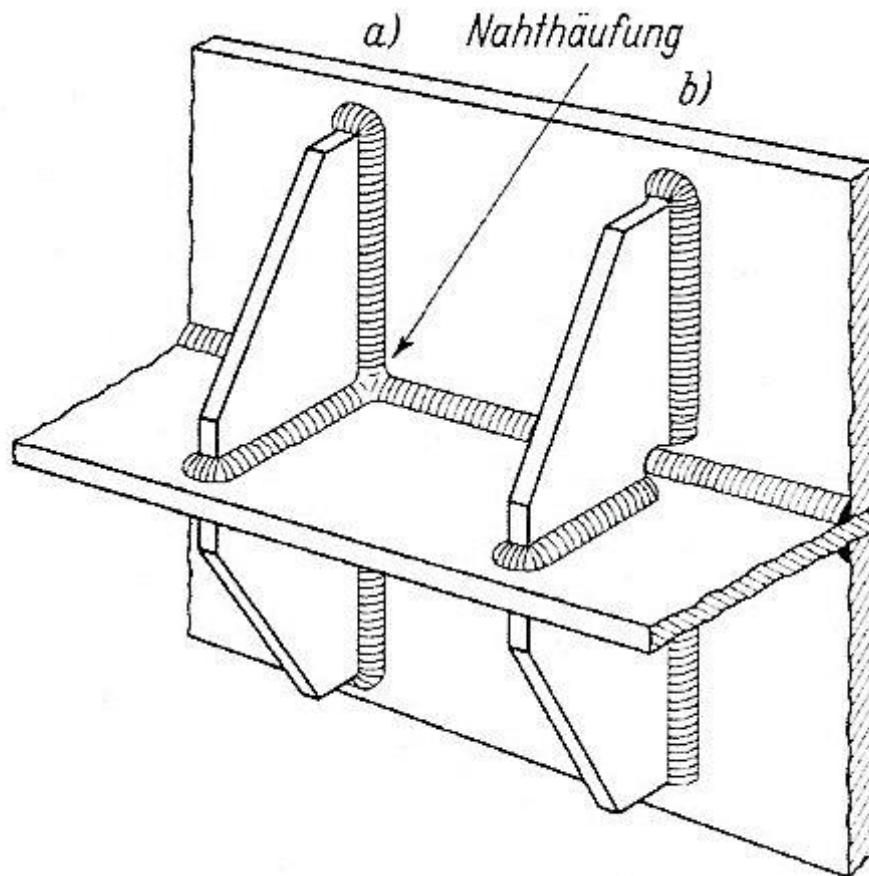
Durch die eingesetzte Hitze kommt es in den Bauteilen zu Eigenspannungen → Schweißverzug!

## Nahthäufungen vermeiden – versetzte Nähte



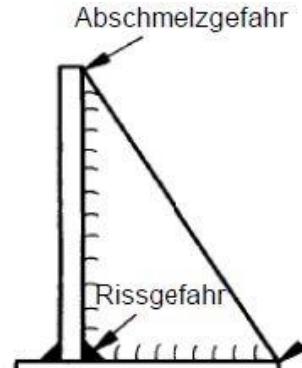
- Schrumpfspannungen sind in Nahtlängsrichtung am höchsten
- Erwärmung vor dem Schweißen schafft Abhilfe, ist jedoch nur selten durchführbar.
- Längsnähte an Behälterbelchen versetzen
- keine Nahtkreuzung, sonst bestünde Rissgefahr für die Quernähte.

## Nahthäufungen vermeiden - Rippen

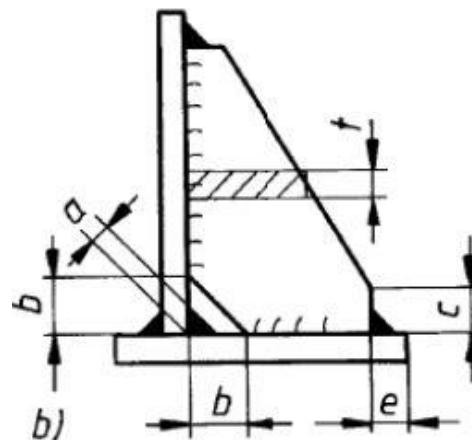


- Nahtanhäufung (a) in der Ecke grundsätzlich meiden, wenn Bauteil dynamisch beansprucht wird (b)!
- Bei ruhender Belastung ist die Nahtanhäufung jedoch zulässig.
- Nähte nicht bis zum Plattenrand legen, Endkrater durch umlaufende Schweißnaht vermeiden.

## Nahthäufungen vermeiden - Rippen



a)



- Ecken freischneiden
- Überstände vorsehen (b)
- Bei (a) Nahtanhäufung, Rissgefahr
- Einpassarbeit und Abschmelzen der Ecken

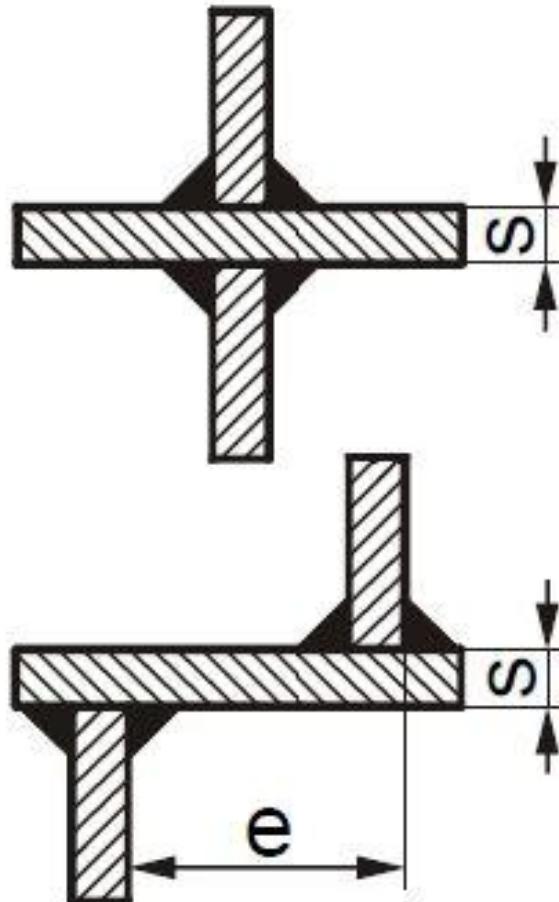
Richtwerte:

$$b \approx a + 1,5 t$$

$$c \approx t$$

$$e \approx 2a$$

## Nahthäufungen vermeiden – Versetzte Rippen



- gegenüberliegende Rippen nur zulässig, wenn  $s \geq 8 \text{ mm}$
- sonst versetzte Anordnung mit der Teilung  $e \geq 5 \cdot s$

# GESTALTUNG - 6 Fügegerechte Gestaltung

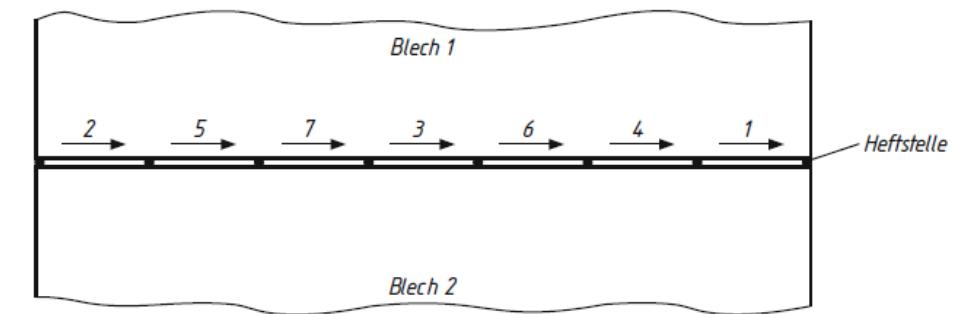
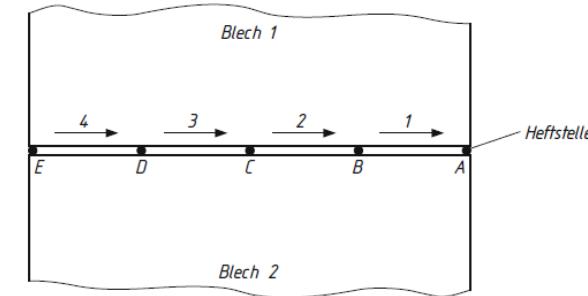
## Bauteilverzug und Schweißfolgeplan

**Oben:** Pilgerschrittschweißen;

**Unten:** sprungweise Schweißung

Vorteil: Es wird immer in Richtung des erkalteten Nahtanfangs geschweißt; erkaltete Nahtteile können möglichst lange ungehindert schrumpfen und entstehende Schrumpfspannungen werden kleiner.

Nachteil: häufige Nahtansätze → erfahrene Schweißer\*innen erforderlich um frei von Bindefehlern zu sein → keine Kaltstellen



## Nahtlänge einsparen

- Belastbarkeit einer Schweißnaht wird beeinflusst durch die Nahtfläche

$$A_w = a \cdot L$$

- Kosten einer Schweißnaht werden beeinflusst durch das Nahtvolumen

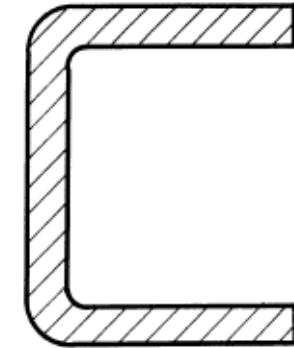
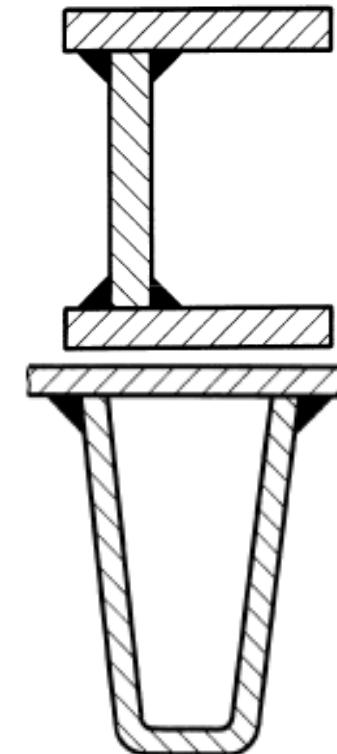
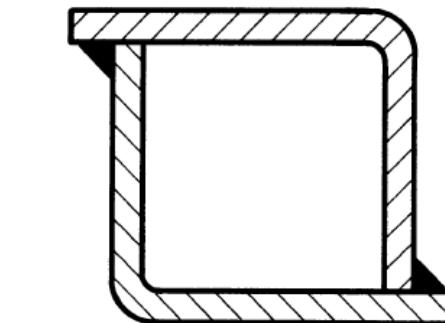
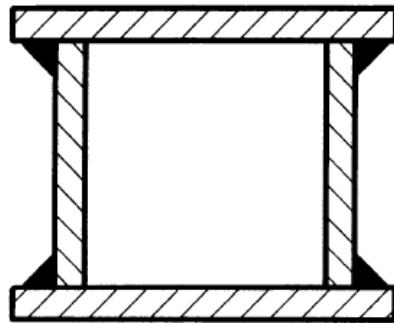
$$V_w \approx a^2 \cdot L$$

- Es ist daher kostengünstiger, die Schweißnähte dünn und lang als dick und kurz auszuführen.

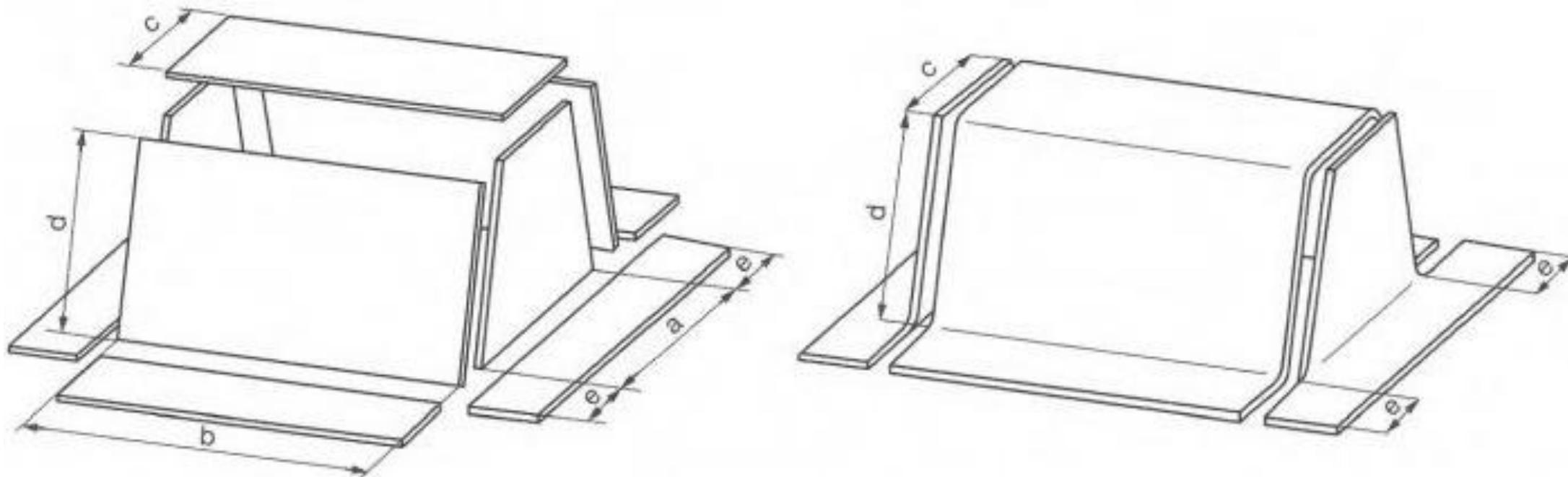
- Gegen dicke Nähte spricht außerdem die Gefahr von Lunker- und Blasenbildung, erhöhter Schweißverzug und erhöhter Wärmeeinbringung (thermische Belastung des Werkstücks)

