

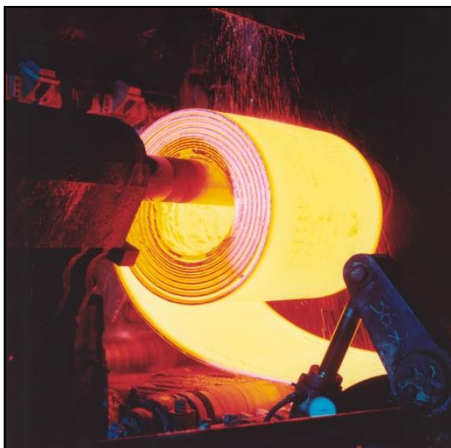
Prof. Dr.-Ing. H.G. Heinrich

## Vorlesung "Fertigungsverfahren" (MB+PA)

### Teil 2: Grundlagen der Umformtechnik

Die Arbeitsblätter sind bestimmt als vorlesungsbegleitende Unterlagen. Sie enthalten nur einen Teil (bzgl. Anzahl und Inhalt!) der in der Vorlesung besprochenen Folien und sind deshalb zum Eigenstudium des Faches nur bedingt geeignet.

Beachten Sie bitte auch die vorlesungsergänzenden Aufsätze auf meiner [Homepage](#)



Der Ausdruck des Skriptes auf DIN-A4-Größe und in Farbe ist empfehlenswert !

WS 2014/2015

## **Gliederung:**

- 1. Literaturangaben und Einführung**
- 2 Übersicht über Verfahren der Spanlosen Fertigung nach DIN 8582**
  - 2.1 Verschiedene Möglichkeiten der Fertigung eines Produktes
- 3. Grundlagen zur Umformtechnik (Werkstoffe, Spannungen)**
  - 3.1 Einteilung der Umformverfahren und Definitionen
  - 3.2 Werkstoffe der Umformtechnik
  - 3.3 Vorteile der Umformtechnik
    - 3.3.1 Energieverbrauch
    - 3.3.2 Faserverlauf
  - 3.4 Verformungsmechanismus der Metalle
    - 3.4.1 Gitteraufbau der Metalle
    - 3.4.2 Wirkung der Versetzungen
  - 3.5 Umformtechnik und Spannungs-Dehnungs-Diagramm
  - 3.6 Schmidtsches Schubspannungsgesetz
  - 3.7 Millersche Indizes
  - 3.8 Gitterbaufehler und deren Wirkung
- 4 Umformtechnik**
  - 4.1 Nomenklatur und Kenngrößen der Formänderung
  - 4.2 Spannungs-Dehnungs-Diagramm und Fließkurve
  - 4.3 Fließkurve nach Reihle
  - 4.4 Kaltumformen – Warmumformen → Umformen bei erhöhter Temperatur
    - 4.4.1 Lauwarmumformen,
    - 4.4.2 Halbwarmumformen,
    - 4.4.3 Superplastizität
    - 4.4.4 Thixoforming (Schmieden)
    - 4.4.5 Thixo-Spritzgießen
  - 4.5 Fließkurven bei Kalt- und Warmumformung, Einflussgrößen
  - 4.6 Stauchen eines Zylinders (Aufgabe zur Ermittlung der Umformkraft)
  - 4.7 Ermittlung der Umformarbeit (+ Aufgabe)
- 5. Kurzübersicht über die Verfahren der Umformtechnik nach DIN 8582**
- 6. Das Walzen**
  - 6.1 Werkstofftechnische Aspekte
  - 6.2 Walzerzeugnisse
  - 6.3 Der Umformvorgang beim Walzen
    - 6.3.1 Geschwindigkeiten beim Walzen
    - 6.3.2 Kräfte beim Greifen und Walzen
    - 6.3.3 Dickenabnahme beim Greifen und Durchwalzen + Aufgaben
  - 6.4 Tribologie (Schmierstoffe/Reibung)
  - 6.5 Berechnung des Kraft- und Arbeitsbedarfs beim Walzen
  - 6.6 Ordnungssystem der Walzverfahren nach DIN 8583
    - 6.6.1 Längswalzen mit Beispielen
    - 6.6.2 Querwalzen mit Beispielen
    - 6.6.3 Schrägwalzen mit Beispielen
  - 6.7 Walzenarte, -körper, -gerüste
  - 6.8 Walzenwerkstoffe

- 6.9 Thermomechanisches Walzen
- 6.9 Neue Walz-(Gieß-Walz-) Verfahren

## **7. Das Tiefziehen**

- 7.1 Definition, Nomenklatur Werkstoffe
- 7.2 Prinzip, Verfahren, Spannungen
- 7.3 Spannungen beim Tiefziehen
- 7.4 Fehler beim Tiefziehen
- 7.5 Blechumformen: Trends und neuere Entwicklungen
  - 7.5.1 Tailored Blanks
  - 7.5.2 IHU
- 7.6 Berechnungen
  - 7.6.1 Ziehverhältnis
  - 7.6.2 Niederhalterkraft
  - 7.6.3 Stempelkraft
  - 7.6.4 Umformkraft
- 7.7 Werkzeuggestaltung
- 7.8 Ermittlung des Zuschnittes
- 7.9 Abstufung der Züge
- 7.10 Ziehringformen
- 7.11 Schmierung
- 7.12 Grenz-Formänderungs-Kurven

## **8. Das Schmieden**

- 8.1 Schmiedeverfahren
  - 8.1.1 Freiformschmieden
  - 8.1.2 Gesenkschmieden
    - 8.1.2.1 Schmieden von der Stange
    - 8.1.2.2 Schmieden vom Spaltstück
    - 8.1.2.3 weitere Verfahren
    - 8.1.2.4 Kraftbedarf
    - 8.1.2.5 Arbeitsbedarf

### **Videofilme** (falls Zeit vorhanden):

Neue Gießwalzverfahren (CSP)

Herstellung nahtloser Rohre

"Warmwalzen von Stahl", ("Großrohrwerk Mannesmann")

Blech, Draht- und Profilwalzen

Schmiedestück-Verwendung etc.

[9. Sonstige Umformverfahren]

10. Stoffeigenschaften ändern (Anwendung)

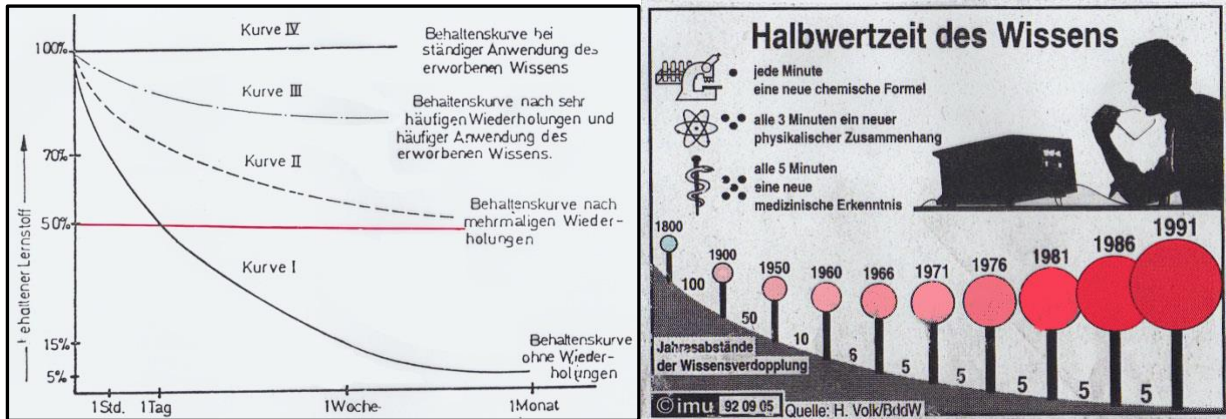
10.1 Kaltverfestigung und Erholung

10.2 Rekristallisation + Übungsaufgaben]

**11.** Liste der Fachausdrücke  
deutsch - englisch

**12** Formelsammlung zur  
Klausur

# 1. Literaturangaben und Einführung



## Auswahl an Fachbüchern:

1. Umformtechnik  
H. Kugler Hanser-Verlag
3. Umformtechnik  
K. Grüning, Vieweg-Verlag
4. Lehrbuch der Umformtechnik  
K. Lange, Springer-Verlag
5. Handbuch der Umformtechnik  
Schuler, Springer -Verlag
5. Taschenbuch der Umformtechnik  
H. Tschätsch, Hanser-Verlag
7. Spanlose Fertigung  
J. Flimm, Hanser-Verlag
8. Handbuch der Fertigungstechniken Band 1 - 4  
G.Spur, Th.Stöferle Carl Hanser Verlag
9. Werkstoffkunde  
Bargel/Schulze, Springer-Verlag

Das Skript liegt auf dem K-LW und auf meiner [homepage](#) (fhr, ab)

## Zu 1.: Beispiel Umformtechnik (alt und neu)

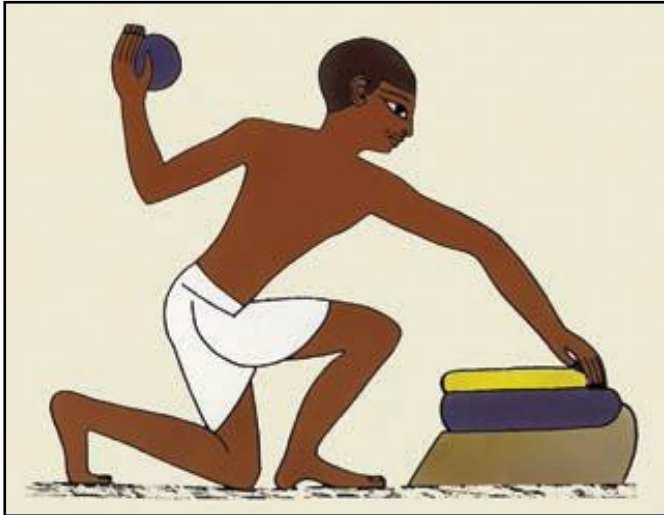


Abb. 1:  
Skizze aus den Darstellungen am Grabe des Rechmire (circa 1.450 vor Christus)

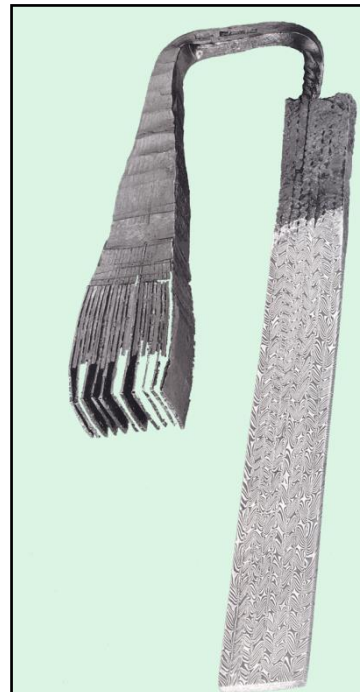


Abb. 2: Schwertschmiedekunst



Abb. 3:  
Stadien beim Schmieden einer Kurbelwelle

Abb. 1-3: zur Einführung in die Spanlose Fertigung

## 2. Verfahren der spanlosen Fertigung (DIN 8582) → Übersicht

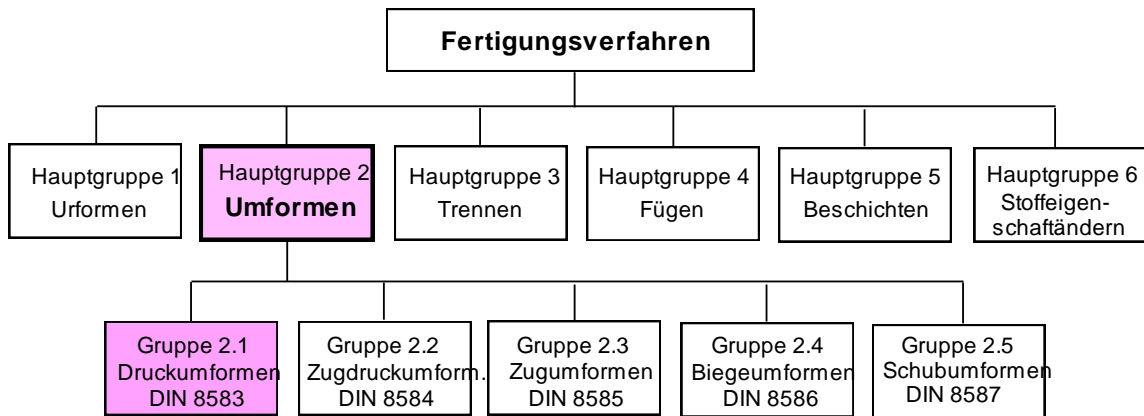


Abb. 4: Übersicht über die Verfahren der Spanlosen Fertigung

Urformen:

Umformen:

Trennen:

Fügen:

Beschichten:

Stoffeigenschaft ändern:

## 2.1 Verschiedene Möglichkeiten der Fertigung:

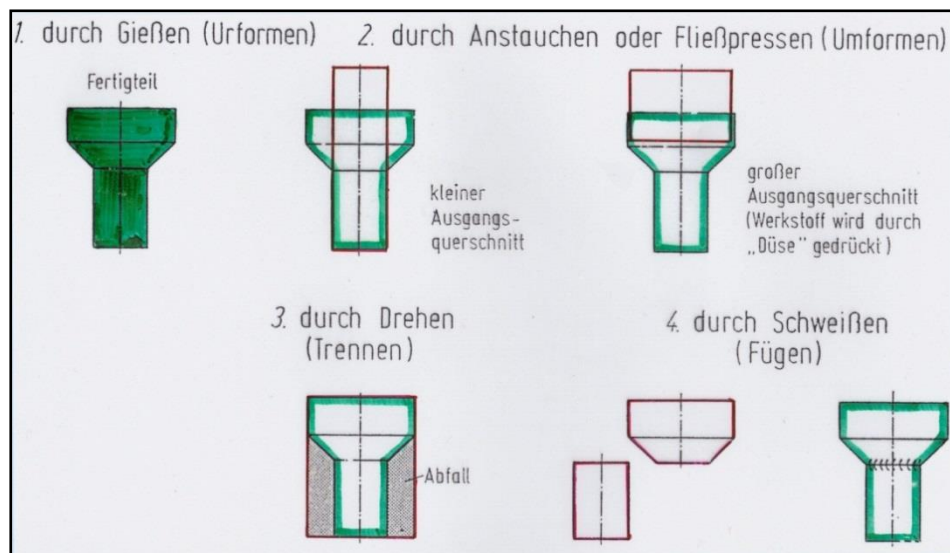


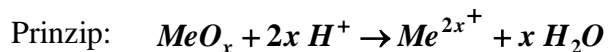
Abb. 5: verschiedene Möglichkeiten der Fertigung

Bei der Fertigung eines Produktes werden i.a. mehrere Fertigungsverfahren nacheinander durchlaufen; diese können durchaus spanend und spanlos sein

→ Beispiel: Karosserieblech, Werkstoff: C-armer Stahl

Schritt	Vorgang	Verfahren	SL-Gruppe
1	Stahlerzeugung	Hochofen	
2	Kristallisieren	Gießen	
3	Walzen	Warmwalzen	
4	Reinigen...	Beizen*	
5	Walzen	Kaltwalzen	
6	Korrosionsschutz	Verzinken**	
7	Band zerteilen	Abscheren	
8	Karosserie formen	Tiefziehen	
9	Endform herstellen	Schweißen	
10	Oberflächenschutz	Lackieren***	
11	Wärmebehandlung	Aushärten****	

\* Beseitigung von Zunder und Verunreinigungen durch Auflösen in mineralischen Säuren.



\*\* Elektrolytisch oder „Feuerverzinken“, s. Folien

\*\*\* Vielstufiger Prozeß, s. Folie

→ wichtig bei allen Oberflächenverfahren: Vorbereitung der Oberfläche !

\*\*\*\* neue Werkstoffgruppe: „Bake hardening Steels“.

Diese Stähle sind unlegiert enthalten aber geringe Mengen an ausscheidungshärtenden Legierungselementen, z.B. P. Sind diese Elemente gelöst, ist der Werkstoff gut umformbar. Beim Einbrennen des Lacks (T ca. 170 °C) führt die Ausscheidung bzw. die Wanderung der Zwischengitteratome an die Versetzungen (Alterung) zur Festigkeitssteigerung, z.B. um 100 – 350 N/mm<sup>2</sup> (2% Kalt-Vor-Verformung → Versetzungen...)

### 3. Grundlagen der Umformtechnik:

#### 3.1 Einteilung der Umformverfahren

- Unterscheidung nach dem Spannungszustand nach DIN 8582 (Druck-, Zug-, Zugdruck-, Biege- und Schubumformen)
- Unterscheidung nach der Einsatztemperatur (Kalt-, Halbwarm-, Warmumformung...)
- Unterscheidung nach dem Produkttyp (Massiv- und Blechumformung)
- Stationäre/instationäre Umformprozesse, je nachdem, ob sich das Geschwindigkeitsfeld in der Umformzone mit der Zeit ändert

#### Definitionen:

**Verformen:** Im Gegensatz zum Umformen bezeichnet man das Überschreiten der Plastizitätsgrenze bei nicht beherrschter Geometrie als Verformung.

**Umformen** ist das Ändern der Form eines festen Körpers unter Beibehaltung des Stoffzusammenhalts und der Masse bzw. des Volumens (DIN 8580) in eine bestimmte Form. Die Beschreibung des damit umrissenen plastischen Verhaltens fester Körper, insbesondere von Metallen, ist viel komplexer als die des elastischen Verhaltens. Nachstehend werden dazu wichtige Grundlagenbegriffe für die Auslegung und das Verständnis von Umformprozessen, die mit dem Feinschneiden kombinierbar sind, eingeführt.

**Massivumformen** ist das Umformen mit großen Querschnitts- und Abmessungsänderungen, z.B. durch Fließpressen, Stauchen, Prägen, Einsenken, Durchsetzen. Dabei treten große Formänderungen mit großer Verfestigung des Werkstoffs und damit hohen Kräften und Werkzeugbeanspruchungen auf.

**Blechumformen** ist das Umformen ohne bzw. mit geringen, ungewollten Änderungen der ursprünglichen Wanddicke von Blechzuschnitten, z.B. durch Tiefziehen, Kragenziehen, Biegen. Biegeumformverfahren können je nach Verfahren und Werkstückabmessungen beiden Verfahrensgruppen zugeordnet sein. Formänderungen, Verfestigungen und damit Kräfte sind bei Blechumformverfahren meist kleiner.

**Kaltumformen** ist das Umformen ohne Anwärmen, d.h. bei Raumtemperatur. In Kombination mit dem Feinschneiden kommen Kaltumformverfahren des Massiv- und Blechumformens zur Anwendung.

**Halbwarmumformen** ist das Umformen mit dem Anwärmen auf eine Temperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur.

**Warmumformen** ist das Umformen mit dem Anwärmen auf eine Temperatur oberhalb der Rekristallisationstemperatur. Diese liegt bei Metallen bei ca. 40% der Schmelztemperatur in [K].

**Thixotropie** ist Umformen (Schmieden) im Bereich zwischen Liquidus und Solidustemperatur → ZSD (s. VL WT)

**Superplastizität** ist eine ungewöhnlich starke Verformbarkeit von Metall-Legierungen  $\epsilon$  bis ca. 1000 % unter bestimmten Voraussetzungen → s. Vorlesung

Die einzelnen Verfahren werden im Rahmen der Vorlesung besprochen mit dem Schwerpunkt **Walzen**.



### 3.2: Werkstoffe

□ Stahl

□

□

### 3.3 Vorteile der Spanlosen Fertigung (Umformtechnik)

#### 3.3.1 Energiebedarf verschiedener Fertigungsverfahren

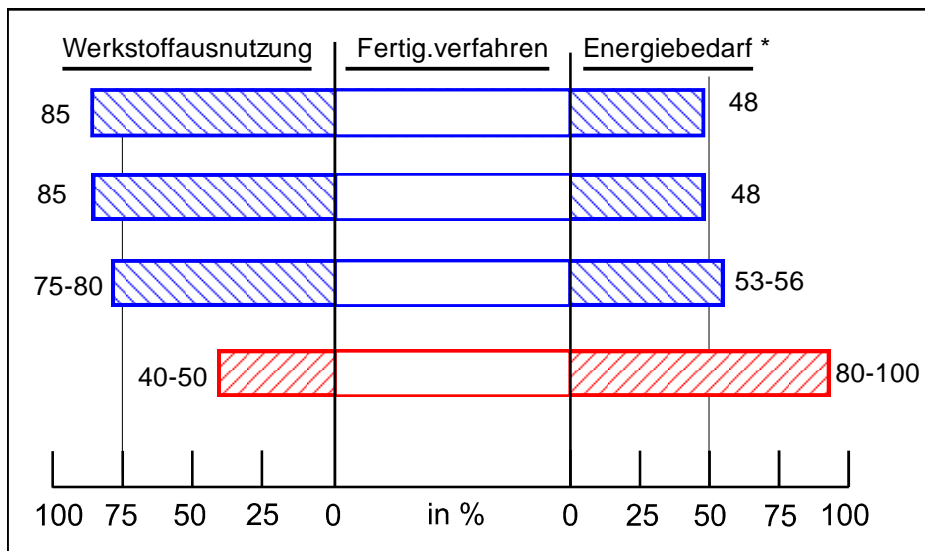


Abb. 6: Energiebedarf verschiedener Fertigungsverfahren unter Berücksichtigung der Werkstoffausnutzung (\* je kg Fertigteil)

### 3.3.2 Faserverlauf

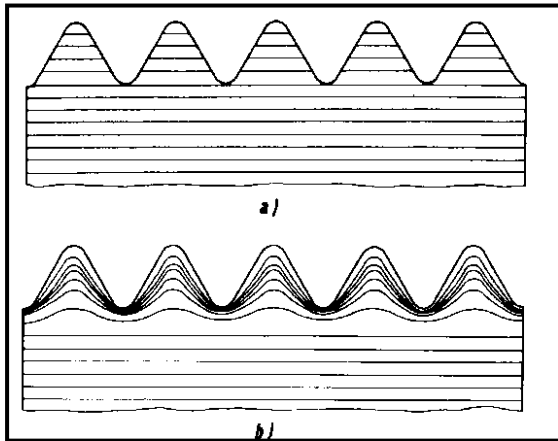


Abb. 7: Faserverlauf im Werkstück

a) mit .....und

b) mit Gewinde

Faserverlauf nach dem Umformen

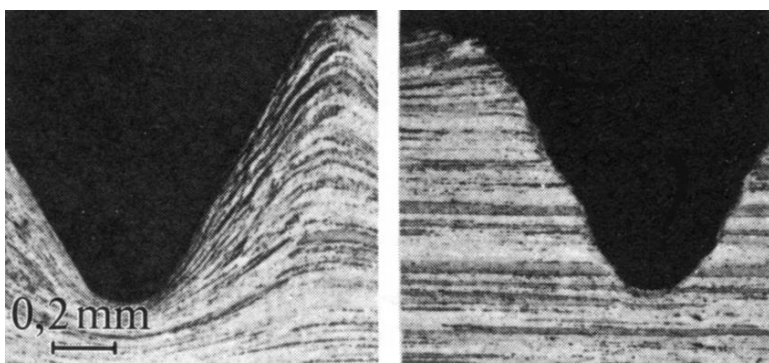


Abb. 8: Günstiger und ungünstiger Faserverlauf im gerollten bzw. geschnittenen Gewinde

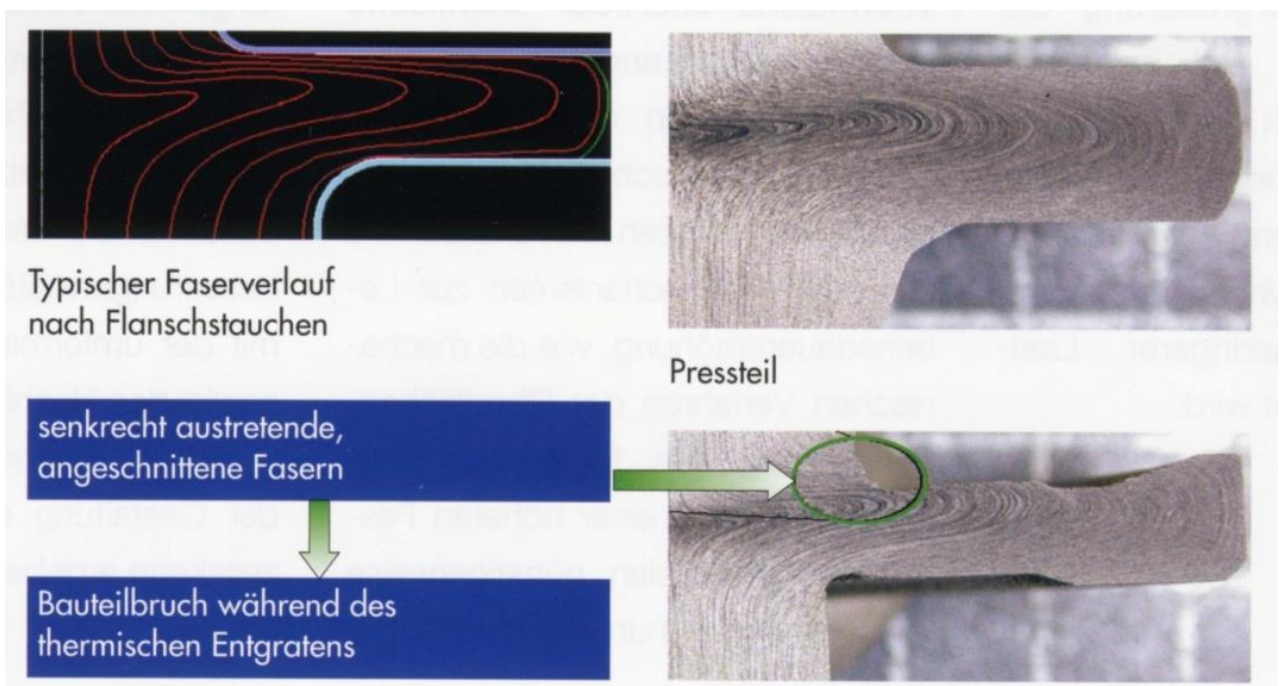


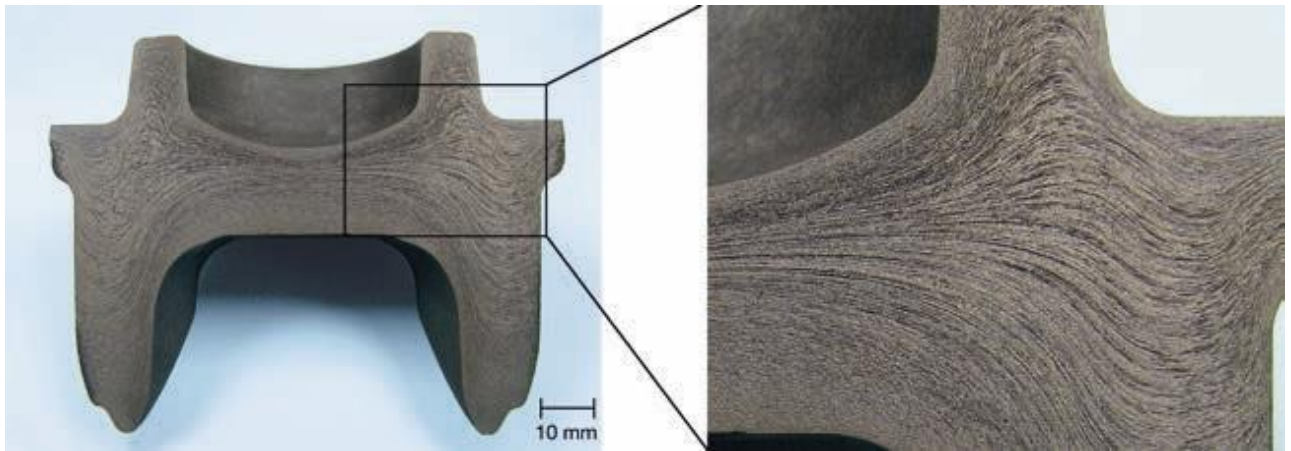
Abb. 9: Bauteilausfall durch ungeeignete Abstimmung des umgeformten Faserverlaufs mit der nachfolgenden Zerspanungsoperation

Das große Sicherheitspotenzial von Massivformbauteilen resultiert aus den überlegenen Werkstoffeigenschaften.

Das gewalzte oder (zum Beispiel bei Aluminium) stranggepresste Ausgangsmaterial ist frei von Innenfehlern, wie zum Beispiel Lunkern, es hat bereits einen gerichteten Faserverlauf,

der durch den Umformvorgang nicht unterbrochen wird und häufig nach der Hauptbelastung des Bauteils ausgerichtet werden kann

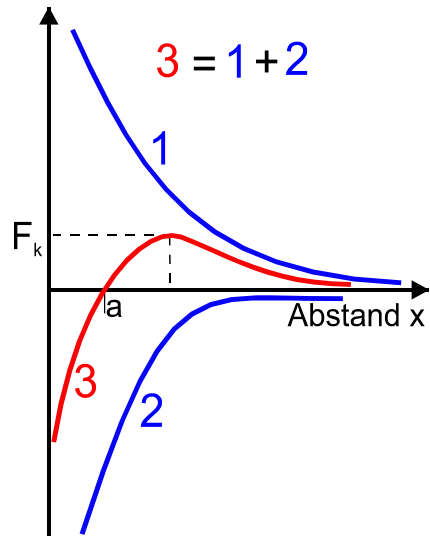
Die Umformwerkstoffe sind duktil, das heißt, bei Überlastung eines Bauteils wird es nicht gleich durch Gewaltbruch versagen, sondern wird sich plastisch verformen, ohne zerstört zu werden, und behält somit in „Crash-Situationen“ eine Restfunktionalität.



→ **Vorteile** der spanlosen Fertigung gegenüber der spanenden Fertigung:

### 3.4 Der Verformungsmechanismus der Metalle

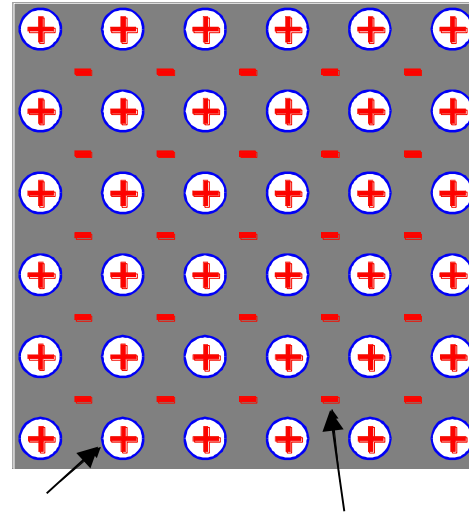
#### 3.4.1 Der Gitteraufbau der Metalle



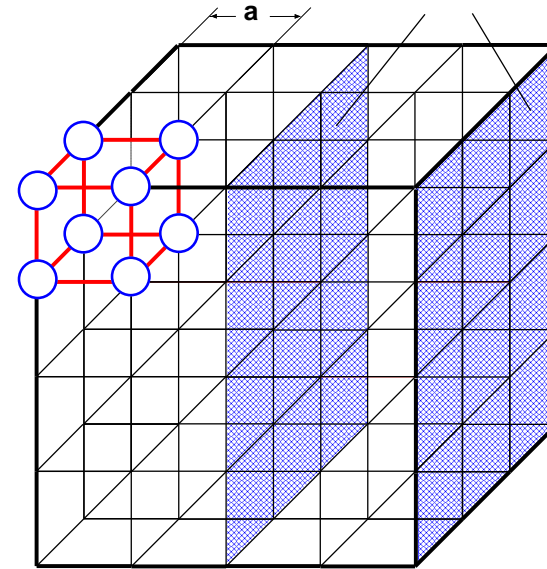
- 1: Anziehung:  $F \approx$
- 2: Abstoßung:  $F \approx$

Abb. 10: Gitteraufbau der Metalle

a: Kräfte zwischen den Atomrümpfen



b: Atomarer Aufbau (schematisch)



$a =$

c: resultierender Gitteraufbau

## Raumgitterformen (Modifikationen) des Eisens

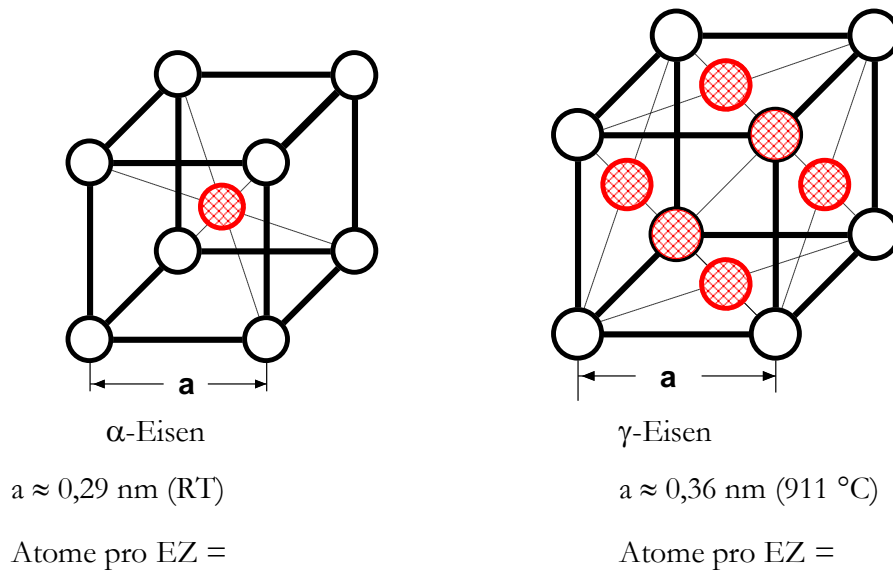


Abb. 11: Raumgitterformen (Modifikationen) des Eisens

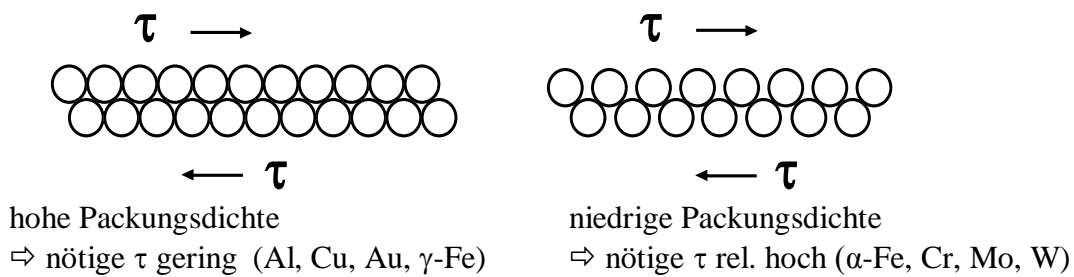


Abb. 12: Gleitbewegung auf Ebenen verschiedener Packungsdichte (Prinzip)

### 3.4.2 Verformungsmechanismus bei Metallen: Wirkung der Versetzungen

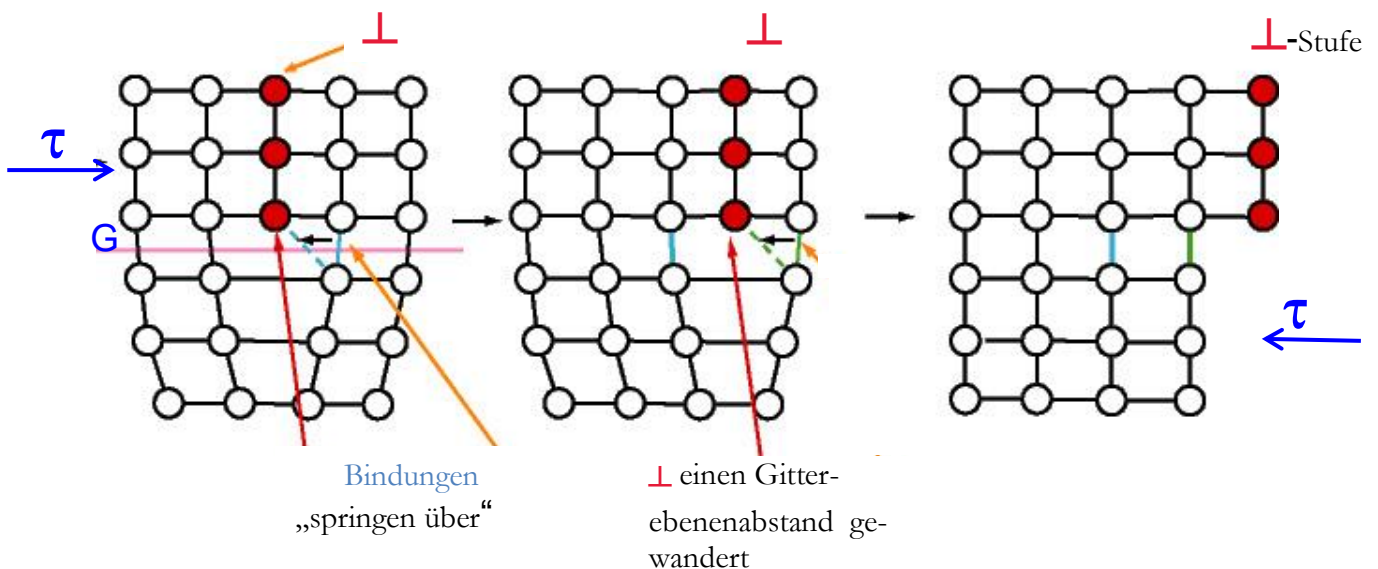


Abb. 13: Gitterfehler: Ebene Darstellung einer (Stufen-)Versetzung

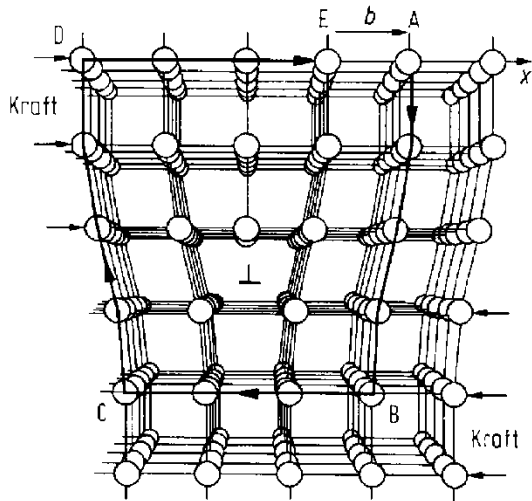


Abb. 14:  
 Gitterfehler: (Stufen-)Versetzung  
 → Burgersumlauf  
 $b =$

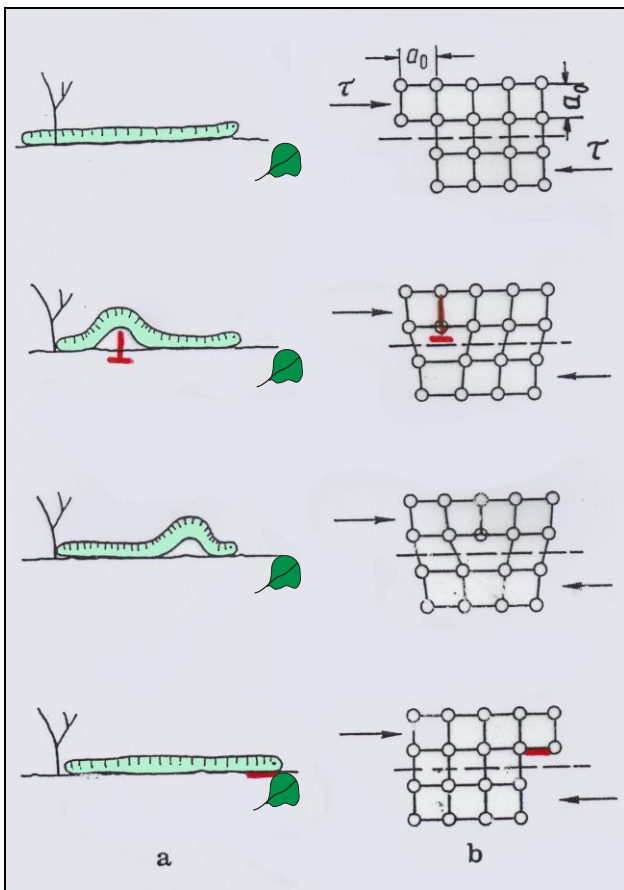


Abb. 15:  
 Wurm „Willi“ als Analogon zur Versetzungs-  
 bewegung

Weiteres Analogon: Teppichfalte...