## Nahtlänge einsparen

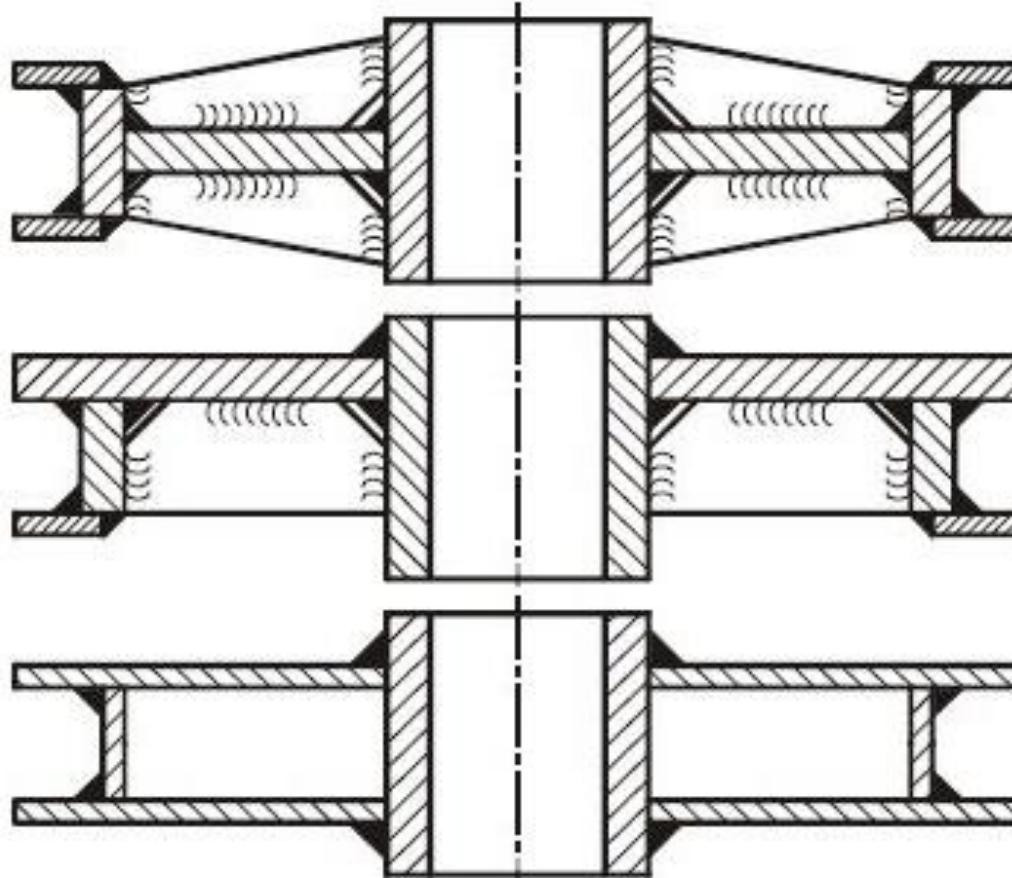
Biegen ist meist billiger als Schweißen!



## Nahtlänge einsparen



## Nahtlänge einsparen

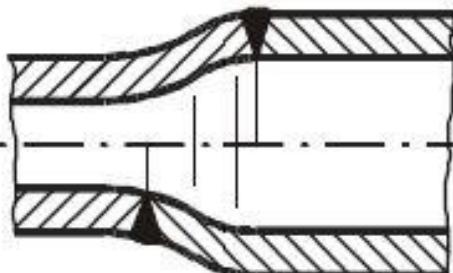


Wie viele Schweißnähte zählen Sie bei den 3 Varianten der Seilscheibe?

## Zugänglichkeit der Nähte

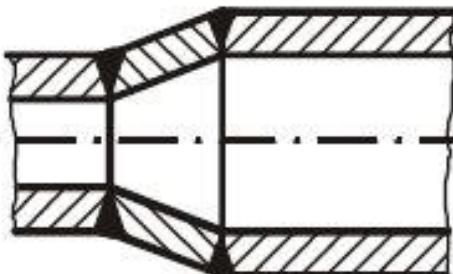


Wenn das rechte Rohrstück lang ist, kann die innere Naht nicht oder nur schwer ausgeführt werden.



### Bessere Lösungen

- eine Rohrhälften aufgeweitet oder eingezogen
- Stumpfnaht
- kegeliges Zwischenstück mit Stumpfnaht einschweißen

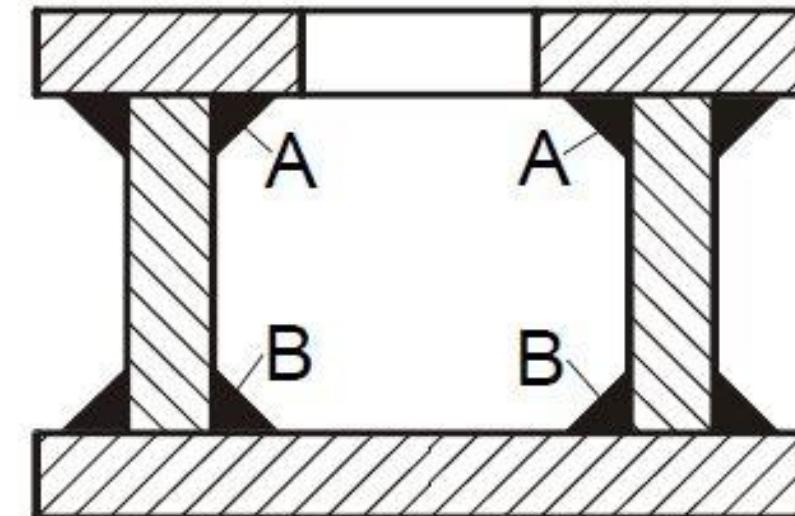


## Zugänglichkeit der Nähte

Reihenfolge der Schweißnähte

vorschreiben:

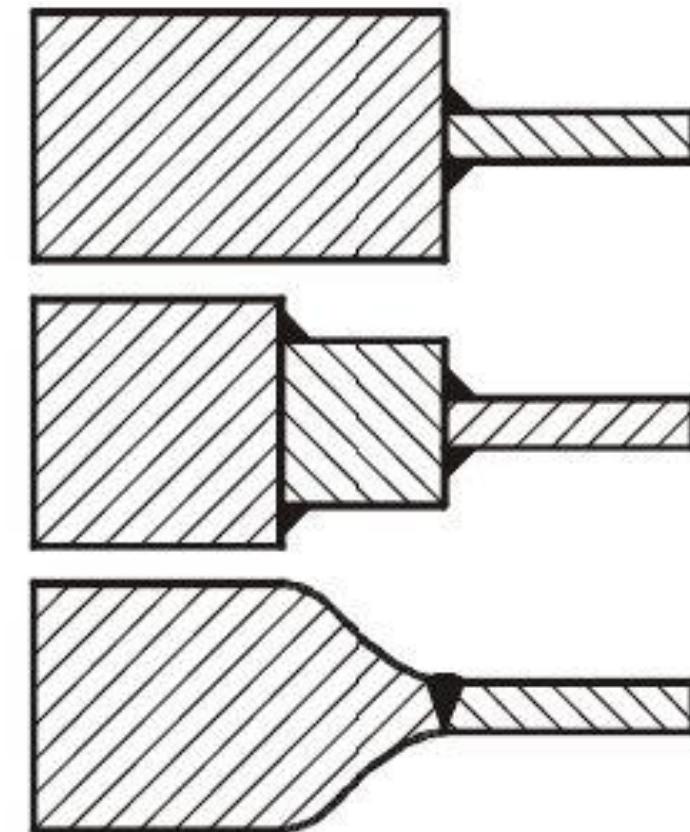
- zuerst die Nähte „A“
- Werkstück drehen
- dann die Nähte „B“ durch die Öffnung erzeugen



## Stark unterschiedliche Querschnitte vermeiden

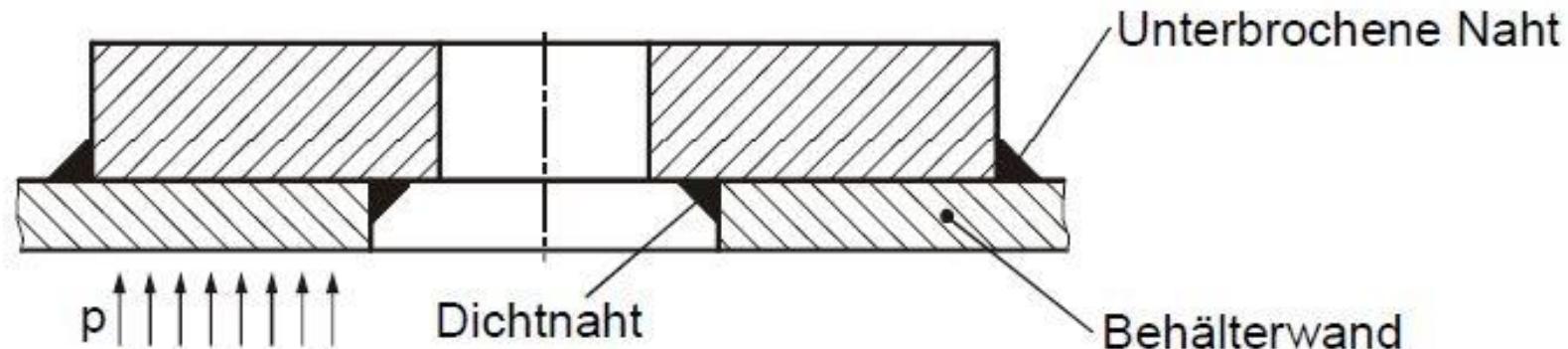
ungünstig, hohe Wärmeableitung durch dickes Material erschwert das Aufschmelzen  
→ schlechter Einbrand

- besser, aber aufwendiger
- optimal, aufwendige Bearbeitung (teuer!)



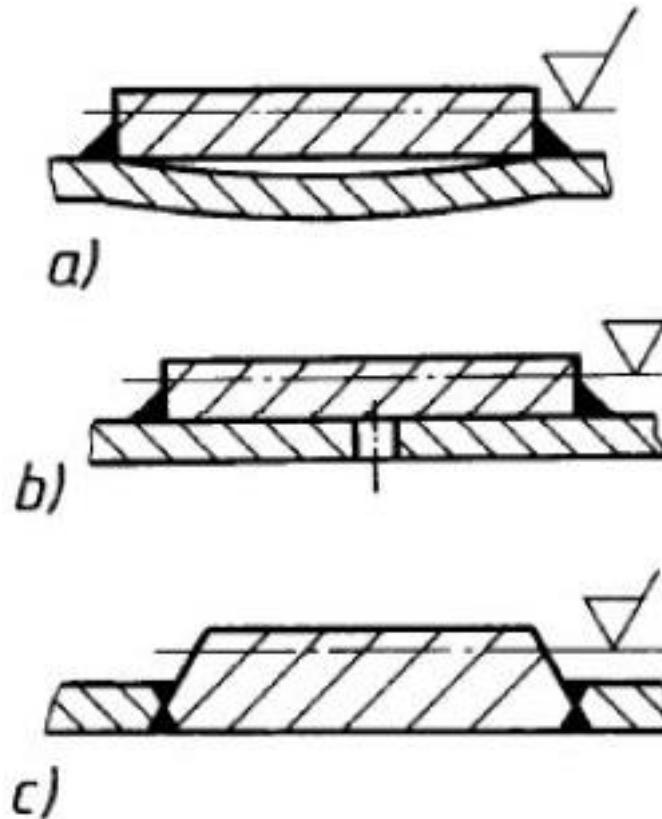
## Hohlräume entlüften

Beispiel: Flanschverstärkung



- Schweißnähte sind dicht!
- Vermeiden von zugeschweißten Hohlräumen
- Ausdehnung von eingeschlossenem Gas beim Glühen.
- Dichtnähte immer auf die Druckseite legen.
- Auf Gegendruckseite eine unterbrochene Naht legen.

## Hohlräume entlüften



Werden Hohlräume nicht entlüftet, kann es dazu kommen, dass dünne Bleche ausbeulen.

Ursachen:

- Nahtschrumpfung
- Ausdehnen der eingeschlossenen Luft beim Spannungsarmglühen

Abhilfe:

- Luftloch vorsehen
- Bearbeitungsteil einsetzen

## Schweißnahtbearbeitung zur Festigkeitssteigerung

Beispiel: Naht einebnen

vor der Bearbeitung



nach der Bearbeitung



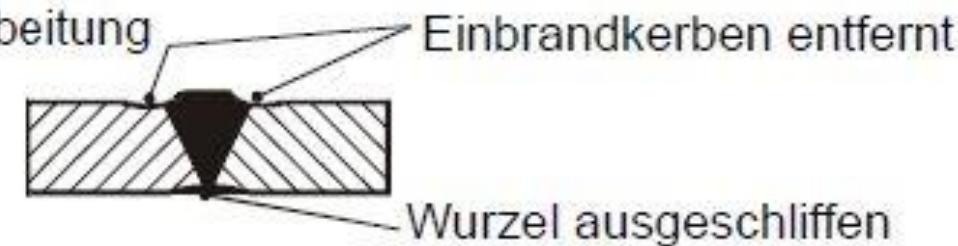
Maschinelles Abarbeiten  
ist teuer; wird nur bei  
hochwertigen Teilen  
angewendet.