### 3.5 Umformtechnik und Spannungs-Dehnungs-Diagramm

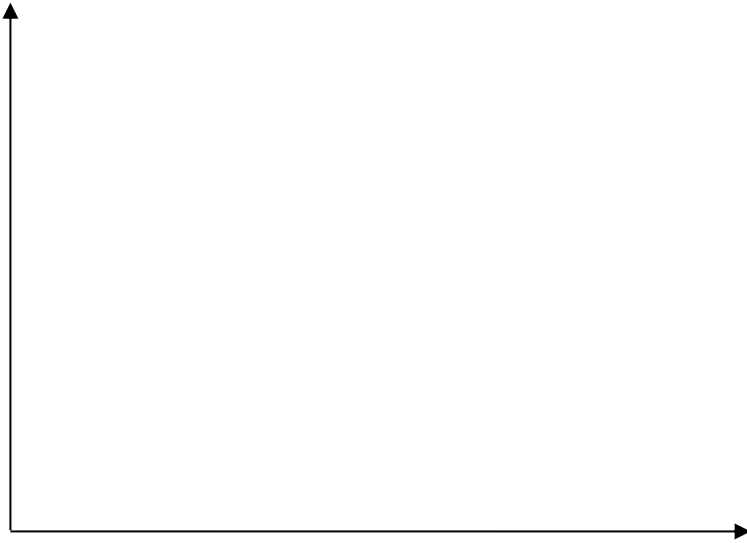
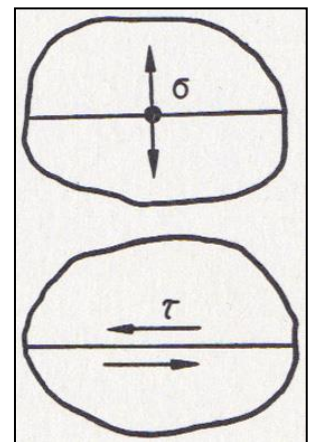
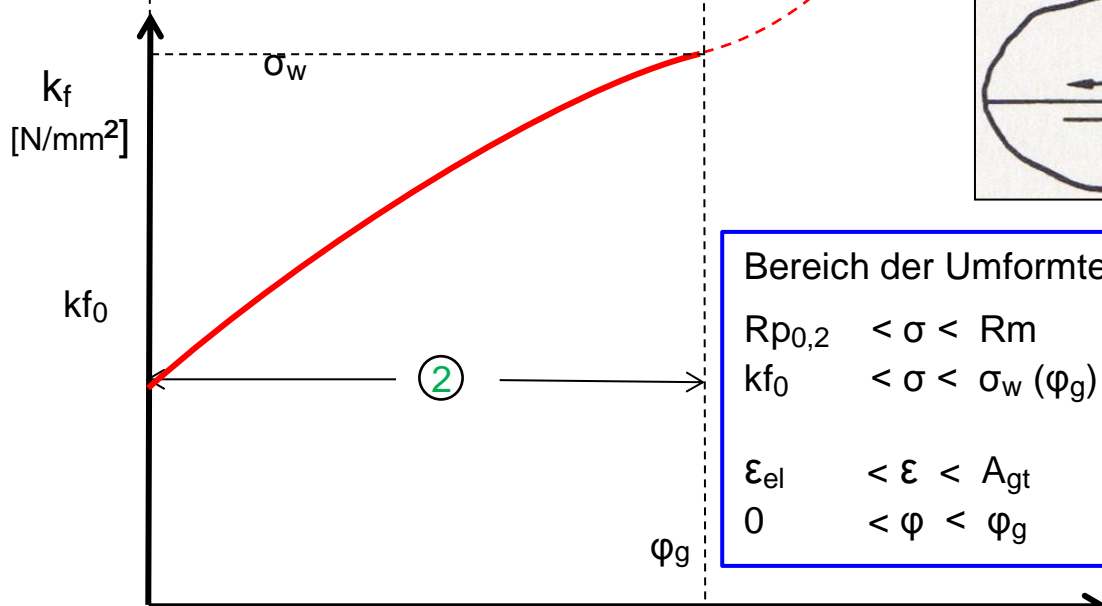
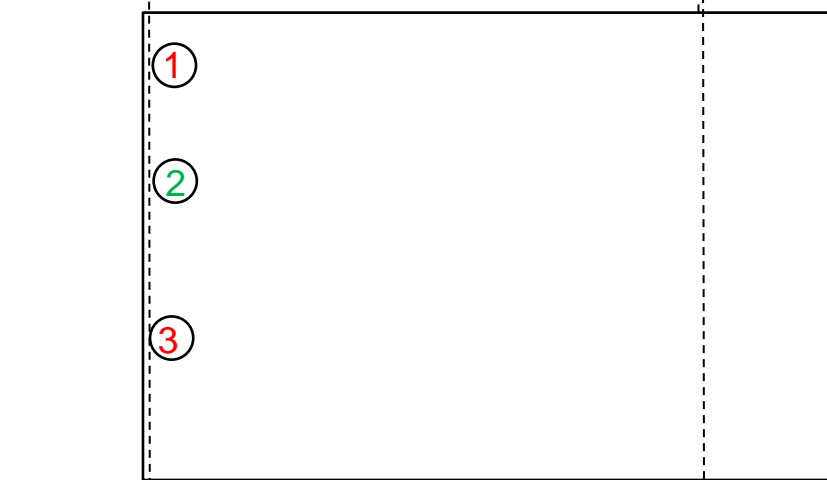
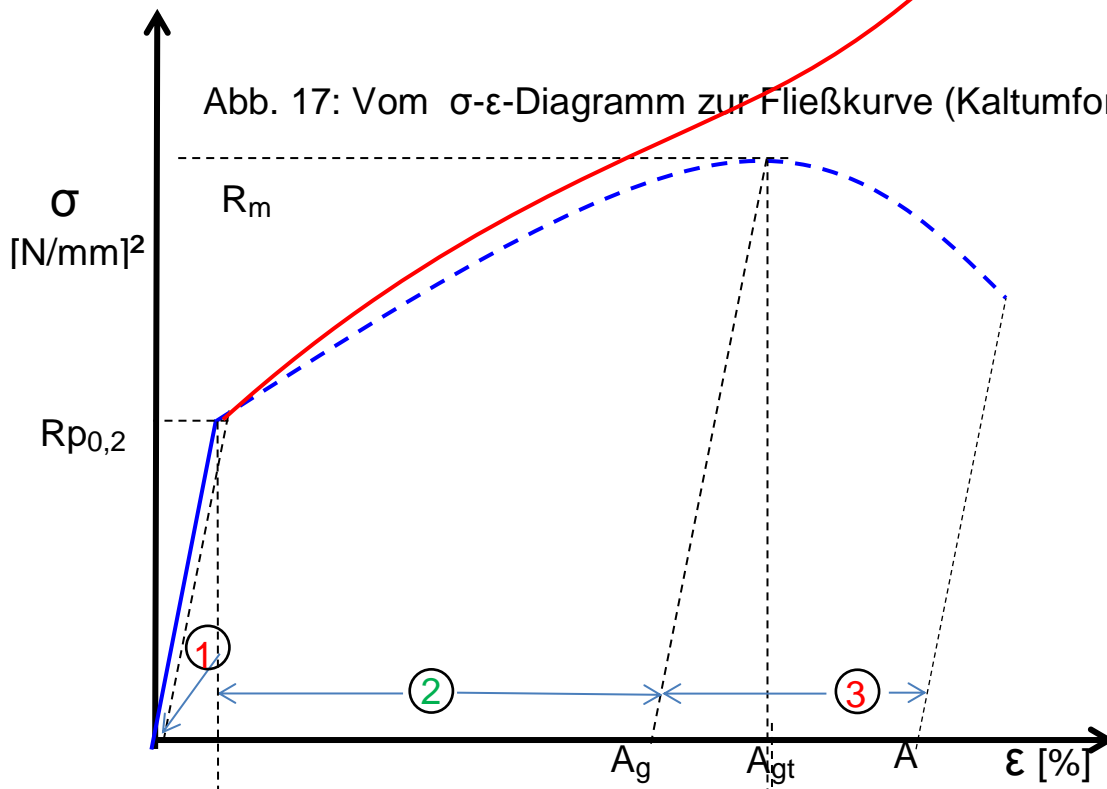


Abb. 16:  $\Rightarrow$  die nominelle und die „wahre“  $\sigma$ - $\epsilon$ -Kurve

Abb. 17: Vom  $\sigma$ - $\epsilon$ -Diagramm zur Fließkurve (Kaltumformung)



Bereich der Umformtechnik:

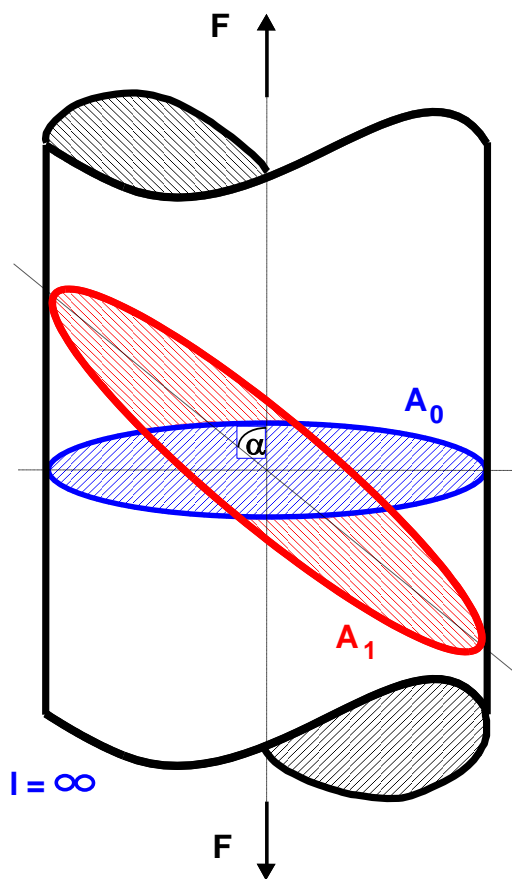
$R_{p0,2}$	$< \sigma < R_m$
$k_{f0}$	$< \sigma < \sigma_w (\varphi_g)$
$\epsilon_{el}$	$< \epsilon < A_{gt}$
0	$< \varphi < \varphi_g$

**Fließkurve**  $\rightarrow k_f = f(\varphi)$

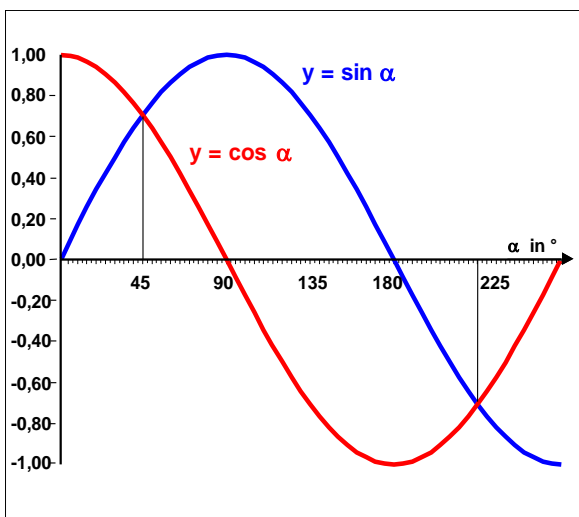
$\varphi [1]$



### 3.6 Schmidtsches Schubspannungsgesetz

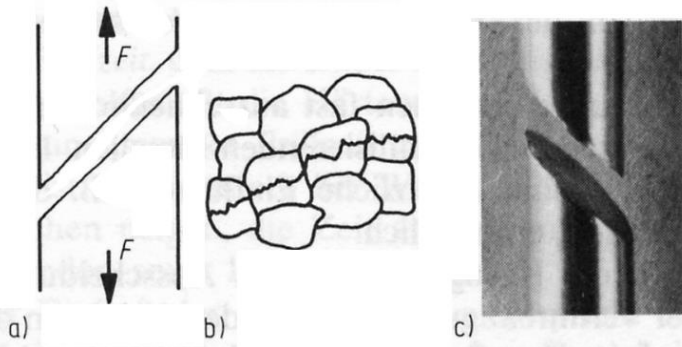


$$\alpha = 90 \mid \alpha = 0^\circ \mid 0^\circ < \alpha < 90^\circ$$



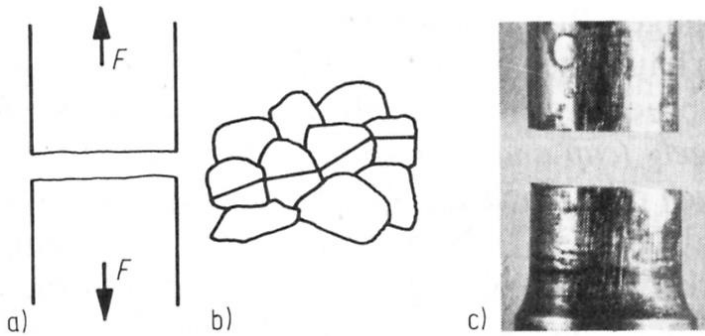
Beim Umformen von Metallen sind die wirksamen Spannungen immer \_\_\_\_\_ !

Abb. 18: zur Ableitung des Schmidtschen Schubspannungsgesetzes



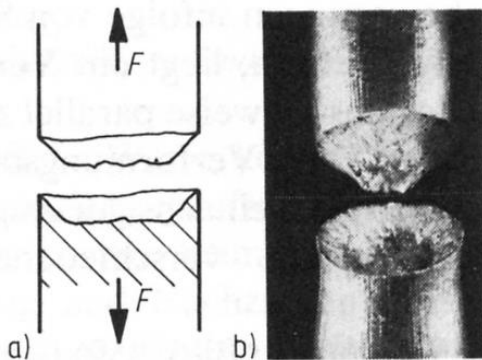
### Reiner Scherbruch

- a) makroskop. Verlauf (schematisch)
- b) mikroskop. Verlauf (schematisch)
- c) Bruch einer Zugprobe aus AlCuMg1



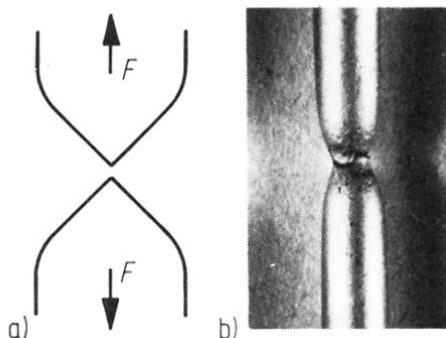
### Trennbruch

- a) makroskop. Verlauf (schematisch)
- b) mikroskop. Verlauf (schematisch)
- c) Bruch einer Zugprobe aus AlCuMg1



### Krater-Kegel (Cup and Cone)-Bruch

- a) makroskop. Verlauf (schematisch)
- b) Bruch einer Zugprobe aus AlMgSi



### Einschnür-Bruch

- a) makroskop. Verlauf (schematisch)
- b) Bruch einer Zugprobe aus E-Cu

### 3.7 Miller'sche Indizes

Einfluss der Packungsdichte auf das Umformverhalten:

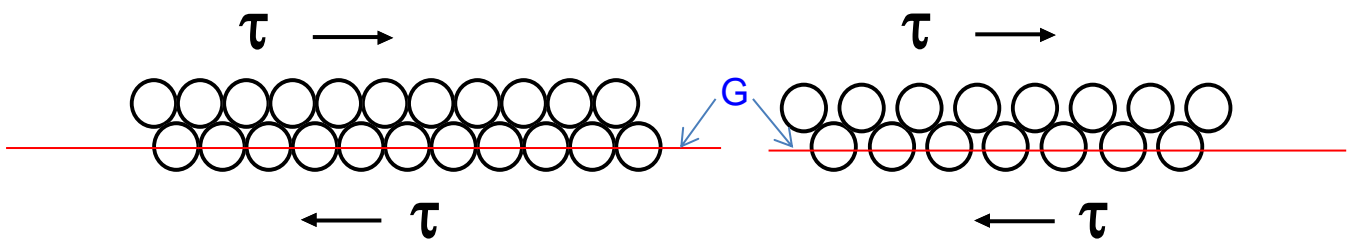


Abb. 19: schematische Darstellung von Gleitebenen

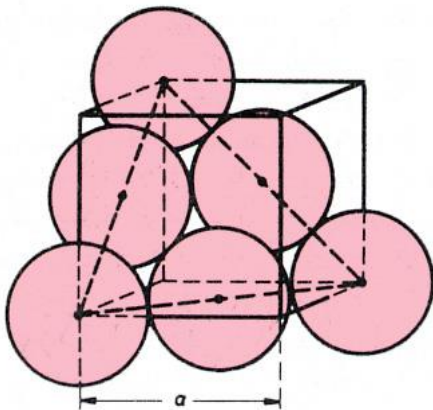


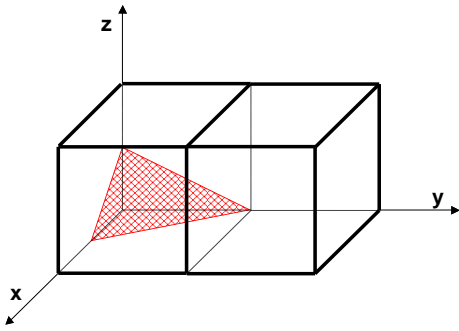
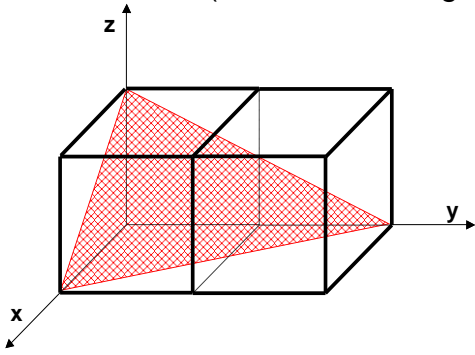
Abb. 20:

optimale, dichtest gepackte Gleitebene im kfz-Gitter

Gleitsysteme und kritische Schubspannung einiger Metalle:

Struktur	Metall	Gleitsystem	$\tau_{\text{krit}}$ in N/mm <sup>2</sup>
kfz	Cu (99,999%)	(111) [110]	0,64
kfz	Ag (99,99%)	(111) [110]	0,47
kfz	Ni (99,8%)	(111) [110]	5,69
krz	$\alpha$ -Fe (99,96%)	(110) [111]	27,47
krz	Mo	(211) [110]	49,05
hdP	Zn (99,999%)	(0001) [2110]	0,18
hdP	Mg (99,96%)	(0001) [2110]	0,76
hdP	Ti (99,99%)	(1010) [2110]	13,73

Gitterebenen: (2 Voraussetzungen)



Gitterrichtungen:

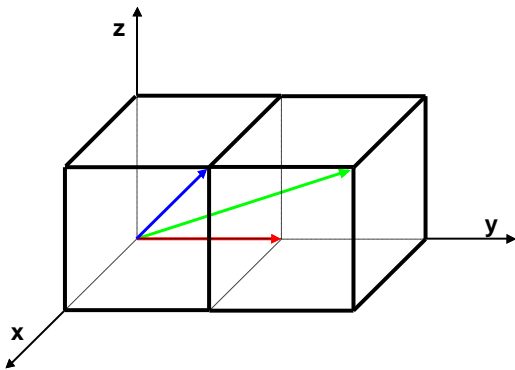


Abb. 21: Ermittlung der Miller'schen Indizes von Gitterebenen und Richtungen

Abb. 22: Wichtigste Ebenen in kubischen Kristallen

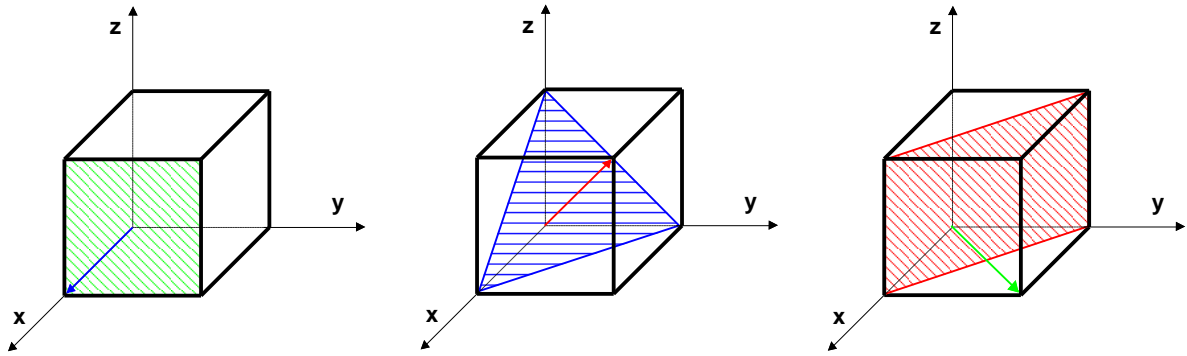
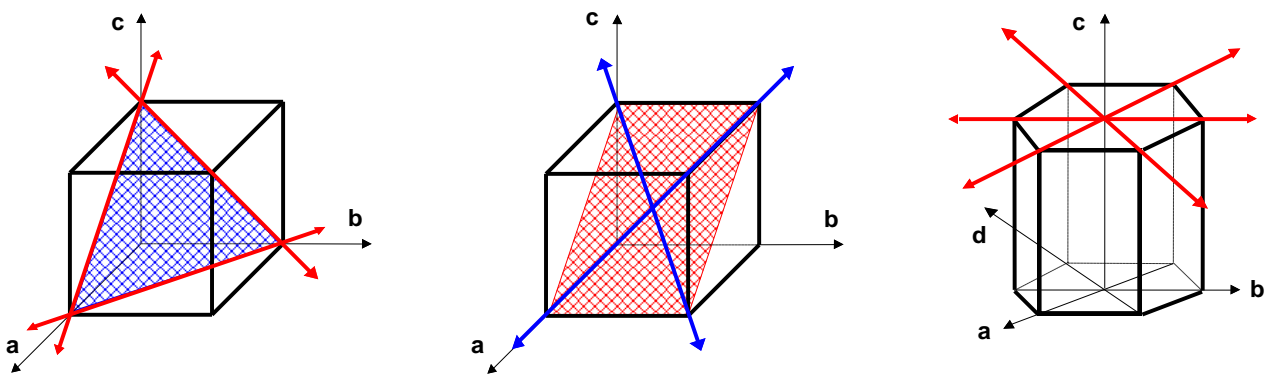


Abb. 23: Gleitsysteme technischer Metalle



Gitterebenen:

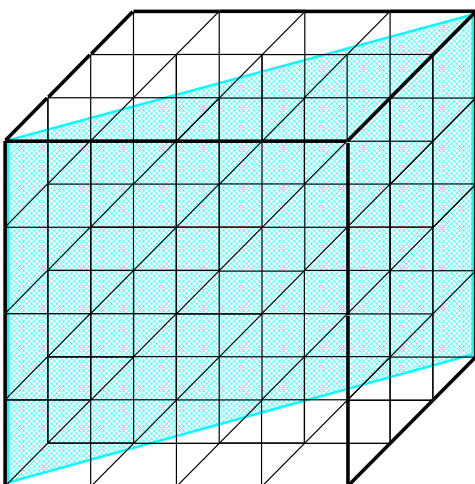


Abb. 24: Übung zu den Millerschen Indizes

### 3.8 Gitterbaufehler

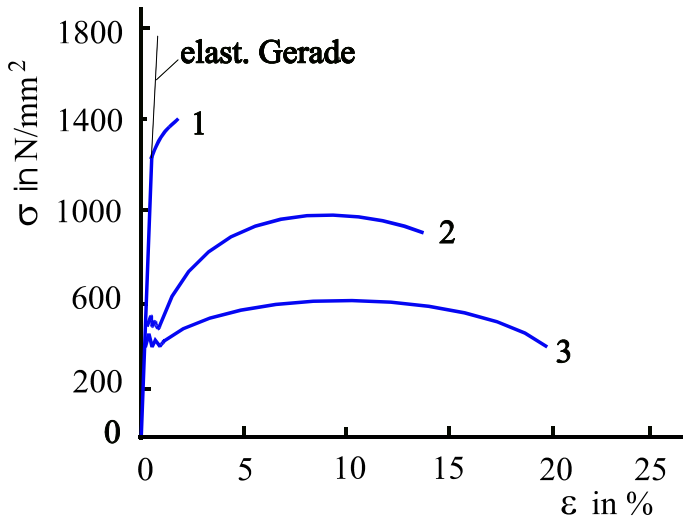


Abb. 25:

σ-ε-Diagramm (s auch Kap. „Mechanische Eigenschaften“) von

1:

2:

3:

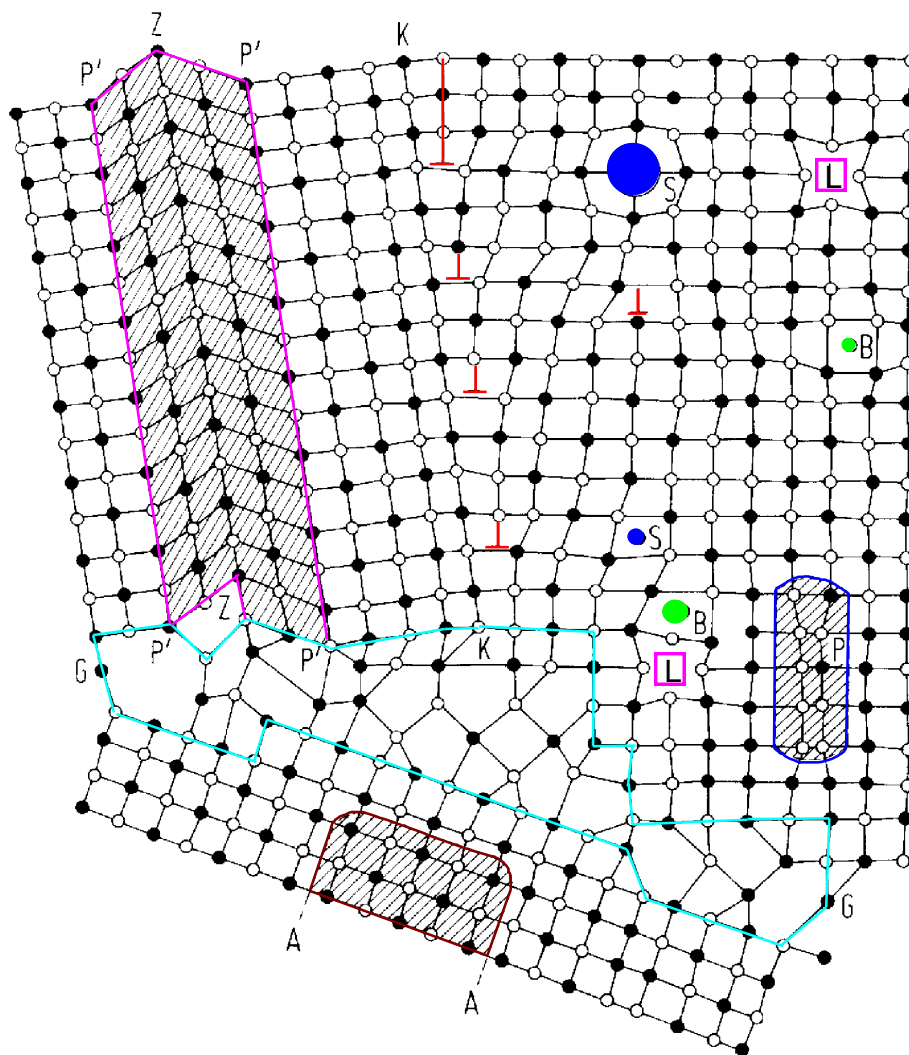


Abb. 26: Gitterfehler: schematische Übersicht

Es bedeuten:

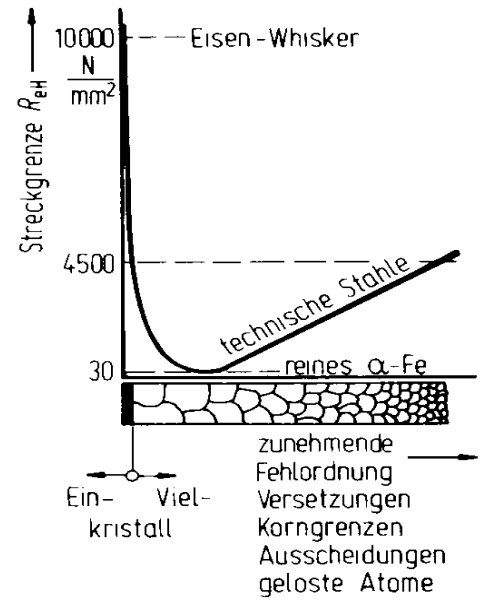


Abb. 27: Gitterfehler und Streckgrenze von Stählen

Zum Thema Gitterfehler empfehle ich den Aufsatz „[Gitterfehler in Metallen](#)“ auf meiner Homepage

### Gitterbaufehler (GB)

## 4. Umformtechnik

### 4.1 Nomenklatur und Kenngrößen

bekannt aus Zugversuch:

$$\sigma(N) = F/A_0 \Rightarrow \text{Spannung (nominell)}$$

$$\varepsilon(N) = \Delta l/l_0 \Rightarrow \text{Dehnung (nominell)}$$

in der Umformtechnik:

$$\sigma_w = F/A = \text{wahre Spannung} = k_f = \sigma(N) (1 + \varepsilon(N)/100)$$

$\Rightarrow$  Formänderungsfestigkeit (Fließspannung)

$$\varepsilon_w = \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l} = \text{wahre Dehnung} = \varphi = \ln(1 + \varepsilon(N)/100) = \ln(l_1/l_0)$$

$\Rightarrow$  logarithmiertes Formänderungsverhältnis (Umformgrad)

$\Rightarrow$  Fließkurve:  $k_f = f(\varphi)$



**Kenngrößen:**

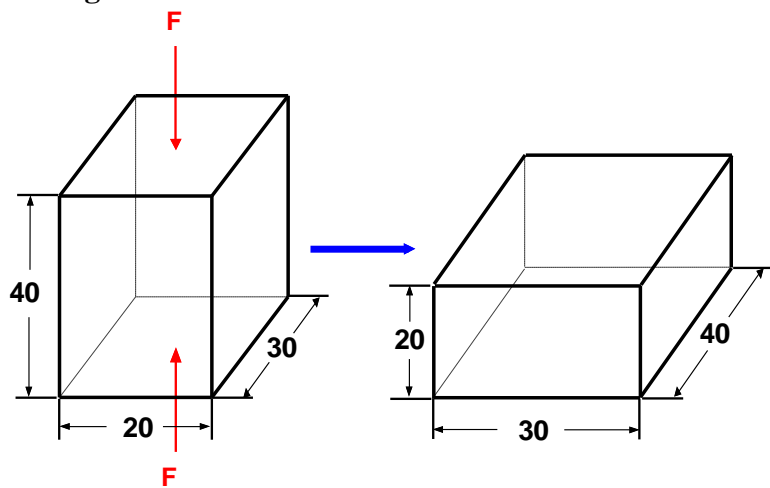


Abb. 28:  
Kenngrößen der Formänderung

**vor**                      **nach**    dem Umformen (schematisch)

$$h_0 = 40 \text{ mm}, l_0 = 20 \text{ mm}, b_0 = 30 \text{ mm} \quad h_1 = 20 \text{ mm}, l_1 = 30 \text{ mm}, b_1 = 40 \text{ mm}$$

1.  $V = \text{const.} (V_1 = V_2)?$

$$\frac{h_1 \cdot l_1 \cdot b_1}{h_0 \cdot l_0 \cdot b_0} = \frac{20\text{mm} \cdot 30\text{mm} \cdot 40\text{mm}}{40\text{mm} \cdot 20\text{mm} \cdot 30\text{mm}} = 1$$

2. absolute Formänderung:

$$\Delta b = \quad = \quad \text{mm}$$

3. bezogene Formänderung:

$$\varepsilon_b = \quad =$$

4. Formänderungsverhältnis:

$$\frac{l_1}{l_0} = \quad =$$

5. logarithmiertes Formänderungsverhältnis 

$$\varphi_h = \dots = |\dots\dots\dots|$$

6. Volumenkonstanz

$$\varphi_h + \varphi_b + \varphi_l = -0,693 + 0,287 + 0,406 = 0$$

→ die Summe der Umformgrade ist 0 !

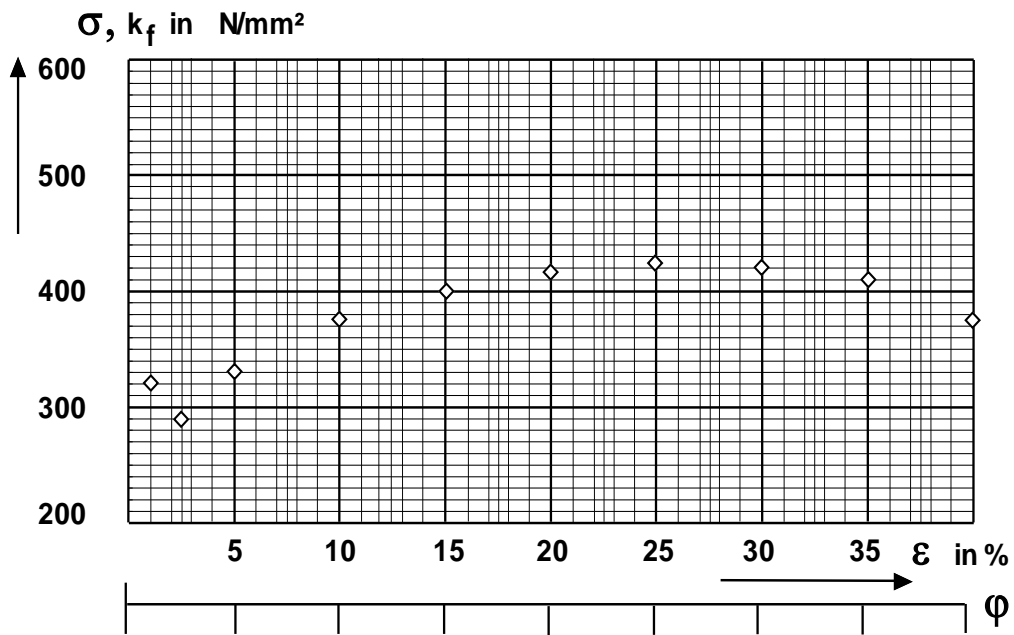
Jede Umformzone hat 3 Umformgrade. Der Umformgrad der Hauptumformrichtung hat von den genannten Umformgraden den größten Betrag und wird \_\_\_\_\_ genannt.



Er kann aus der Hauptumformrichtung  $\varphi_1$  oder aus den Nebenumformrichtungen entsprechend \_\_\_\_\_ berechnet werden.

Nur der Hauptumformgrad ist bei der Berechnung von Kraft- und Arbeitsbedarf (Fließkurve) zu berücksichtigen.

## 4.2 $\sigma$ - $\epsilon$ - Diagramm und Fließkurve ( $T < T_R$ )



$\epsilon$ %	$\sigma$ N/mm <sup>2</sup>	$k_f$ N/mm <sup>2</sup>
2,5		
5		
10		
15		
20		
25		
30		

$\epsilon$ %	$\varphi$ 1
2,5	
5	
10	
15	
20	
25	
30	

$K_f =$

$\varphi =$

Abb. 29: Ermittlung einer Fließkurve aus einer Spannungs-Dehnungs-Kurve

### 4.3 Linearisierung der Fließkurve nach Reihle/Ludwik für $T < T_R$ :

#### 5.3.1 Übung zur Linearisierung der Fließkurve nach Reihle/Ludwik:

$$k_f = c \cdot \varphi^n$$

$$n = \tan \alpha = \frac{\Delta \log k_f}{\Delta \log \varphi} = 0,$$

$$\varphi = 1 \rightarrow c = \frac{k_f}{\varphi^n} \Rightarrow k_f = c \cdot \varphi^n$$

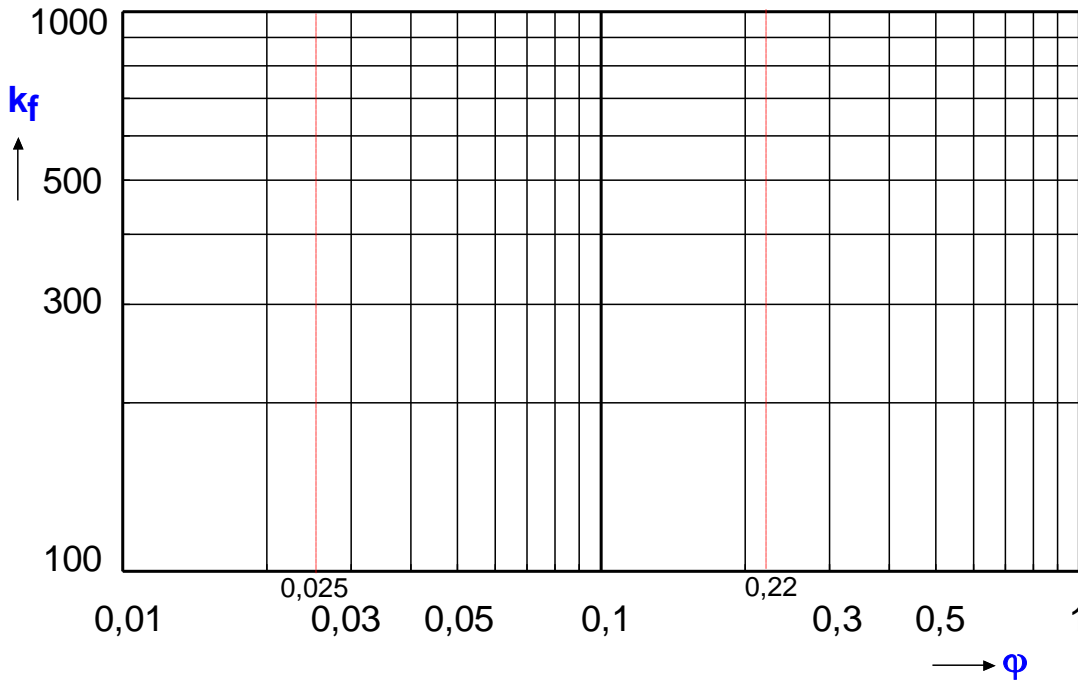


Abb. 30: Fließkurve nach Reihle (Ermittlung von c und n)

Umformtechnische Kennwerte einiger Metalle (Formel von Reihle)

Nr.	Werkstoff	Werkstoff-Nr.	$K_f$ ( $\varphi = 0$ ) N/mm <sup>2</sup>	$K_f$ ( $\varphi = 0,1$ ) N/mm <sup>2</sup>	$K_f$ ( $\varphi = 1,0$ ) N/mm <sup>2</sup>	$K_f = c \cdot \varphi^n$ N/mm <sup>2</sup>
1	Al 99,5	3.0255	20...60	60...90	120...140	$135 \cdot \varphi^{0,2553}$
2	AlMn	3.0515	40...90	120...160	180...230	$205 \cdot \varphi^{0,1656}$
3	AlMg5	3.3555	110...180	270...300	420...520	$470 \cdot \varphi^{0,2173}$
4	AlMgSi0,5	3.3206	65...145	150...180	200...250	$225 \cdot \varphi^{0,1347}$
5	CuZn15	2.0240	132	290	590	$590 \cdot \varphi^{0,2951}$
6	CuZn28	2.0261	145	300	720	$720 \cdot \varphi^{0,3689}$
7	UQSt 36-2	1.0204	170...200	300...370	580...660	$620 \cdot \varphi^{0,2687}$
8	QSt 32-2	1.0303	220	330...420	620...730	$675 \cdot \varphi^{0,2570}$
9	<b>Ck 10</b>	1.1121	220...225	330...450	640...740	
10	Cq 35	1.1172	370	540	848	$848 \cdot \varphi^{0,1817}$

11	15 Cr 3	1.7015	230...280	480...600	680...790	735·φ <sub>0,1354</sub>
----	---------	--------	-----------	-----------	-----------	-------------------------

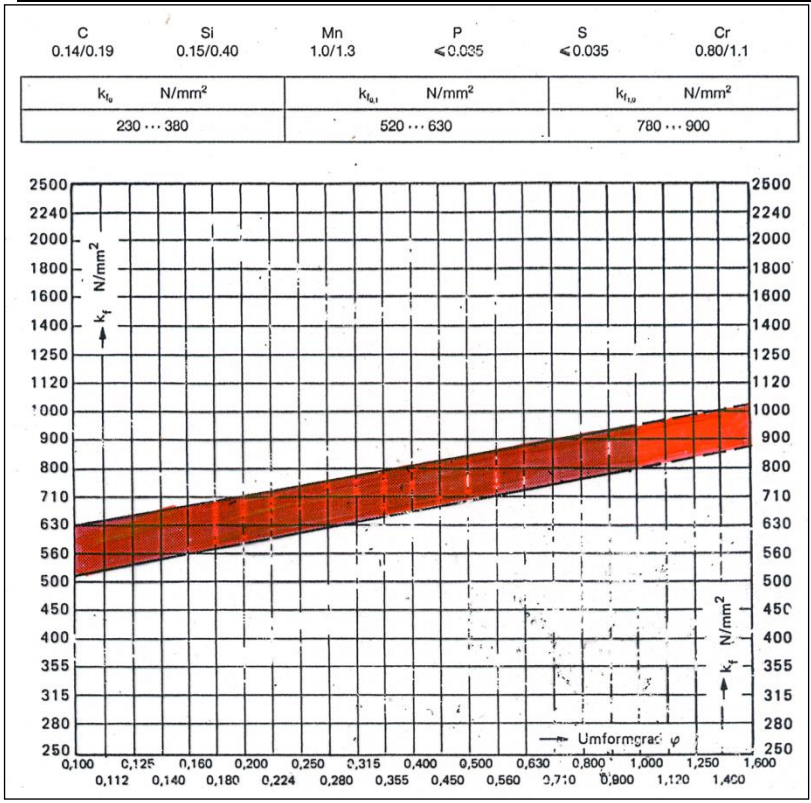


Abb. 31:  
 Linearisierte Fließkurve für  
 16 MnCr 5 mit Streubereich  
 (DIN 1627 / 17210)

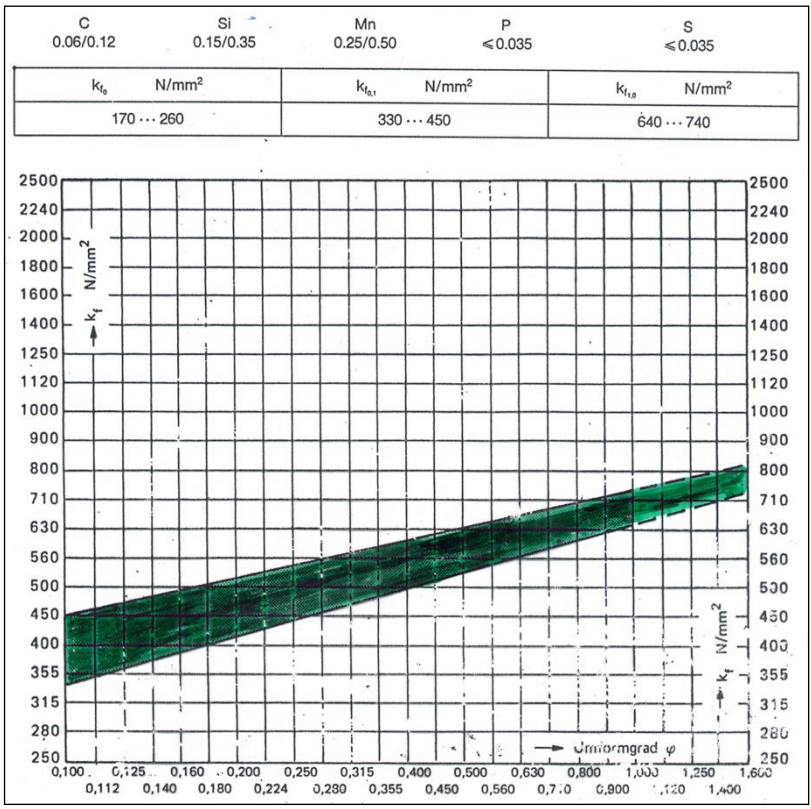


Abb. 32:  
 Linearisierte Fließkurve für  
 Ck 10 mit Streubereich  
 (DIN 1627 / 17210)

Ursachen für den Streubereich:

- 
-

## 4.4 Umformverfahren bei verschiedenen Temperaturen

(Charakterisierung, Vor- u. Nachteile)

**Kaltumformung:**



**(Lauwarmumformen):**

**Halbwarmumformen:**

**Warmumformung**



**Superplastizität:**

**Thixoforming:**

## 4.4.1 Lauwarmumformung

Bisher (2010) fand eine Einteilung der Massivumformverfahren in Bezug auf die Rohteiltemperatur vor der ersten Umformstufe in Kalt-, Halbwarm- und Warmumformung statt. Der Temperaturbereich zwischen Kalt- und Halbwarmumformung wird neuerdings auch als „Lauwarmumformung“ bezeichnet und rückt sowohl aus wissenschaftlicher als auch aus industrieller Sicht in den Fokus des Interesses.

Verfahren der Kaltmassivumformung von Stahl ermöglichen, meistens in Grenzen eines gewissen Teile- und Werkstoffspektrums, eine net-shape-Fertigung – die Herstellung von Bauteilen mit einbaufertigen Funktionsflächen – oder zumindest eine near-net-shape-Fertigung mit nur geringem Aufwand an spanender Nacharbeit. Grenzen des Kaltfließpressens bestehen bei der Fertigung von immer komplexer werdenden Bauteilen mit höchsten Qualitätsanforderungen. Das Umformvermögen mancher Werkstoffe reicht für die Herstellung solcher Bauteile durch Kaltumformung nicht aus oder die Werkzeugbelastungen werden so hoch, dass geringe Werkzeugstandzeiten solche Verfahren aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht sinnvoll erscheinen lassen.

Auf der Suche nach Lösungen zur wirtschaftlichen Herstellung von Massivumformteilen mit hohen Qualitätsanforderungen wird neuerdings verstärkt auch der Ansatz verfolgt, im Temperaturbereich zwischen Raumtemperatur und industriell angewandter Halbwarmumformung fließzupressen. Von besonderem Interesse sind für Stahlwerkstoffe Temperaturen unter und oberhalb des so wohl werkstoff- als auch temperatur- und umformgeschwindigkeitsabhängigen Blausprödigkeitsbereichs. Bei diesen Temperaturen umgeformte Werkstoffe zeichnen sich, verglichen mit der Kaltumformung, durch ein höheres Duktilitätsvermögen und niedrigere Fließspannungen aus (Bild 1). Die Industrie erhofft sich durch die Umformung bei diesen Temperaturen die Herstellbarkeit von Werkstücken mit annähernd gleichbleibender Genauigkeit und Oberflächenqualität wie bei der Kaltumformung, jedoch bei erweiterten Möglichkeiten der Formgebung durch Erhöhung des Umformvermögens und bei höheren Werkzeugstandzeiten durch niedrigere Prozesskräfte.

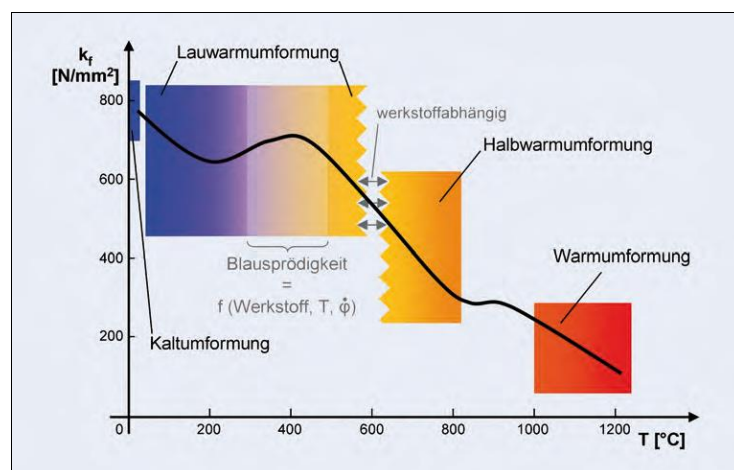


Abb. 33:  $K_f = f(T)$  für ferritische Stähle sowie T-Bereiche der Umformverfahren

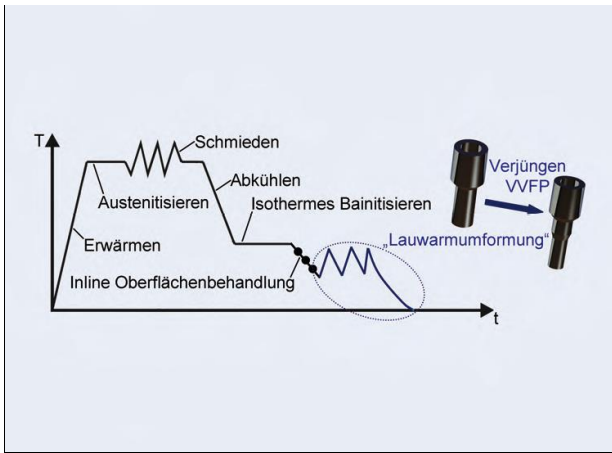


Abb. 34: Ressourceneffiziente Prozesskette zur Herstellung von Hochleistungsbauteilen



Abb. 35: Kugelnabe und Trisphär, hergestellt in geschlossenen Werkzeugen als Beispiele für lau warm umgeformte Bauteile

Zum Thema s. auch „[Lauwarmumformung.pdf](#)“

### Blausprödigkeit:

Blausprödigkeit bezeichnet das Verhalten gehärteter Stähle, bei Anlasstemperaturen zwischen 200 und 350°C an Zähigkeit zu verlieren. Bei Verformung der Stähle in diesem Temperaturbereich besteht die Gefahr des sogenannten Blaubruchs, da sich die Bruchfläche blau färbt (Anlassfarbe).

Ursache hierfür ist

- A) die Ausscheidung von Zementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) aus dem Martensit (Stahllexikon)
- B) Ausscheidung von C und N auf den Korngrenzen (Wikipedia)
- C) Wanderung von N an die Versetzungen (s. Praktikum „Kerbschlagbiege...“)

Durch Zugabe von Si kann die Blausprödigkeit zu höheren Anlasstemperaturen verschoben werden.



## 4.4.2 Halbwarmumformung

Unter der Bezeichnung "Halbwarmumformung" versteht man in der Theorie einen Umformvorgang, vor dem das Werkstück soweit angewärmt wird, dass die Fließspannung insgesamt deutlich abgesenkt wird, aber immer noch eine bleibende Verfestigung eintritt. Diese Definition bedeutet, dass die Umformung unterhalb der Rekristallisationstemperatur durchgeführt wird. In der Praxis wird der Begriff "halbwarm" auch für Temperaturen angewendet, die über dieser liegen und bezeichnet damit Umformen (von Stahl) im Temperaturbereich von 600 bis etwa 900°C. Die Untergrenze ist dabei durch die Blausprödigkeit gegeben, während die Obergrenze durch eine verstärkte Zunderbildung gesetzt ist.

Erst in den 70-er Jahren wurde die Halbwarmumformung in industrielle Anwendungen eingeführt. Mittlerweile hat sich für die Halbwarmumformung ein bestimmtes Produktspektrum herauskristallisiert. Das Ziel der Halbwarmumformung ist, die Vorteile des Kaltfließpressens mit denen der Warmmassivumformung zu verbinden. Durch die erweiterten Formgebungsmöglichkeiten gegenüber der Kaltmassivumformung einerseits sowie durch die höheren Genauigkeiten gegenüber den Warmumformverfahren andererseits lässt sich das Teilespektrum der Halbwarmumformung wie folgt definieren: Vorwiegend rotations-symmetrische Bauteile, ähnlich den Kaltfließpressteilen, aber aus höher legierten Werkstoffen, die nicht oder nur eingeschränkt kaltumformbar sind. Daneben können aber auch Bau-teile, die bisher durch Kaltfließpressen hergestellt wurden und die Zwischenglühoperationen benötigten, bei einer gewissen Toleranzaufweitung durch Halbwarmumformung rationeller hergestellt werden.

Da die Fließspannung im erwähnten Temperaturbereich immer noch etwa zwei bis dreimal so hoch ist wie bei üblichen Warmumformtemperaturen, ist die Werkzeugbeanspruchung ebenfalls entsprechend höher. Das bedeutet, dass die Werkzeugtechnik sich ebenfalls an der der Kaltumformung orientieren muss: Die Werkzeuge müssen vorgespannt sein und an Hohlkehlen und bruchgefährdeten Stellen geteilt werden. Auch hieraus ergibt sich, dass das Formenspektrum dem des Kaltfließpressens ähnlicher ist als dem der Warmmassivumformung.

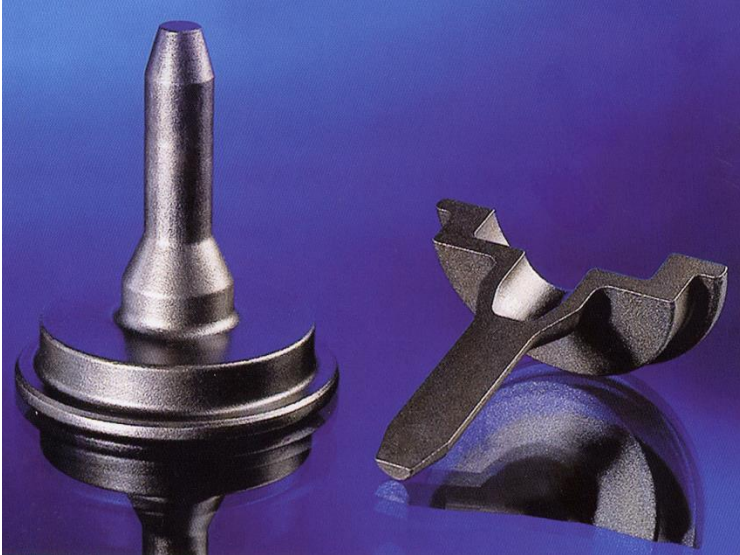


Abb. 36: Durch Halbwarmumformung hergestellte Mittenwelle

Aus „Kaltmassivumformung, Präzision in großen Serien“ von der Infostelle „Industrieverband Massivumformung“

## **Verfahrenskombination: Halbwarm - / Kaltmassivumformung**

Wie aus den vorstehenden Abschnitten ersichtlich, hat jedes der verschiedenen Umformverfahren spezifische Eigenschaften. Da die Präzisionsumformung von Stahl eine immer größere Bedeutung erlangt, insbesondere für den Automobilssektor, ist die Weiterentwicklung der Herstellungsverfahren Kalt- und Halbwarmumformung sowie deren Kombinationen von größter Bedeutung. Insbesondere die Kombination verschiedener Umformverfahren zur Nutzung der jeweiligen Technologiepotenziale, wie z. B. das hohe Umformvermögen bei der Halbwarmumformung und die hohe Genauigkeit der Kaltmassivumformung, hat sich in jüngster Vergangenheit stark entwickelt.

Durch eine Kombination vom Halbwarm- mit dem Kaltmassivumformen lassen sich immer dann wirtschaftlich Werkstücke herstellen, wenn zum Einen bestimmte Maße mit einer hohen Genauigkeit hergestellt werden müssen, zum Andern aber die Umformung so groß ist, dass beim Kaltpressen mindestens einmal eine Zwischenglühoperation eingeschaltet werden muss. Die Prozessfolge entspricht im Wesentlichen einer Aneinanderreihung der Prozessschritte. Nach der Halbwarmumformung müssen die Werkstücke lediglich gestrahlt und erneut beschichtet werden.

Die im Bild 2 abgebildeten Tripodenwellen für Gleichlauf-Schiebegelenke sind aus dem Werkstoff Cf 53, der nur begrenzt kalt umformbar ist, gefertigt. Nach einer Halbwarmumformung werden die Rohlinge beschichtet und kalt abgestreckt. So lassen sich Rollenlaufbahnbreiten in der Innenkontur herstellen, die eine Toleranz von  $\pm 0,03$  mm aufweisen, so dass innen keine spanende Nacharbeit mehr nötig ist. Nach dem Induktionshärten müssen diese hoch präzisen Bauteile eine Laufbahntoleranz von  $\pm 0,05$  mm aufweisen. Eventuelle Härteverzüge werden bereits vorgehalten.

Auch das in Bild 14 dargestellte Gelenkwelle wird aus dem induktivhärtenden Stahl Cf 53 hergestellt. Gleichzeitig werden aber sehr hohe Anforderungen an die Maß- und Formtoleranzen gestellt, um die sehr aufwändige spanende Endbearbeitung in den Laufbahnen zu beschränken. Da diese Toleranzen durch eine Warmmassivumformung nicht erreichbar sind und der Umformgrad für eine reine Kaltmassivumformung viel zu groß ist, werden diese Bauteile durch eine Kombination von Halbwarmfließpressen und anschließendem Kaltkalibrieren hergestellt. Während der Halbwarmoperationen wird der Zapfen mit einer Durchmesser-toleranz von 0,3 mm in mehreren Stufen bei ca. 850°C umgeformt. Die Durchmesser der kaltgepressten Kugellaufbahnen auf der Innenseite der Gelenkwellen erreichen eine Genauigkeit von  $\pm 0,1$  mm. Nach dem Härten müssen die Kugellaufbahnen nur noch auf Fertigmaß bearbeitet werden.

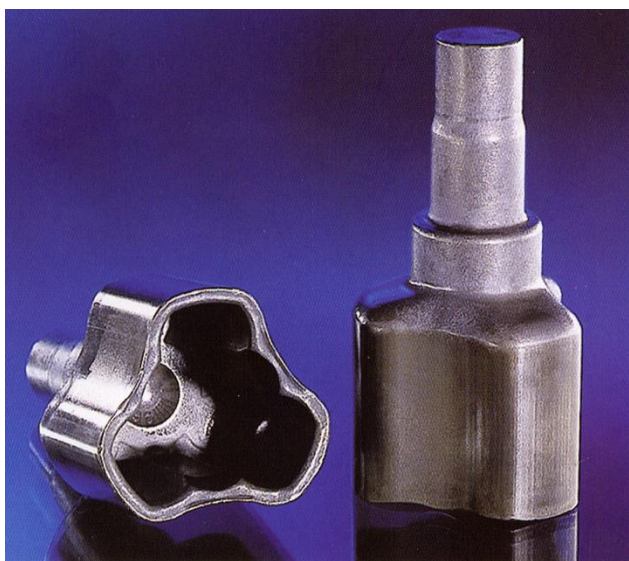


Abb. 37: Durch die Kombination aus Halbwarm- und Kaltmassivumformung hergestellte Tripodenwelle

Aus „[Kaltmassivumformung, Präzision in großen Serien](#)“ von der Infostelle „Industrieverband Massivumformung“, s. auch Halbwarmumformung bietet für bestimmte Werkstoffe Vorteile von Kalt- und Warmumformung, z.B.

Vergleich Warm-, Halbwarm- und Kaltumformung (\*VDW-Studie von 1991)

$\Rightarrow k_f \approx k_f/2$  und  $\Rightarrow \varphi \approx 2\varphi$  gegenüber Kaltumformung

Werkstoffe: Cf 45, Cf 53, Cf 60 nur HW  
 34 Cr 4, 41 Cr 4 u.a. HW  
 25 CrMo 4, 34 CrMo 4, 42 CrMo 4 u.a. HW

Umform-T: ca.: 600 - 900 °C

Umformung	Warm	Halbwarm	Kalt
Werkstückgewichte	0,05 - 1500 kg	0,001 - 50 kg	0,01 - 30 kg
Genauigkeit	IT 13 - 16	IT 11 - 14	IT 8 - 11
Oberflächengüte	> 50 - 100 $\mu\text{m}$	> 30 $\mu\text{m}$	> 10 $\mu\text{m}$
Fließspannung ( $k_f$ )	$\approx 20 - 30 \%$	$\approx 30 - 50 \%$	100 %
Umformvermögen	$\varphi \leq 6$	$\varphi \leq 4$	$\varphi \leq 1,6$
Umformkosten*	bis 113 %	100 %	bis 147 %
Spanende Nacharbeit	hoch	gering	sehr gering

Ergänzendes zu den Themen „Halbwarmumformen“ und „Vergleich von Kalt- und Halbwarmmassivumformung“ finden Sie auf meiner Homepage unter: „[Halbwarmumformung](#)“ und „[Kaltmassivumformung](#)“.

### 4.4.3 Superplastizität (S.)

Unter **S.** ist das Auftreten einer außergewöhnlich starken plastischen Verformung ohne Einschnürung oder Bruch zu verstehen. Während die metallischen Werkstoffe im Zugversuch normalerweise bei Dehnungen von weit weniger als 100 % zu Bruch gehen, liegen beim superplastischen Verhalten Dehnungen von mehreren hundert oder sogar tausend Prozent vor, s. Graphik. (Au:  $A_5$  ca. 60 %).

#### Vorteile:

- großer Umformgrad
- Erhöhung
- Reduzierung

**Nachteile:** → s. Voraussetzungen

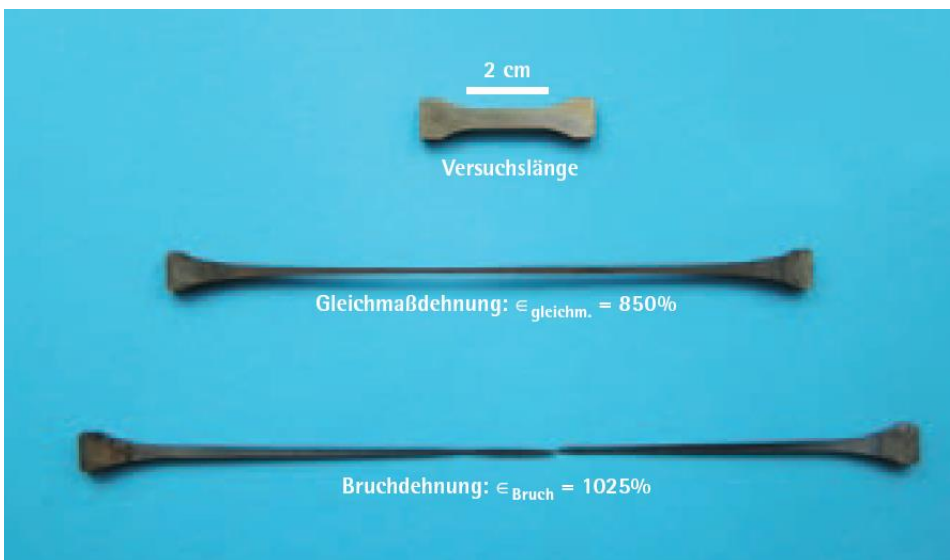


Abb. 38:  
Dehnbarkeit eines superplastischen Stahls

#### Voraussetzungen:

- 
- 
- 

Sie wurde sowohl bei einphasigen als auch bei mehrphasigen Werkstoffen beobachtet, wobei im letztgenannten Fall die Phasen etwa in gleicher Menge vorliegen müssen. Daher bauen viele superplastische Legierungen auf eutektischen oder eutektoiden Systemen aus zwei Komponenten mit annähernd gleicher Schmelztemperatur auf.

#### Mechanismes:

Die atomistischen Mechanismen der **S.** sind noch nicht völlig geklärt. In Frage kommen drei Möglichkeiten, die aber wahrscheinlich miteinander kombiniert werden müssen:

- 
- 
-

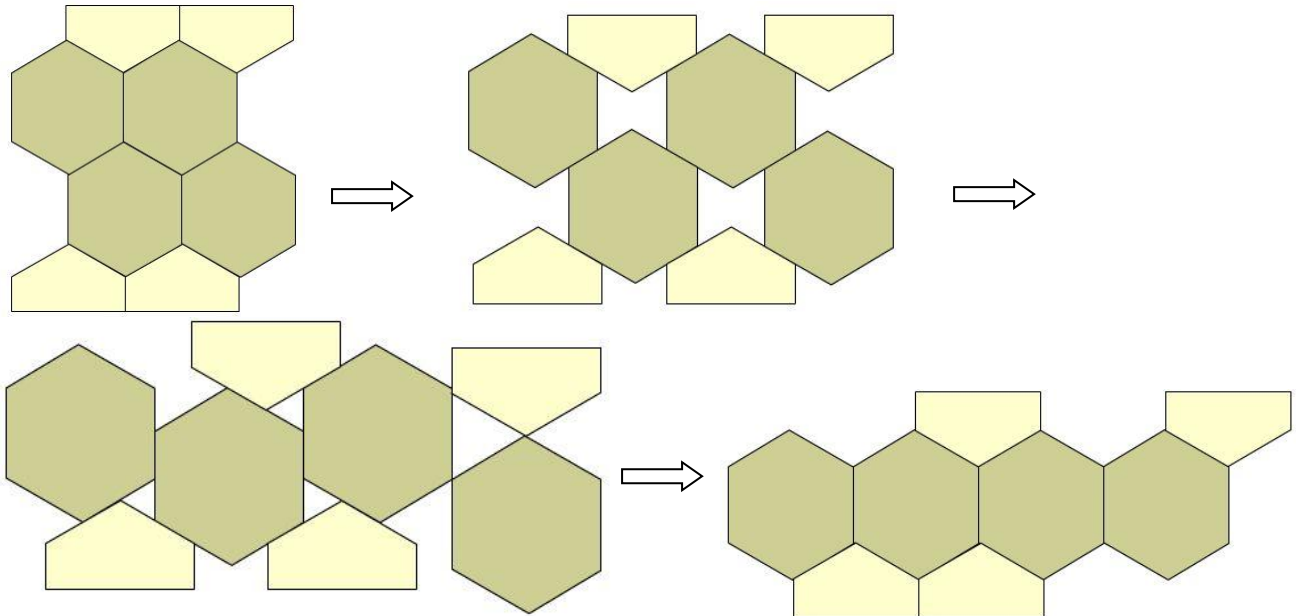


Abb. 39: Prinzip der Korngrenzenwanderung (Korngrenzengleiten)

Die ständig wachsende Zahl superplastischer Legierungen läßt vermuten, daß **S.** ein allgemeiner Werkstoffzustand ist, in den sich alle Legierungen durch eine geeignete Kombination von Gefügestand und Verformungsbedingungen bringen lassen. Heute (2009) werden auch Mg- und Ti- Werkstoffe superplastisch verarbeitet

Es hat sich bisher insbesondere eine Al-Zn-Legierung bewährt, die zu je etwa 50% aus kfz und hdP Mischkristallen in feinkristalliner Form (Mikroduplexgefüge) besteht; aber auch feinkristalline  $\alpha + \beta$ -Messing-,  $\alpha + \beta$ -Titan und  $\alpha + \gamma$ -Eisenlegierungen sind superplastisch verformbar.

Auch die Fähigkeit keramischer Stoffe, sich bei niedrigen Druckspannungen unter gleichzeitiger Phasenumwandlung plastisch verformen zu lassen, wird zu den Erscheinungen der **S.** gezählt.

In der Regel ist das Kriechen der Werkstoffe ein schädlicher Vorgang, der über längere Zeiträume zu Formänderung oder Rissbildung und folglich Versagen eines Bauteiles führen kann.

Absichtlich herbeigeführt wird eine zeitabhängige Verformung beim Warmumformen, speziell beim **superplastischen** Umformen. Man strebt dabei ein mechanisches Verhalten entsprechend den viskos fließenden Flüssigkeiten an. Der Werkstoff soll ohne einzuschnüren sehr hohe Verformungsgrade erlauben und durch Fertigungsverfahren, die dem Glasblasen ähnlich sind, verarbeitbar sein. Es hat sich bisher insbesondere eine Al-Zn-Legierung bewährt, die zu je etwa 50% aus kfz und hdP Mischkristallen in feinkristalliner Form (Mikroduplexgefüge) besteht; aber auch feinkristalline  $\alpha + \beta$ -Messing-,  $\alpha + \beta$ -Titan- und  $\alpha + \gamma$ -Eisenlegierungen sind superplastisch verformbar. Im makroskopischen Verformungsverhalten dient zur Kennzeichnung der Eignung einer Legierung für diesen Prozeß der Dehnungsraten-Empfindlichkeit-Exponent  $m$ :

$$m = \frac{d \ln \sigma}{d \ln \dot{\varphi}}$$

der  $m = 1$  für quasi viskoses Fließen erreicht und für superplastische Legierungen  $m > 0,6$  betragen sollte.



Abb. 40:  
Beispiel für superplastische Umformung von Ti:  
Zahnriemenscheibe aus TiAl6V4

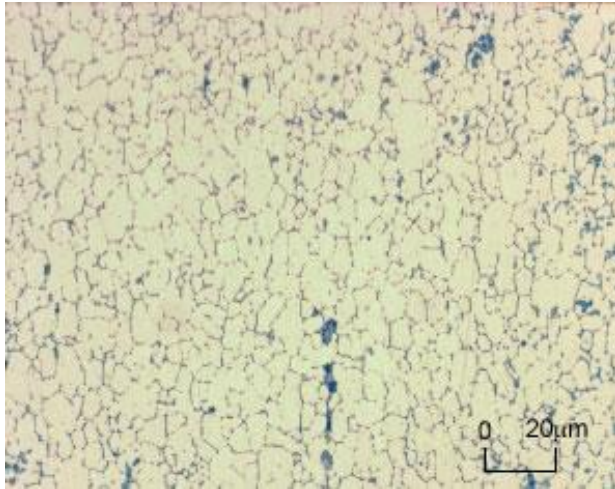
### Superplastizität : Metalle so dehnbar wie Gummi

(passender Artikel aus vdi-nachrichten, 2006 → S. bei Stahl)

Gummibänder lassen sich weit in die Länge ziehen, ohne zu zerreißen. Das weiß jedes Kind. Dass auch Stähle so dehnbar sind, dürfte verblüffen. So ist es den Werkstoffkundlern am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in den vergangenen Jahren gelungen, Stähle herzustellen, die sich bis zu 1000 (!) Prozent dehnen lassen, ohne zu brechen. Anders als beim Gummiband ist diese Verformung freilich bleibend - plastisch, wie Experten sagen. Diese so genannte Superplastizität ist auf sehr feine und gleichmäßige Körnchen, so genannte Kristallite, im Stahl zurückzuführen. Mikroskopische Analysen der Stähle ergaben, dass sich unter bestimmten Temperaturen und Umformbedingungen gleichmäßig rundliche Kristallite in Mikrometergröße bilden. Dehnt man den Stahl, gleiten und rotieren die Kristallite leicht aneinander vorbei. Wären sie lang gestreckt, würden sie sich eher blockieren.

Auch hier spielen wieder verschiedene Gefügebestandteile im Stahl eine Rolle - etwa Austenite oder Karbide - besonders feste Metall-Kohlenstoffverbindungen. Denn die Gleitbewegung spielt sich vor allem an den Grenzen dieser Gefüge ab. Bislang ist die Düsseldorfer Arbeitsgruppe weltweit die einzige, die in der Lage ist, besonders feste superplastisch dehbare Stähle für den Leichtbau zu erzeugen. Denn das typische Kristallgefüge stellt sich nur bei ganz bestimmten Herstellungsprozessen und Legierungen (Metallmischungen) ein. So werden die superplastischen Stähle beispielsweise bei nur etwa 700 bis 800 Grad Celsius verarbeitet und zu Bauteilen geformt; für gewöhnlich schmiedet man bei etwa 1050 bis 1150 Grad Celsius. Darüber hinaus wird der superplastische Stahl etwas langsamer in seine Endform gepresst beziehungsweise geschmiedet. Nur so kommen die superplastischen Verformungsmechanismen voll zum Tragen. Superplastische Stähle lassen sich beispielsweise zu Getriebeteilen wie Ritzeln schmieden. Ihr Vorteil: Da sie sich so stark dehnen, können sie leichter in Form gebracht werden. Die Umformwerkzeuge verschleifen dadurch weniger schnell. Das gleiche gilt für die Nachbearbeitung an Dreh- oder Fräsmaschinen. Ein weiterer Vorzug: Dank der niedrigen Bearbeitungstemperatur lässt sich Energie sparen. Bislang nutzen Hersteller die superplastischen Stähle vor allem für den Bau von Maschinen. Inzwischen zeigen aber auch die Automobilkonzerne Interesse an dem reißfesten Hightech-Material.

## Weiteres Beispiel: Al-Werkstoff:



**Abb. 41:**

**Mikrogefüge mit feiner Körnung.  
Werkstoff: EN AW-5083**

Lösungsglühen für 15 Minuten bei einer Temperatur von 525°C mit anschließendem Wasserabschrecken und Aushärten für 24 Stunden bei 150°C wurde als bevorzugte Behandlung für die Metallographie verwendet. Die Probe wurde mechanisch poliert und mit Graf-Sergeant-Reagenz geätzt (15,5 cm<sup>3</sup> HNO<sub>3</sub>, 0,5 cm<sup>3</sup> HF, 3g Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und 84 cm<sup>3</sup> Wasser).

Um die feine Korngröße bei der superplastischen Umformtemperatur für die Dauer der superplastischen Umformung zu erhalten, muss eine zweite Phase an den Korngrenzen vorhanden sein. Aus diesem Grunde basieren viele superplastische Werkstoffe auf Eutektoiden (z. B. Fe-C), Eutektika (z. B. Al-Cu), oder Monotektoiden (z. B. Zn-Al).