Beispiel: Wurzel (manuell) ausschleifen und Einbrandkerben entfernen

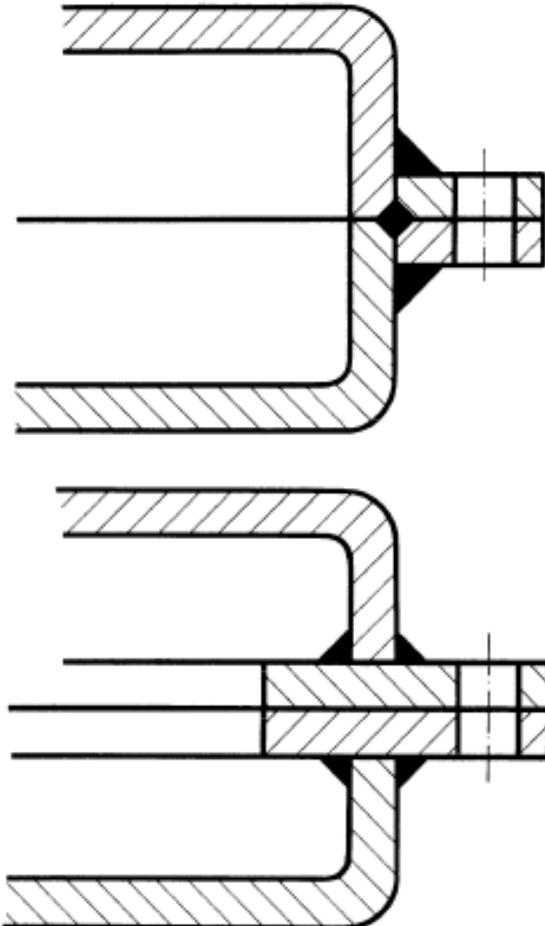
vor der Bearbeitung



nach der Bearbeitung



## Schweißteilbearbeitung

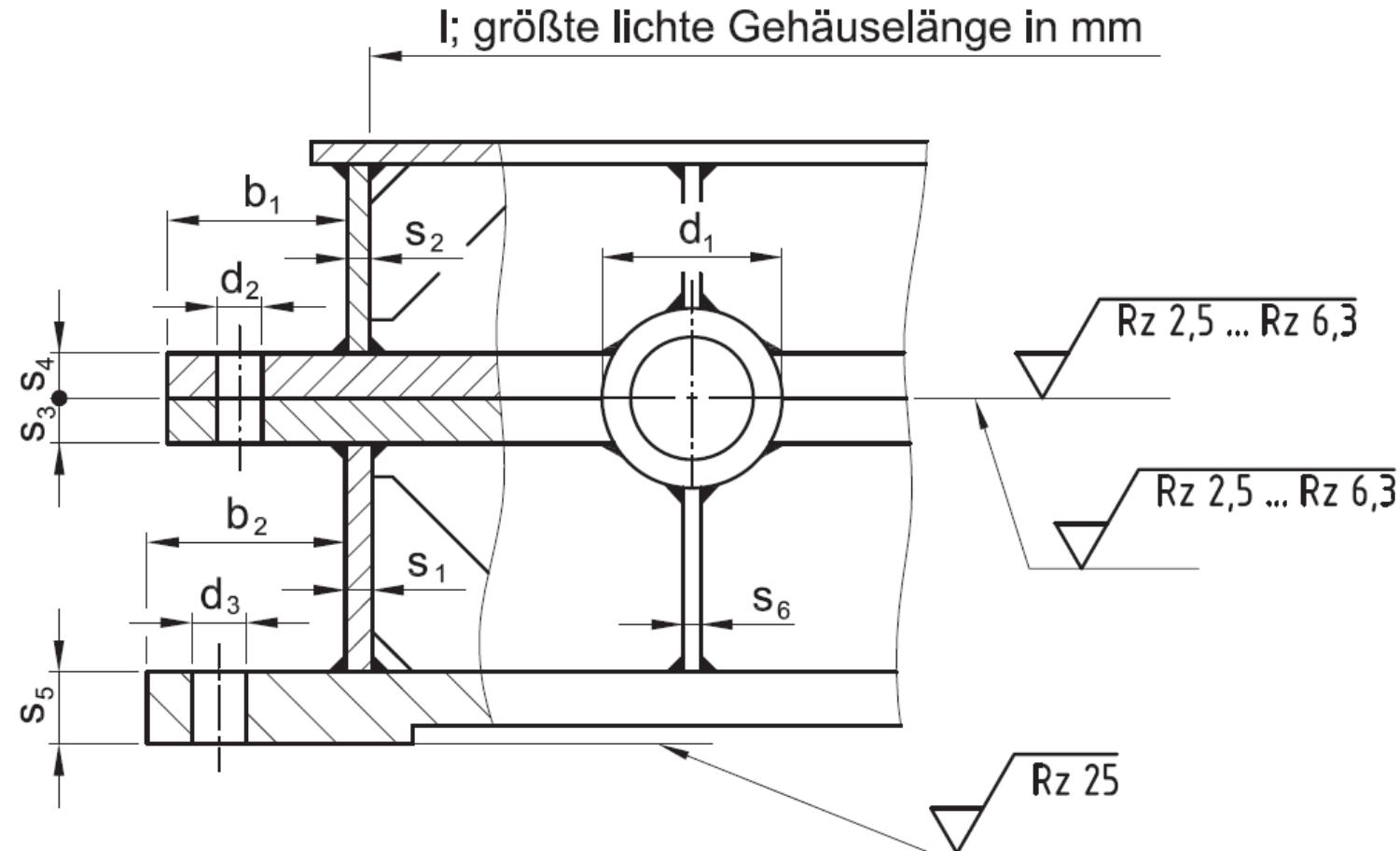


- Schweißnähte nicht in zu bearbeitende Passflächen legen
- Schweißnähte sind oftmals härter als Grundmaterial.

Dies hat zur Folge:

- unterschiedliche Schnittkräfte
- erhöhter Werkzeugverschleiß
- Passflächen nicht eben

## Empfehlungen für Gehäuseabmessungen



# GESTALTUNG - 6 Fügegerechte Gestaltung

<b>Gehäusewerkstoff</b>	S235JR; S355JO	
<b>Wanddicke</b>	Unterteil	$s_1 = (0,004...0,005) \cdot l + 4\text{mm}$
	Oberteil	$s_2 \approx 0,8 \cdot s_1$
Mindestwerte für die Wanddicke		$s_{1;2\min} = 4\text{mm}$
Höchstwerte für die Wanddicke		$s_{1;2\max} = 25\text{mm}$
<b>Flansch</b>	Flanschdicke	$s_3 \approx s_4 = 2 \cdot s_1$
	Flanschbreite	$b_{1\max} \approx 4 \cdot s_1 + 10\text{mm}$
<b>Flanschschrauben</b>	Durchmesser	$d_s \approx 1,5 \cdot s_1 \quad d_2 \text{ nach ISO 273}$
	Abstand zueinander	$l_F \approx (6...10) \cdot d_s \text{ (je nach Dichtigkeitsforderung)}$
<b>Fußleistendicke</b>		
durchgehend, ohne Ausnehmung		$s_5 \approx 3,5 \cdot s_1$
<b>Fußleistenbreite</b>		$b_2 \approx 4,5 \cdot s_1 + 10\text{mm}$
<b>Versteifungs- und Kühlrippen</b>		$s_6 \approx 0,7 \cdot s_1 \text{ der zu verstifenden Wand}$
<b>Außendurchmesser der Lagergehäuse</b>		$d_1 \approx (1,2...1,6) \cdot \text{Lageraußendurchmesser}$
<b>Durchmesser der Fundamentschrauben</b>	$d_{Fu} \approx 2 \cdot s_1$	$d_3 \text{ nach ISO 273}$

## Allgemeintoleranzen - DIN EN ISO 13920

Diese Norm legt ähnlich wie DIN ISO 2768 jeweils vier Toleranzklassen für

- Längen- und Winkelmaße (A-D)
- Form und Lage (E-H)

fest, welche sich auf den **gefügten Zustand** beziehen (ohne Bearbeitung!).

**Angabe (Nähe Schriftfeld):**

**Allgemeintoleranzen nach DIN EN ISO 13920-BF**

vorderer  
Großbuchstabe  
für Längen- und  
Winkelmaße

hinterer Großbuchstabe  
für Form und Lage

# GESTALTUNG - 6 Fügegerechte Gestaltung

## Grenzabmaße für Längenmaße

Toleranz-klasse	Nennmaßbereich $l$ (in mm)										
	2 bis 30	über 30 bis 120	über 120 bis 400	über 400 bis 1 000	über 1 000 bis 2 000	über 2 000 bis 4 000	über 4 000 bis 8 000	über 8 000 bis 12 000	über 12 000 bis 16 000	über 16 000 bis 20 000	über 20 000
	Grenzabmaße $t$ (in mm)										
A	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 3$	$\pm 4$	$\pm 5$	$\pm 6$	$\pm 7$	$\pm 8$	$\pm 9$	
B	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 3$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 8$	$\pm 10$	$\pm 12$	$\pm 14$	$\pm 16$	
C			$\pm 3$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 8$	$\pm 11$	$\pm 14$	$\pm 18$	$\pm 21$	$\pm 24$
D			$\pm 4$	$\pm 7$	$\pm 9$	$\pm 12$	$\pm 16$	$\pm 21$	$\pm 27$	$\pm 32$	$\pm 36$

Beispiel: Maß hat 30 mm, Klasse B → Toleranz +/- 1 mm

## Checkliste

- Günstige Vormaterialien verwendet
- Schweißnahtvorbereitung möglichst vermieden
- Schweißnahtanhäufungen vermieden
- Schweißnahtlänge durch konstruktive Maßnahmen gering gehalten
- Hohlräume entlüftet
- Starke Blechdickenunterschiede vermeiden, stattdessen allmählicher Übergang vorgesehen
- Auf gute Zugänglichkeit geachtet
- Schweißteilbearbeitung nicht in Passfläche gelegt

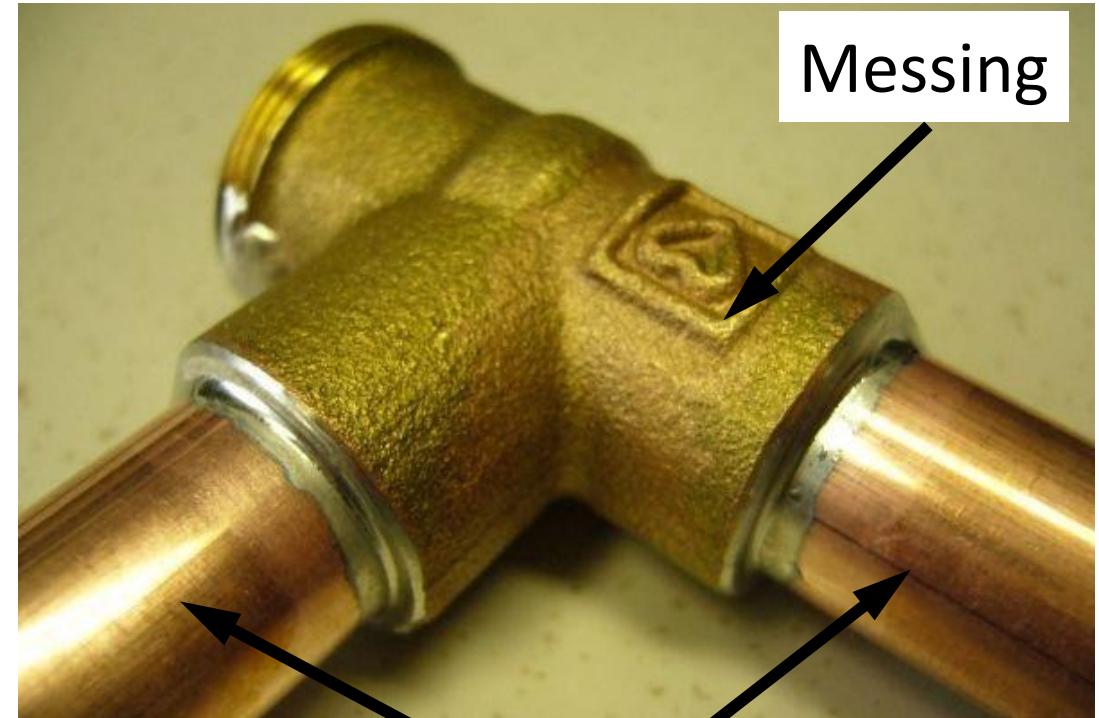
## 6.2 Gestaltung von Lötverbindungen

## Lötverfahren

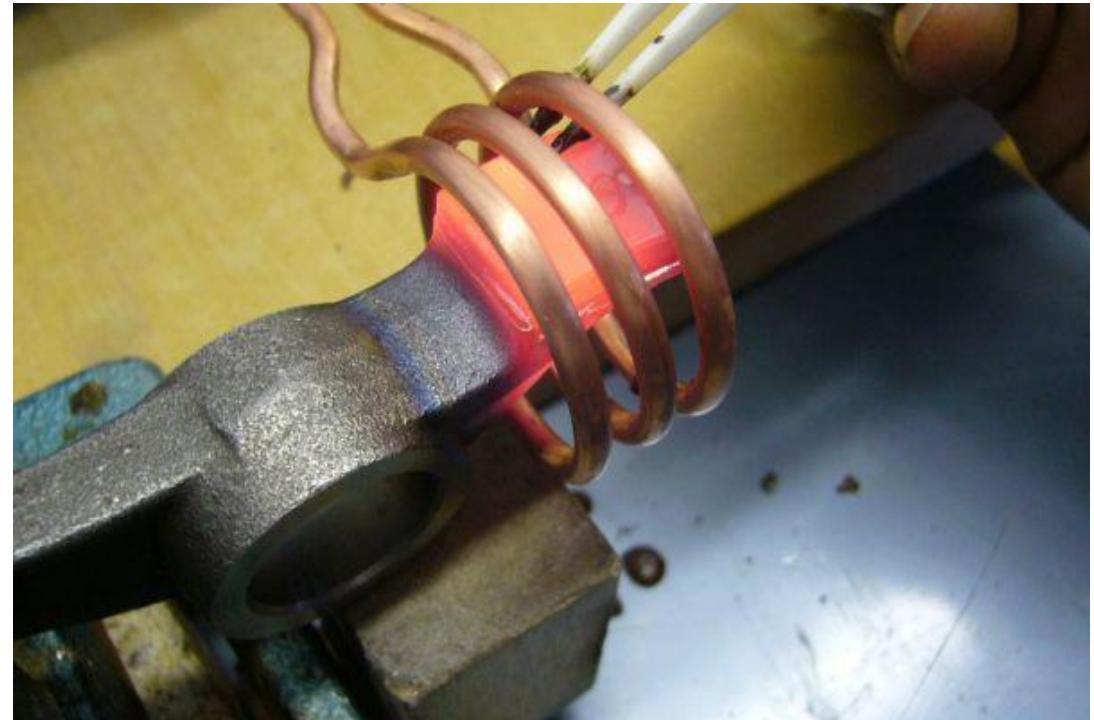
Einteilung der Lötverbindungen erfolgt nach der Liquidustemperatur der Lote:

- **Weichlöten:**
  - Löten mit Loten, deren Liquidustemperatur  $< 450\text{ }^{\circ}\text{C}$  ist
- **Hartlöten:**
  - Löten mit Loten, deren Liquidustemperatur  $> 450\text{ }^{\circ}\text{C}$  ist
- **Hochtemperaturlöten:**
  - flussmittelfreies Löten unter Luftabschluss (Vakuum, Schutzgas)
  - Löten mit Loten, deren Liquidustemperatur  $> 900\text{ }^{\circ}\text{C}$  ist

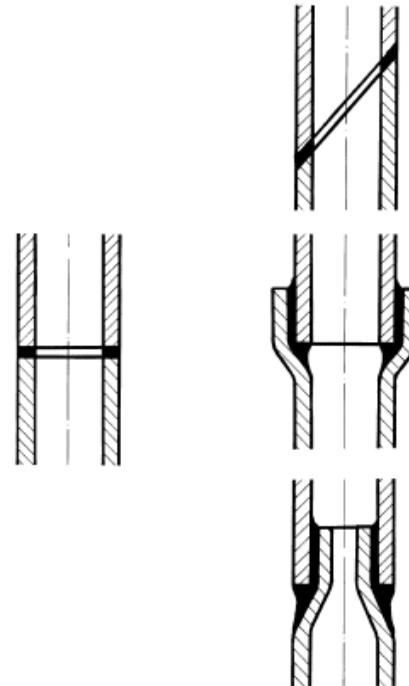
## Weichlöten Messing-Kupfer



## Hartlöten Stahl-und Hartmetall



## Überlappungen



Vorzugsweise Verbindungen mit Überlappung oder Laschen vorsehen

- Günstiger Schubbelastungsfall Überlappung  $l_{ü}/t$  nach Tabelle Auswählen.
- Größere Werte erhöhen die Tragfähigkeit nicht proportional, sind aber proportional teurer.