Diese Werkstoffe können thermomechanisch bearbeitet werden, um feine zweiphasigen Gefügen herzustellen.

Viele Aluminiumlegierungen werden durch den Zusatz einer kleinen Menge Zirkon superplastisch. Es entsteht eine sehr feine Verteilung von ZrAl<sub>3</sub>, die das Kornwachstum während der Rekristallisation einer stark verformten Matrix verhindert.

Die Festigkeit der Zweitphase sollte in der Regel die gleiche Größenordnung wie die der Matrix aufweisen. Ist die Zweitphase deutlich härter als die Matrix, kann Hohlrumbildung an der Partikel/Matrix-Grenzfläche stattfinden. In Anwesenheit einer Verteilung von feinen aber harten Partikeln kann Hohlrumbildung in der Nähe der Partikel während des superplastischen Fließens durch diverse Erholungsmechanismen verhindert werden.

Weiterführendes:

aus Internet → „Nema“ oder bei

Vollertsen, F. und S. Vogler: Werkstoffeigenschaften und Mikrostruktur. München-Wien 1989 oder bei Hornbogen: „Werkstoffe“

**Thixotropie** ist die Eigenschaft von Fluiden, unter der Wirkung einer Scherbeanspruchung eine zeitabhängige (geringere) Viskosität aufzuweisen.

#### 4.4.4 Thixo-Schmieden (als Sonderfall der Warmumformung)

ist Schmieden

Vorteil des Verfahrens:

#### Grundlage

der Thixofforming-Verfahren sind die Viskositätseigenschaften bestimmter Legierungen im Temperaturbereich zwischen Solidus- und Liquidustemperatur. Die werkstoffseitigen Voraussetzungen gehen aus der folgenden Abb.1 hervor.

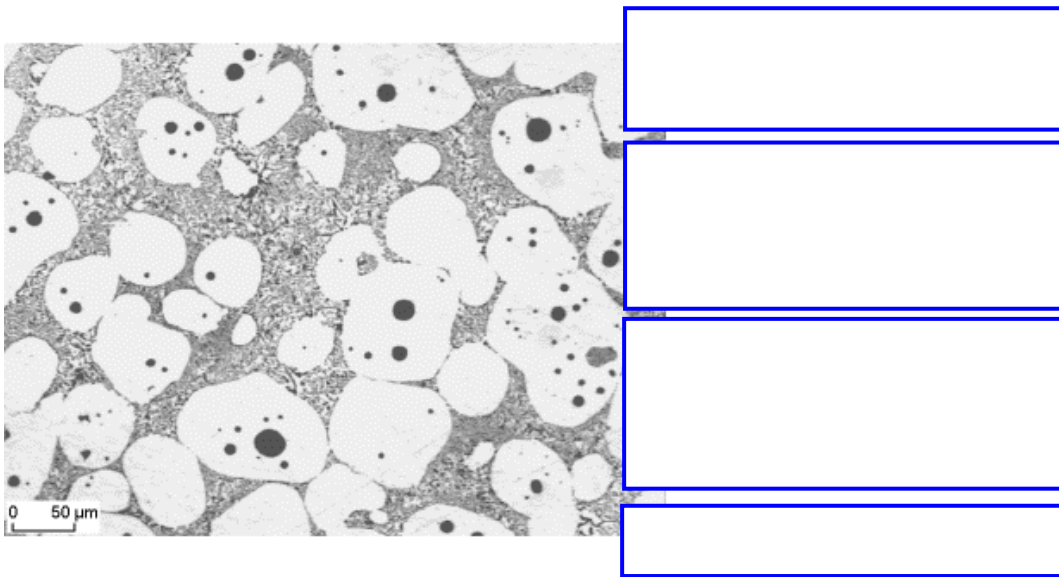


Abb. 42:  
Idealer Werkstoff für das Thixofforming

Es lassen sich nur solche Werkstoffe verarbeiten, die nach der Wiedererwärmung aus einem feinkörnigen, globularen Festphasenskelett, eingebettet in eine schmelzflüssige Matrix bestehen, s. Abb. 119. Der Anteil der flüssigen Phase soll % betragen.

Anhand des ZSD-Diagramms der entsprechenden Legierung können hierzu erste Aussagen getroffen werden, s. Abb. 120:

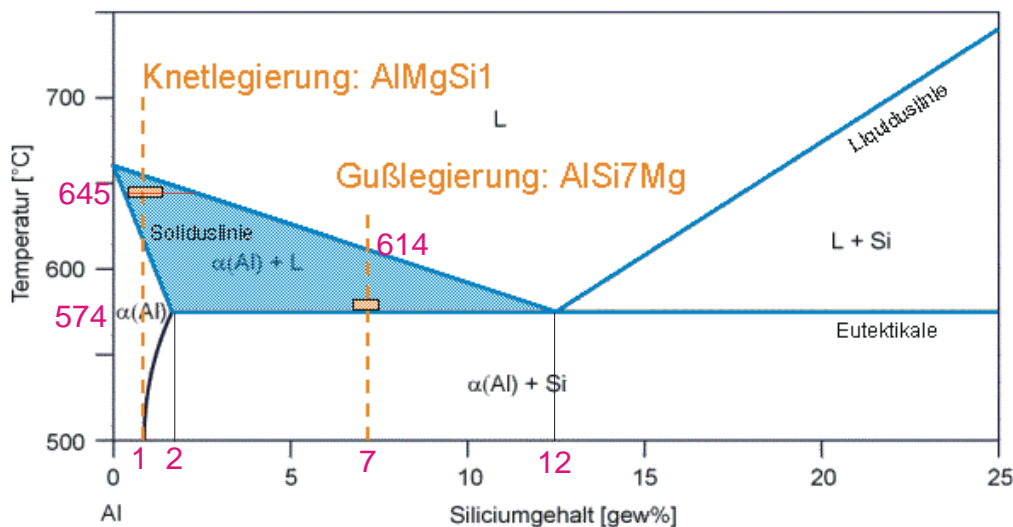


Abb. 43:  
Zustandsdiagramm Al-Si



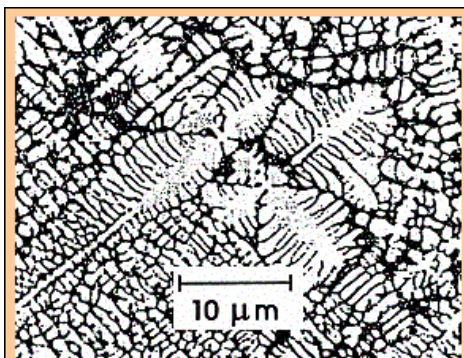
## Beispiele:

Über die Beziehung der Hebelarme lassen sich für den Gleichgewichtszustand die Phasenanteile bei bestimmten Temperaturen bestimmen. Die Legierung AlSi7Mg (A356 / A375) verfügt über einen Anteil von ca. % eutektischer Phase. Diese schmilzt bei einer festen Temperatur von ca. 574°C. Die dann noch festen primären Aluminiummischkristalle schmelzen dann im Temperaturbereich von 574-614°C.

Die Legierung AlMgSi1 (AA 6082) hingegen besitzt keine eutektischen Phasenanteile. Der Werkstoff besteht bei Raumtemperatur vollständig aus Alpha-Mischkristallen.

Um den geeigneten Werkstoffzustand zu erreichen, ist oft (vor allem bei Al-Legierungen) eine spezielle Behandlung des Vormaterials notwendig, z.B.:

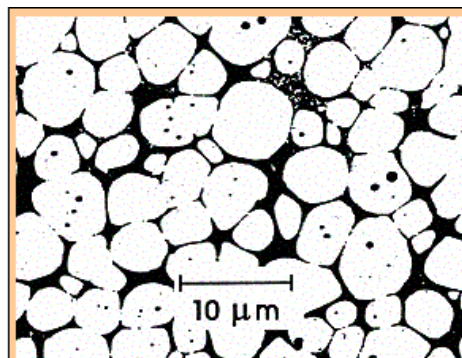
- elektromagnetisch Rühren beim Strangguss (MHD = Magnetohydrodyn.)
- chemische Kornfeinung
- Thermomechanische Behandlung (ZTU)
- mechanisches Rühren beim Strangguss
- Einleitung von Ultraschallschwingungen
- Pulvermetallurgie (PM)mechanisches Rühren beim Strangguss



dendritisches Gefüge

44a) konventionell erstarrter  
Werkstoff

(dendritisch = )



globulares Gefüge

127b) elektromagnetisch gerührt  
Strangguss erstarrt

(globular = )

Abb. 127a), b):  
Gefügevergleich

Weiterhin ist das Aufheizen vor dem Umformvorgang von entscheidender Bedeutung. Einen typischen Verlauf der WB vor dem Thixoschmieden zeigt die nächste Abb. Die Erwärmung wird meist induktiv durch-geführt.

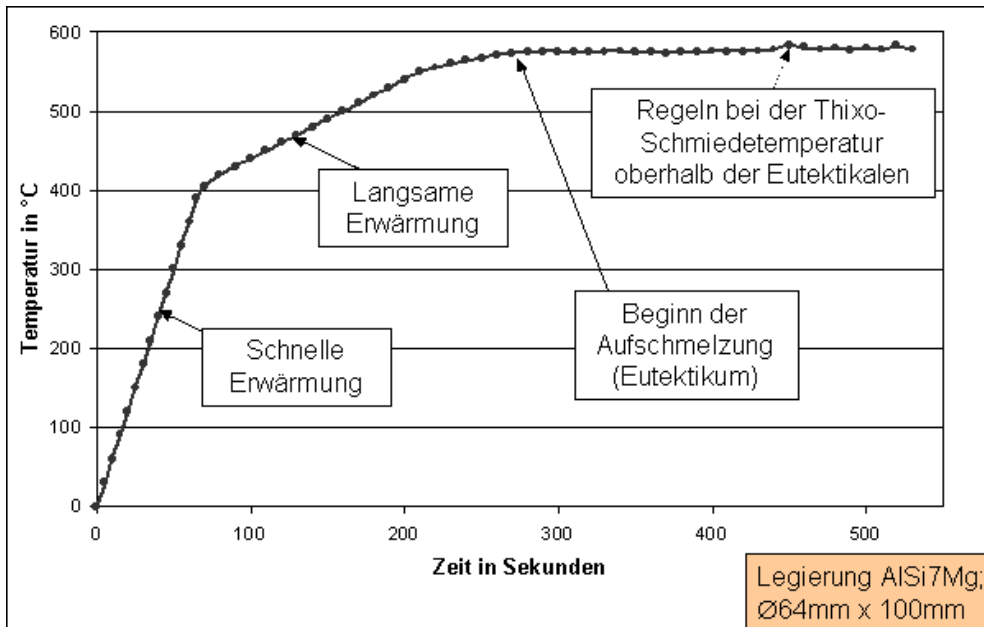


Abb. 45:  
WB vor dem Thixoschmieden

Geeignete Werkstoffe bestehen am Ende der Erwärmung aus einem Festphasenskelett, eingebettet in eine schmelzflüssige Matrix, s. Abb. 69 + 122b. Das bedeutet, dass die noch festen globular eingeformten Kristalle mit benachbarten Kristallen an kleinen Stellen verbunden sind (Contiguität). Dadurch besitzt das erwärmte Rohteil eine noch ausreichende Formstabilität um die Form zu behalten. Dies verhindert durch den, im Vergleich mit vollständig flüssigen Metallen, deutlich geringeren Wärmeübergangskoeffizient zum Behälter bzw. zur Auflage und zum Werkzeug das vorzeitige Erstarren des Rohteils. Wird das Rohteil umgeformt, d.h. kommt es zu einer Scherbeanspruchung, so brechen diese Verbindungen zwischen den festen Gefügebestandteilen auf, so dass die Fließspannung bzw. die Viskosität stark abnehmen. Es kommt zu einer Fließbewegung einzelner oder auch mehrerer noch zusammenhängender Körner in der schmelzflüssigen Matrix. Dies ermöglicht die Realisierung großer Formänderungen und die Herstellung geometrisch komplexer Werkstücke.

Es sind Al-, Cu- und Fe-Legierungen durch Thixoschmieden verarbeitbar! Einige Beispiele zeigen die nachfolgenden Gefügebilder.

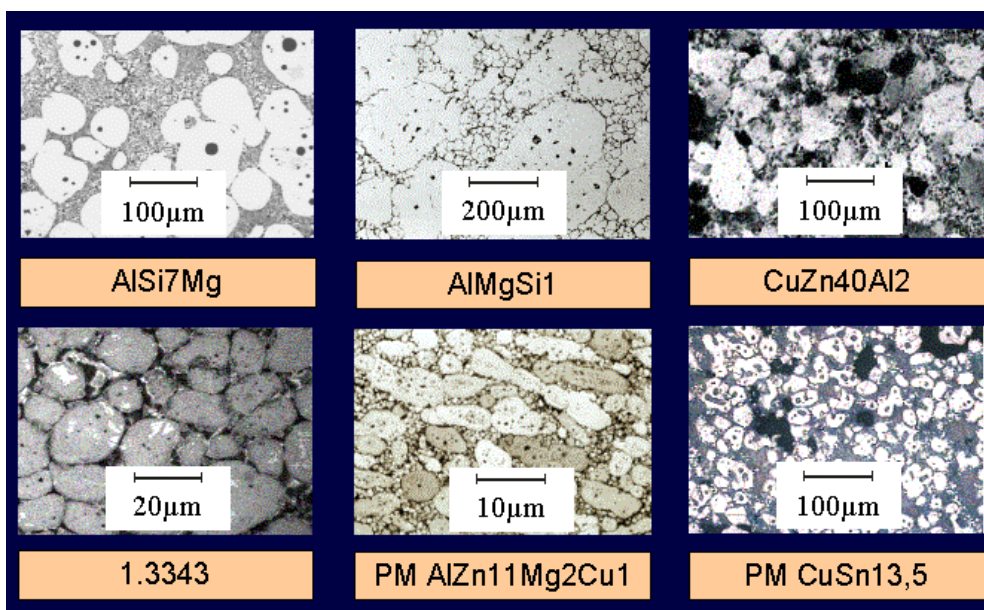


Abb. 46:  
1.3343 = S 6-5-2  
(WoMoVCo)

Das Verfahren des Thixo-Schmiedens lässt sich in vier Teilschritte unterteilen:

1. Vormaterial-Herstellung → s.o.
2. Wiedererwärmung → s.o.
3. Umformung → s.u.
4. Wärmebehandlung der Bauteile

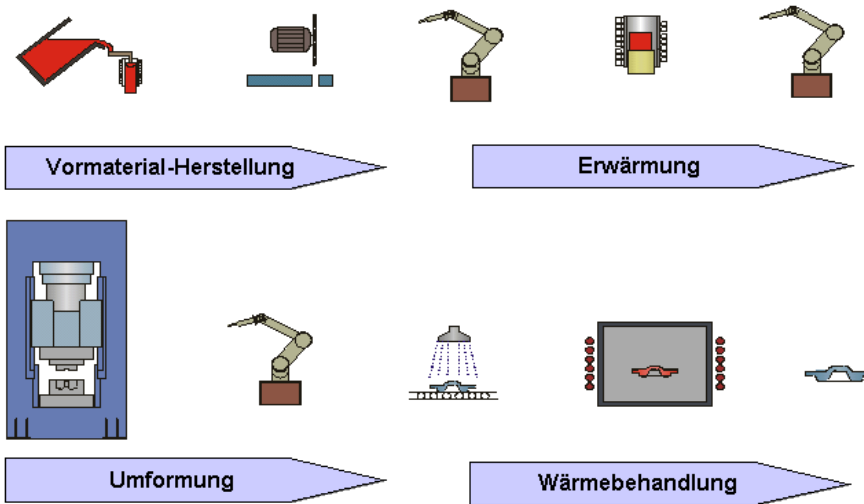


Abb. 47: Die 4 Verfahrensschritte beim Thixoschmieden

Thixo-Schmieden unterscheidet vom Thixo-Gießen hauptsächlich durch die eingesetzten Formgebungsmaschinen mit entsprechend anderen Werkzeugkonzepten. So wird das Thixo-Schmieden auf hydraulischen Hochgeschwindigkeitspressen durchgeführt, wohingegen das Thixo-Gießen auf leicht modifizierten Druckgussmaschinen durchgeführt wird. Während die auf Temperaturen oberhalb der Solidustemperatur erwärmten Rohteile (Slurrys) beim Thixo-Gießen in die Gießkammer eingelegt werden, werden Sie beim Thixo-Schmieden grundsätzlich direkt in die untere Formhälfte eingelegt.

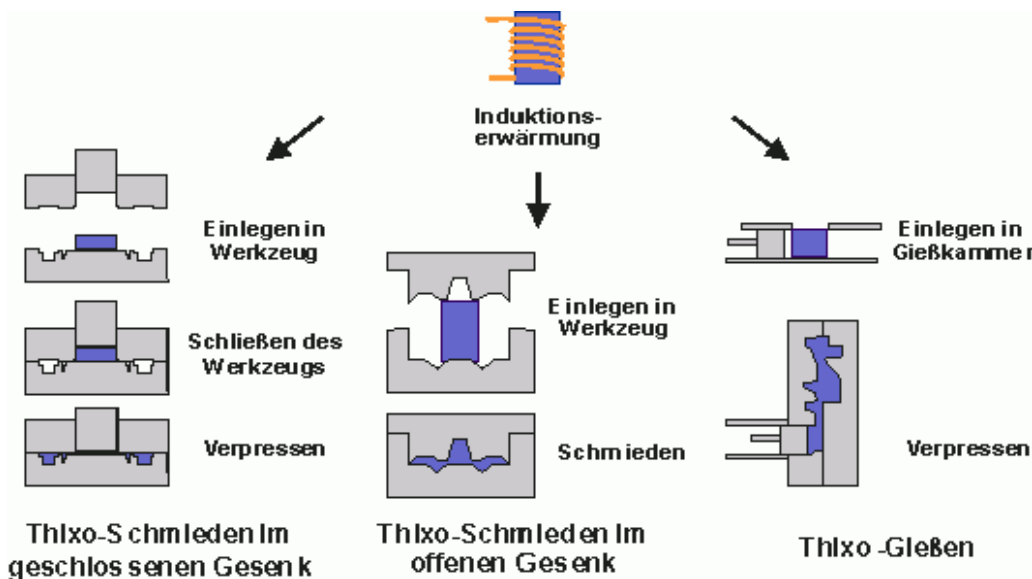


Abb. 48:  
Vergleich  
Thixo-Schmieden  
mit Thixo-Gießen

Daher sind beim Thixo-Schmieden im Vergleich zum Thixo-Gießen deutlich kürzere Fließwege des Werkstoffs zu verzeichnen. Dies ermöglicht die Umformung von Werkstoffen mit höheren Festphasenanteilen.

## Beispiele:

Die Abb. 127 - 129 zeigen Beispiele von thixogeformten Werkstoffen bzgl. Gefüge und Endprodukt.

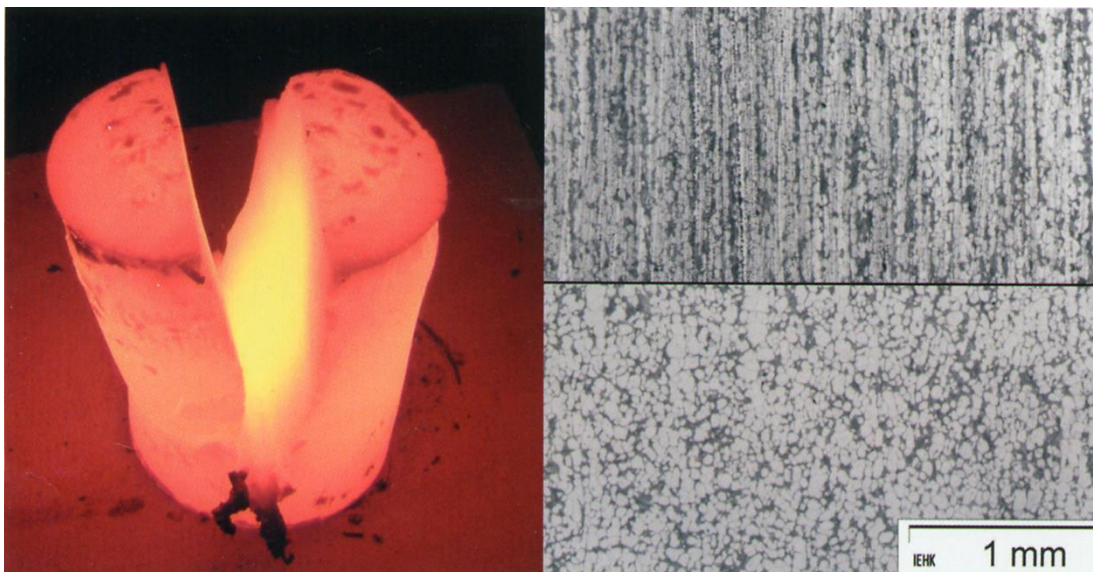


Abb. 49:

Mit dem Messer von Hand geschnittener Stahlbolzen aus X210CrW12 (links) zelliges (rechts oben) und gewünschtes Gefüge (rechts unten) nach angepasster Erwärmung)



Abb. 50:

Thixogegossenes Messer und Impeller aus X210CrW12



Abb. 51

Pumpengehäuse aus 100Cr6

zur Thematik „Thixoforming“ s. auch die Aufsätze “ [Thixotropie](#)“ und „[Thixotropie 1](#)“ auf meiner Homepage

### 5.4.5 Thixo-Spritzgießen

Ist eigentlich ein Urformverfahren. Gegenüber den klassischen Druckgussverfahren ergibt sich der Vorteil, dass einerseits die Verarbeitungstemperaturen deutlich niedriger ausfallen und somit die Belastung für das Werkzeug geringer sind, andererseits durch den bereits beim Gießen vorhandenen Festphasenanteil die Erstarrungsschrumpfung deutlich geringer ausfällt. Die im Thixospritzgießen hergestellten Bauteile weisen dadurch eine gute Maßhaltigkeit auf. Vorwiegend werden Mg- und Al-Legierungen verarbeitet.

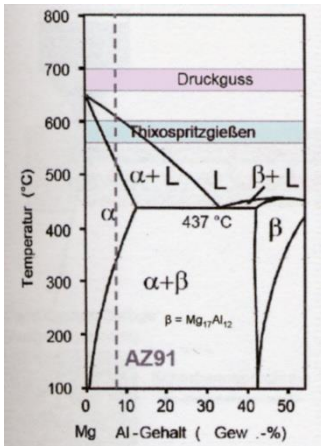


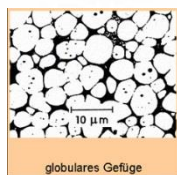
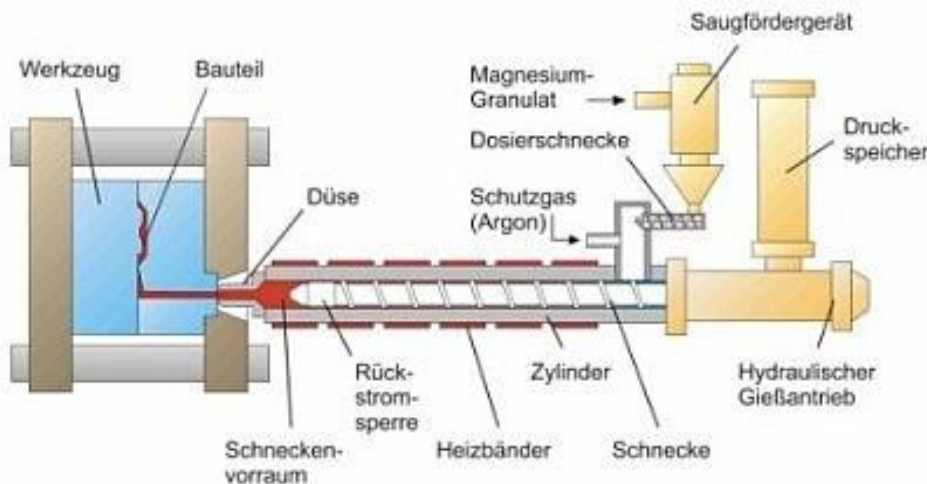
Abb. 52  
ZSD Mg-Al,  
Beispiellegie-  
rung AZ91

Anteil der fes-  
ten Phase zwi-  
schen 0 und 40  
%



Abb. 53  
Elektronikbau-  
teile aus AZ91

Die zum Thixospritzgießen verwendeten Anlagen sind jenen zum Spritzgießen von Kunststoffen sehr ähnlich. Das Metallgranulat wird unter Schutzgasatmosphäre in einem Trichter der Plastifiziereinheit zugeführt. Die Förderschnecke befördert den Werkstoff hin zur Schnecken Spitze. Dabei wird das Granulat bis knapp unter die Liquidustemperatur erhitzt und angeschmolzen. Durch die Drehbewegung der Schnecke wird der Werkstoff ausserdem sehr stark geschert. Dadurch wird die ursprünglich dendritische Kornstruktur aufgebrochen. Es bildet sich ein globulares Gefüge mit geringer Viskosität. Diese wird durch eine diskontinuierliche Hubbewegung der Gießeinheit in die Werkzeugform gespritzt. Anders als beim Druckgießen wird die Form nicht durch einen Strahl gefüllt, sondern es bildet sich ein Quellstrom vergleichbar zur Formfüllung im Spritzgießen mit Kunststoffen aus, s. Abb.



Scherbanspruchung

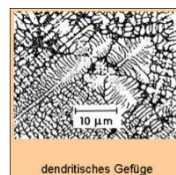


Abb. 54  
Anlage zum Thixos-  
pritzgießen sowie Ge-  
fügeveränderung

#### 4.5 Fließkurven bei Kalt- und Warmumformung

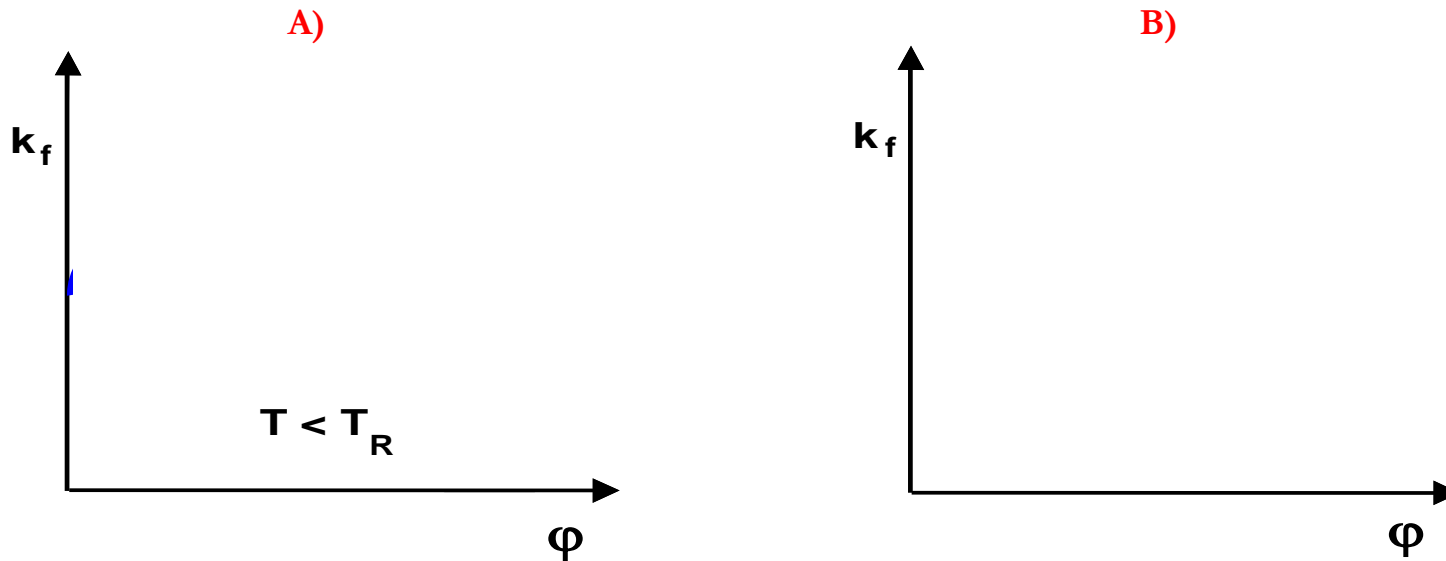


Abb. 55: Typischer Verlauf von Fließkurven bei der Kalt- und Warmumformung

**A) Kaltumformung** ( $T < T_R$ ):  $\Rightarrow$

**B) Warmumformung** ( $T \gg T_R$ ):  $\Rightarrow$

$\Rightarrow$

.

## Umformgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$

$d\varphi_h$ , die differentielle Änderung des Umformgrades, ist definiert als die differentielle Höhenänderung  $dh$  bezogen auf die momentane Höhe  $h$ :

$$d\varphi_h = \frac{dh}{h}$$

$$\varphi_h = \int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h} = \ln h_1 - \ln h_0 = \ln \frac{h_1}{h_0}$$

$$\dot{\varphi}_h = \frac{d\varphi_h}{dt} = \frac{dh/h}{dt} = \frac{1}{h} \cdot \frac{dh}{dt}$$

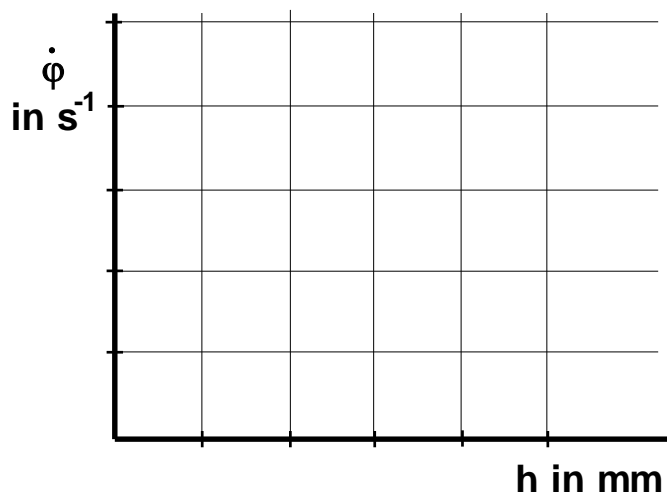


mit:

### Beispiel:

Ein Bolzen wird auf einer Presse mit  $v = 200 \text{ mm/s}$  von  $h_0 = 50 \text{ mm}$  auf  $h_1 = 20 \text{ mm}$  warm gestaucht.

Berechne  $\dot{\varphi}_A$  und  $\dot{\varphi}_E$



$$\dot{\varphi}_A =$$

$$\dot{\varphi}_{40} =$$

$$\dot{\varphi}_{30} =$$

$$\dot{\varphi}_E =$$

Abb. 56: Übung zur Umformgeschwindigkeit

Maschinen	Umformgeschwindigkeiten $\dot{\varphi}$ $\text{s}^{-1}$
Stauchmaschinen	400 ... 1200
Oberdruckhämmer	50 ... 200
Kurbelpressen	10 ... 20
Hydraulische Pressen	0,5 ... 5

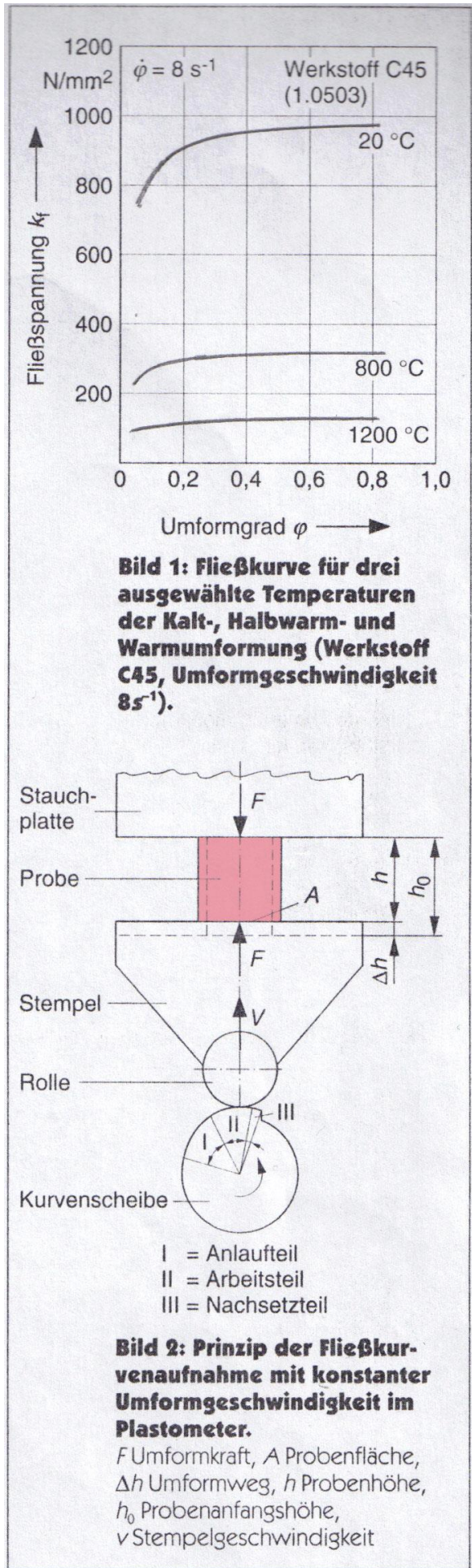


Abb. 57:  
 $F_k = f(T)$  und FK-Aufnahme

Oben:  
 $F_k$  von C45 als  $f(T)$  bei  $\dot{\varphi} = \text{const.}$

Unten:



Prinzip der FK- Aufnahme bei  $\dot{\varphi} = \text{const.}$  im Plastometer

Beispiele für reale Fließkurven (FK)

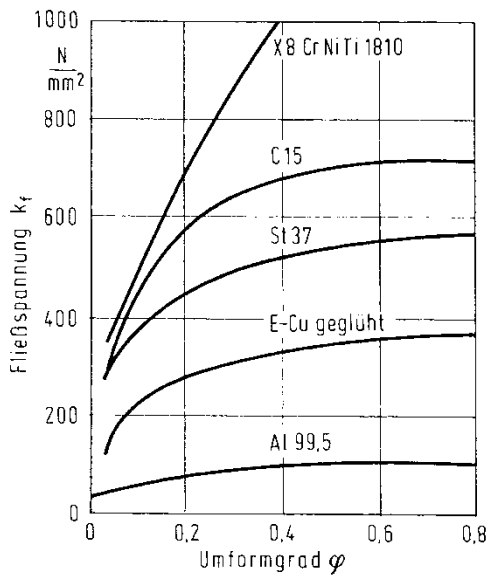


Abb. 58: Kaltumformung: FK verschiedener Metalle

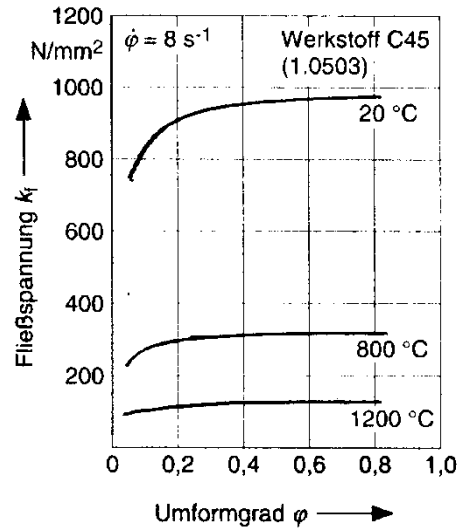


Abb. 59: FK von C45 als  $f(T)$ ; Beispiele für die Kalt-, Halbwarm- und Warmumformung

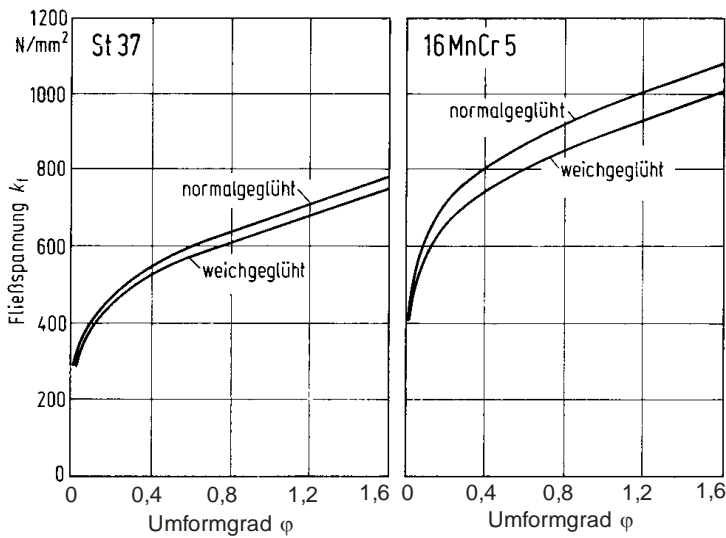


Abb. 60: Kaltumformung: FK eines unlegierten und eines niedrig legierten Stahles als  $f(WB)$

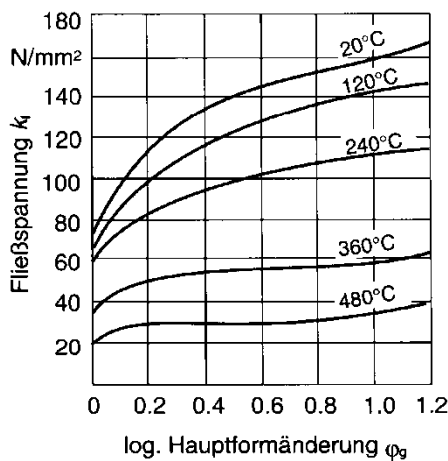
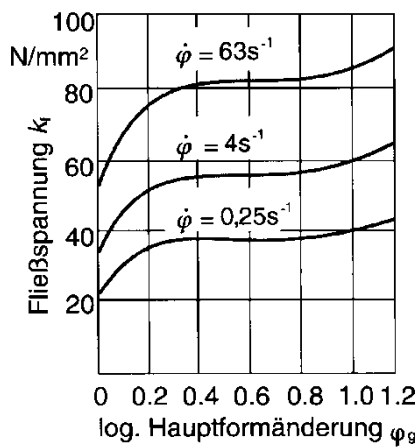


Abb. 61: Al 99,5: FK als  $f(T)$  und



$f(\dot{\varphi})$  bei  $T = 360 \text{ °C}$

+ lineare FK nach Ludwik..(s. auch Abb. 114, 115)

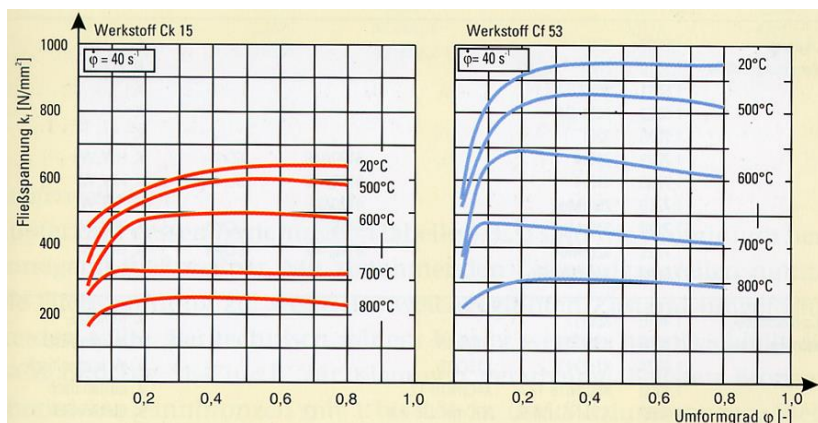


Abb. 62:  
FK von Ck 15 und Cf 53 als  $f(T)$   
bei  $(\dot{\varphi}) = \text{const.}$

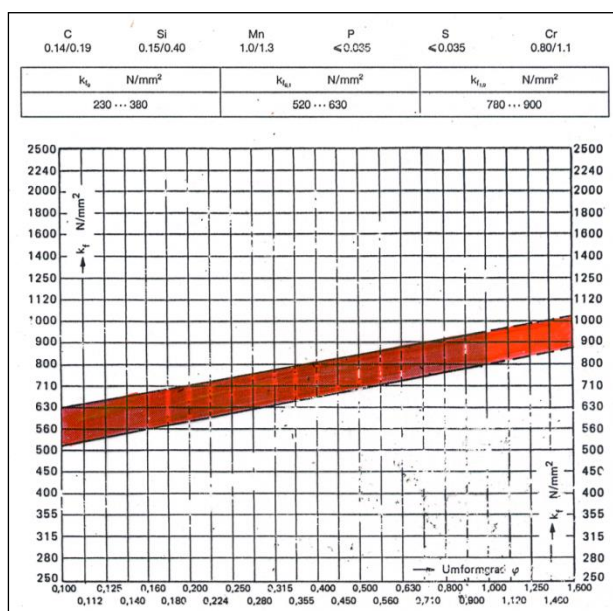


Abb. 63:  
Linearisierte Fließkurve für  
16 MnCr 5 mit Streubereich  
(DIN 1627 / 17210)

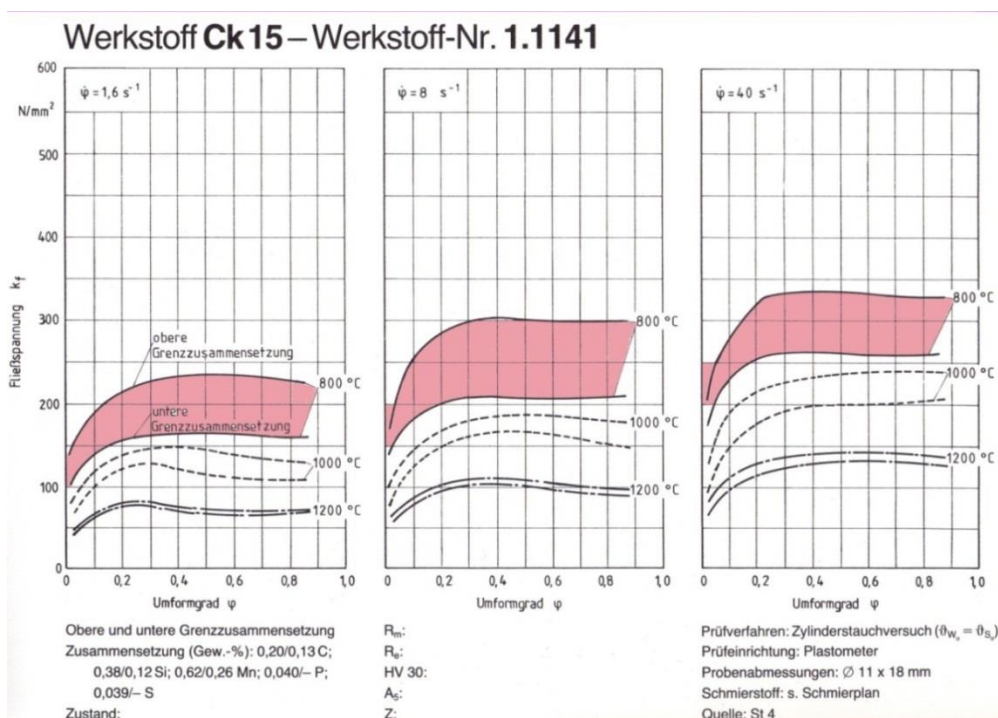


Abb. 64: Fließkurven von Ck15 als  $f(T, \dot{\varphi})$

## Fließkurven = f ( $\varphi$ , $\dot{\varphi}$ , T, Werkstoff)

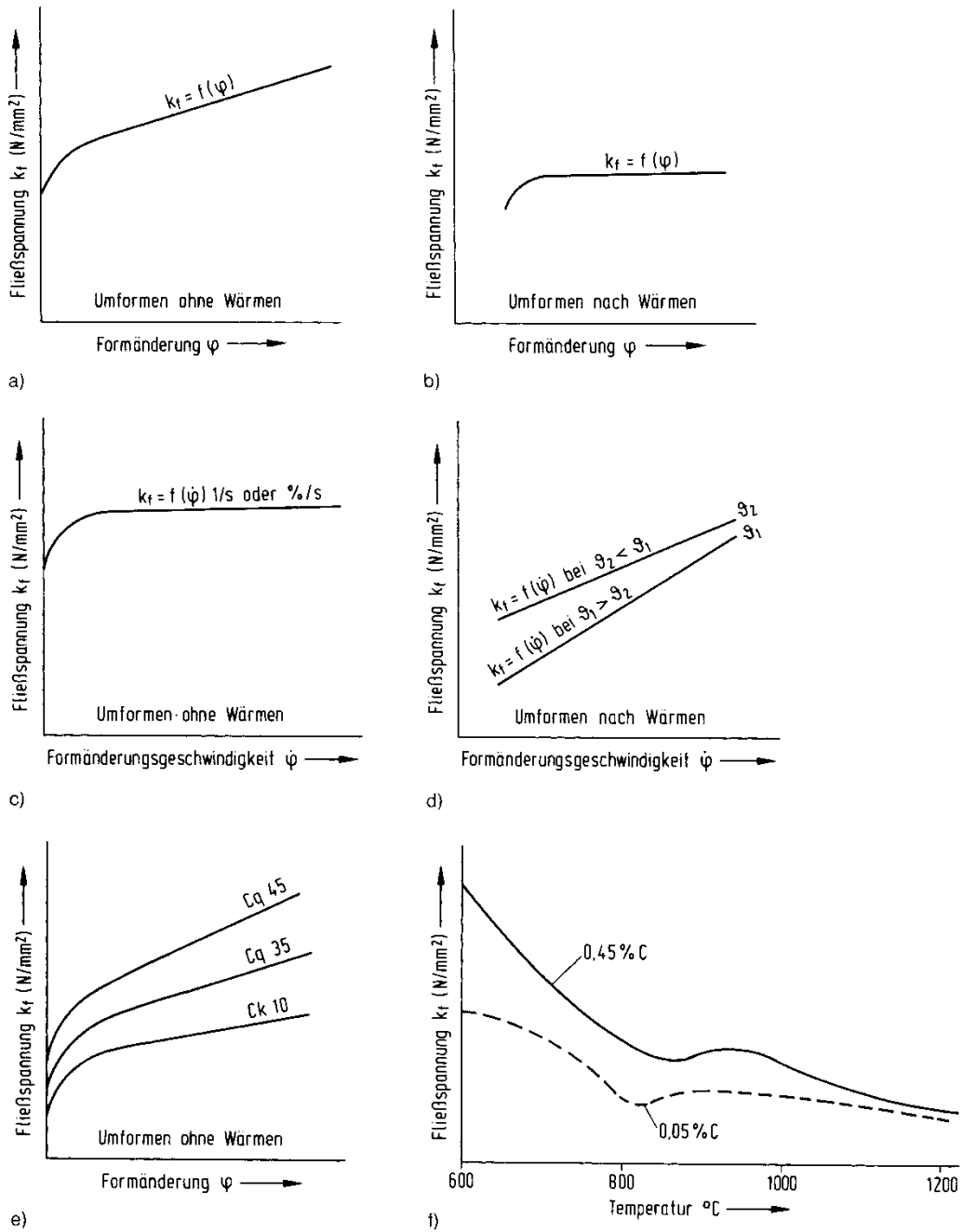


Bild 2.5 Verändern der Fließspannung durch:  
 a) Formänderung bei Raumtemperatur  
 b) Formänderung mit ausreichender Rekristallisationsgeschwindigkeit  
 c/d) Formänderungsgeschwindigkeit  
 e) unterschiedliche Legierung bzw. chemische Werkstoffbestandteile  
 f) Umgebungstemperatur = Glüh­temperatur

Abb. 65: Einfluss verschiedener Parameter auf die Fließkurve

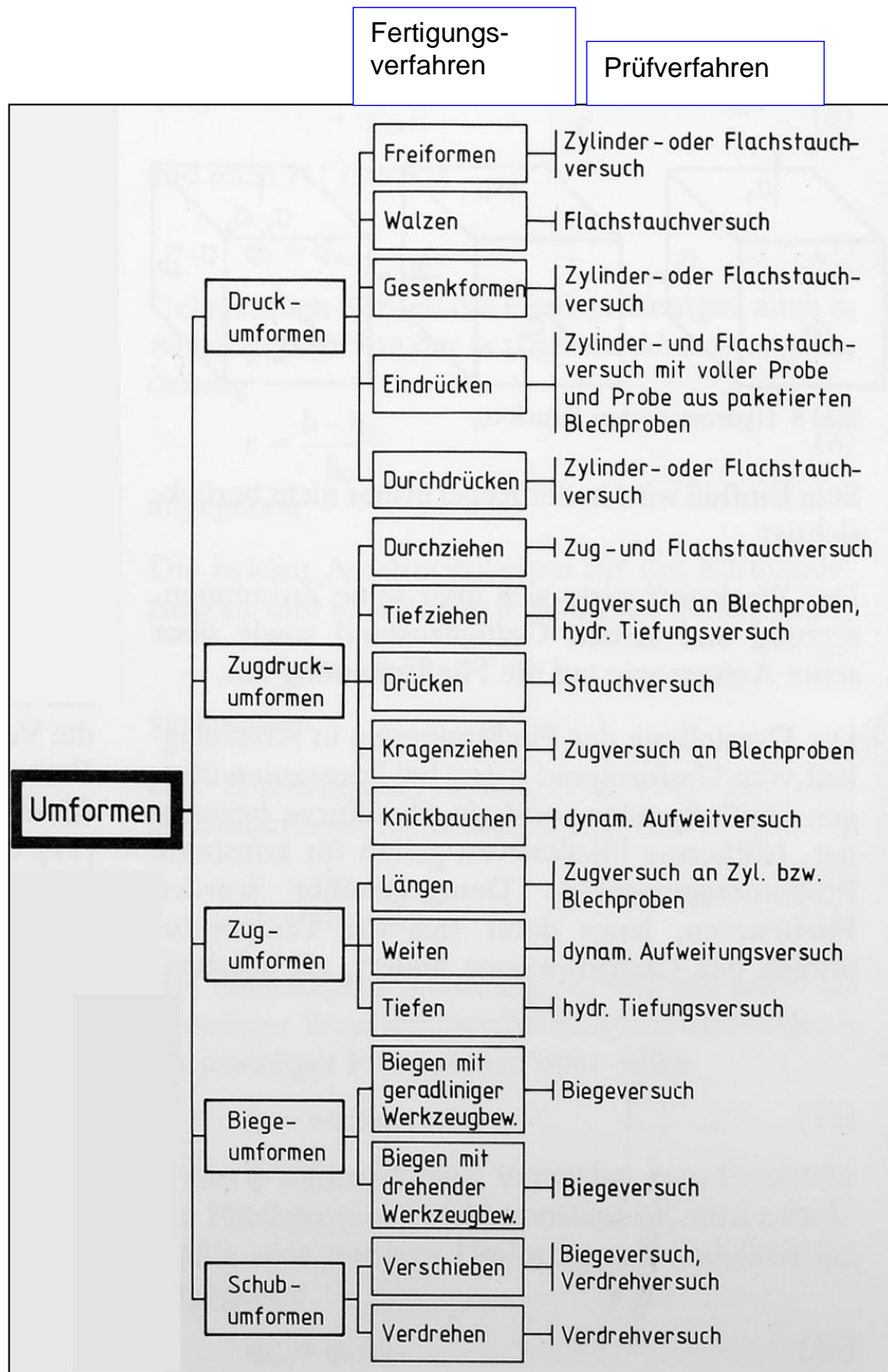


Abb. 66: Fließkurvenermittlung: Empfohlenen Prüfverfahren zum jeweiligen Fertigungsverfahren (aus: FK-Atlas)

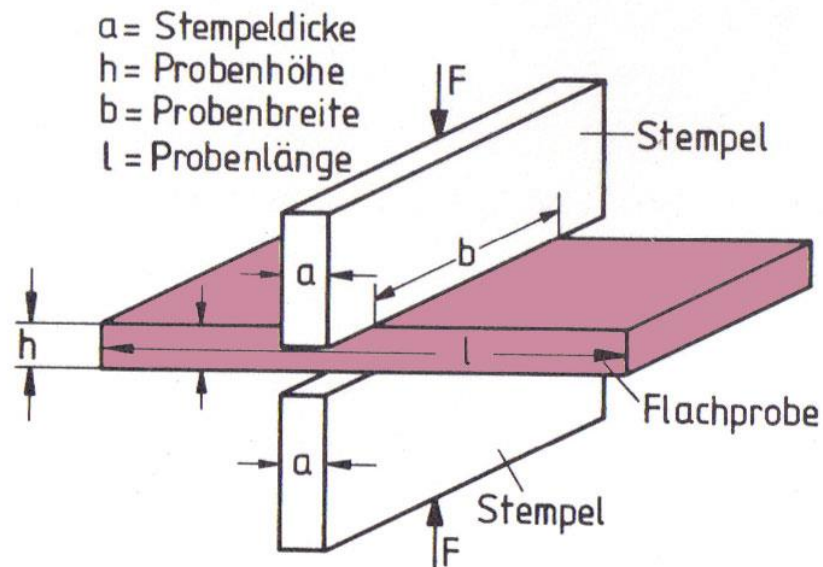


Abb. 67: Flachstauchversuch

Voraussetzungen:  $b/h > 6$  (ebener Formänderungszustand)  
 $a/h = 1$  ( $a < 3\text{mm}$ )  
 „gute Schmierung“

Mit dem Flachstauchversuch sind hohe Umformgrade ( $\varphi \approx 2$ ) und hohe Umformgeschwindigkeiten ( $\dot{\varphi} \approx 10^3 \text{ s}^{-1}$ ) zu erreichen.

Die so ermittelten Fließkurven liegen höher als die im Zugversuch ermittelten wegen der Reibung an den Wirkflächen.

Informationen zu Fließkurven finden Sie:

VDI-RiLi 3200, Blatt 2, Fließkurvenatlas → Stähle  
 VDI-RiLi 3200, Blatt 3 → NE-Metalle

Zur Thematik „Fließkurven“ und deren Bestimmung gibt der „Fließkurvenatlas“ von E. Doege et al. umfassend Auskunft. S. auch Aufsatz unter dem Titel „[Fließkurve](#)“ auf meiner Homepage abrufbar.

## Fließkurvenaufnahme → Problematiken

Fließkurven (FK) sind auch die Basis von Umformsimulationen mit FEM-Verfahren, wie sie vor allem bei der Massivumformung (z.B. beim Schmieden) durchgeführt werden. Ihre mangelnde Genauigkeit führte zur Produktion von Ausschuss.

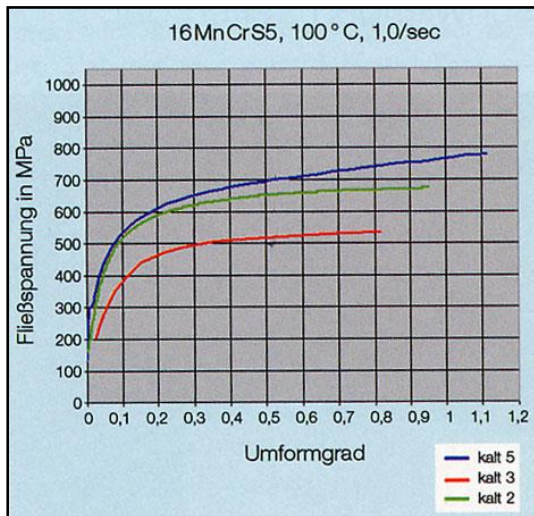


Abb. 68:

Vergleich von FK ohne Richtlinie →  
Abweichung bis 40 % ! (bei derselben Charge)

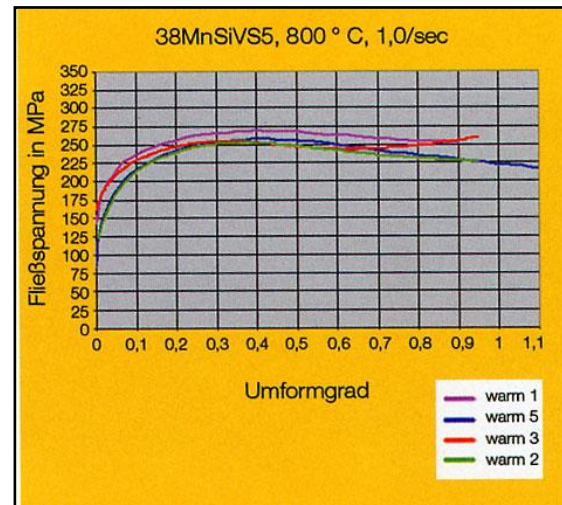


Abb. 69:

Vergleich von FK nach Richtlinie →  
Abweichung bis 10 % !!! (bei derselben Charge)

2009 wurden Richtlinien zur Aufnahme von FK erarbeitet. Nach Vereinheitlichung von

- Probenform
- Probenabmessung
- Schmierung
- Meßtechnik

ergaben sich bei gleicher T,  $\dot{\varphi}$  und Analyse immer noch deutliche, aber wesentlich geringere Abweichungen, s. Abb. 67

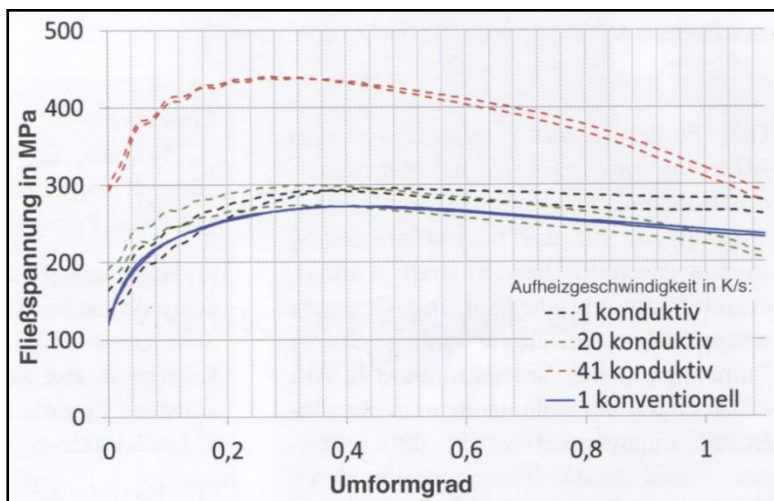


Abb. 70:

Vergleich von FK eines Stahls als f(Aufheiz-v)

Umform-T = 850 °C

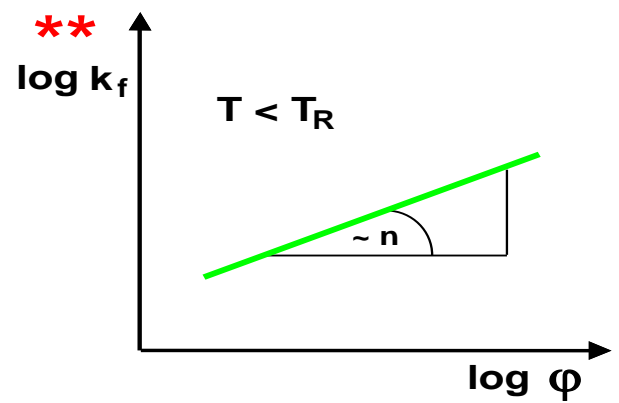
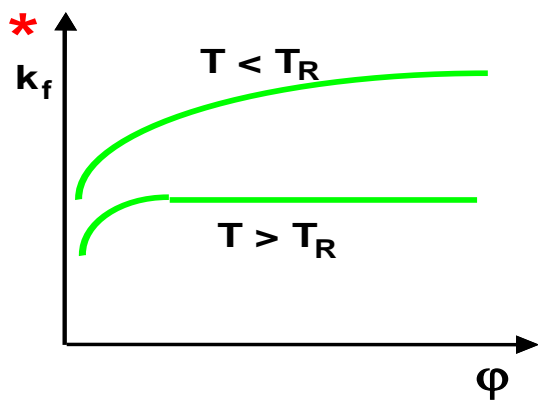
$1 \text{ s}^{-1} \leq \dot{\varphi} \leq 41 \text{ s}^{-1}$

Ursache: s. ZTA-Schaubilder

Untersuchung von 9/2013, s. Schmiedejournal

Zur Thematik „Fließkurven“ und deren Bestimmung gibt der „Fließkurvenatlas“ von E. Doege et al. umfassend Auskunft. Des Weiteren ist ein vom selben Autor geschriebener Aufsatz unter dem Titel „[Fließkurve](#)“ von meiner Homepage abrufbar.

## Die Fließkurve (Zusammenfassung)



#### 4.6 Stauchen eines Zylinders + Aufgabe Stauchkraft

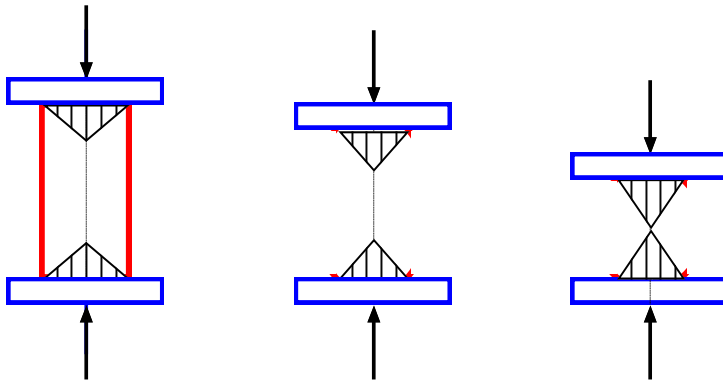


Abb. 71:  
Verformung eines Zylinders beim Stauchen

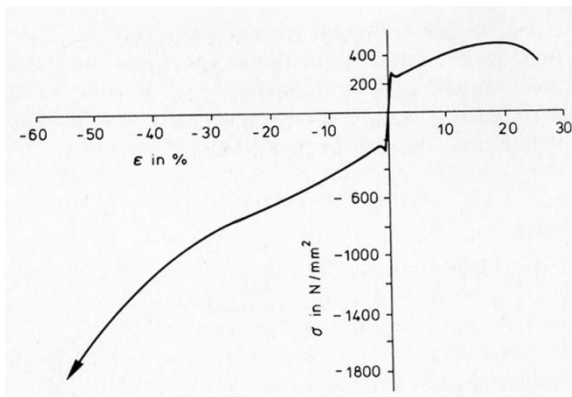
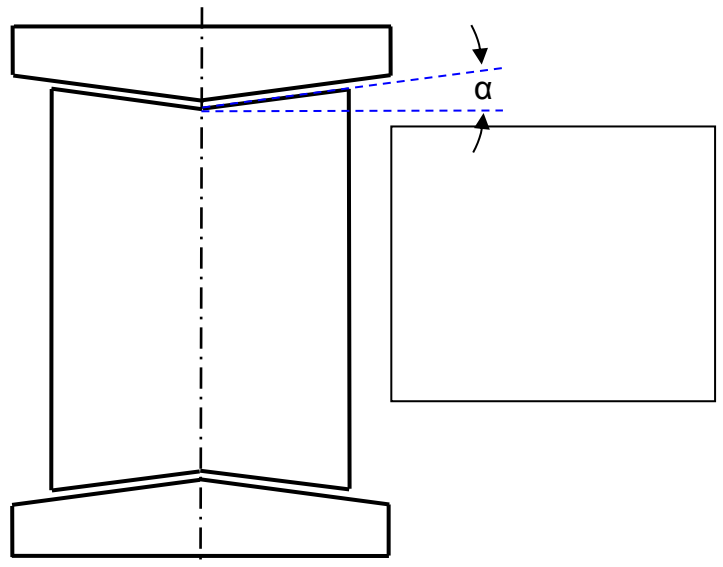
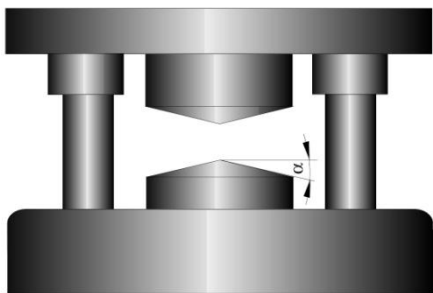
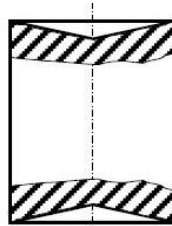
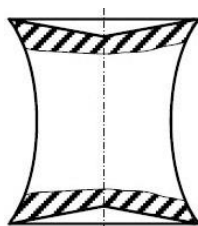
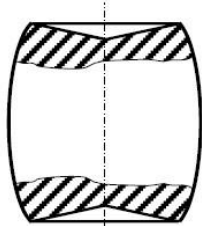


Abb. 72:  
 $\sigma$ - $\epsilon$ -Kurve im Zug- und Druckversuch

#### Kegelstauchversuch



#### Zylindrische Probe:



$\alpha < \arctan \mu$  ( $\uparrow$ )     $\alpha > \arctan \mu$  ( $\downarrow$ )     $\alpha = \arctan \mu$  (Reibung optimal)

Abb. 73: Einfluss der Reibung an der Grenzfläche Werkzeug - Werkstück



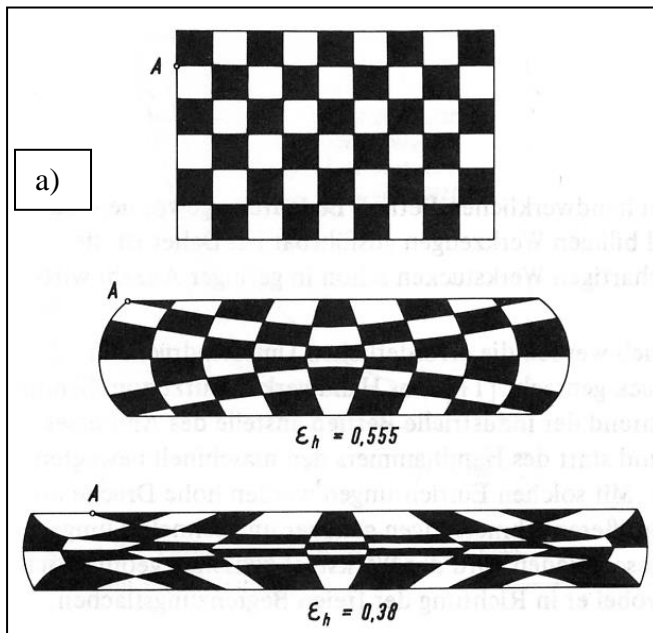
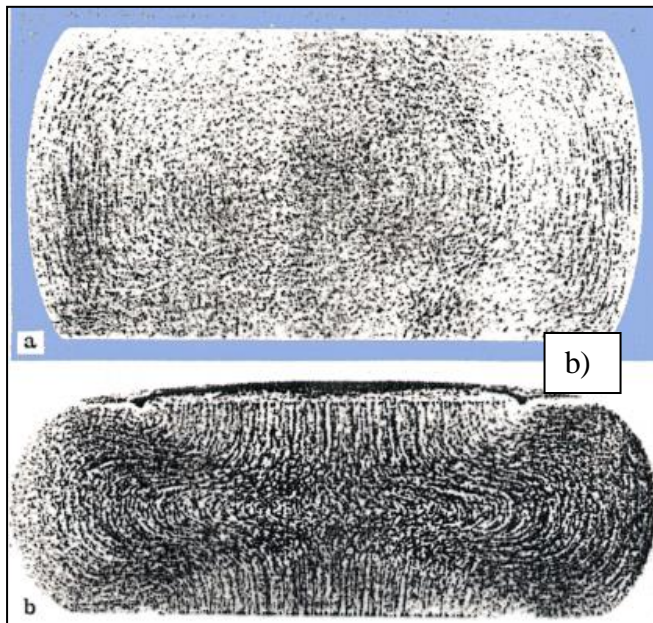
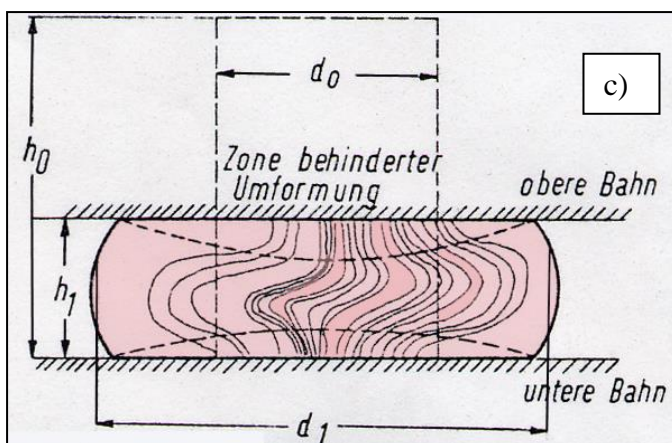


Abb. 74: Stauchen eines Zylinders

a) Wanderung der Volumenelemente



b) Ausbauchung mit Faserverlauf im Makroschliff

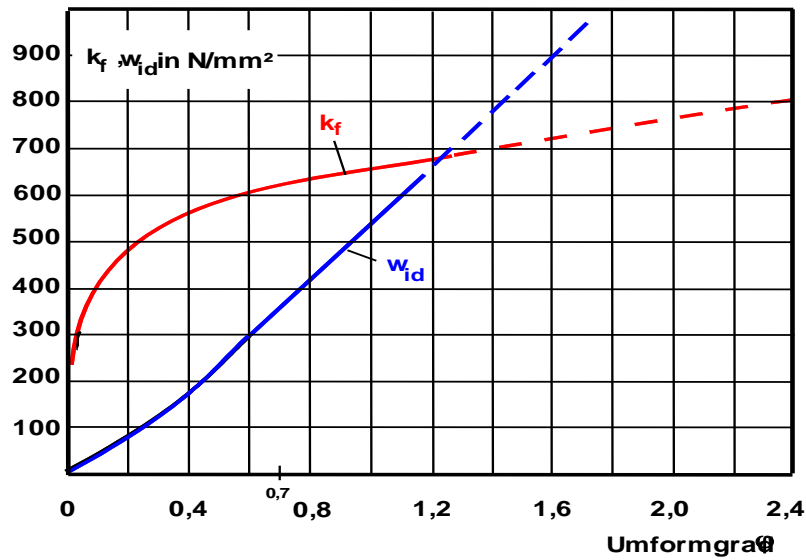


c) Faserverlauf: schematische Darstellung

### Aufgabe:

Berechne die Umformkraft beim Stauchen eines Bolzens aus Ck 10 auf die halbe Ausgangshöhe bei  $T = RT$ .

<u>gegeben:</u>	$A_0$	=	100 mm <sup>2</sup>	(Ausgangsquerschnitt)
	$h_0$	=	40 mm	(Ausgangshöhe)
	$h_1/h_0$	=	0,5	(Formänderungsverhältnis)
	$\mu$	=	0,1	(Reibungskoeffizient)



gesucht:  $F_{id}$  = ideale Umformkraft,  
 $F_{re}$  = reale Umformkraft

Abb. 75:  
Fließkurve für Ck 10

## 4.7 Ermittlung der Umformarbeit + Aufgabe

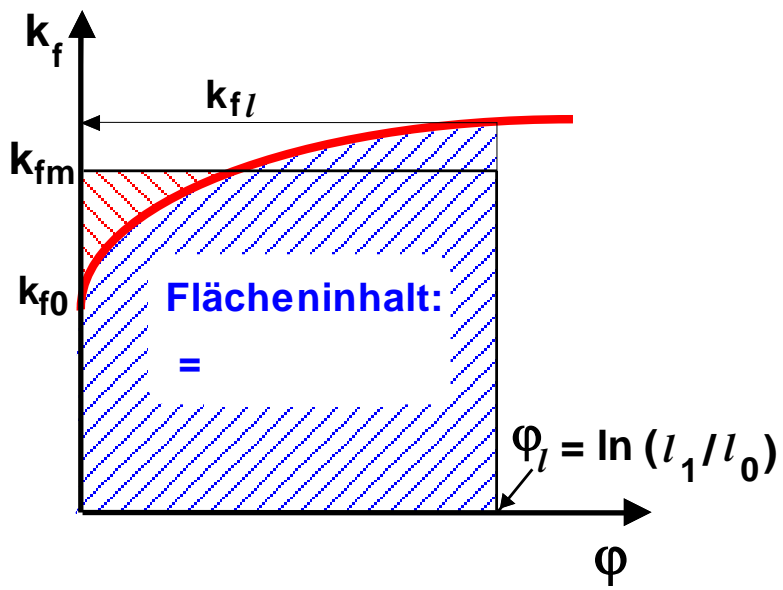


Abb. 76:  
Ermittlung der Umformarbeit

### Aufgabe:

Berechne die Umformarbeit beim Stauchen eines Zylinders aus Ck 10 auf die halbe Ausgangshöhe bei  $T = RT$ .

gegeben:  $A_0 = 100 \text{ mm}^2$  (Ausgangsquerschnitt)  
 $h_0 = 40 \text{ mm}$  (Ausgangshöhe)  
 $\eta_f = 0,6$  (Formänderungswirkungsgrad)

gesucht:

$W_{id}$  = ideale Umformarbeit  
in Nm

$W_{re}$  = reale Umformarbeit in  
Nm

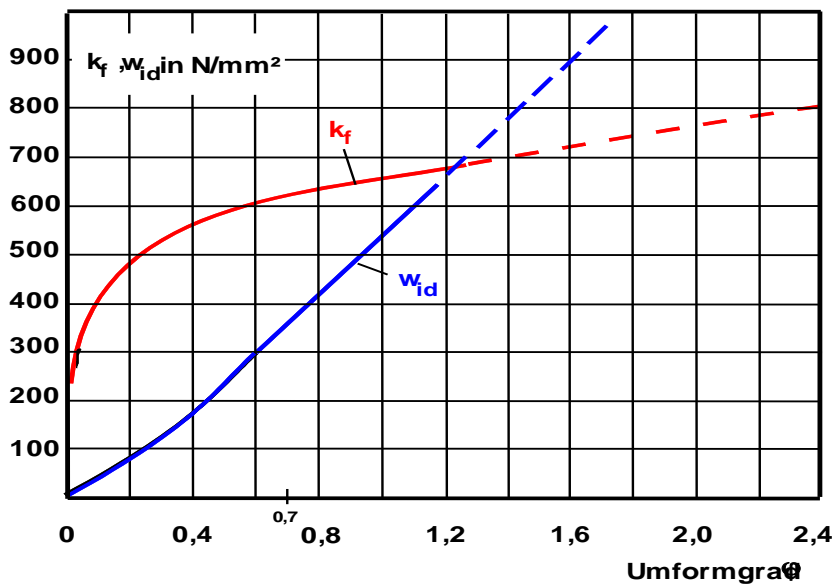


Abb. 77: Fließkurve für Ck 10

## 6. Verfahren der Umform- und Schneidetechnik nach DIN 8582 (Kurzübersicht)

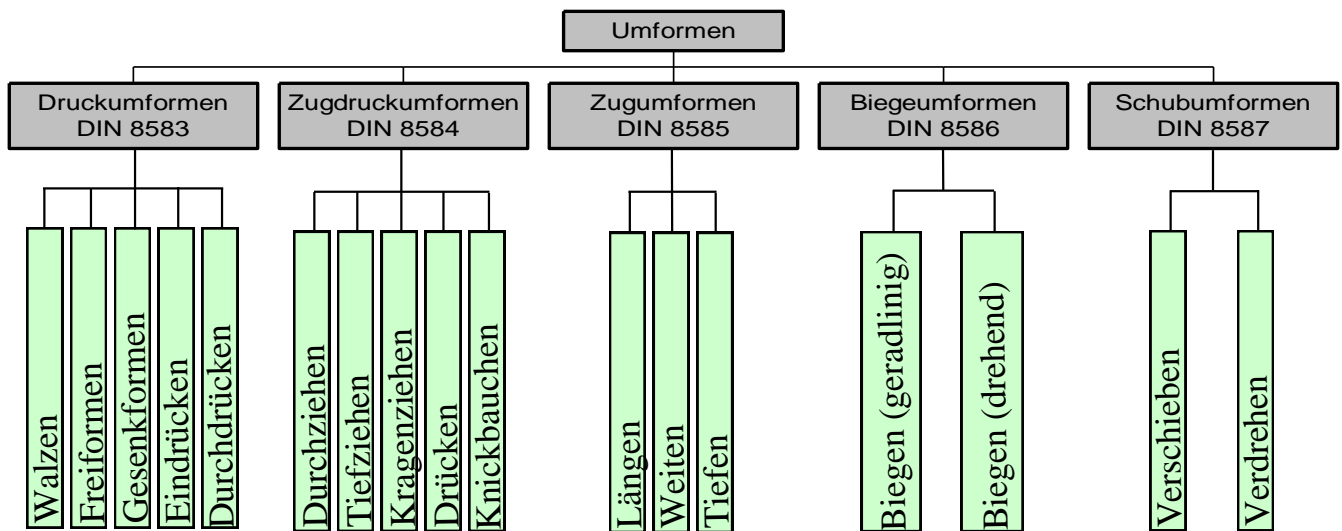


Abb. 78: Übersicht über die Verfahren der Umformtechnik  
s. auch folgende Seiten

In der DIN 8582 werden die 17 Verfahrensgruppen nach den Kriterien der Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück sowie der Werkzeug- und der Werkstückgeometrie unterschieden

(ausführliche Beschreibung der einzelnen Verfahren → „Verfahren der Umformtechnik“ von Karl H. Hofer)

### Umformverfahren nach DIN 8582 (Kurzübersicht; Farb-Graphiken aus „Schuler“)

#### Druckumformen

- ❑ **Walzen:** Dabei werden durch sich drehende Werkzeuge aus gegossenem Ausgangsmaterial (Brammen, Stränge) Halbzeuge in Form von Blechen, Rohren oder Profilen hergestellt. Warm-, Kaltwalzen... ⇔ s.u.
- ❑ **Schmieden (Freiformen):** Dabei entsteht die Werkstückform durch Werkzeuge, die nicht oder nur teilweise die Form des Werkstückes enthalten.
- ❑ **Schmieden (Gesenkformen):** Dabei entsteht die Werkstückform durch gegeneinander bewegte Formwerkzeuge, die das Werkstück ganz oder zu einem wesentlichen Teil umschließen.
- ❑ **Durchdrücken:** (z.B.: Verjüngen, Strangpressen, Fließpressen). Dabei wird der Werkstoff teilweise oder vollständig durch eine formgebende Werkzeugöffnung gedrückt wobei der Querschnitt oder der Durchmesser verringert wird.
- ❑ **Fließpressen/Strangpressen** (z.B. Napf-Rückwärts-Fließpressen): Dabei entsteht die Werkstückform durch gegeneinander bewegte Formwerkzeuge. Der Werkstoff fließt im gezeigten Fall entgegen (rückwärts) der Richtung des Werkzeuges (Stempels).
- ❑ **Eindrücken** (z.B. Münzprägen): Dabei dringt das Werkzeug örtlich in das Werkstück ein.