$l_{ü}$ : Überlappungslänge

$t$ : Dicke des dünneren Bauteils

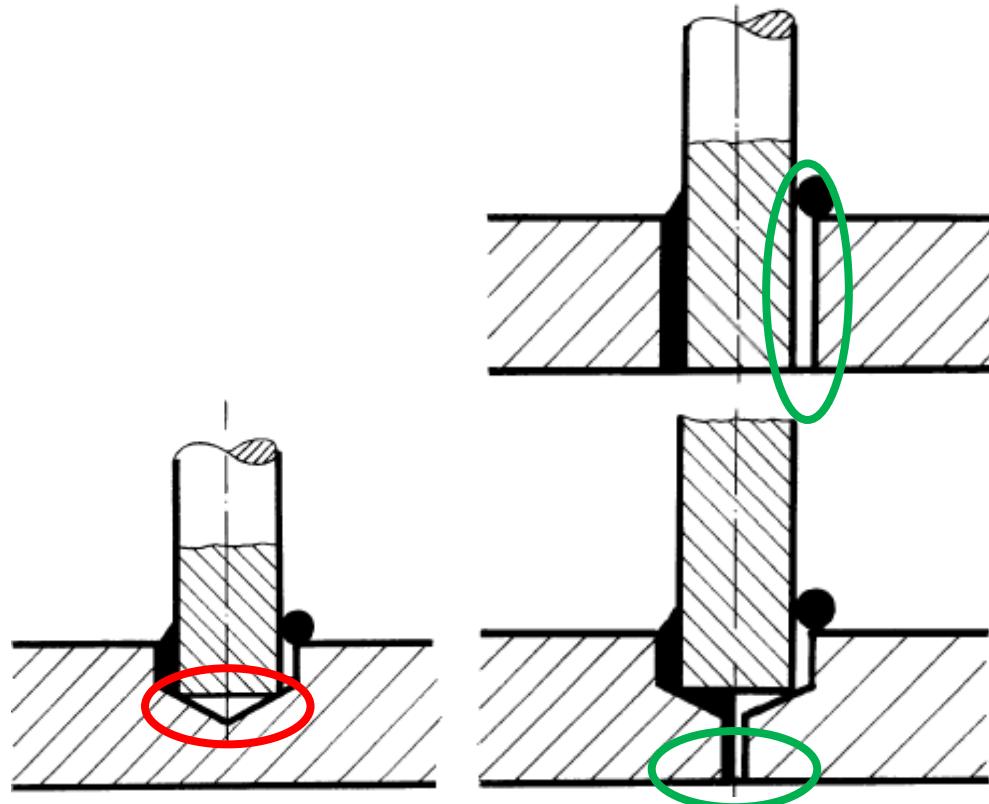
## Richtwerte für Überlappverhältnis

Art der Verbindung	Überlappungsverhältnis
Weichlötverbindungen	$l_{ü}/t = 6 \dots 8 \dots (12)$ (bis 12 bei einseitigem Laschenstoß)
Hartlötverbindungen	$l_{ü}/t = 3 \dots 6$
Hochtemperaturlötverbindung	$l_{ü}/t = 2 \dots 4$

$l_{ü}$ : Überlappungslänge

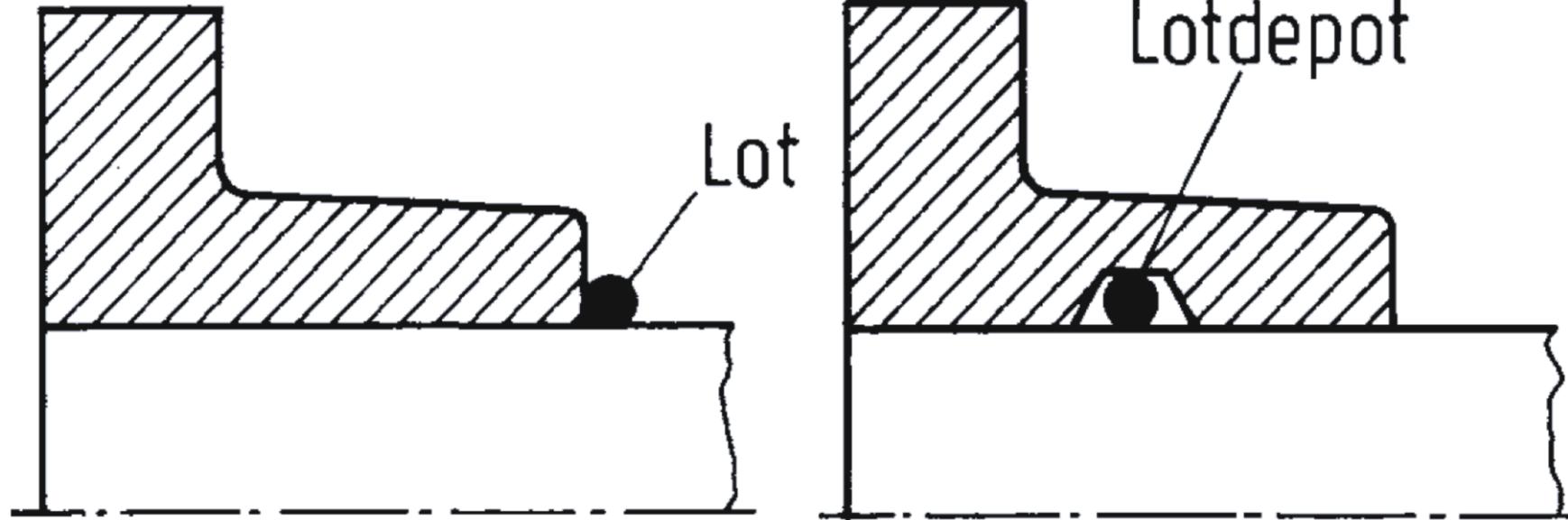
$t$ : Dicke des dünneren Bauteils

## Lotmittelfluss / Flussmittelabfluss



- Luftpolster verhindern vollständige Füllung der Fuge. Spalte und Fugen so ausführen, dass Kapillarwirkung entsteht.
- Freien Austritt für Flussmittelreste und Gase vorsehen.

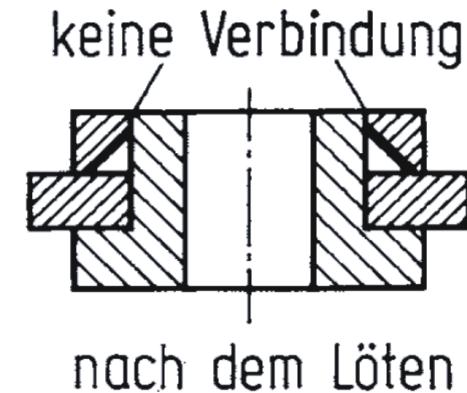
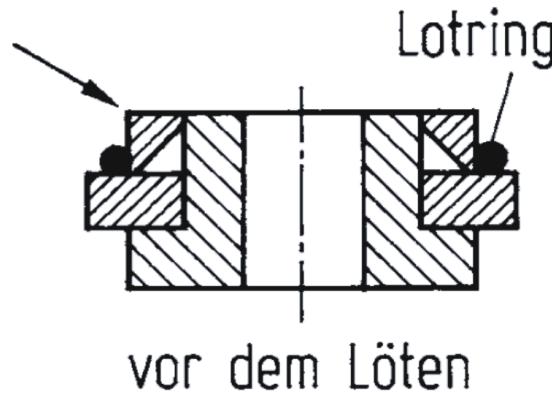
## Lotfließwege



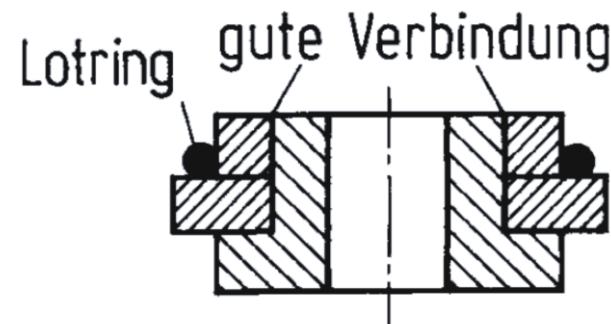
Kurze Lotfließwege vorsehen.

Lotdepot anlegen

## Hohlräume

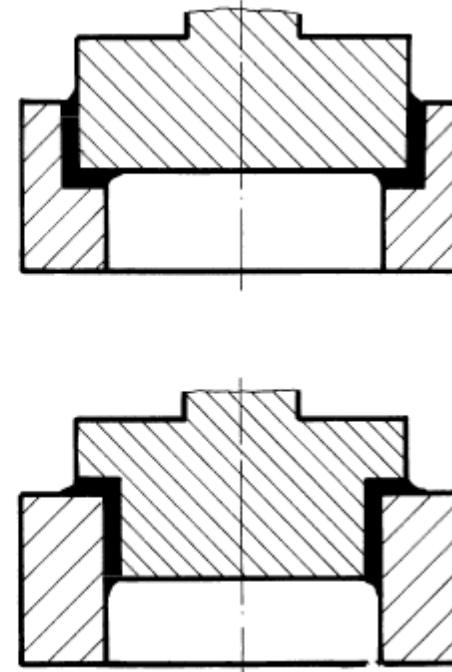
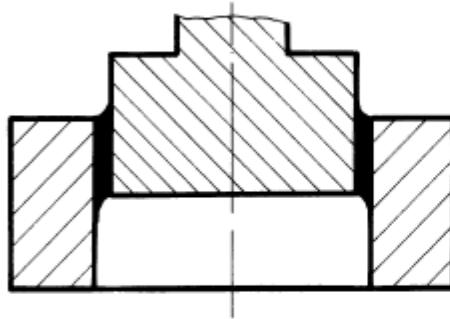


nach dem Löten



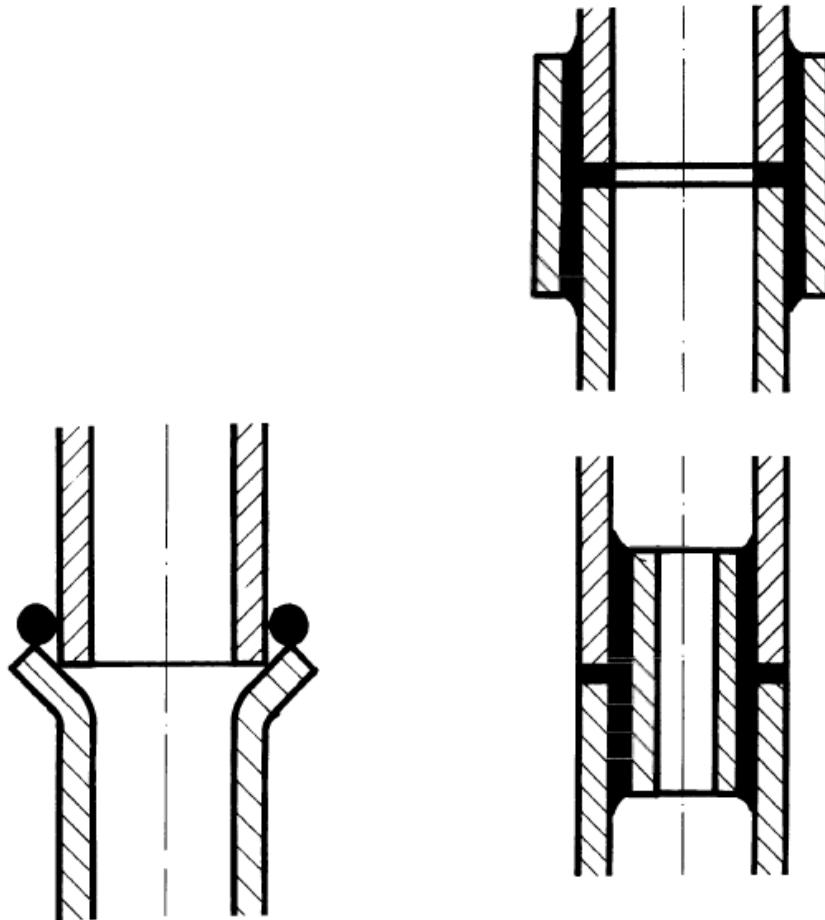
Hohlräume verhindern Kapillarwirkung.

## Ring und Bolzen



Die fachgerechte Lötverbindung eines Ringes mit einem Bolzen sollte durch einen bei der Konstruktion vorzusehenden Absatz sichergestellt werden.