Schmieden (Freiformen)

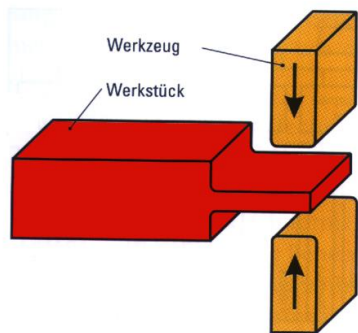


Abb. 79: Schmieden (Freiformen)

Durchdrücken (Napfrückwärts-Fließpressen)

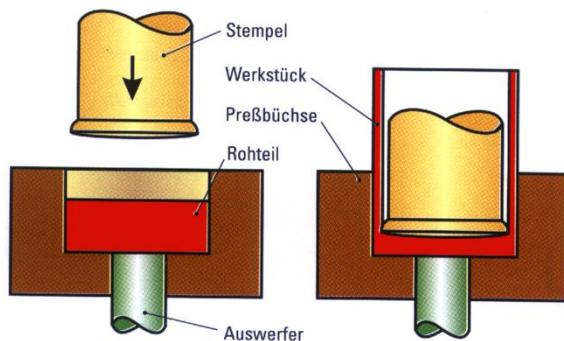


Abb. 80: Durchdrücken (Napfrückwärts-Fließpressen)

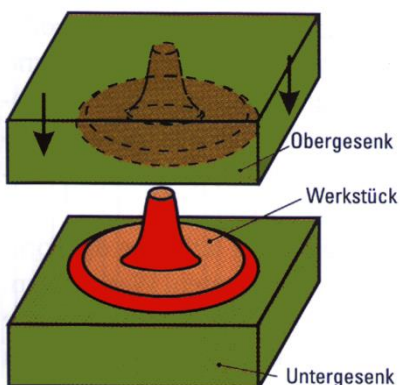


Abb. 81: Schmieden (Gesenkformen)

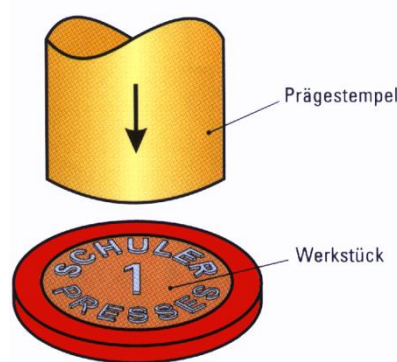


Abb. 82: Eindrücken (Münzprägen)

weitere Verfahren: Walzen, Durchdrücken (Verjüngen, Strangpressen)

Zugdruckumformen

- **Tiefziehen:** Dabei wird ein Blechzuschnitt (z.B. Ronde) zu einem Hohlkörper ohne beabsichtigte Änderung der Blechdicke umgeformt. Dazu werden starre Werkzeuge oder Wirkmedien benutzt. Bei größeren Umformgraden sind mehrere Züge (Weiterzüge) erforderlich. Diese können sowohl in die gleiche als auch in die entgegengesetzte Richtung erfolgen.

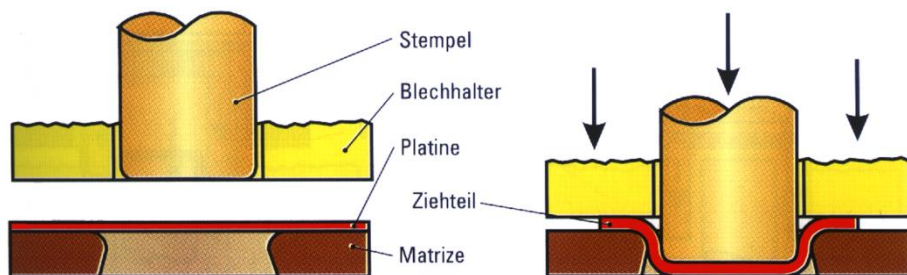


Abb. 83: Tiefziehen

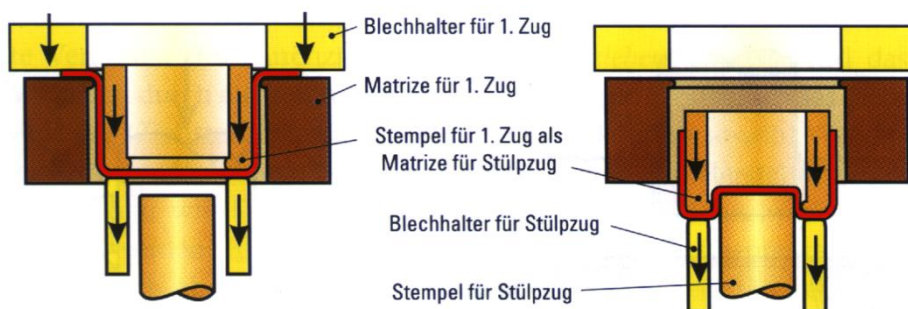


Abb. 84: Stülpziehen

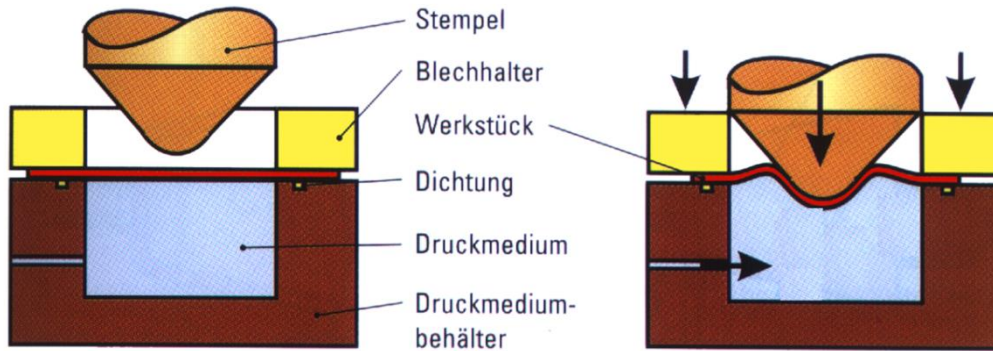


Abb. 85: Hydromechanisches Tiefziehen

weitere Verfahren:

Kragenziehen, Drücken, Knickbauchen

### Zugumformen

- **Tiefen:** Dabei werden Vertiefungen an einem ebenen oder gewölbten Werkstück aus Blech erzeugt, wobei eine Oberflächenvergrößerung durch Verringern der Blechdicke erreicht wird.

Streckziehen: Beim Streckziehen wird ein Blechzuschnitt mit einem starren Stempel umgeformt (getieft), wobei das Werkstück am Rand fest eingespannt ist.

Hohlprägen: ist Tiefen mit einem Stempel (starres Werkzeug) in ein Gegenwerkzeug, wobei die Vertiefung gegenüber den Abmessungen des Werkstückes klein ist.

Weiten: ist Zugumformen zum Vergrößern des Umfangs eines Hohlkörpers. Wie beim Tiefziehen kommen auch hier starre und nachgiebige Werkzeuge sowie Wirkmedien zum Einsatz.

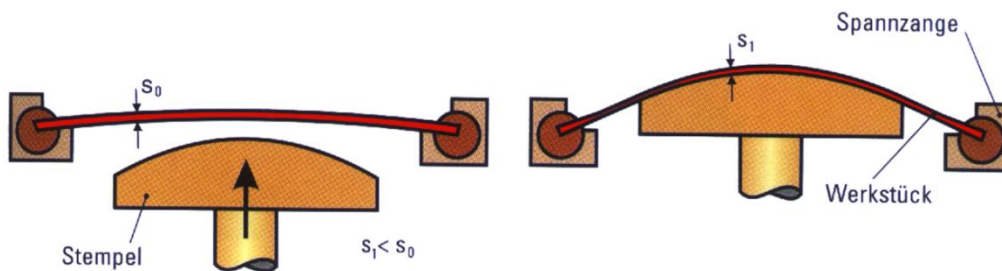


Abb. 86: Streckziehen

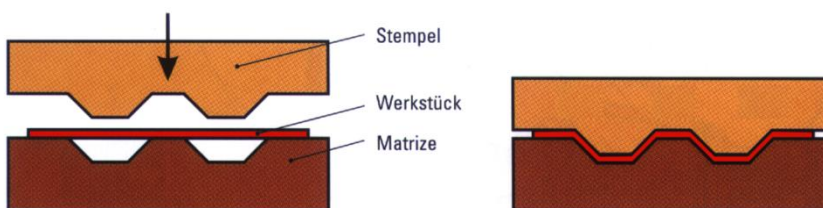


Abb. 87: Hohlprägen

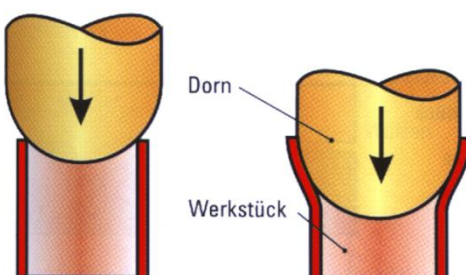


Abb. 88: Weiten

## Biegeumformen

- ❑ **Gesenkbiegen:** Dabei führen die Werkzeuge eine gerade Bewegung aus. Die Werkstück- (Teile-) form wird durch die Werkzeuggeometrie und die Rückfederung eingestellt.
- ❑ **Walzbiegen:** Dabei führen die Werkzeugteile eine drehende Bewegung aus. Das Biegemoment wird durch Walzen aufgebracht.

Walzrunden: dient zum Biegen von Blechen, z.B. auch zur Herstellung zylindrischer Körper.

Walzprofilieren: Dabei werden Blechbänder oder Platinen mit Hilfe von Walzen (Rollen) zu Profilen umgeformt, wobei die Umformung stufenlos fortschreitet. Es wird 1 Rollenpaar pro Umformstufe benötigt.

- ❑ **Schwenkbiegen:** ist Biegen mit einer Wange, die das Teil um die Biegekante herumbiegt.

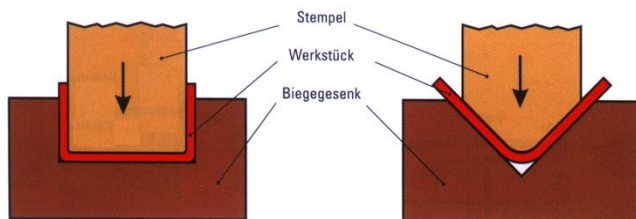


Abb. 89: Biegen im Gesenk

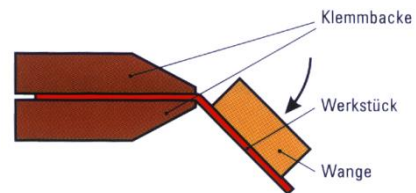


Abb. 90: Schwenkbiegen

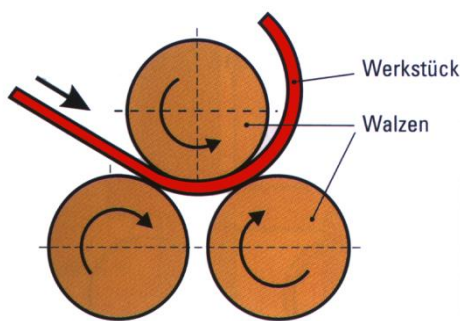


Abb. 91: Walzrunden

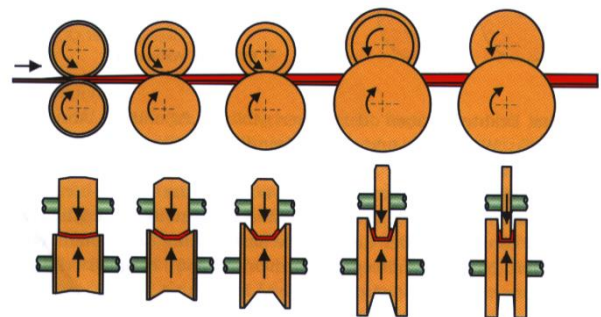


Abb. 92: Walzprofilieren

## Schubumformen

- ❑ **Durchsetzen (Verschieben):** Dabei werden in der Umformzone benachbarte Querschnittsflächen des Werkstückes in Krafrichtung durch eine geradlinige Bewegung des Werkzeuges parallel zueinander verlagert (verschoben).
- ❑ **Durchsetzen (Verdrehen):** Dabei werden benachbarte Querschnittsflächen des Werkstückes in der Umformzone durch eine Drehbewegung gegeneinander verlagert (verschoben) [Beispiele s. S. 42 – 44]

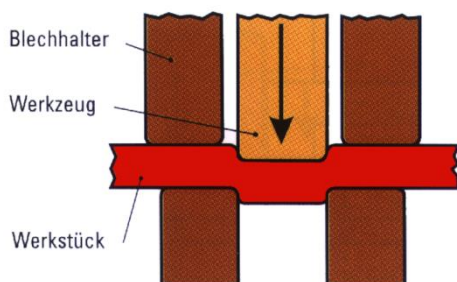


Abb. 93: Verschieben

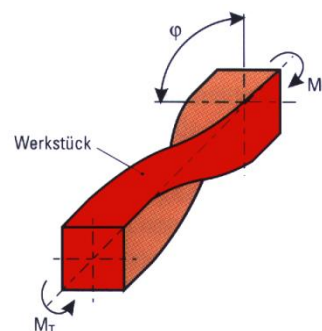


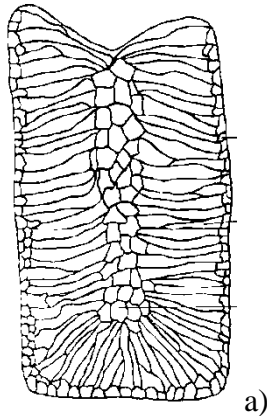
Abb. 94: Verdrehen



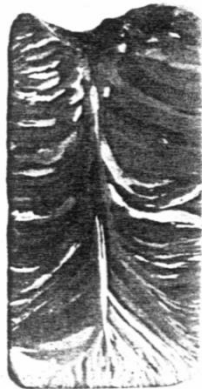
## 6. Walzen (ca. 80 % ! aller Stahlprodukte sind im Laufe ihrer Herstellung gewalzt worden)

**Definition:** Walzen ist ein stetiges oder schrittweises Druckumformen mit einem oder mehreren rotierenden Werkzeugen (Walzen) /DIN 8583-2/.

### 6.1 Werkstoffkundliche Aspekte:



a)



b)

Abb. 95:

Kristallisationszonen an einem Gußstück:

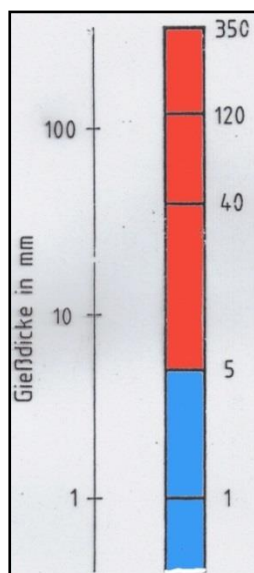
- a) schematisch,
- b) am Beispiel von Reinst-Zink

s. auch „Gießen“

⇒ Warm-Walzen (und andere Warmumformverfahren) führen gegenüber dem Gussgefüge zu

### 6.2 Walzerzeugnisse

Warmwalzen dient primär zur Herstellung von Halbzeug\* aus Gussmaterial. Die Walzerzeugnisse (nach EN 79-69, s. Tabelle) haben meist gleichmäßige Querschnittsform

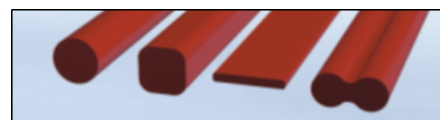


Vorblock   (z.B. 600 mm)

Bramme 

Dünnbramme

Vorband



\*Abb.: Halbzeuge Stangen,

Dünmband

Dünnstband

Abb. 96: Walzerzeugnisse

Kaltwalzen wird primär angewendet bei kleinen Abmessungen, z. B. Feinbleche ( $s < 3$  mm), Gewinde ( $< M12/M18$ )

z.B.: Spezielle Stähle: bis  $d = 0,5$  mm; Rein-Al: bis  $d = 6,35$   $\mu\text{m}$  (Alu-Folien) bei Walz-v bis 2000 m/min)

→ beachte Vor- und Nachteile von Warm- und Kaltumformen, s.o.

Werkstoffe sind Stähle, NE-Metalle (Al- und Cu-Knet-Legierungen sowie Ti und Mg).

\*Halbzeuge: Walzwerksprodukte, die

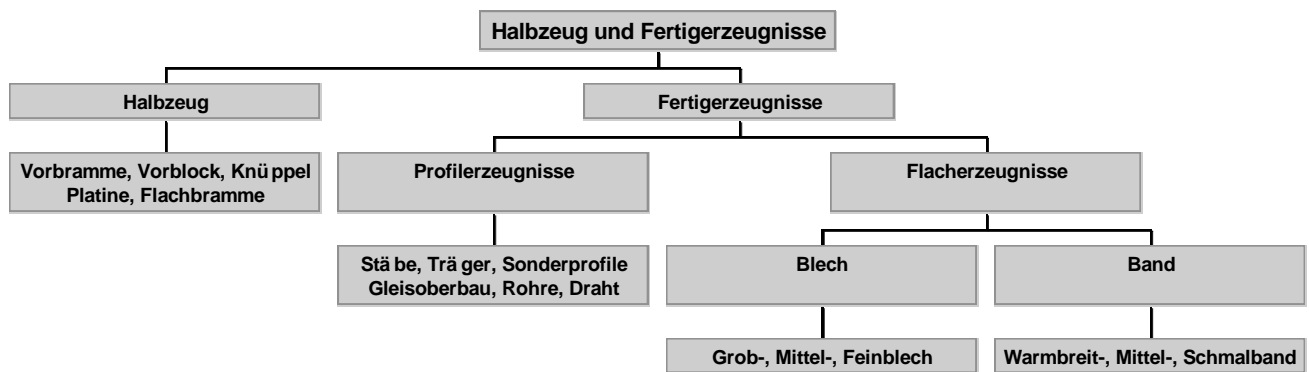
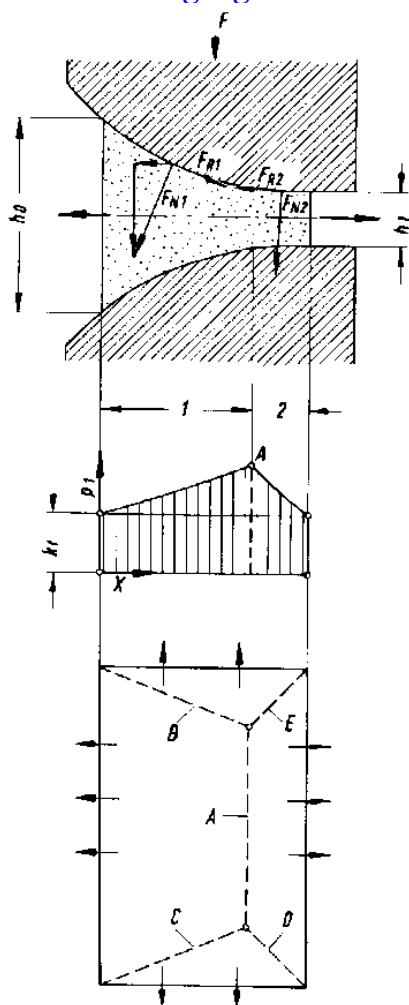


Abb. 97: Übersicht über die Walzerzeugnisse nach Euronorm 79-69

### 6.3 Der Umformvorgang beim Walzen



#### Umformvorgang

Es wirkt: Stauchkraft  $F$

Werkstoff fließt:

in Zone 1 nach links  $\leftarrow$

in Zone 2 nach rechts  $\rightarrow$

dazwischen: Zone A  $\Rightarrow$  Werkstoff in Ruhe

Dem Fließen entgegen wirken:

in Zone 1:  $F_{R1}$   $\rightarrow$

in Zone 2:  $F_{R2}$   $\leftarrow$

An den Außenflächen:

Stauchspannung  $p = k_f$

Anstieg von  $p$  [ $p = f(x)$ ]:

in Zone 1 flach, da  $\cdot F_{R1} - F_{N1}$  (horizontal)

in Zone 2 steil, da

$\cdot F_{R2} + F_{N2}$  (horizontal)

$$(k_w = k_f + p)$$

wenn senkrecht zur Zeichenebene freies Fließen möglich:

Ausbildung mehrerer Fließscheiden A B C D E  $\Rightarrow$  Werkstoff ist in Ruhe

Abb. 98: Umformvorgänge im Walzspalt

### 6.3.1 Geschwindigkeiten beim Walzen

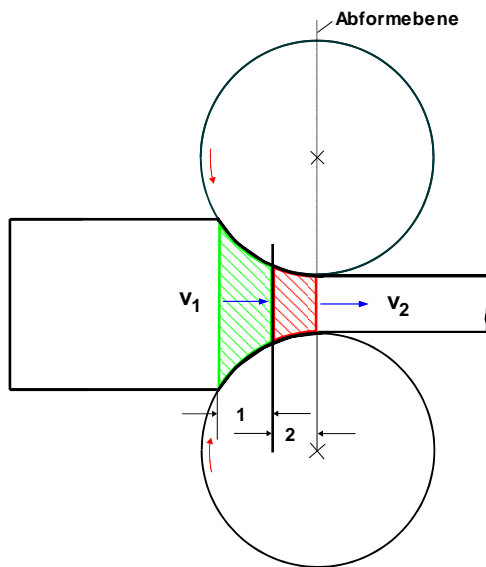


Abb. 99: Geschwindigkeiten beim Walzen

6.3.2 Kräfte beim Greifen und Walzen: → Greif- und Durchziehbedingung

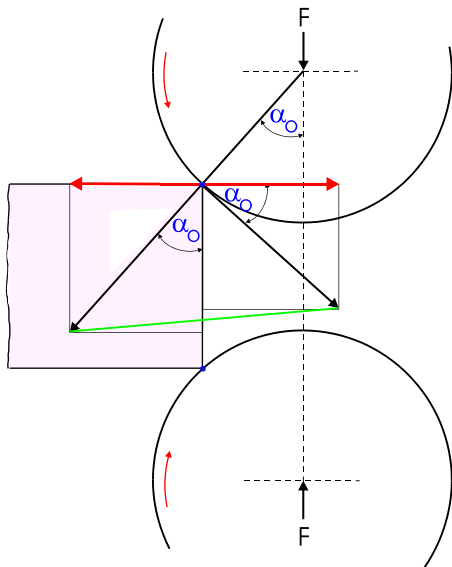


Abb. 100: Kräfte beim Greifen

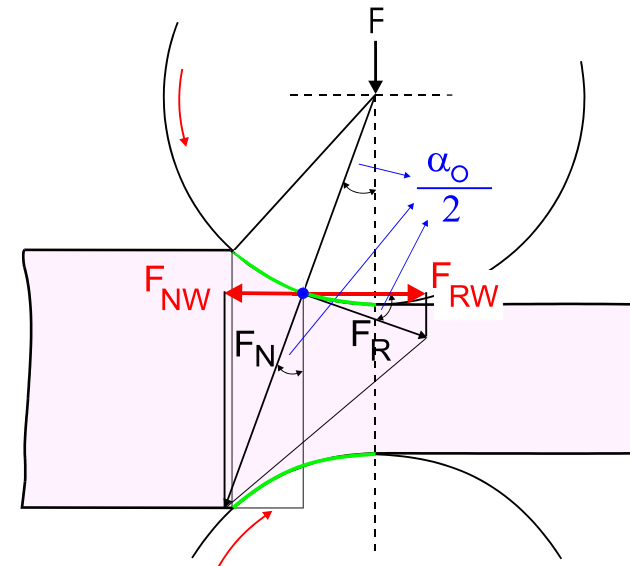


Abb. 101: Kräfte beim Durchwalzen

Greifbedingung

Durchwalzbedingung:

## Walzen: Aufgabe

zum Greifen (Durchwalzen) eines Blechstreifens aus Stahl durch ein Walzenpaar

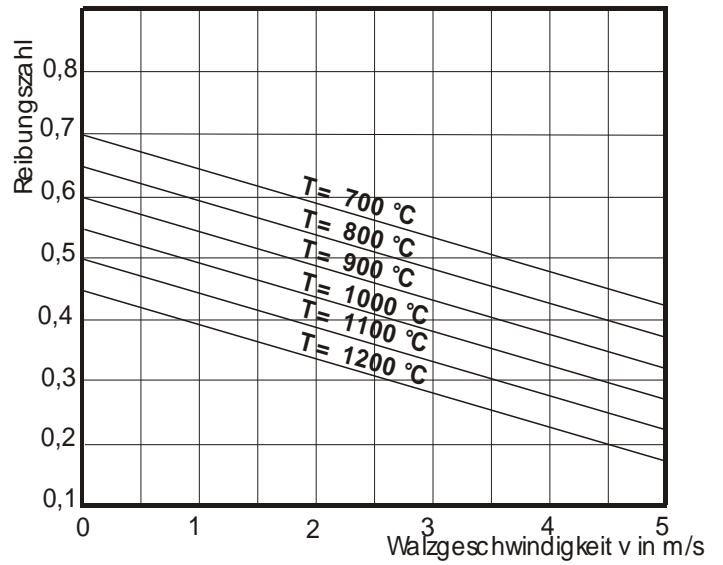
gegeben:

$$T = \theta = 900 \text{ °C}$$

$$v_t = 2 \text{ m/s}$$

gesucht:

größter zulässiger Greifwinkel  $\alpha_0$



Lösung: Greifbedingung/Durchwalzbedingung:



### 6.3.3: Dickenabnahme beim Walzen

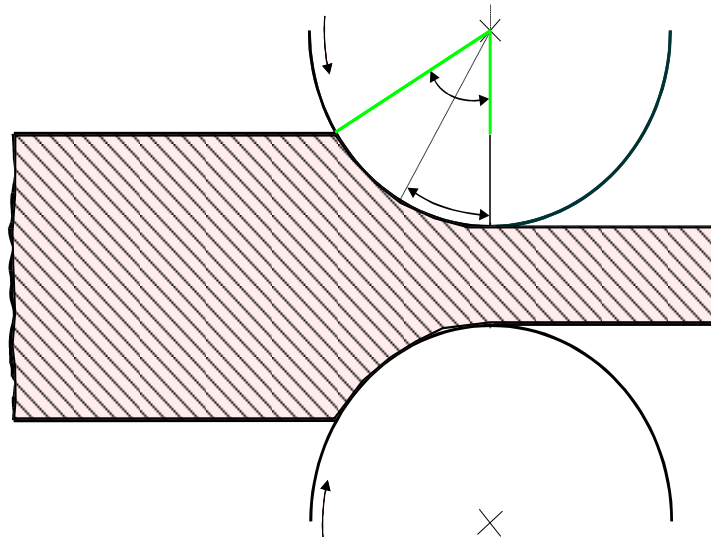


Abb. 102: Dickenabnahme =  $f(\text{Eingriffswinkel})$ :

Daraus ergibt sich (s. Aufgabe nächste Seite), dass beim Durchziehen eine wesentlich höhere Dickenabnahme erfolgt als beim Greifen  $\rightarrow$  deshalb sind Maßnahmen zum Erleichtern des Greifens entwickelt worden:

#### Erleichtern des Greifens

- Anspitzen des Stranges
- Hineindrücken des Walzgutes in den Walzspalt
- rauhe Walzen
- Kühlen  $\rightarrow \mu^{\hat{u}} \rightarrow \rho^{\hat{u}} \rightarrow \alpha_0^{\hat{u}} \rightarrow \Delta h_{\max}^{\hat{u}}$  (s. Abb. 185)
- $v$  reduzieren  $\rightarrow \mu^{\hat{u}} \rightarrow \rho^{\hat{u}} \rightarrow \alpha_0^{\hat{u}} \rightarrow \Delta h_{\max}^{\hat{u}}$  (s. Abb. 185)
- $\mu^{\hat{u}}$ , z.B. durch Sand)

#### Walzen: Aufgabe

Berechne die maximale **Dickenabnahme** a) beim Greifen b) beim Walzen von Stahl

gegeben:  $T = 900\text{ °C}$   
 $v_t = 2\text{ m/s}$   
 $D = 200\text{ mm (Walzen-}\varnothing\text{)}$   
Reibungskoeffizient  $= f(v, T)$

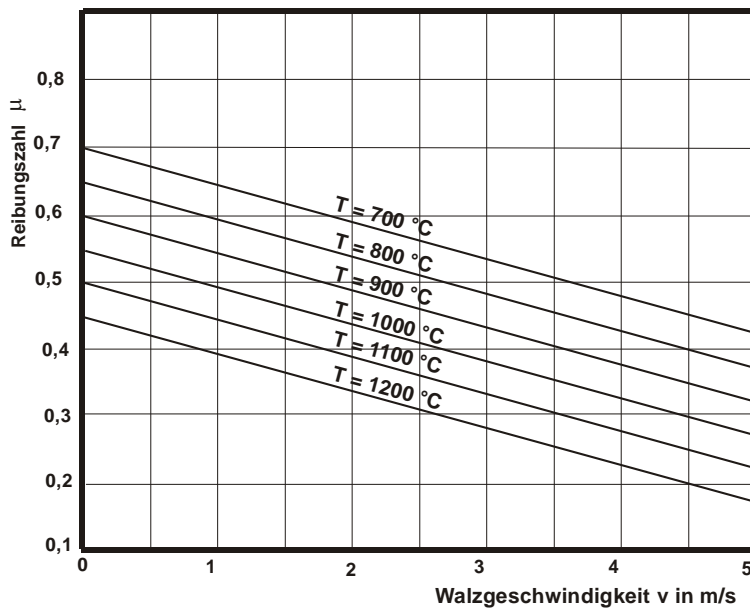


Abb. 103: Reibungszahl als Funktion der Walzgeschwindigkeit und der Temperatur

gesucht:  $\Delta h_{\max}$  beim Greifen und beim Walzen

## 6.4 Tribologie

**Tribologie** ist

### 6.4.1 Reibung

Nach DIN 50323 ist die Reibung eine Wechselwirkung zwischen sich berührenden Stoffbereichen von Körpern. Sie wirkt einer Relativbewegung entgegen.

Die Reibung ist eine Systemeigenschaft, da sie von einer Vielzahl von Einflussgrößen (Oberflächengeometrie und -beschaffenheit, Flächenpressung, Relativgeschwindigkeit, Temperatur, Werkstoffpaarung, Luftfeuchtigkeit und Schmierstoff) abhängt. Die Reibung beeinflusst bei Umformprozessen nicht nur die Geschehnisse im Kontaktbereich, sondern auch den Spannungs- und Formänderungszustand in der gesamten Umformzone und somit auch den Kraft- und Arbeitsbedarf!

Je nach Kontaktzustand der Reibpartner unterscheidet man:

1. **Festkörperreibung:** Elastische und plastische Verformungen der Oberflächen treten auf, insbesondere beim weicheren Reibpartner. Dabei wird die Oxidschicht zerstört und es kommt lokal zu Verschweißungen bzw. zu Adhäsion.
2. **Grenzreibung:** Dieser Kontaktzustand stellt die Grenze zwischen geschmierter und ungeschmierter (trockener) Reibung dar. Es genügen bereits geringste Fettmengen, damit die Festkörperreibung zur Grenzreibung wird, denn Fettsäuren bilden mit der Oxidschicht Metallseifen, die sehr gute Schmiereigenschaften haben.
3. **Mischreibung:** Grenzreibung und Flüssigkeitsreibung treten in kleinen Bereichen nebeneinander auf.
4. **Flüssigkeitsreibung** (hydrodynamische Schmierung): Die Reibpartner sind durch einen Schmierfilm ganzflächig getrennt.

Optimal (geringster Verschleiß und Energieverlust) → hydrodynamische Schmierung.

Beim Umformen liegt im Allgemeinen Mischreibung vor, gelegentlich auch Grenzreibung (Gesenkschmieden). Hydrodynamische Schmierung wird z.B. gezielt beim hydrostatischen Fließpressen eingesetzt.

Schlecht: Festkörperreibung. Sollte möglichst vermieden werden. Beim Umformen würden die Werkzeuge schon nach kürzester Zeit unbrauchbar.

### 6.4.2 Schmierstoffe

Es gibt eine große Anzahl von Schmierstoffen, die je nach Einsatzbereich angewendet werden, z.B. dutzende Öle und Fette, Graphitsuspensionen, Glasperlen, Holzmehl, MoS<sub>2</sub>-Wasser Suspensionen, (Kern-) Seifenlösungen, Teflonfolien, Kalk-Wasser-Lösungen etc.

In der Umformtechnik kommt es bei Verwendung flüssiger Schmierstoffe meist zu Mischreibungszuständen.



### 6.4.3 Die Reibungszahl $\mu$ :

Die Bestimmung der Reibungszahl  $\mu$  setzt eine genaueste Kenntnis des Kontaktzustandes voraus und gestaltet sich in den meisten Fällen als äußerst schwierig. Anwendung finden als Rechenverfahren das Coulombsche Reibungsgesetz (1) und das so genannte Reibungsfaktormodell (2):

- (1)  $|F_r| = \mu \cdot |F_n|$  mit  $F_r$  als Reibungskraft und  $F_n$  als Normalkraft  
 (2)  $|\tau_r| = m \cdot k$  mit  $m$  als Reibungsfaktor ( $0 < m < 1$ ),  $\tau_r$  als Reibungsschubspannung und  $k$  als Schubfließspannung ( $k_f/2$ )

Beide Reibungsgesetze geben die physikalischen und chemischen Vorgänge in der Reibungszone nur sehr grob wieder. Folgende **Richtwerte** haben sich für die aufgeführten Kalt- und Warmumformprozesse bewährt:

Umformverfahren	Formänderung	Reibungszahl (Stahlwerkstoff)
Kaltwalzen	gering	0,07
	groß	0,03
Kaltfließpressen	gering	0,1
	groß	0,05
Drahtziehen	gering	0,1
	groß	0,05
Tiefziehen	gering	0,05
	groß	0,05-0,1
Warmwalzen		0,2
Strangpressen		0,02 -0,2
Schmieden		0,2

Tabelle: Richtwerte für Reibungszahlen bei ausgewählten Umformprozessen.