## Materialanhäufung vermeiden



Große Lotmengen vermeiden und  
dadurch Schwindungslunker vermeiden

## Checkliste

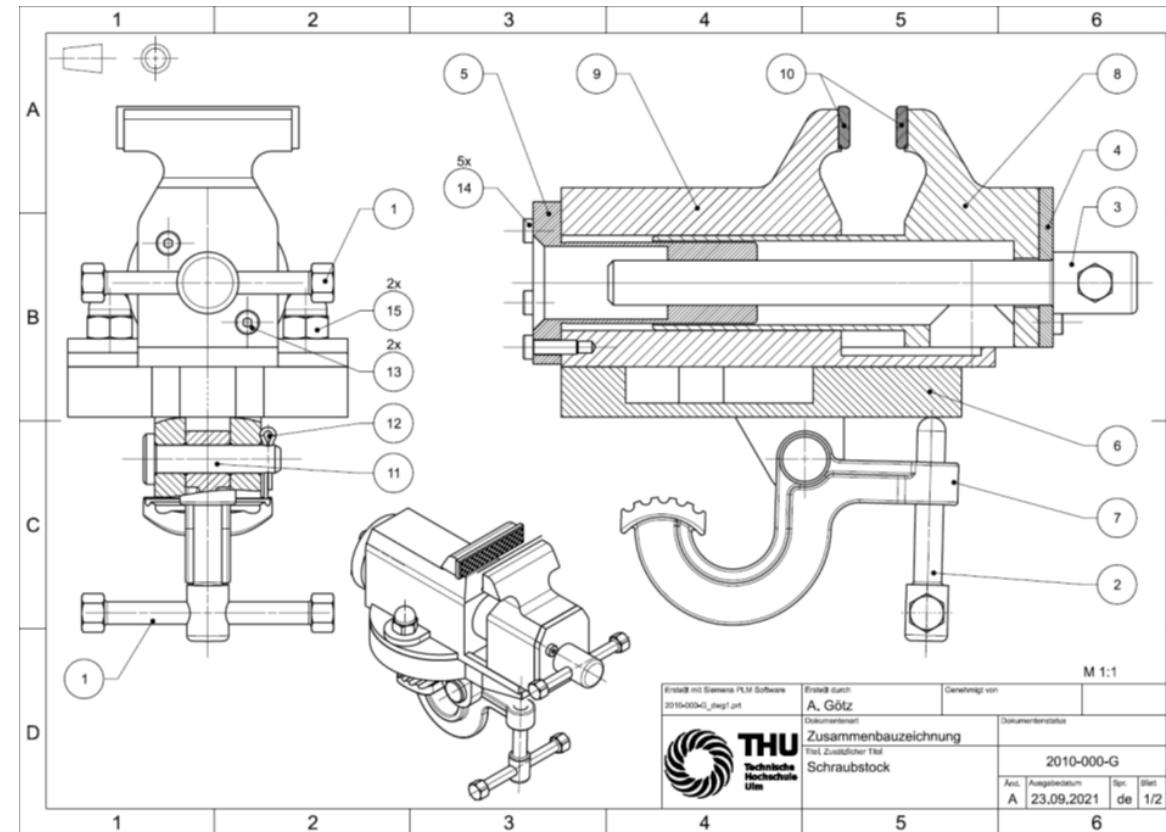
- Bauteile sind überlappend gelötet
- Luftpolster wurden verhindert, Flussmittelreste können abfließen
- Die Kapilarwirkung kann sich ausbilden
- Die Bauteile sind konstruktiv in ihrer Lage gesichert
- Lotanhäufungen wurden vermieden

## 6.3 Montagegerechte Konstruktion

## Kostenfaktoren beim Montieren

- Montagezeiten
- Montageprozesse (parallelisieren von Tätigkeiten)
- Ausmessen- und Anreißvorgänge
- Vorrichtungen
- Korrektur von Fehlern beim Montieren  
(besonders bei nicht bzw. bedingtlösbarer Verbindungen viel Aufwand)

## Allgemeine Montierbarkeit



Kann diese Baugruppe überhaupt zusammengebaut werden?

## Handhabung



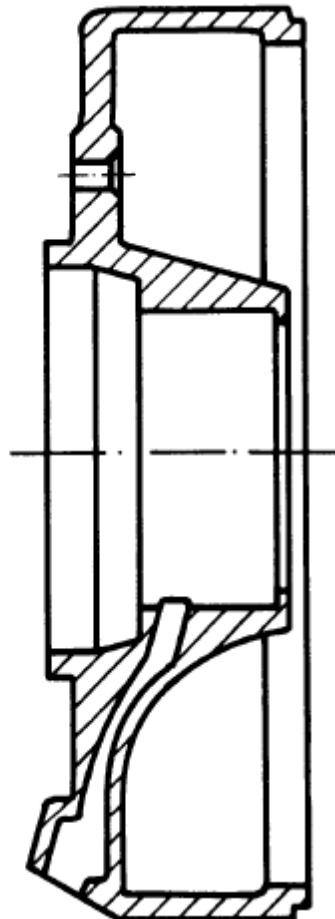
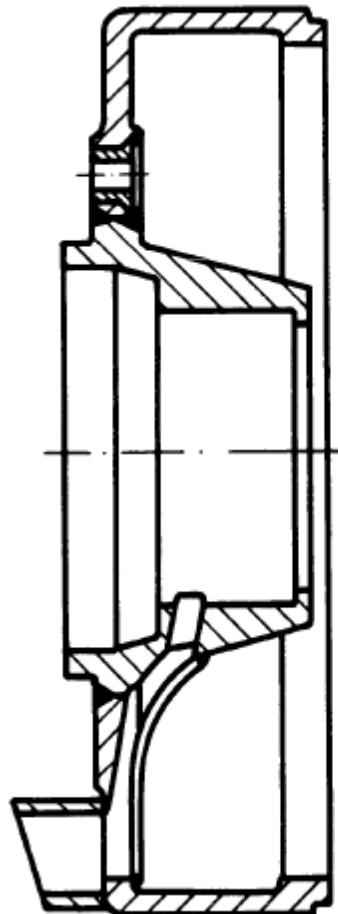
Für schwere Bauteile/Baugruppen (ab 20 kg) kann es nötig werden die Handhabung mit Hilfsmitteln zu unterstützen.

Solche Hilfsmittel können sein:

- Rollwagen
- Hebebühne
- Hallenkran
- (Mobil)Kran

Anschlagpunkte für Hilfsmittel müssen in der Konstruktion berücksichtigt werden.

## Integralbauweise

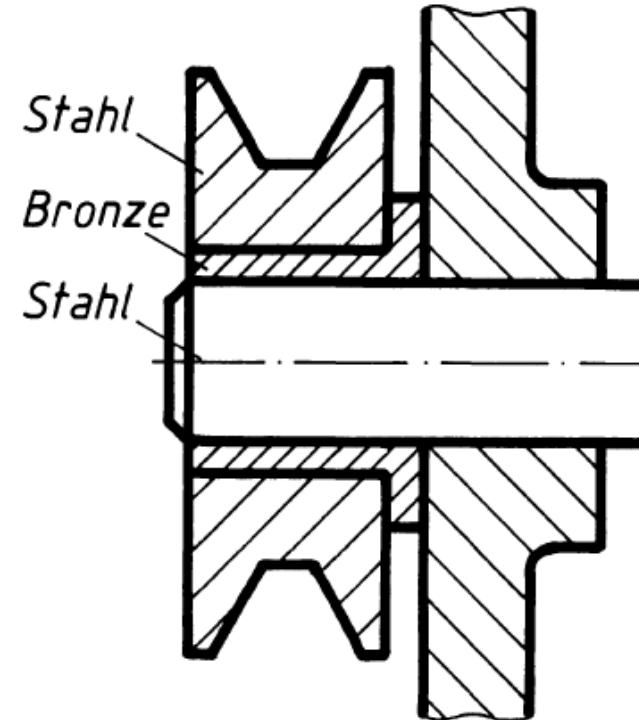
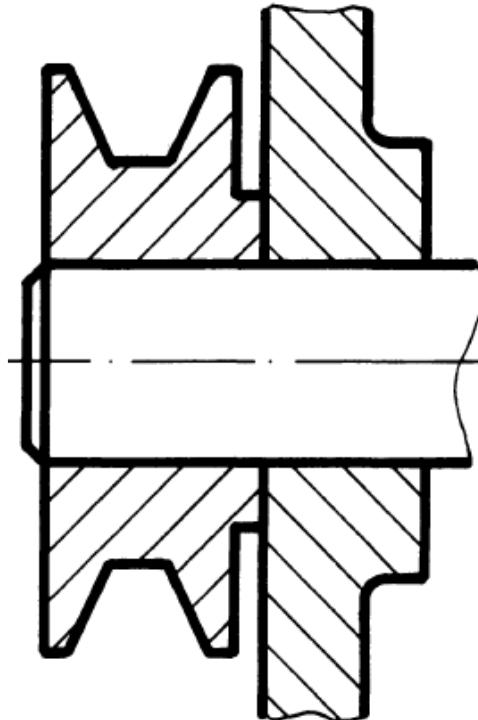


Bauteile werden zu wenigen Bauteilen zusammengefasst.

Vorteile:

- wenige Komponenten und Vormontagen
- größere und daher leichter zu handhabende Gegenstände
- volles Ausschöpfen der Fertigungsmöglichkeiten.

## Differentialbauweise

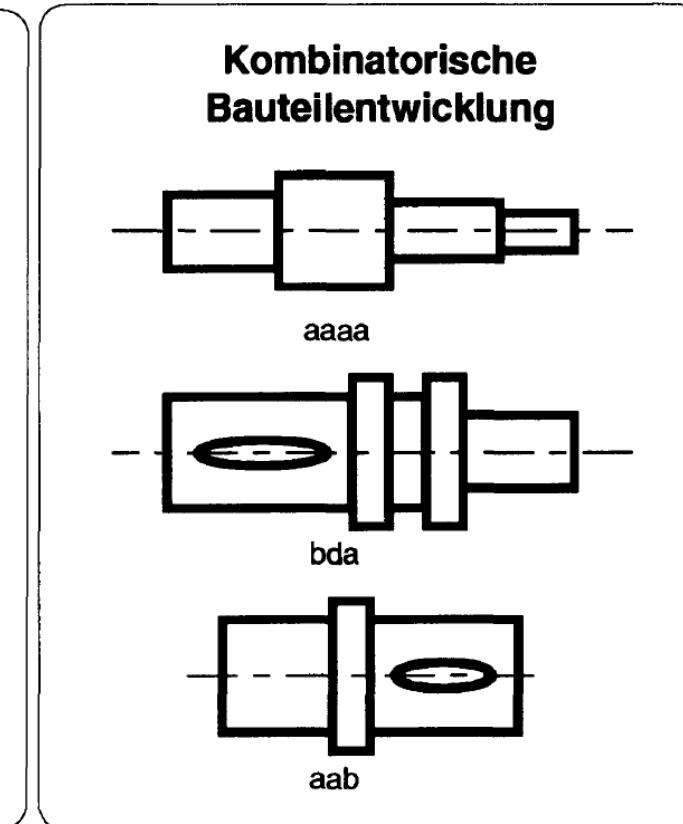
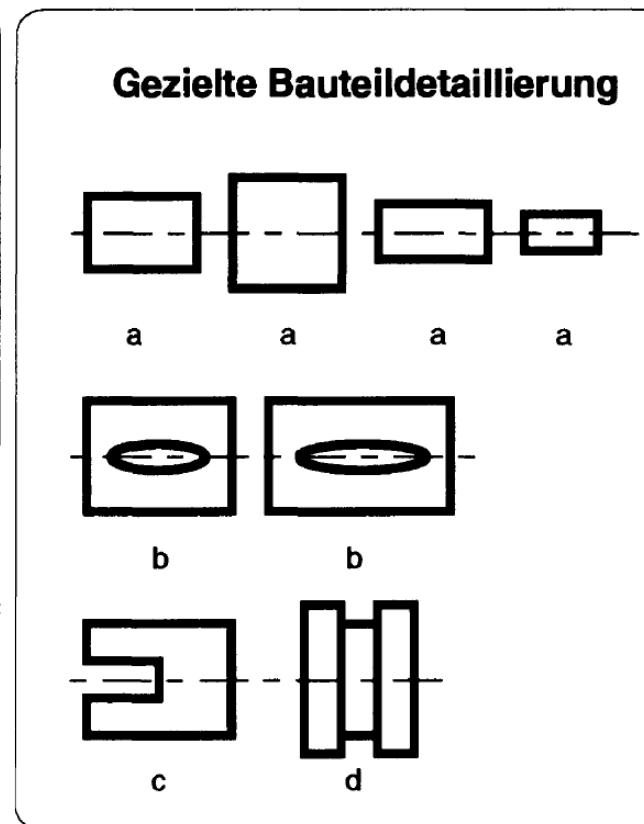
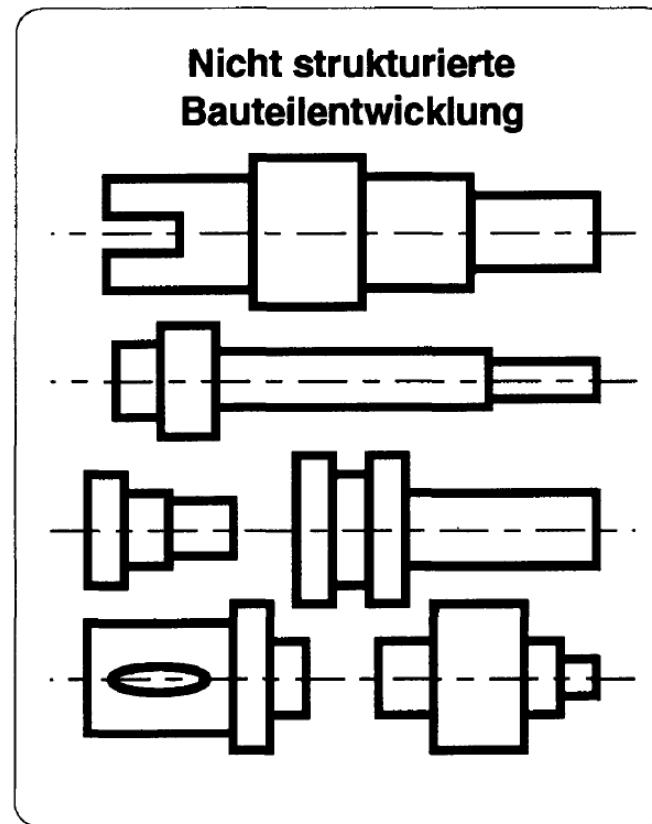


Bauteile werden nach Funktion zerlegt.