Für **Stahl gilt im Warmwalzbereich** von  $700\text{ °C} < T < 1200\text{ °C}$  für  $0\text{ m/s} < v_t < 5\text{ m/s}$  annähernd:

$$\mu = 1,05 - 0,5 \cdot 10^{-3} T - 0,056 - 0,05 \cdot v_t \quad \text{s. auch graphische Darstellung zur Aufgabe Walzen/6}$$

Das Ergebnis ist je nach Walzenwerkstoff wie folgt zu korrigieren:

$\mu - 0,1$  für Hartgußwalzen,  $\mu - 0,2$  für geschliffene Hartgußwalzen oder Stahlwalzen

Für Aluminiumwerkstoffe kann man in erster Näherung rechnen mit:  **$0,25 \leq \mu \leq 0,35$**

Für das **Kaltwalzen von Stahl** gilt:  **$0,07 \leq \mu \leq 0,15$**

$\mu \neq f(T, v_t)$  aber

$\mu = f(\text{Werkstoff, Oberfläche, Schmierung, etc., s.o.})$

Weiterführende Literatur: Lange (s.o.), S 239 – 306 („Tribologische Grundlagen“)

## 6.5: Kraft und Arbeitsbedarf: Berechnung

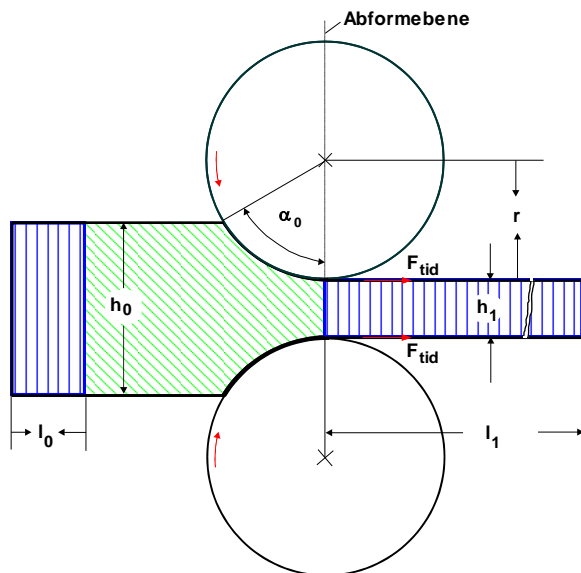


Abb. 104: Walzen: Kraft- und Arbeitsbedarf

## Walzen: Aufgabe

**Thema:** Kaltwalzen von Stahlblech (Ck 10):

**gegeben:**

$b_0 (\approx b_1) = 1000$  mm (Breite)

$h_0 = 10$  mm (Dicke)

$h_1 = 6,3$  mm (End-Dicke)

$2r = 600$  mm (Walzen- $\emptyset$ )

$v_t = 0,1$  m/s (Walzenum-  
fangs- $v$ )

$\mu = 0,1$  (Reibbeiwert)

$\eta_f = 0,4$  (FÄ-Wirkungsgrad)

Fließkurve für Stahl Ck10

**gesucht:**

$F_{tR}, F_{tId}$  (Walzkraft)

$M_R$  (Walzmoment)

$P_R$  (Walzleistung)

Lösung:

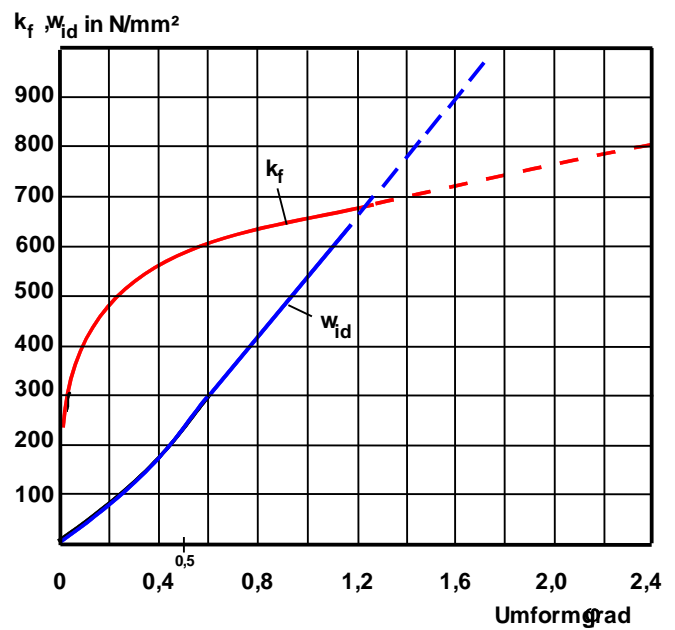


Abb. 105: Fließkurve für Stahl Ck10

## 6.6 Ordnungssystem der Walzverfahren nach DIN 8583, Bl.2

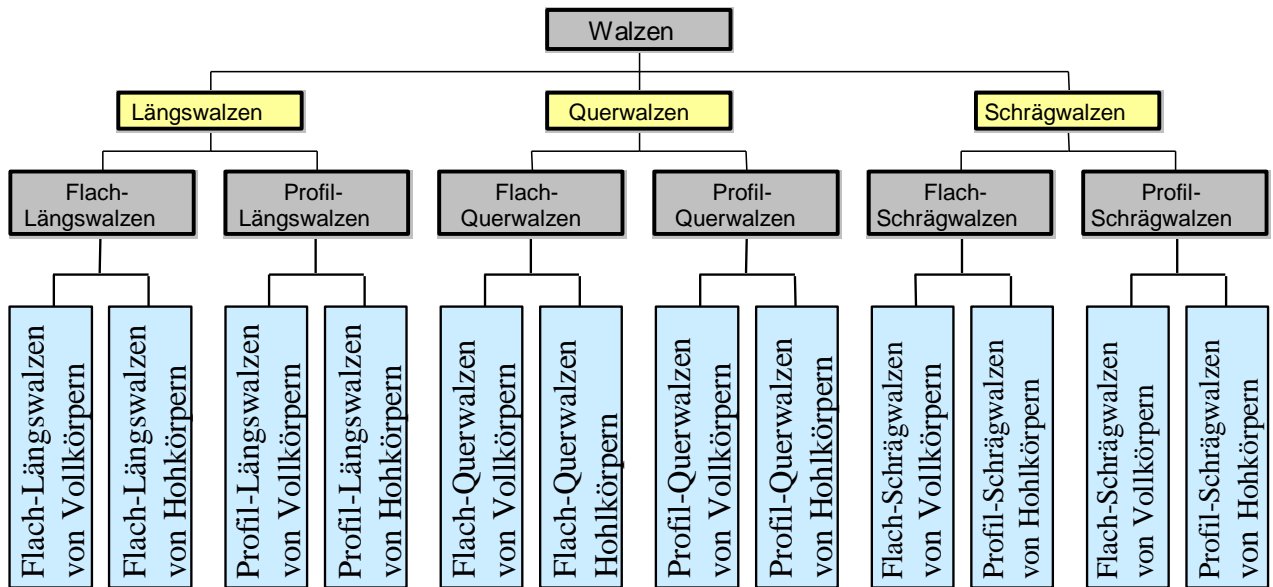
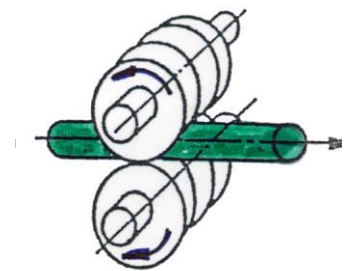


Abb. 106:  
Ordnungssystem der Walzverfahren nach DIN 8583, Bl.2

### 6.6.1 Längswalzen

- 
- 
- 



Produkt: Halbzeuge (Strang)

### 7.6.1 Beispiele zu den Walzverfahren: Längswalzen

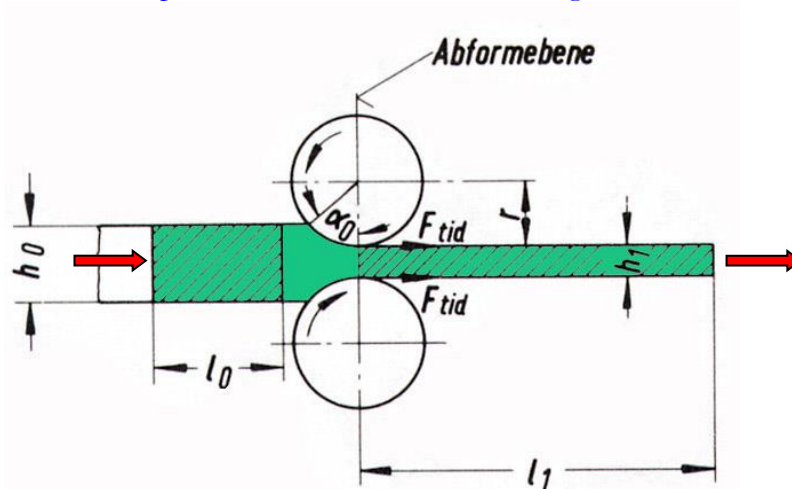


Abb. 107: Blechwalzen

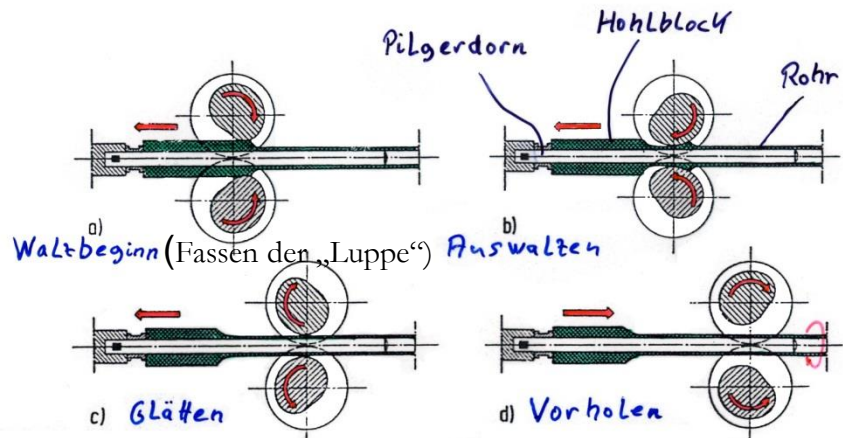


Abb. 108: Rohrwalzen: Pilgerschrittverfahren → Video

→ eigentliche Walzrichtung  
← Schritte a) b) c)

} Pilgerschritt

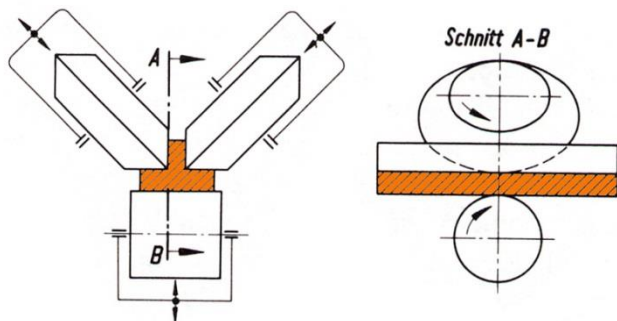


Abb. 109: Walzen von T-Trägern

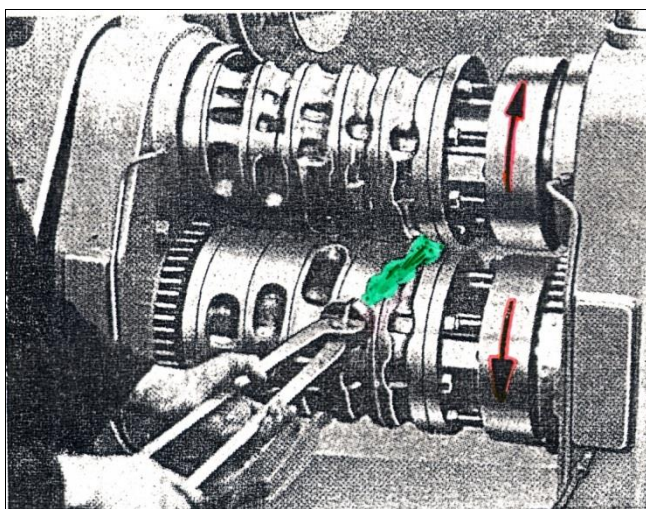
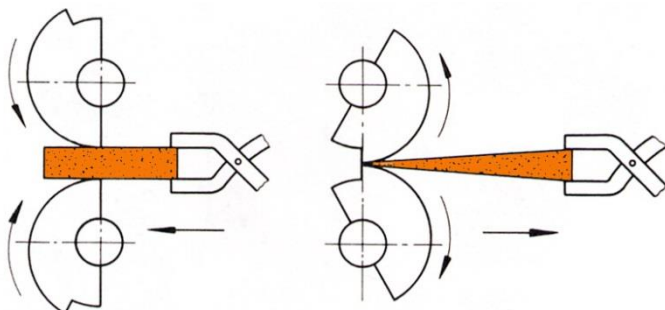
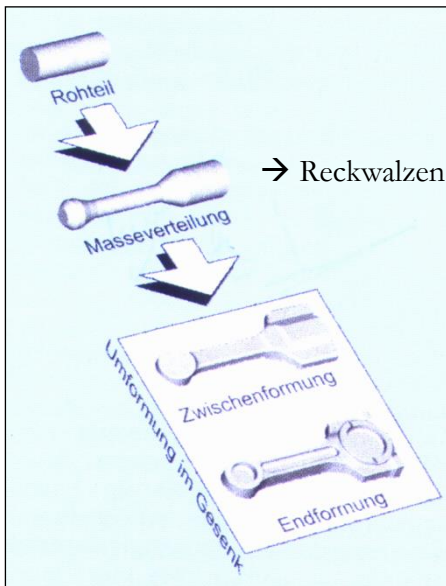


Abb. 110: Reckwalzen → Massenverteilung (sprunghafte Querschnittsänderung)

Abb. 111: Reckwalzen zur Vorbereitung des (Halbwarm-Präzisions-) Gesenk-Schmiedens:

☐ **Verfahrensschritte**



$T < 900\text{ °C} \Rightarrow 10\mu\text{m} < Rz < 14\mu\text{m}$

$T \text{ rel.} \Downarrow \Rightarrow \text{Zunder} \Downarrow \Rightarrow \text{Genauigkeit} \Uparrow$  Aber:  $\Delta T \Leftrightarrow \Delta K_f \Leftrightarrow \Delta \text{Formfüllung}$  (filigrane Teile), Schmierung (Graphit), therm. + elast. Dehnung!



Endprodukt: Pleuel (120 mm lang)



Reckwalzen (Massenverteilung)

Vorgrawur

Fertigrawur

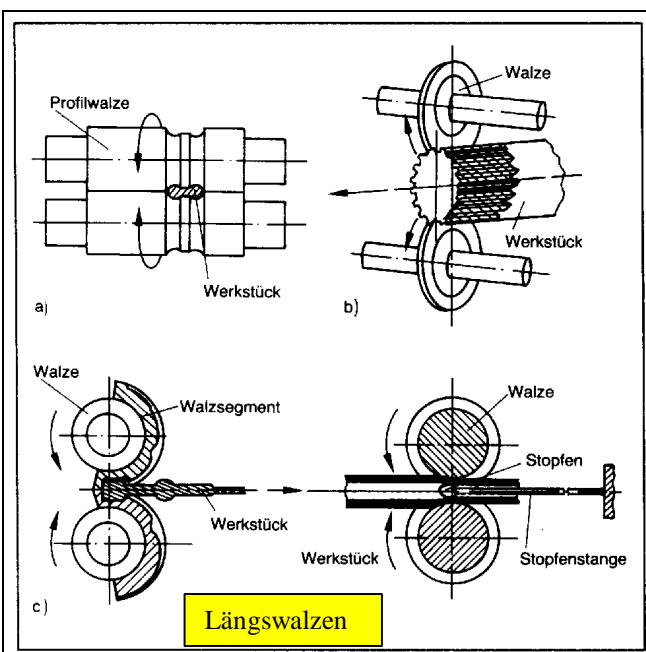


Abb. 112: Längswalzen ( aus DIN 8583)

a, b) Längsprofilwalzen

c) Reckwalzen

d) Rohrwalzen

## 6.6.2 Querwalzen

- 
- 
- 

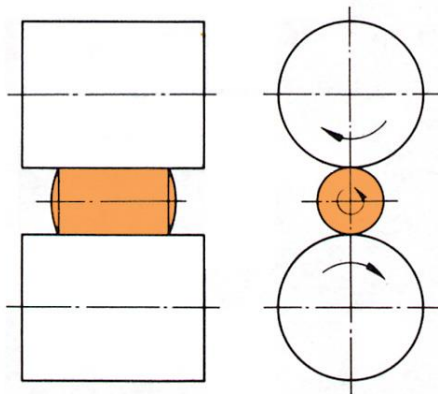
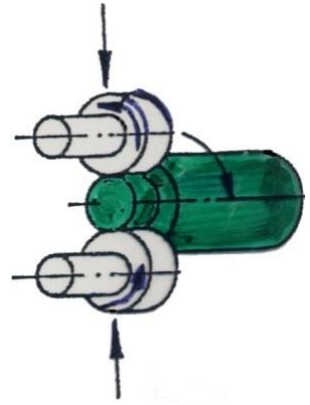


Abb. 113: Rundstückwalzen

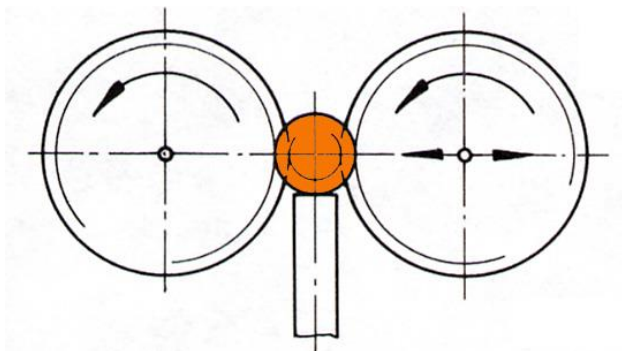


Abb. 114: Gewindewalzen

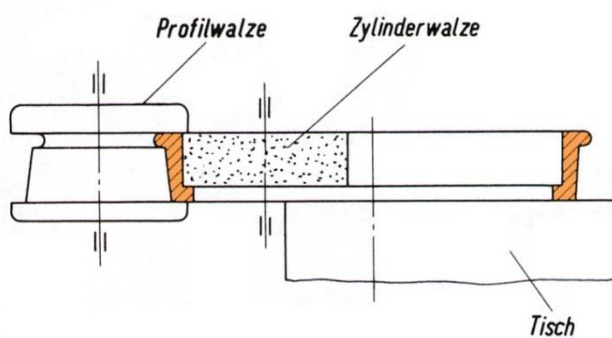


Abb. 115: Ringwalzen

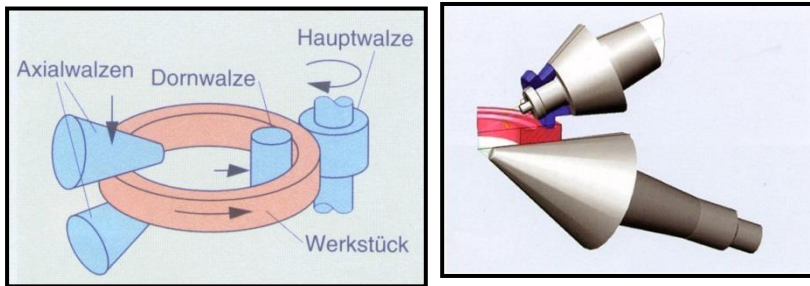


Abb. 116: Ringwalzen  
Prinzipskizzen



Abb. 117: Ringwalzen: Fotos

**Anwendung:**

primär zur Herstellung von nahtlosen Ringen mit rechteckigem Querschnitt

**Ausgangsmaterial:**

geschmiedete und gelochte Scheibe

**Abmessungen:**

von 100 bis 10000 mm Durchmesser (16 t) und 20 bis 1500 mm Höhe

**Produkte:**

Kugellagerringe, Eisenbahn-Laufradbandagen, Kupplungsmuffen bei Ölbohrgestängen, Großwälzlager, Bergbau, Kraftwerke

**Vorteile:** (vor allem bei Einzelstücken und kleinen Serien)

Oft keine Kosten für spezielle Werkzeuge, praktisch unbegrenzte Formgebungsmöglichkeiten

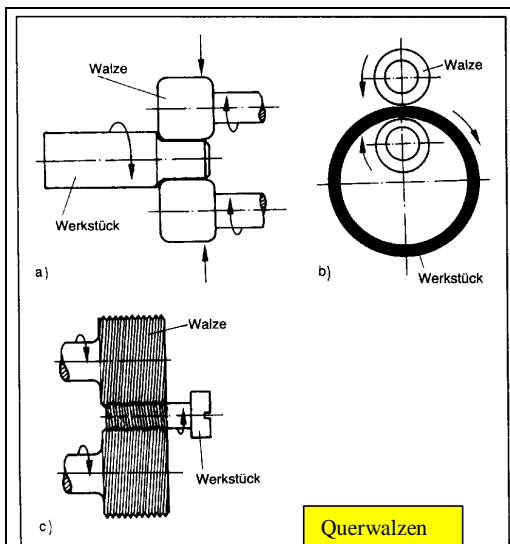


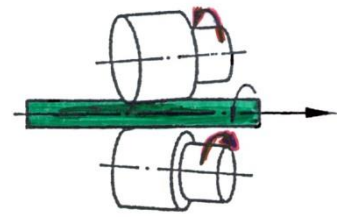
Abb. 118: Aus DIN 8583, Bl.2:

- a) Glattwalzen
- b) Ringwalzen
- c) Gewindewalzen

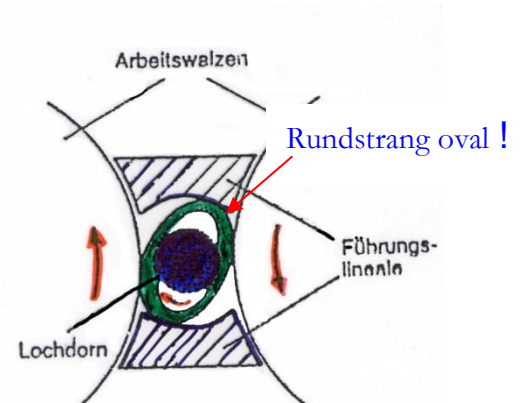
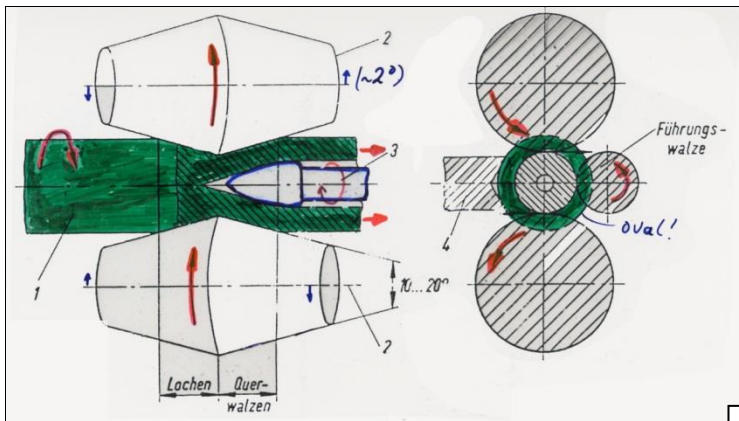


### 6.6.3 Schrägwalzen

- 
- 
- 
- 



#### Beispiel zum Schrägwalzen:



- 1) Rundstrang (voll)
- 2) Walzen (Doppelkegel unter 3 – 6 °)
- 3) Dorn (rotiert)
- 4) Auflage

Abb. 119: Schrägwalzen von Rohren aus Vollmaterial

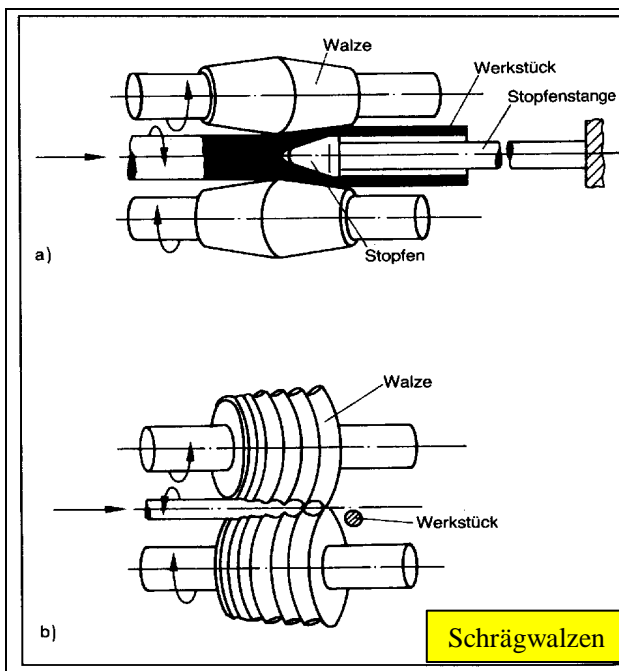


Abb. 120: Aus DIN 8583, Bl.2:

- a) Rohrwalzen b) Kugelwalzen

## 6.7 Walzenarten/ -körper/ gerüste

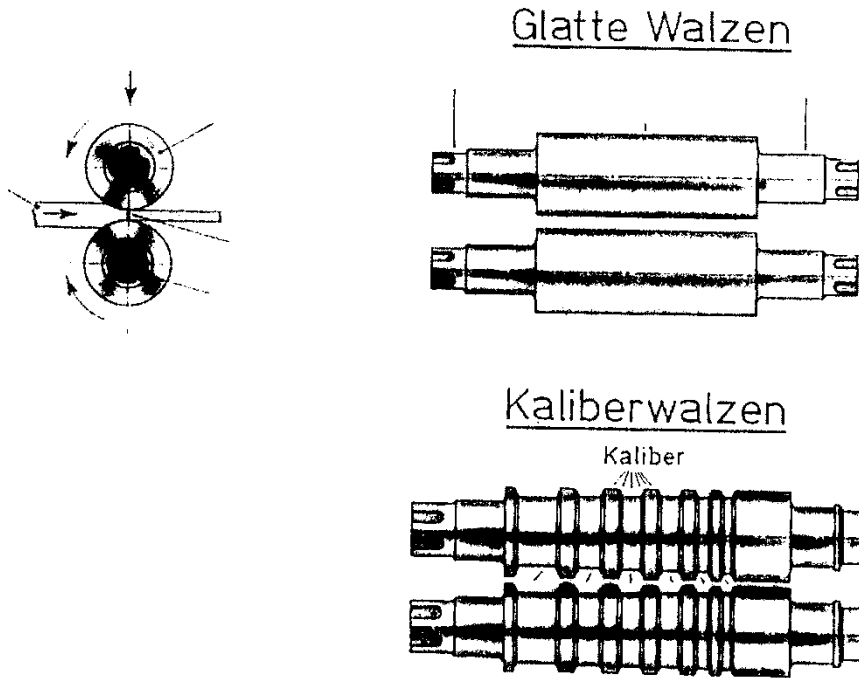


Abb. 121: Walzenarten:

Man unterscheidet:

- 
- 
- 

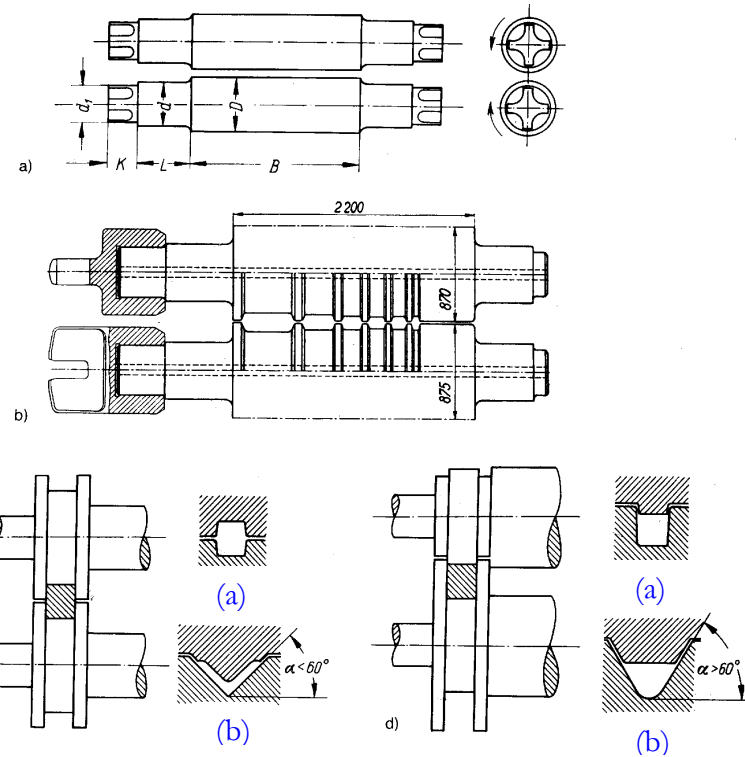


Abb. 122: Walzenkörper:

Wenn die Kaliberöffnung zwischen den unbelasteten Walzen durch Linien parallel zur Walzenachse (a) oder unter einem Kaliberöffnungswinkel  $< 60^\circ$  (b) gebildet wird.

Wenn die Kaliberöffnung zwischen den unbelasteten Walzen durch Linien annähernd senkrecht zur Walzenachse (a) oder unter einem Kaliberöffnungswinkel  $> 60^\circ$  (b) gebildet wird.

## Walzengerüste

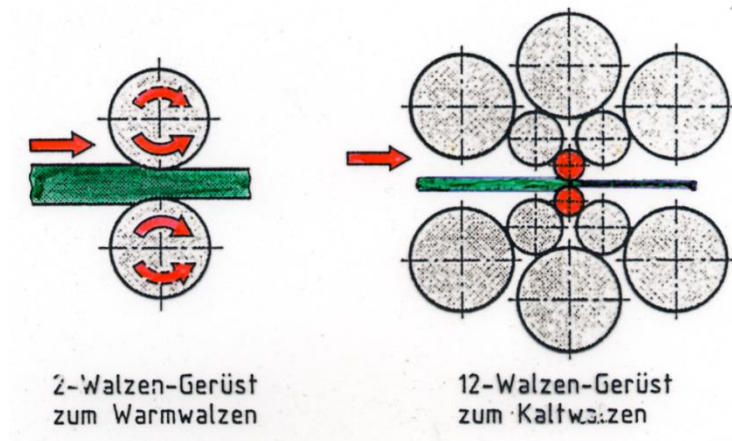


Abb. 123: Walzengerüste zum Kalt- und Warmwalzen

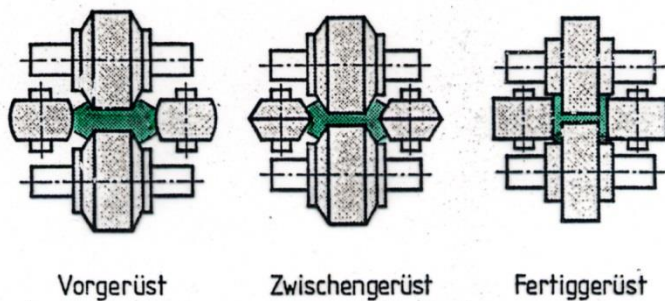


Abb. 124: Walzengerüste für I-Profile (

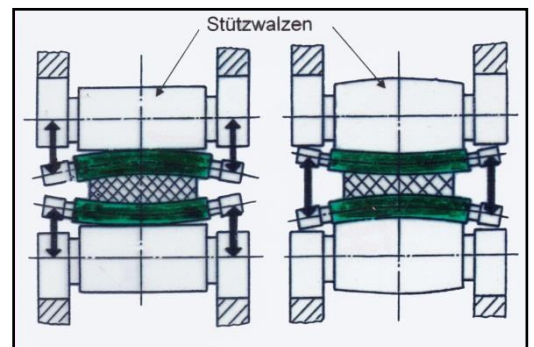


Abb. 125:  
Ausgleich der Walzenlinie durch gezieltes Gegenbiegen der Arbeitswalzen durch Stützwalzen, s. auch nächstes Bild

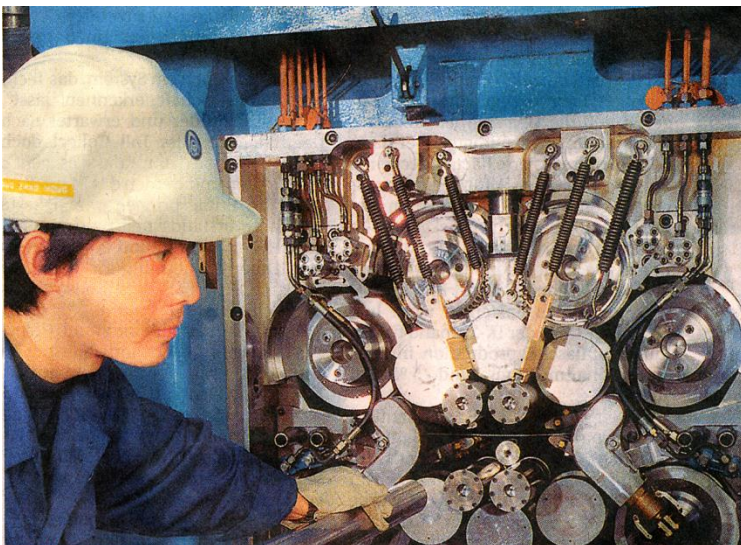


Abb. 126:  
20 Rollen Walzengerüste für

## 6.8 Walzenwerkstoffe

Walzen werden je nach Verwendungszweck aus verschiedenen Werkstoffen hergestellt

### a) Warmwalzen

- geschmiedeter Stahl       $\Rightarrow$
- Stahlguß       $\Rightarrow$
- Halbhartguß       $\Rightarrow$
- Mildhartguß       $\Rightarrow$
- Schalenhartguß       $\Rightarrow$
- Indefiniteguß       $\Rightarrow$
- Sphäroguß       $\Rightarrow$

### b) Kaltwalzen)

es werden geschmiedete + gehärtete Walzen verwendet

$\rightarrow$  hohe Ansprüche da  $K_f \uparrow$  + Oberflächengüte  $\uparrow$  + Standzeit  $\uparrow$

- 2 - 3,5 %ige Cr-Stähle mit ca. 0,8 %C (+ Leg.)**  
 $\Rightarrow$  Schalenhärter mit HRC  $\uparrow$  für hohe Ansprüche an die Oberfläche,  
z.B. 72 CrMnMo 6 3
- 5 - 7 %ige Cr-Stähle mit ca. 0,6 - 0,8 %C (+ Leg.)**  
 $\Rightarrow$  durchgehärtet, Verschleißfestigkeit  $\uparrow$ , unempfindlich da hohe Anlaß-T ,  
z.B. X63 CrMoV 5 1
- 12 %ige Cr-Stähle mit ca. 1,6 %C (+ Leg.)**  
 $\Rightarrow$  durchgehärtet, Verschleißfestigkeit  $\uparrow\uparrow$ , hohe Anlaß-T (unempfindlich), hoch  
druckbelastbar, z.B. X155 CrMoV 12 1
- verschiedene hochlegierte Schnellarbeits-Stähle**, z.B. S 6- 5-3

i.a. werden Duo-, Quarto- oder Vielrollen-Gerüste benutzt [evtl. Vorwärmung ( $A_v \uparrow$ ), dann  $T \uparrow$   
durch innere Reibung]

## Walzenwerkstoffe\_2

Walzen werden je nach Verwendungszweck aus verschiedenen Werkstoffen mit unterschiedlichen Eigenschaften hergestellt z. B. aus

- a) **geschmiedetem Stahl**, geeignet für Blockwalzen
- b) **Stahlguß** mit geringer Festigkeit aber besserer Temperaturwechselbeständigkeit. Walzen aus Stahlguß werden dabei für leichtere Block- und Vorstraßen verwendet. Stahl und Stahlgußwalzen können nach Verschleiß durch Auftragschweißen wieder instand gesetzt werden
- c) **Halbhartguß**, gegossen in Sand ausgekleideten Kokillen und daher mit feinperlitischem Gefüge, eignet sich sowohl für Knüppelwalzen als auch für schwere Profil und Grobblechwalzen
- d) **Mildhartguß** in normalem Kokillenguß hergestellt, hat keine karbidische Schicht, ist feinkörnig und verschleißfest. Walzen aus diesem Guß werden verwendet zum Walzen feiner Knüppel, von Rundstahl und mittlerem bis feinerem Profilstahl.
- e) **Schalenhartguß**, in Kokillen gegossene Walzen, wobei die Abschreckwirkung eine harte, karbidische Schicht hinterlässt, während der übrige Querschnitt sowie der Zapfen grau erstarren. Tiefe Einarbeitung der Kaliber ist hier nicht zweckmäßig. daher werden diese Walzen für kleinere Profile verwendet.
- f) **Indefiniteguß**, ein Hartguß, der jedoch nur geringe Härteannahme vom Rand zum Kern zeigt, daher sind tief eingeschnittene Kaliber möglich.
- g) **Sphäroguß**, Walzen aus Gußeisen mit Kugelgrafit sind wegen ihrer hohen Festigkeit dort geeignet, wo höherer Walzdruck bei Vor- und Fertigstraßen auftritt.

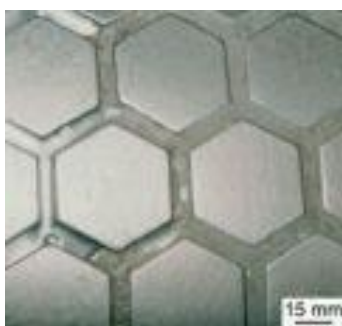
## Neue Walzenwerkstoffe

05.09.05: Der mechanische Verschleiß etwa von Walzenoberflächen oder Rollen kostet die deutsche Wirtschaft jährlich ca. 60 Milliarden Euro. Abhilfe schaffen pulvermetallurgische Werkstoffe, die sich durch große Härte bei gleichzeitiger Zähigkeit auszeichnen. Sie sind effizient und haltbar, bislang aber aufwändig und teuer in der Herstellung.

**Auf die Beschichtung kommt es an:** Die neuen pulvermetallurgisch hergestellten Schichten bestehen aus Hartstoffen, z.B. Keramik, die in eine Umgebung aus weicherem Metall eingebettet sind. Bei Walzen, die etwa in großen Mühlen zum Einsatz kommen, stellen sich die harten Partikel dem Mahlgut in den Weg und verhindern die Bildung von Furchen, während die weichere Umgebung Risse stoppt. Mit diesen sog. Metallmatrix-Verbundwerkstoffen lässt sich die Lebensdauer von Verschleißteilen bis um das 50-fache steigern. Einziger Haken: Die Herstellung der neuen Werkstoffe ist kompliziert und teuer; es bedarf zum "Zusammenbacken" der Komponenten sehr hoher Temperaturen und Drücke über lange Zeit. Das "Backen" der Werkstoffe im Ofen beschränkt außerdem ihre Größe auf etwa 1,5 Meter Durchmesser.