Vorteile:

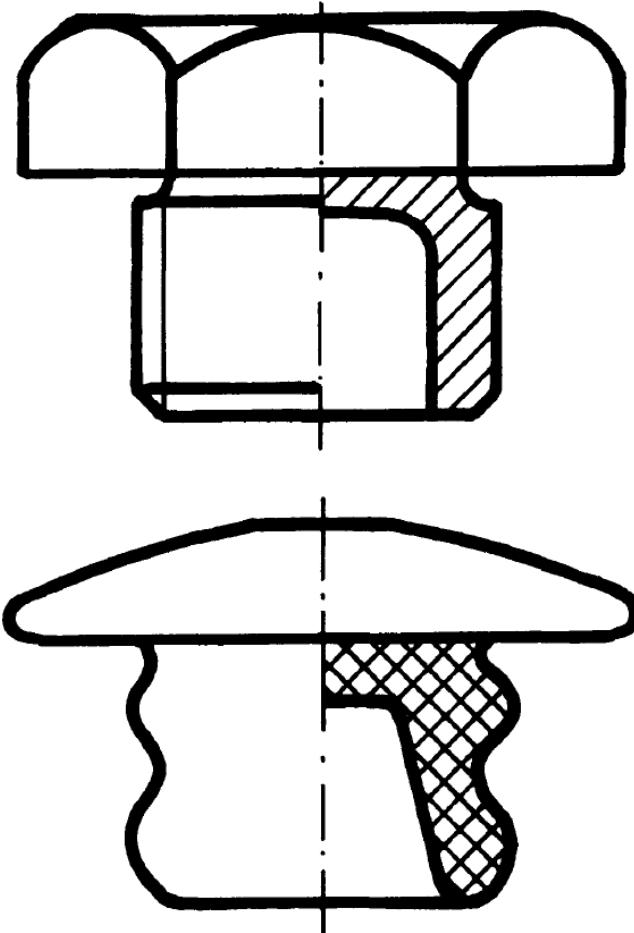
- gute Anpassung an Bauteilfunktionen
- mögliche Anpassung an vorhandene Fertigungsmöglichkeiten
- Integration von gekauften und standardisierten Teilen

## Baukastenprinzip



Steigerung Losgröße, parallele Fertigung, vereinfachte Montage

## Montagezeiten

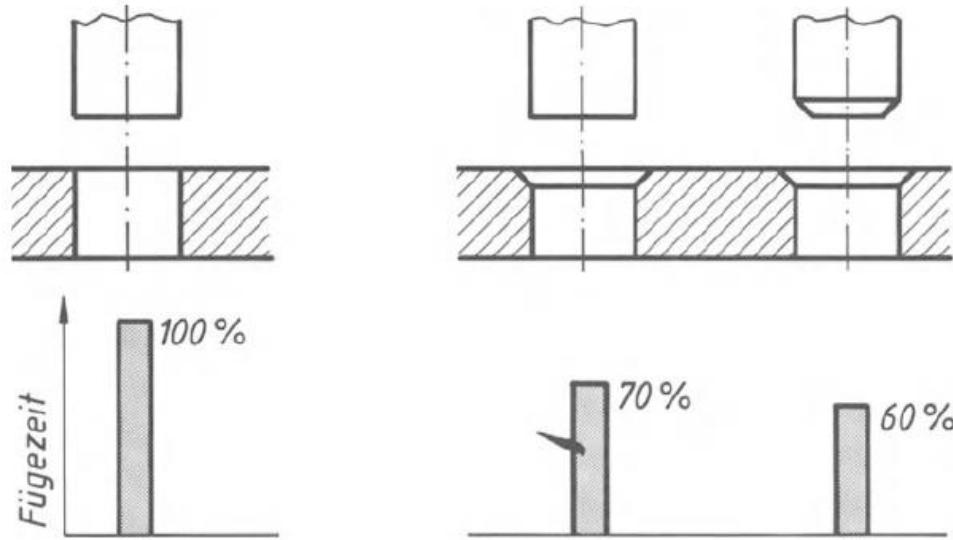


Einfachere Montage eines Gewindestopfens.

Der bisherige Stopfen aus Metall ist ersetzt durch einen Kunststoffstopfen zum Einpressen.

→ Einsparung von Montagezeit

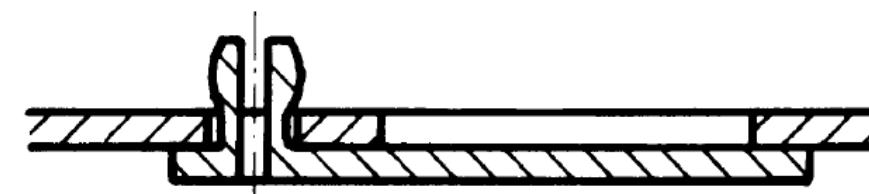
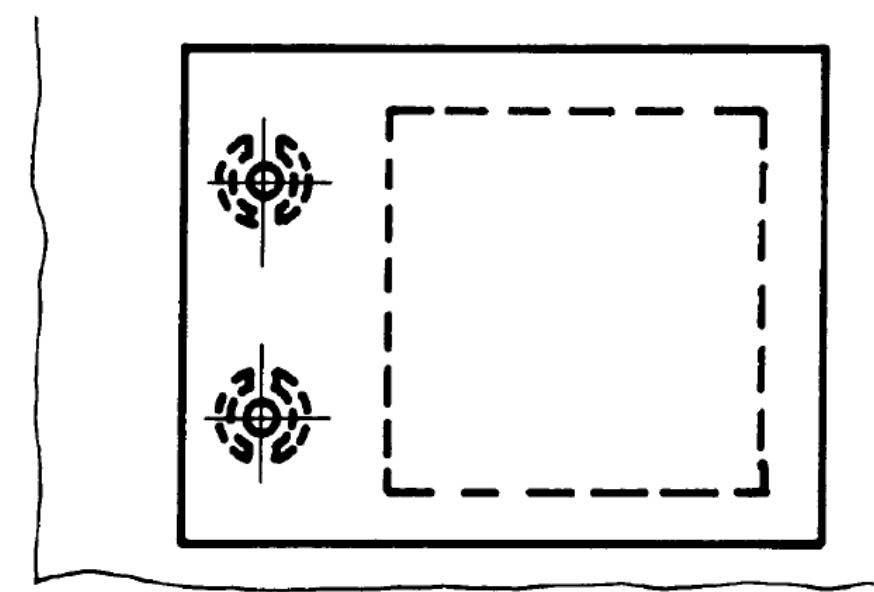
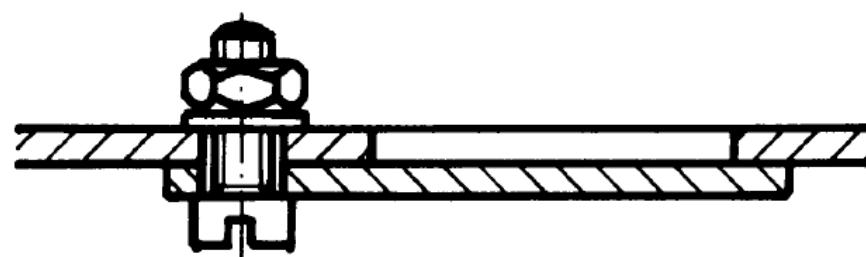
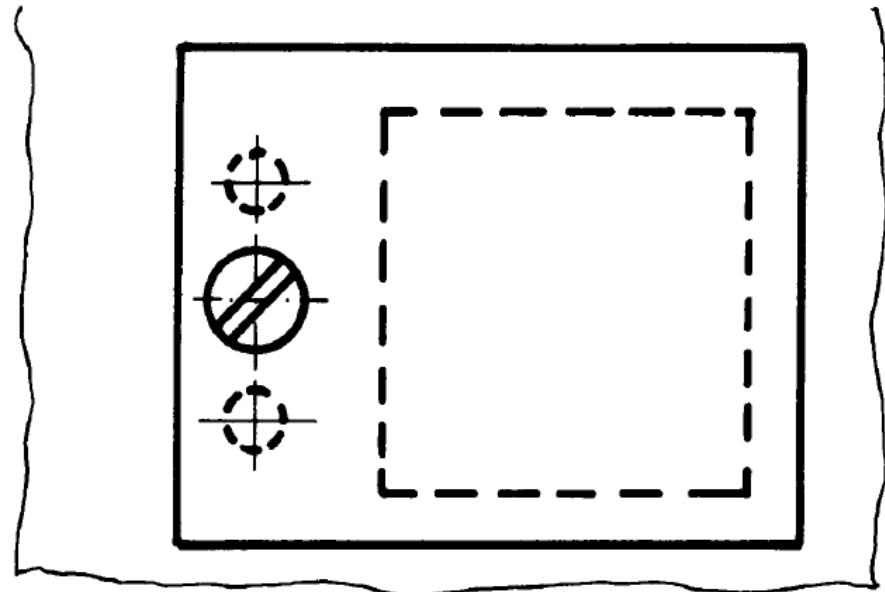
## Montageaufwand



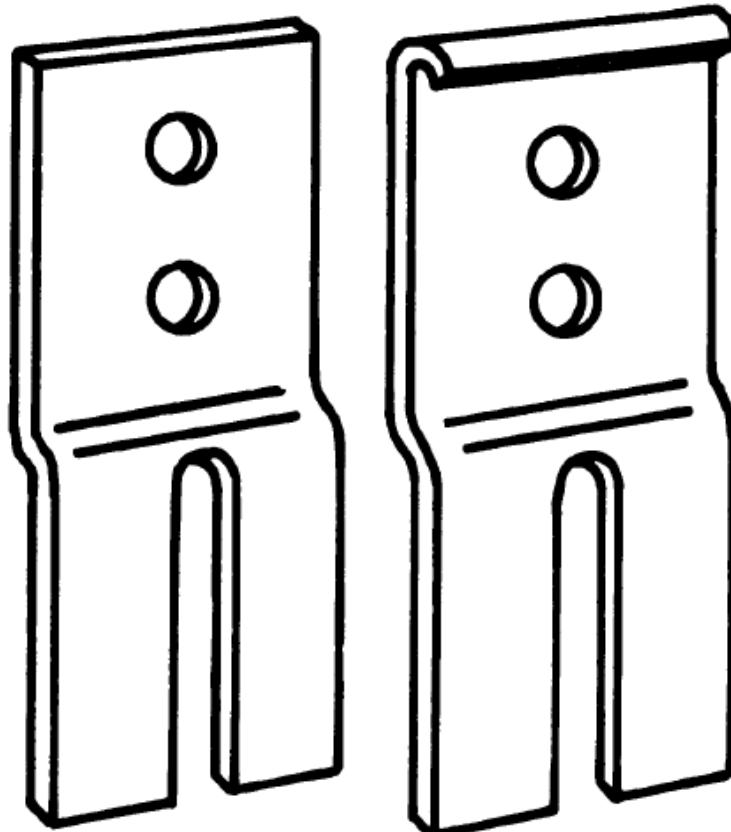
Der Montageaufwand soll so gering wie möglich sein.

Beim Fügen zum Beispiel reduzieren Fasen an Stift und Bohrung den Zeitaufwand und somit die Kosten. Beschädigungen an Bauteilen werden vermieden.

## Abdeckung



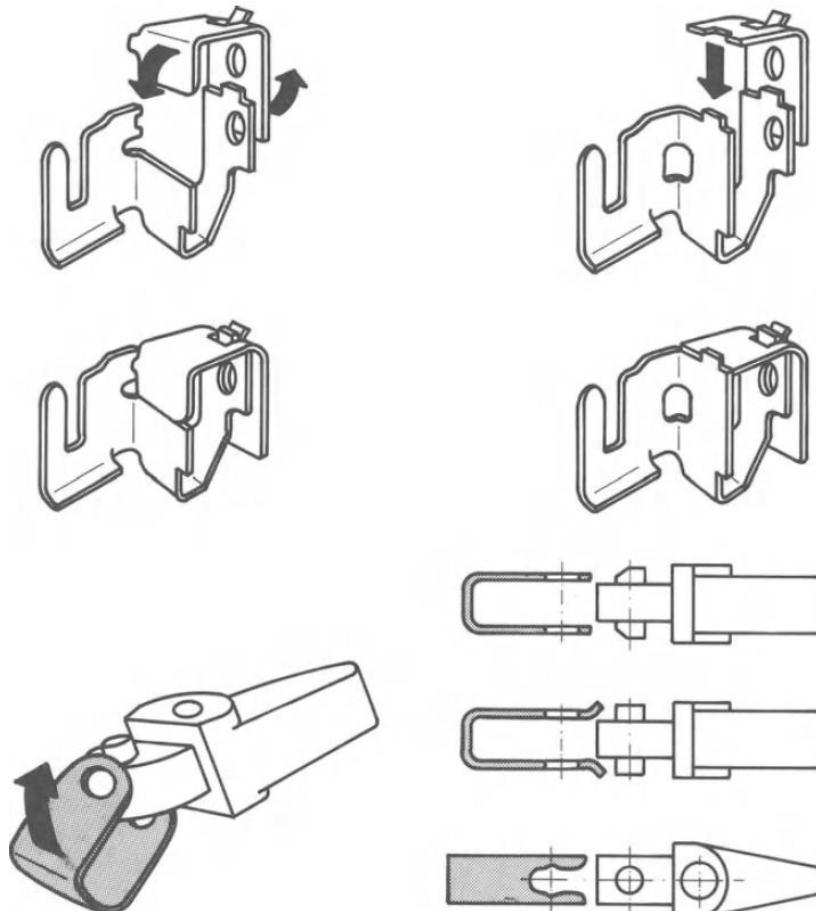
## Orientierungsflächen



Zur besseren Montage können bestimmte Orientierungsflächen an den Bauteilen sinnvoll sein.

Das Bauteil rechts ist mit einem Haken versehen, der sowohl eine Orientierung als auch den Transport auf einer Schiene ermöglicht, *vergleiche auch symmetrische Stanzteile*.

## Bewegungsabläufe

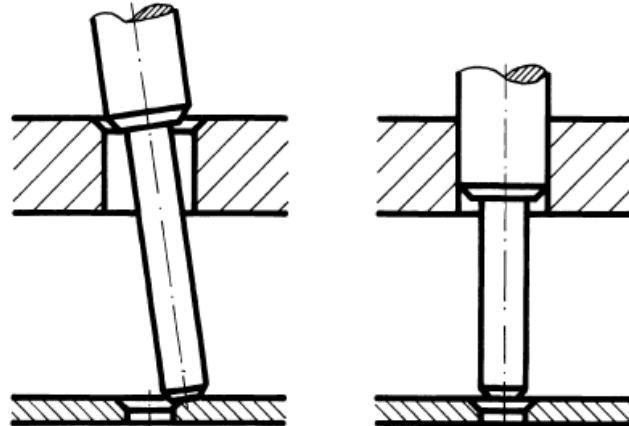


Anzustreben sind zur Montage einfache Bewegungsabläufe.

Zu bevorzugen sind lineare und nicht zusammengesetzte Bewegungen.

Unterschiedliche Richtungen und kurvenförmige Fügebewegungen sollten vermieden werden.

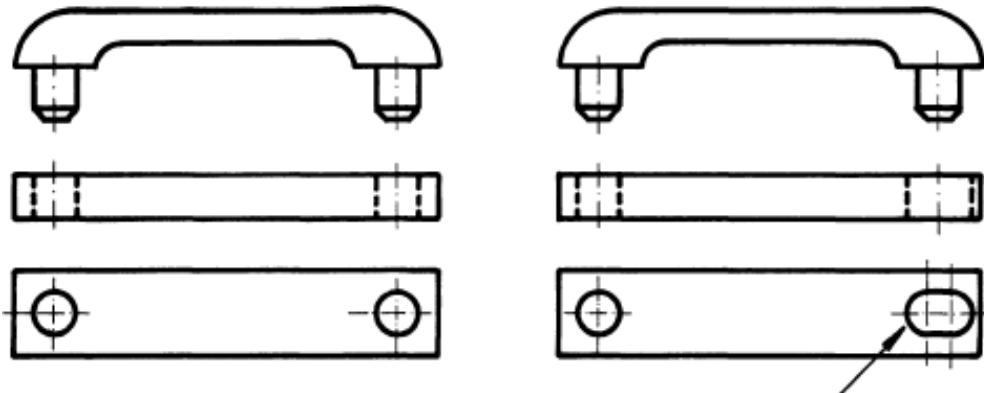
## Fügebewegung



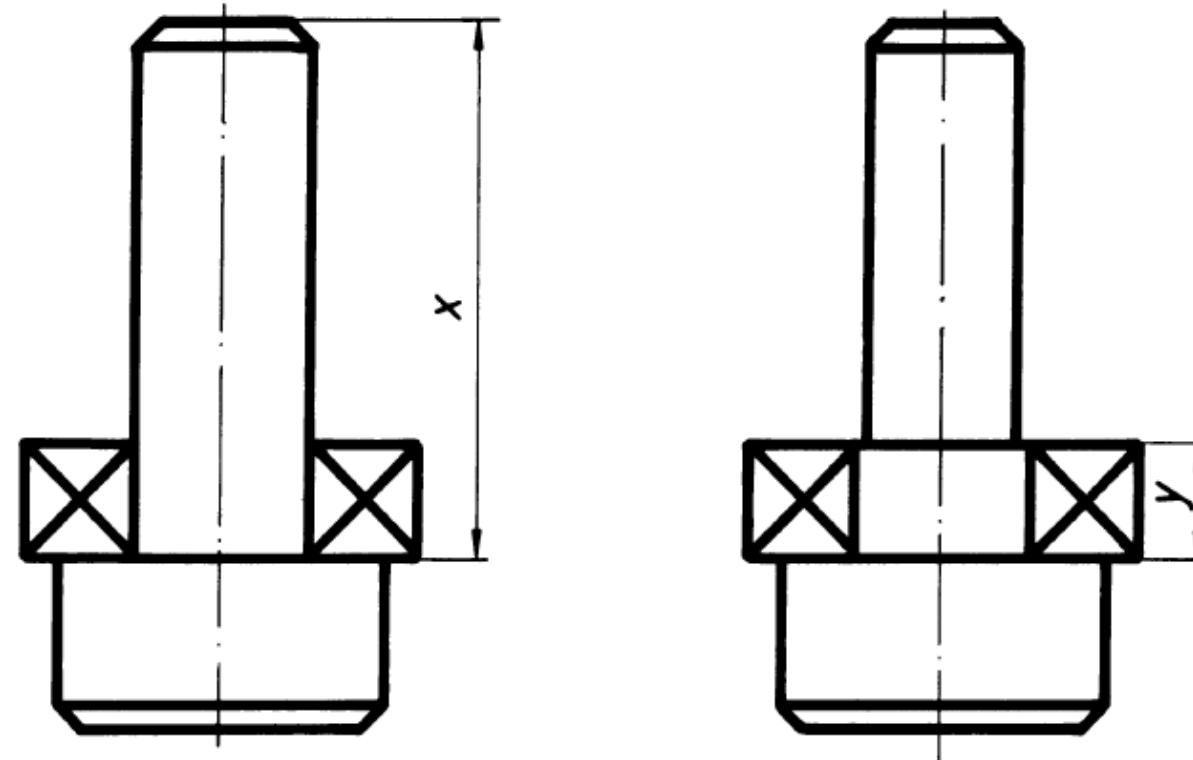
Die Fügebewegung muss eindeutig sein (siehe Beispiele rechts).

Zu vermeiden ist ein gleichzeitiges Fügen mehrerer Einzelteile.

Ansonsten sind Führungsflächen und/oder nötige Elastizität vorzusehen.

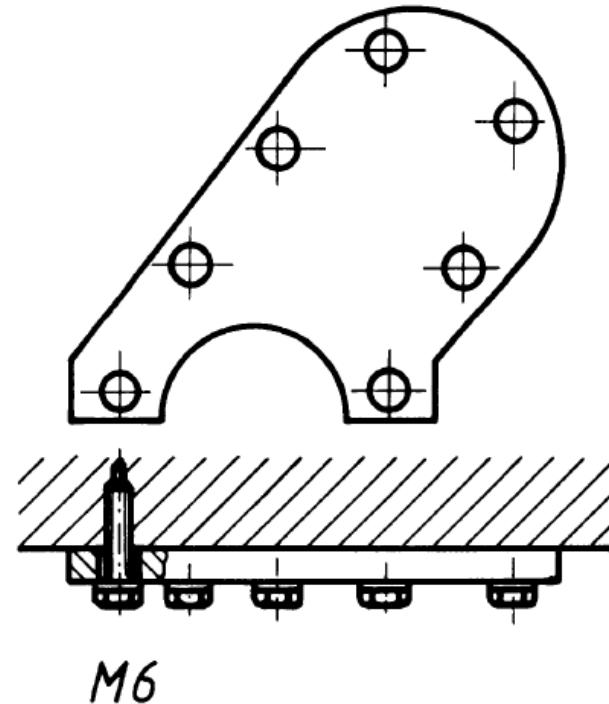
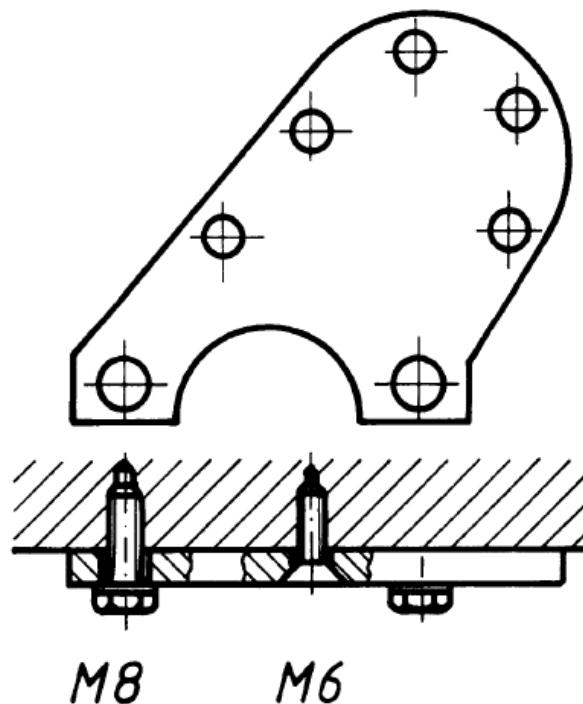


## Fügetoleranzen / Fügewege



Erleichternd auf die Montage wirken sich größtmögliche Fügetoleranzen und kurze Fügewege aus.

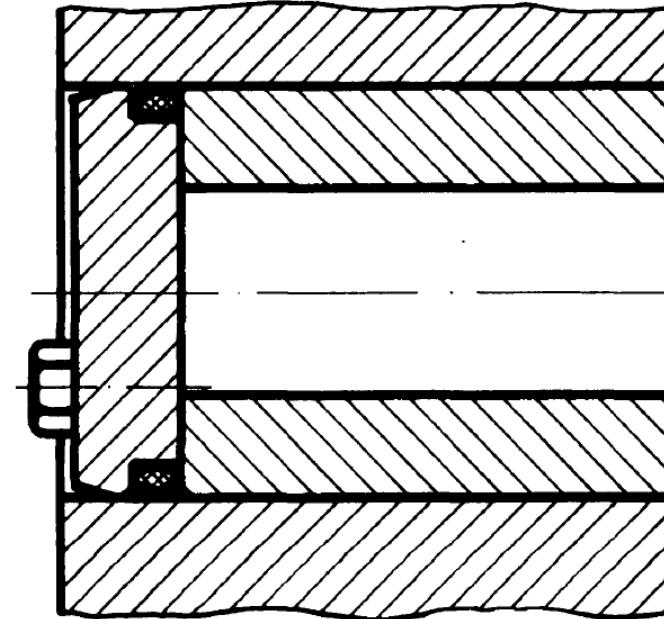
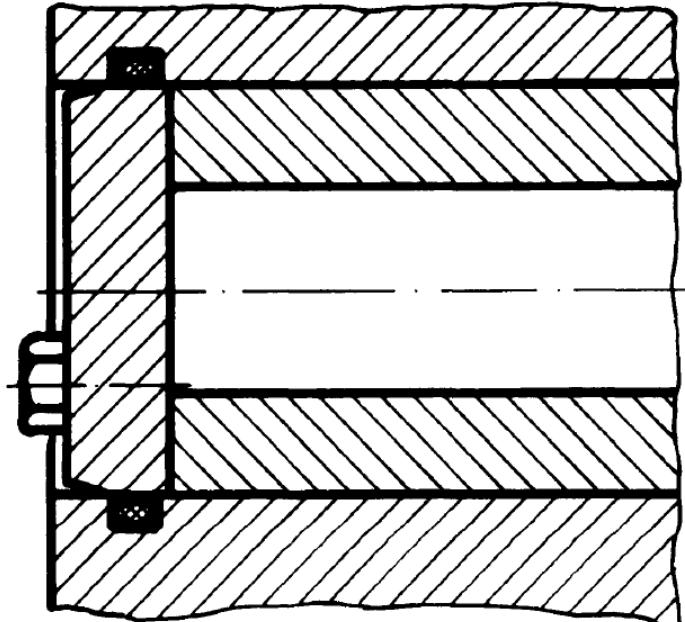
## Einheitliche Normteile



Möglichst wenige unterschiedliche Normteile verwenden:

- Erhöhung der Losgröße
- Reduzierung der Verwechselungsgefahr

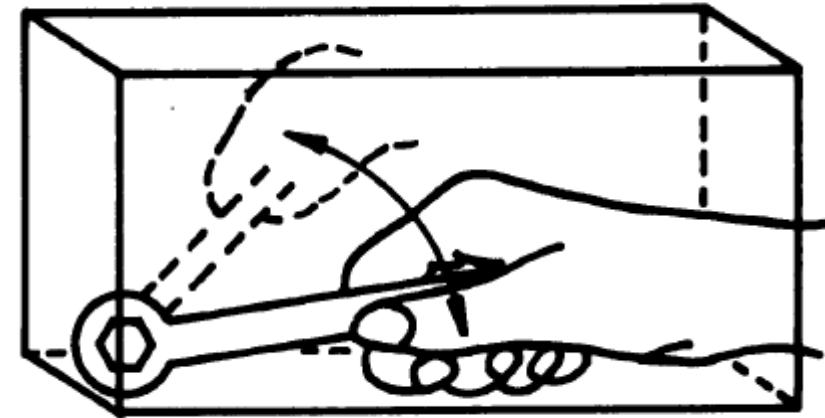
## Nuten



Nuten sollten nach Möglichkeit in die Welle verlegt werden.

Die Nut ist leichter zu bearbeiten und zu messen, es ist ein kleinerer O-Ring erforderlich und die Montage ist einfacher.

## Zugänglichkeit/Werkzeuge



Welche Werkzeuge sind in der Fertigung vorhanden?

Können mit den Werkzeugen die erforderlichen Stellen erreicht werden?

Ist die Sicht auf die Stelle möglich, oder muss blind gearbeitet werden?

Kann das Werkzeug gehandhabt werden?

## Poka Yoke

„unglückliche Fehler vermeiden“

Die Baugruppe kann nur auf eine Weise zusammengebaut werden.

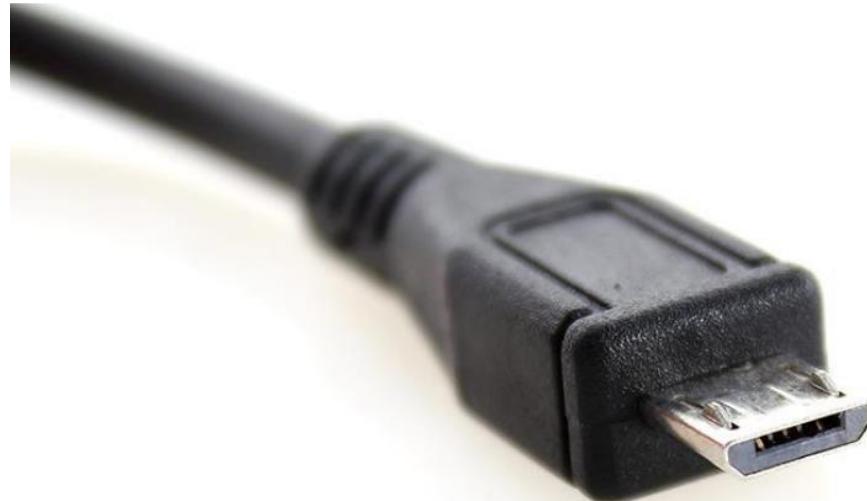
- Symmetrische Bauteile nur, wenn beide Ausrichtungen möglich sind.
- Asymmetrische Bauteile so gestalten, dass sie nur in der richtigen Lage eingebaut werden können.

Fehler beim Fügen fallen sofort auf und können korrigiert werden.

- Werden Bauteile falsch zusammengebaut, wird es sofort offensichtlich, weil folge Teile nicht mehr passen.

## Poka Yoke Beispiele

bewusste Asymmetrie



Bewusste Symmetrie



Der Micro-USB Stecker kann nur in einer Orientierung eingesteckt werden.

Der Apple-Lightning Stecker kann und darf in zwei verschiedene Orientierungen eingesteckt werden.

## Farbliche Zuordnung

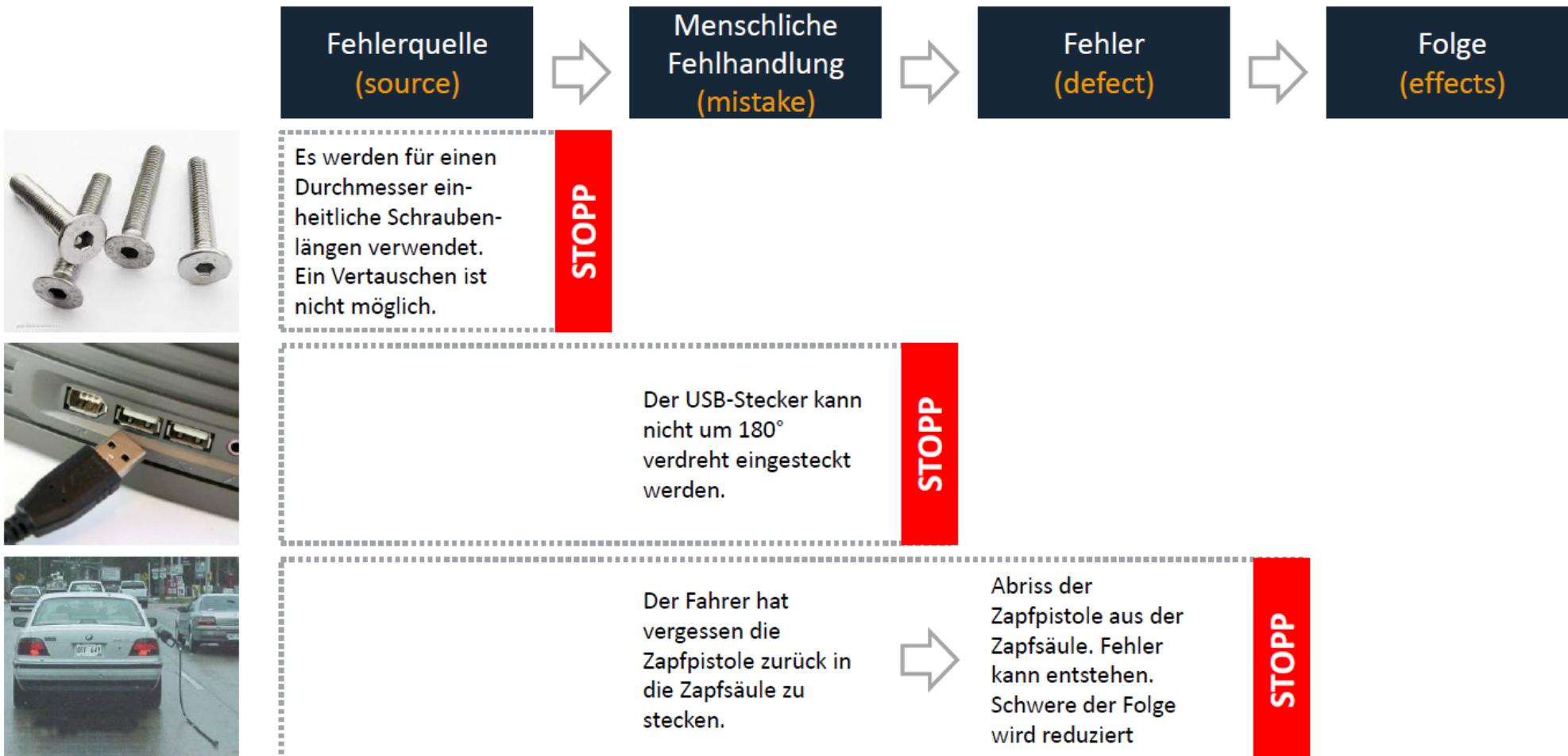


Die einzelnen Leitungen sind optisch so gekennzeichnet, dass eine Verwechseln optisch erkennbar ist.



Die Tonerkartuschen eines Druckers sind farblich so gekennzeichnet, dass ein falsches Einsetzen auffallen würde.

## Fehlerquellen – Fehlhandlungen – Fehler



## Checkliste

- Die Konstruktion wurde vereinfacht
- Es wurden, wenn möglich, genormte Elemente verwendet
- Die Bauteile sind modular aufgebaut (Baukastenprinzip)
- Die Baugruppe ist montierbar
- Die Bewegungsabläufe bei der Montage sind linear.
- Alle notwendigen Werkzeuge sind in der Fertigung vorhanden
- Werkzeuge können die erforderlichen Stellen erreichen. Werkzeuge können gehandhabt werden.
- Die Baugruppe kann nicht falsch zusammengesetzt werden (Poka Yoke)

## 7 Literaturverzeichnis

## Literaturverzeichnis

**Ansys. 2022.** Ansys. [Online] 5. August 2022. [Zitat vom: 05. 08 2022.] <https://www.ansys.com/de-de/applications/topology-optimization>.

**Binz, Hansgeorg. 2015.** Konstruktionslehre 1. Stuttgart : Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design, 2015.

**Bode, Erasmus. 1996.** Konstruktionsatlas. Darmstadt : Hoppenstedt Verlag, 1996.

**Decker, Karl-Heinz. 2018.** Decker Maschinenelemente: Funktion, Gestaltung und Berechnung. s.l. : Carl Hanser Verlag, 2018.

**DIN 332-7. 1982.** DIN 332-7 Zentrierbohrungen 60° - Bestimmungsverfahren. s.l. : Beuth Verlag, 1982.

**DIN 4766-1. 1981.** DIN 4766-1 Herstellverfahren der Rauheit von Oberflächen - Erreichbare gemittelte Rauhtiefe Rz nach DIN 4768 Teil 1. s.l. : Beuth Verlag, 1981.

**DIN 8580. 2020.** Fertigungsverfahren - Begriffe, Einteilung. s.l. : Beuth Verlag, 2020.

**DIN EN ISO 1302. 2002.** DIN EN ISO 1302 Angabe der Oberflächenbeschaffenheit in der technischen Produktdokumentation. s.l. : Beuth Verlag, 2002.

# Literaturverzeichnis

**DIN EN ISO 13920. 1996.** *DIN EN ISO 13920 Schweißen - Allgemeintoleranzen für Schweißkonstruktionen - Längen- und Winkelmaße; Form und Lage*. s.l. : Beuth Verlag, 1996.

**DIN EN ISO 2768-1. 1991.** *DIN EN ISO 2768-1 Allgemeintoleranzen; Toleranzen für Längen- und Winkelmaße ohne einzelne Toleranzeingabe*. s.l. : Beuth Verlag, 1991.

**DIN EN ISO 286-1. 2019.** *DIN EN ISO 286-1 Geometrische Produktspezifikation (GPS) - ISO-Toleranzsystem für Längenmaße - Teil 1: Grundlagen für Toleranzen, Abmaße und Passungen*. s.l. : Beuth Verlag, 2019.

**DIN EN ISO 8062-3. 2019.** *DIN EN ISO 8062-3: Geometrische Produktspezifikationen (GPS) - Maß-, Form- und Lagetoleranzen für Formteile - Teil 3: Allgemeine Maß-, Form- und Lagetoleranzen und Bearbeitungszugaben für Gussstücke*. s.l. : Beuth Verlag, 2019.

**DIN EN ISO 9692-1. 2013.** *DIN EN ISO 9692-1 Schweißen und verwandte Prozesse - Arten der Schweißnahtvorbereitung - Teil 1: Lichtbogenhandschweißen, Schutzgassschweißen, Gassschweißen, WIG-Schweißen und Strahlschweißen von Stählen*. s.l. : Beuth Verlag, 2013.

**DIN EN ISO/ASTM 52900. 2022.** *Additive Fertigung*. s.l. : Beuth, 2022.

**Feldhusen, Jörg und Grote, Karl-Heinrich. 2013.** *Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. Heidelberg : Springer Verlag, 2013.

**Filament2print. 2019.** Filament2Print. [Online] 4. November 2019. [Zitat vom: 10. August 2022.]  
[https://filament2print.com/gb/blog/71\\_importance-infill-3d-printing.html](https://filament2print.com/gb/blog/71_importance-infill-3d-printing.html).

# Literaturverzeichnis

- Giessereilexikon.** 2020. Giessereilexikon. [Online] Mai 2020. <https://www.giessereilexikon.com/giesserei-lexikon/>.
- Gomeringer, Roland, et al.** 2014. *Tabellenbuch Metall*. Haan-Gruiten : Europa-Lehrmittel, 2014.
- Grund, T.** 2024. *Werkstofftechnik in der nachhaltigen Produktion. Habilitation*. TU Chemnitz : s.n., 2024.
- Hoischen, Hans und Fritz, Andreas.** 2019. *Technisches Zeichnen*. s.l. : Cornelsen Verlag, 2019.
- IEW.** 2020. Induktive Erwärmungsanlagen. [Online] Juni 2020.  
[http://www.iew.eu/files/iew/Anwendungen/Loeten/Loeten\\_Kupfer-Messing\\_01.jpg](http://www.iew.eu/files/iew/Anwendungen/Loeten/Loeten_Kupfer-Messing_01.jpg).
- Kalenborn, Markus.** 2019. Vorlesungsskript: Konstruktionslehre 2. Ulm : s.n., 2019.
- Klocke, Fritz.** 2018. *Fertigungsverfahren 1 Zerspanung mit geometrisch bestimmter Schneide*. Heidelberg : Springer Vieweg, 2018.
- . 2017. *Fertigungsverfahren 4 Umformen*. Heidelberg : Springer Vieweg, 2017.
- . 2018. *Fertigungsverfahren 5 Gießen und Pulvermetallurgie*. Heidelberg : Springer Vieweg, 2018.
- Kluge, Sigfried.** 2004. Vorlesungsmitschrift: Fertigungstechnik – Schweißen. Zwickau : s.n., 2004.
- Loctite.** 1998. *Loctite Worldwide Design Handbook*. s.l. : Loctite European Group, 1998.
- N. Missal, S. Schwertel,.** 2023. *Innovative cold metal forming processes for a sustainable future – Moving forward with helical gear drive components in a resourceand energy-efficient way*. s.l. : VDI-Verlag, 2023.

# Literaturverzeichnis

**N.N. - Fraunhofer IPB. 2023.** Fraunhofer IPB Ökobilanzierung. [Online] 04. 06 2023.

<https://www.ipb.fraunhofer.de/de/kompetenzen/ganzheitliche-bilanzierung/methoden-ganzheitliche-bilanzierung/oekobilanzierung.html>.

**N.N. - Produktinformation ABUS.** Produktinformation ABUS Komponenten/ C. Gummersbach : ABUS-Kransysteme. AN 301508 10.22.

**N.N. - Stöckli Metall AG Umformen – Tiefziehen. 2023.** Stöckli Metall AG Umformen – Tiefziehen. [Online] 20. 5 2023. <https://www.stm-ag.ch/tiefziehen/>.

**N.N. - VDI.** VDI Zentrum Ressourceneffizienz Produktentwicklung. [Online] [Zitat vom: 29. 4 2023.]  
<https://www.ressource-deutschland.de/themen/produktentwicklung/>.

**N.N. - Ziele für Nachhaltige Entwicklung.** Ziele für Nachhaltige Entwicklung. [Online] [Zitat vom: 30. 5 2023.]  
<https://17ziele.de/downloads.html>.

**N.N. ABUS Laufkrane. 2023.** Produktinformation ABUS Laufkrane. Gummersbach : ABUS-Kransysteme, 2023. A N 12 2 5 8 5 . 2 3.

**N.N. Gemeinsam den Wandel gestalten Die UN-Nachhaltigkeitsziele.** [Online] [Zitat vom: 04. 6 2023.]  
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/die-un-nachhaltigkeitsziele-1553514>.

—. Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen. s.l. : Beuth-Verlag. DIN EN ISO 14044:2021-02 .

# Literaturverzeichnis

- Niemann, Gustaf, et al.** 2019. *Maschinenelemente* 1. s.l. : Springer Verlag, 2019.
- Rahmenbedingungen., N.N.:** 2021. Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen. s.l. : Beuth-Verlag, 2021. DIN EN ISO 14040:2021-02.
- Redwood, Ben, Schöffer, Filemon und Garret, Brian.** 2017. *The 3D Printing Handbook*. Amsterdam : 3D Hubs, 2017.
- Rupniktadej.** 2019. Rupniktadej. [Online] November 2019. <http://sk.rupniktadej.com/assets/gallery/22/459.jpg>.
- Scholz, Ulrich, et al.** 2018. *Praxishandbuch Nachhaltige Produktentwicklung*. s.l. : Springer-Verlag, 2018.
- Schuler, Volkmar und Twrdek, Jürgen.** 2019. *Praxiswissen Schweißtechnik*. s.l. : Springer Verlag, 2019.
- TQU.** TQU die Qualitätsprofis. [Online] [Zitat vom: 7.. September 2022.] <https://umsetzer.com/>.
- VDI 2235.** 1987. *Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren*. s.l. : Beuth Verlag, 1987.
- VDI/VDE 2601.** 1991. *VDI/VDE 2601 Anforderungen an die Oberflächengestalt zur Sicherung der Funktionstauglichkeit spanend hergestellter Flächen; Zusammenstellung der Kenngrößen*. s.l. : Beuth Verlag, 1991.
- Wiese, Bettina S., Sauer, Jürgen und Rüttiger, Bruno.** 2004. Umweltgerechte Produktentwicklung: Konzepte, Befunde und Perspektiven eines interdisziplinären Forschungsprojektes. *Umweltpsychologie*. 2004, 5.
- Wittel, Herbert, et al.** 2015. *Roloff/Matek Maschinenelemente: Normung, Berechnung, Gestaltung*. s.l. : Springer Verlag, 2015.

# Literaturverzeichnis

ZF. 2020. ZF Press Center. [Online] März 2020. [https://press.zf.com/press/de/releases/release\\_11138.html](https://press.zf.com/press/de/releases/release_11138.html).