**Walzen statt Gasdruck:** Günstiger und schneller werden soll die Prozedur durch das sog. Radial-Axial-Ringwalzen: Nach dem Erhitzen auf Temperaturen oberhalb 1100° C in einer Blechkapsel im Ofen wird der beschichtete Ring gewalzt. Dadurch verdichtet sich die Pulverschicht und wird in Form gebracht. Aus einem Vollmaterialring, der mit 1,5 Metern Durchmesser aus dem Ofen kommt, kann so eine Walze von bis zu 6 Metern Durchmesser werden. Der anschließende Abkühlprozess wird zur Wärmebehandlung genutzt, bei der durch gezielte Abkühlzeiten und Haltestufen sowohl der Grund- als auch der Schichtwerkstoff gehärtet werden.

**Simulationen und schnelle Umsetzung:** Die Vorgänge beim Sintern, Umformen und die durch Temperaturdifferenzen und Phasenumwandlung generierten Spannungen während der Wärmebehandlung simulieren die Forscher zusätzlich mit Hilfe der Methode der finiten Elemente. Dies gelingt mit der ALE (arbitrary Lagrangian Eulerian)-Methode, die es erlaubt, im Walzspalt ("wo viel passiert") mit einem feinen Netz zu arbeiten, wohingegen an unkritischen Stellen im Bauteil für kurze Rechenzeiten auch vergrößert werden kann. Die Entwicklung ist auf schnelle industrielle Umsetzung ausgerichtet. Daher steht von Beginn an die Übertragung von Laborergebnissen auf großtechnische Fertigungsprozesse im Vordergrund.



Das Prinzip der Werkstoffmischung übertragen die Forscher auch auf die makroskopische Oberfläche der Walze: Viele Sechsecke aus einer harten Werkstoffmischung sind umgeben von einer weicheren Mischung. Diese Matrix wird zwar schnell ausgewaschen, die Ritzen füllen sich aber schnell mit gepresstem Mahlgut, so dass die Walze noch griffiger wird.

Prof. Theisen, Ruhruniversität Bochum, ([wt@wtech.rub.de](mailto:wt@wtech.rub.de))

Seit einigen Jahren versucht man auch nanokristalline Keramiken für Walzenwerkstoffe zu entwickeln. Durch die extreme Feinkristallinität vermindert sich die Sprödigkeit der Keramik. Gelingt dies, eröffnen sich eine Reihe weiterer Anwendungen, z.B. in der Automobiltechnik

## 6.9 Thermomechanisches Walzen

Art der TM-Behandlung	Beispiele für technisch angewendete Verfahren $\phi$ - $T$ -Führung	Verfahren
Verformung vor der Umwandlung		<p><i>normale Warmwalzvorgänge</i>, bei denen die Warmformgebung in einem definierten Temperaturbereich dicht oberhalb <math>A_{c3}</math> erfolgt</p> <p><i>Austenitformhärten („Ausforming“)</i> im Bereich des umwandlungsträgen Bereiches (<math>\approx 500^\circ\text{C}</math>) unterhalb <math>T_{Rk}</math>. Große Anzahl von Gitterbaufehlern und gespeicherte Energie erzwingt extrem schnelle <math>\gamma</math>-Umwandlung in extrem feinnadligen Martensit</p> <p><i>Spannungsinduzierte Ausscheidungen</i> (vorwiegend bei NE-Metallen). Verformen nach Lösungsglühen (L) erzeugt bei nachfolgendem Auslagern (A) sehr feine und gleichmäßige Ausscheidungen</p>
Verformung während der Umwandlung		<p>Festigkeit wird erhöht durch Verfeinern des Mikrogefüges und eventuell durch Ausscheidungshärtung</p>
Verformung nach der Umwandlung		<p>(1) <i>Patentieren</i> von Draht. Sehr feinkörniges perlitisches Gefüge läßt sich durch Verformen stark verfestigen („Klaviersaitendraht“).                  (2) Martensit wird vor Anlassen verformt. Anlaßgefüge mit feinstverteilten Karbiden entsteht</p>

Abb. 127:  
verschiedene Verfahren des thermomechanischen Walzens

## 7. Das Tiefziehen (EN 10130, DIN 8584)

### 7.1 Definition, Prinzip, Verfahren

□ Blechumformung durch Zug- + Druckspannung zur Erzeugung von Hohlteilen

Def.: Tiefziehen ist ein Zug-Druck-Umformverfahren. Dabei wird ein Blechzuschnitt (z.B. eine Ronde) zu einem Hohlkörper ohne beabsichtigte Änderung der Blechdicke umgeformt. Dazu werden starre Werkzeuge oder Wirkmedien benutzt. Bei größeren Umformgraden sind mehrere Züge (Weiterzüge) und Zwischenglühung (Rekristallisation) erforderlich. Diese können sowohl in die gleiche als auch in die entgegengesetzte Richtung erfolgen.

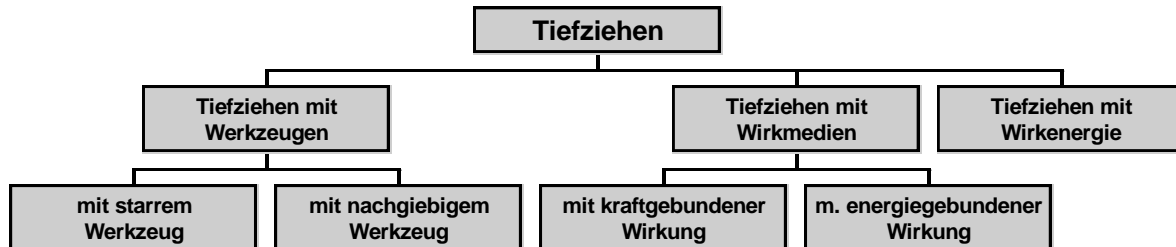


Abb. 128: Unterteilung der Tiefziehverfahren nach DIN 8584

Nomenklatur (Bezeichnungen):

⇒ Ausgangswerkstück = Blech (Flachprodukt) = Ronde

Feinstblech	:	0,49	mm $\geq$ s
Feinblech	:	0,50	mm $\leq$ s < 3,00 mm <sup>♯</sup>
Mittelblech	:	3,00	mm $\leq$ s $\leq$ 4,75 mm
Grobblech	:	4,75	mm < s



Abb. 129:

a) Ausgangswerkstück

b) tiefgezogenes Hohlteil

Das im 18. Jahrhundert entwickelte Tiefziehen ist ein wichtiges Verfahren der Blechverarbeitung. Typische Produkte (i.A. Hohlteile):

- Getränkedosen
- Töpfe und Pfannen
- Behälter aller Formen und Größen
- Waschbecken
- Automobilkarosserien, Scheinwerfer
- Gehäuse etc.



Werkstoffe:

- gut verformbare (meist C-arme oder weichgeglühte) Stähle
- hochlegierte Cr-Ni-Stähle
- Al-Knetlegierungen
- Cu-Knetlegierungen
- Ni-Legierungen

## 7.2 Prinzip, Verfahren, Spannungen:

Ein flacher Blechrohling (Ronde, Platine) wird zu einem zylindrischen- oder kastenförmigen Teil mithilfe eines Stempels geformt, der den Rohling in den Gesenkhohlraum presst, s. Abb. 3. Es können auch Teile mit kleinen Vertiefungen erzeugt werden.

Unter dem Einfluss der Stempelkraft wird der Werkstoff plastisch und fließt in Richtung Ziehkante. Dabei treten im Werkstoff Druckkräfte auf, die ihn in Ziehrichtung strecken und quer dazu stauchen.

Durch Verwendung geeigneter Schmierstoffe beim Tiefziehen wird die Reibung zwischen Blech und Werkzeug verringert. Dadurch wird der Verschleiß an den Ziehkanten gemindert und die Werkstoffbeanspruchung herabgesetzt.

Die grundlegenden Parameter beim Tiefziehen eines zylindrischen Napfes sind in Abb. 3b dargestellt:

Ein kreisförmiger Blechrohling mit einem Durchmesser  $D_0$  und einer Dicke  $t_0$  wird über einer Öffnung mit einem Eckenradius  $R_d$  platziert. Die Ronde wird mit einem Niederhalter unter einer bestimmten Kraft gegen das Gesenk gedrückt. Ein Stempel mit einem Durchmesser  $D_p$  und einem Eckenradius  $R_p$  bewegt sich nach unten und zieht die Ronde in die Matrizenöffnung, wodurch ein Napf geformt wird.

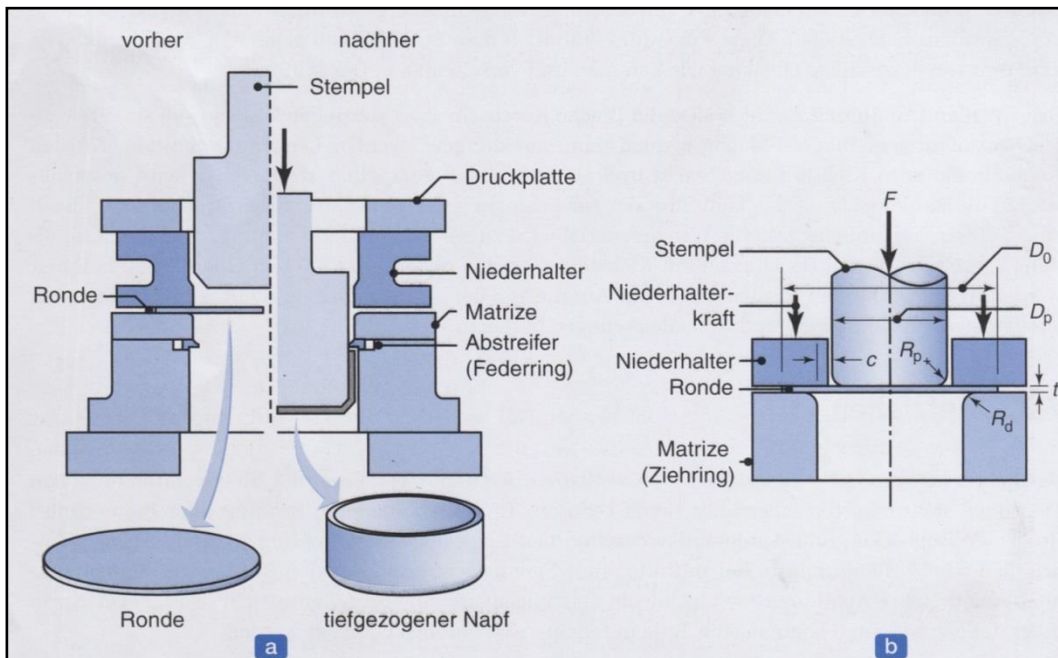


Abb. 130:

(a) Schematische Darstellung des Tiefziehens einer kreisförmigen Blechrunde. Der Abstreifer trennt den tiefgezogenen Napf beim Rücklauf des Tiefziehstempels von diesem,

(b) Kraft- und Geometriegrößen beim Tiefziehen eines Napfes. Mit Ausnahme der Stempelkraft  $F$  sind alle Größen unabhängig voneinander wählbar.

Die signifikanten Variablen beim Tiefziehen sind:

- Eigenschaften des Blechs
- Verhältnis von Rondendurchmesser zu Stempeldurchmesser Blechdicke
- Ziehspalt zwischen dem Stempel und der Matrize
- Eckenradien von Stempel und Matrize
- Niederhalterkraft
- Geschwindigkeit des Stempels
- Reibung an den Grenzflächen zwischen Stempel, Matrize und Werkstoff

weitere Tiefziehverfahren:

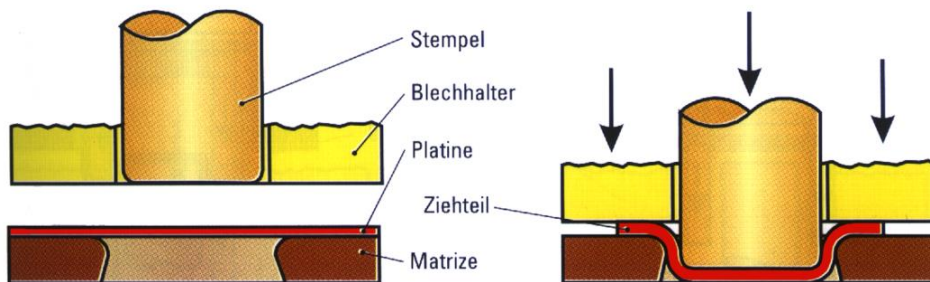


Abb. 131:  
Tiefziehen

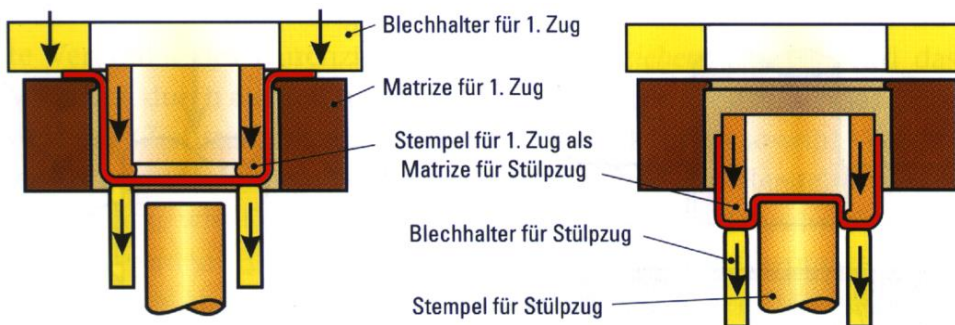


Abb. 132:  
Stülpziehen

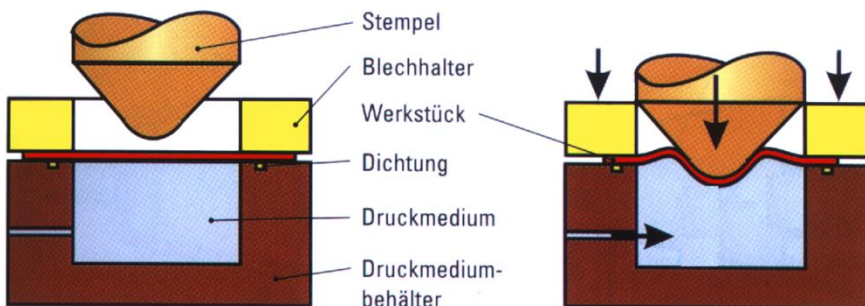


Abb. 133:  
Hydromechanisches  
Tiefziehen

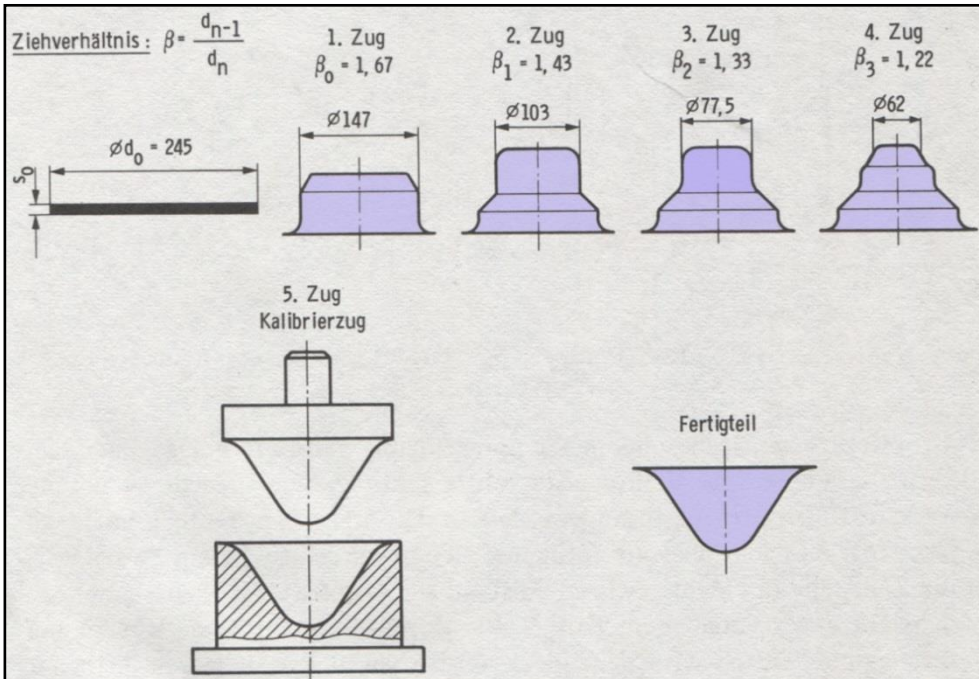


Abb. 134:

Mehrstufiges Ziehen eines konischen Werkstücks (Scheinwerferreflektor) mit zylindrischen Zwischenzügen

### 7.3 Spannungen beim Tiefziehen:

Tiefziehen ist ein Zugdruckumformen. Dabei wird das Werkstück durch gleichzeitig wirkende Zug- und Druckkräfte umgeformt.

Während des Tiefziehens ist das Werkstück den in Abb. 8 angegebenen Spannungszuständen unterworfen.

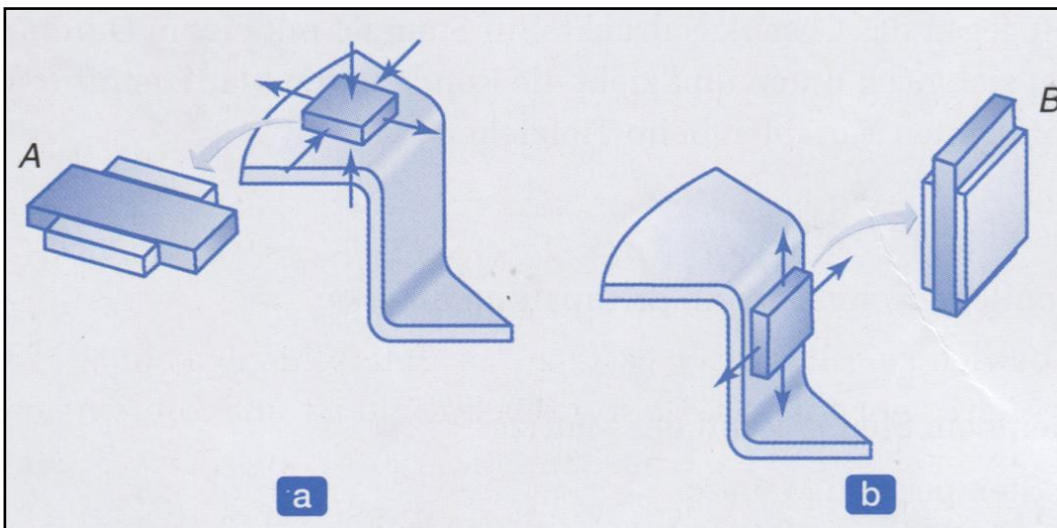


Abb. 135: Belastung und Verformung eines Blechelements (a) im Flansch und (b) in der Napfwand beim Tiefziehen eines zylindrischen Napfes.

Auf das Element A der Ronde wirkt eine radiale Zugspannung, weil die Ronde in die Matrize gezogen wird, die senkrecht auf das Element wirkende Druckspannung geht auf die Kraft zurück, die vom Niederhalter aufgebracht wird. Mit einem Freikörperbild der Ronde lässt sich zeigen, dass die radialen Zugspannungen zu Druckumfangsspannungen auf das Element A führen. Unter diesem Spannungszustand zieht sich Element A in der Umfangsrichtung zusammen und dehnt sich in der radialen Richtung. Da die Umfangsspannungen im Flansch dazu führen können, dass sich das Teil beim Ziehen in die Matrize faltet, muss der Niederhalter eine bestimmte Kraft ausüben, um dies zu verhindern.

Der Stempel überträgt die Ziehkraft  $F$  (Abb. 8b) über die Wände des Napfes auf den Flansch, der in den Matrizenhohlraum gezogen wird. Die Napfwand, die bereits geformt ist, wird prinzipiell einer Zugspannung in Napflängsrichtung unterworfen, wie es bei Element B in Abb. 8 zu sehen ist. Die Zugumfangsspannung auf Element B entsteht, weil der Napf aufgrund seiner Kontraktion unter den in Längsrichtung wirkenden Zugspannungen in der Napfwand eng gegen den Stempel gedrückt wird.

Da Element B durch den starren Stempel an einer Kontraktion in Umfangsrichtung behindert ist, unterliegt es folglich keiner Breitenänderung, dehnt sich aber in der Längsrichtung.

Ein wichtiger Aspekt bei Ziehoperationen ist die Bestimmung, wie viel reines Ziehen und wie viel Strecken stattfindet. Bei einer geringen Niederhalterkraft kann die Ronde praktisch ungehindert in die Matrize fließen (reines Ziehen). Element A in Abb. 8a wird dicker werden, wenn es sich gegen den Matrizenhohlraum bewegt, weil sein Durchmesser abnimmt. Die Verformung des Blechs geschieht hauptsächlich im Flansch und die Napfwand wird nur elastischen Spannungen unterworfen. Allerdings nehmen diese Spannungen mit wachsendem  $D_o/D_p$  - Verhältnis zu und können schließlich zum Bruch führen, sofern die Napfwand die erforderliche Last ertragen kann, um das Blech im Flansch in die Matrize zu ziehen (Abb. 8a).

Umgekehrt kann mit einer geeigneten Niederhalterkraft oder der Verwendung von Ziehwülsten (in den Abb. 8b und 10 gezeigt) die Ronde daran gehindert werden, frei in den Matrizenhohlraum zu fließen. Die Verformung des Blechs findet hauptsächlich um den Stempel statt und der Napf beginnt sich zu verlängern, was schließlich zum Einschnüren und Reißen des Blechs führt. Ob das Einschnüren örtlich oder diffus auftritt, hängt (a) vom Exponenten der Dehngeschwindigkeitsempfindlichkeit  $m$  des Blechs, (b) der Stempelgeometrie und (c) der Schmierung ab. Je höher der Wert von  $m$ , desto diffuser ist die Einschnürung.

Die Länge des nicht gestützten Teils des Blechs (d.h. die Differenz zwischen den Matrizen- und Stempelradien = Spaltbreite) ist insofern wichtig, als sie zu Faltenbildung führen kann. Wie Abb. 10c zeigt, wird Element A in den Matrizenhohlraum gezogen, wenn sich der Stempel nach unten bewegt. Allerdings nimmt der Durchmesser der Ronde ab und der Umfang am Element wird kleiner, wenn sich das Element zu Position A' bewegt. Somit wird das Element an dieser Position Umfangsdruckdehnungen unterworfen und wird durch kein Werkzeug gestützt, im Unterschied zu einem Element zwischen dem Niederhalter und der Matrizenoberfläche. Da das Blech dünn ist und keine nennenswerten Umfangsdruckspannungen aufnehmen kann, neigt es dazu, im nicht gestützten Bereich zu falten. Diese Situation ist vor allem beim reinen Ziehen anzutreffen, während sie seltener wird, wenn sich der Prozess dem reinen Strecken nähert.

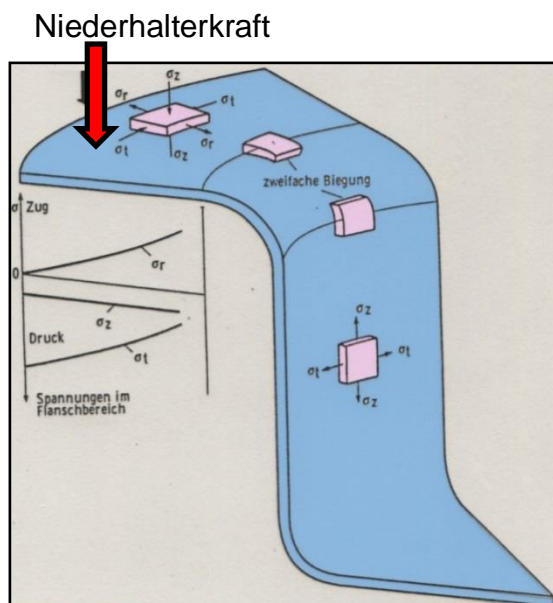


Abb. 136:  
Spannungen beim Tiefziehen

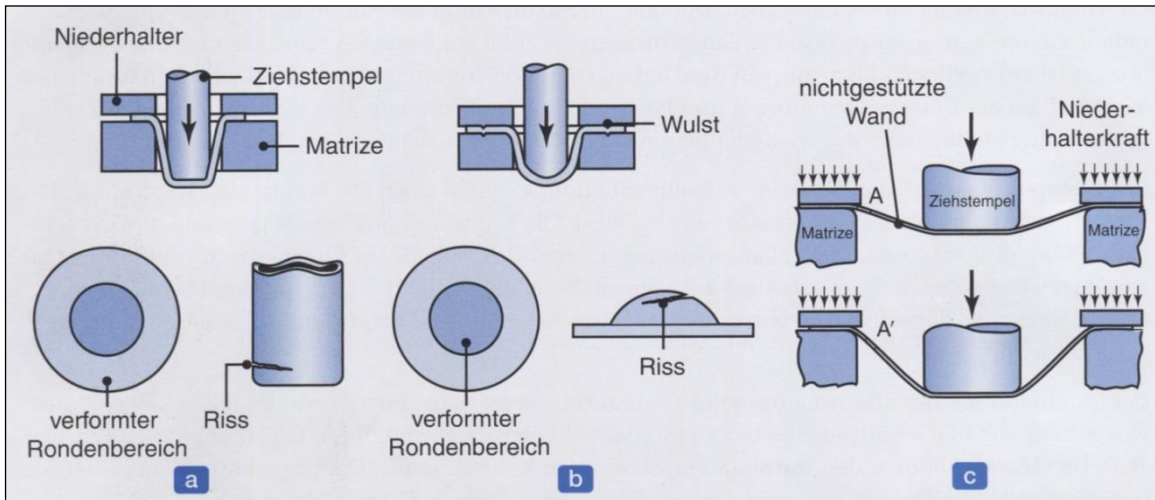


Abb. 137:

Beispiele für (a) reines Ziehen und (b) reines Strecken. Der Wulst (auch Zieh- oder Bremswulst genannt) verhindert, dass das Blech ungehindert in die Matrize einfließen kann. Dies wird besonders bei kleinen Niederhalterkräften angewandt, (c) Nicht gestützte Wand. In diesem Bereich neigt das Blech zur Faltenbildung.

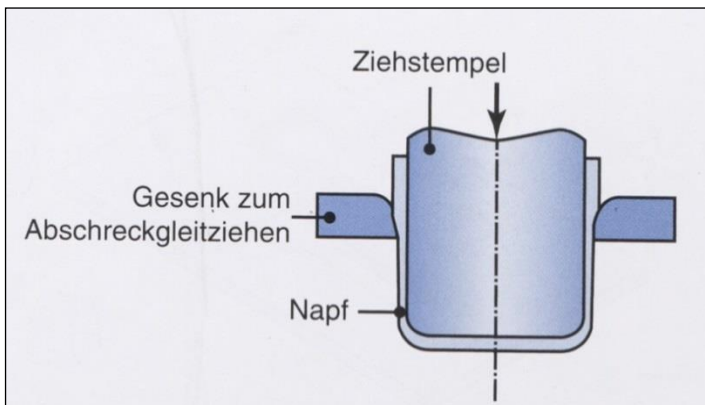
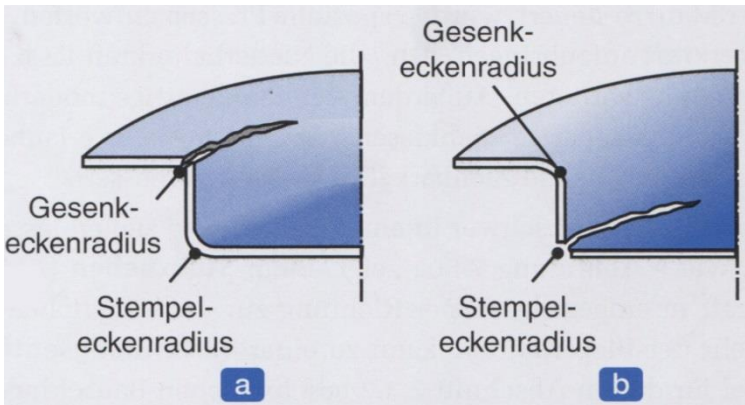


Abb. 138:

Schematische Darstellung des Abstreckgleitziehens. Durch dieses Umformen wird die Napfwand dünner als der Boden. Alle Getränkedosen, die kein separates Bodenteil besitzen, werden mit diesem Verfahren hergestellt.

Abstreckgleitziehen: Wenn die Dicke des Blechs beim Eintritt in den Matrizenhohlraum größer ist als der Ziehspalt zwischen dem Stempel und der Matrize, muss sie durch eine als Abstreckgleitziehen oder Abstrecken bezeichnete Verformung verringert werden. Durch Steuern des Ziehspalts liefert das Abstreckgleitziehen einen Napf mit konstanter Wanddicke (Abb. 11).

## 7.4 Fehler beim Tiefziehen

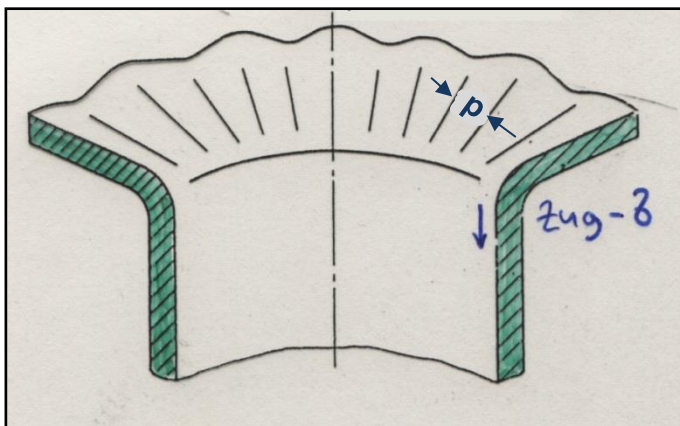


**Abb. 139:**

**a Eckenreißer**  
**b Bodenreißer**

- a) Ist der Eckenradius zu klein, reißt das Blech beim Eintritt in die Matrize. Der Radius sollte typischerweise das 5- bis 10-fache der Blechdicke sein
- b) Ist der Eckenradius des Stempels zu klein, reißt das Blech in der Nähe der Stempellecke.

Da die Reibung zwischen Napf und Stempel das Tiefziehen unterstützt, wirkt sich übertriebenes Schmieren nachteilig auf die Tiefziehbarkeit aus.



**Abb. 140:**

**Faltenbildung durch zu geringe Niederhalterkraft**

## 7.5 Blechumformung: Trends und neuere Entwicklungen

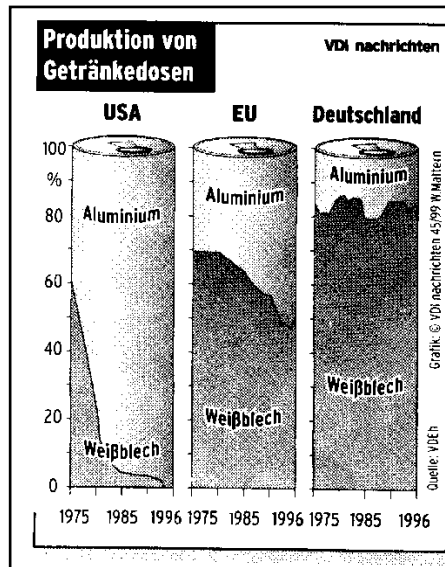
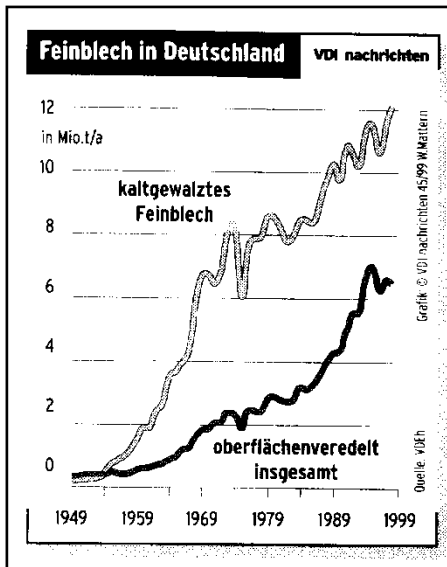


Abb. 141:

a) Coilcoating

b) In Deutschland: Stahl (Weißblech) dominiert den Dosenmarkt

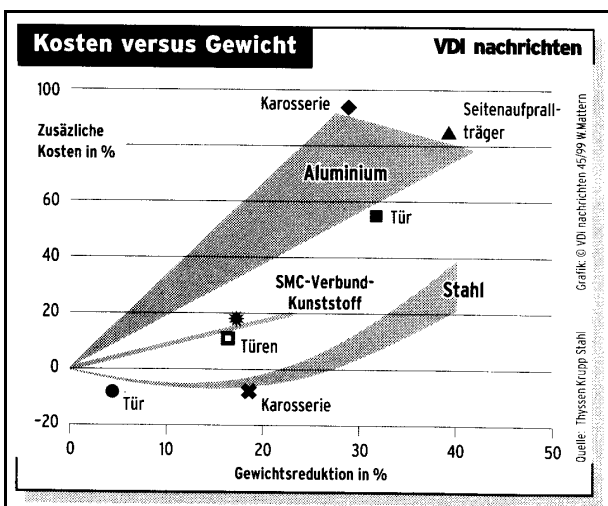


Abb. 142: Vergleich Al - Stahl

### „Tailored Blanks“

Tailored Blanks sind "maßgeschneiderte", (laser-)geschweißte Platinen. Sie werden von den Stahlherstellern gefertigt und bestehen aus Feinblechen unterschiedlicher Dicke, Festigkeit und Oberflächenbeschichtung.

Die gesamte Seitenwand inkl. des hinteren Kotflügels wird aus dieser Platine herausgeschnitten und gepresst (tiefgezogen), s. Abb. 19.

- ⇒ unterschiedliche Stähle (Rp, Steifigkeit, Verformbarkeit...) s. Abb. 18.
- ⇒ Optimierung entsprechend der örtlichen Beanspruchung
- ⇒ Gewichts- und Kostenreduzierung (Verstärkungselemente...)

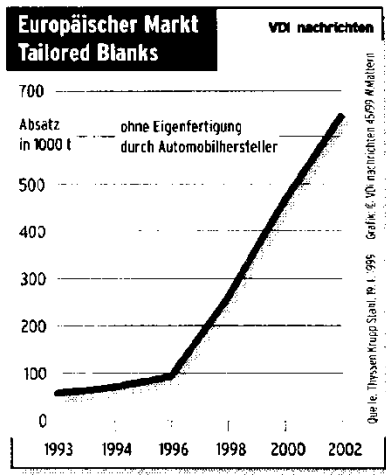


Abb. 143:  
maßgeschneiderte Bleche unterschiedlicher Stahlgüte und Dicke

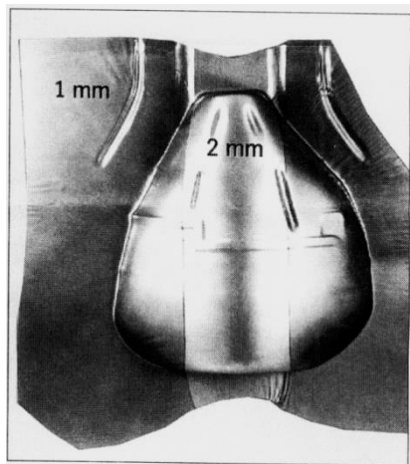


Abb. 144:  
Tailored blanks:  
Das Pkw-Radhaus besteht aus Blechen mit  $\Delta d$  die zusammenschweißt und gemeinsam umgeformt werden

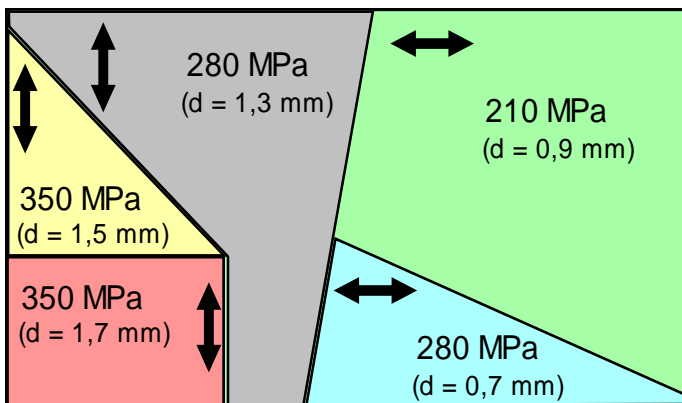


Abb. 145:  
Tailored Blank für die Seitenwand der ULSAB-Karosserie  
(b = 3429 mm, h = 1727 mm;  
↔ Walzrichtung,  
MPa-Angaben = Streckgrenze, d = Dicke;  
ULSAB = Ultra Light Steel Auto Body)



Abb. 146:  
Seitenwand der ULSAB-Karosserie



## Neuere Entwicklungen IHU:

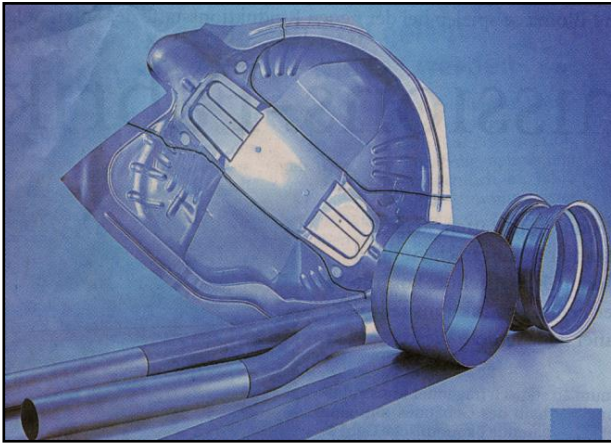


Abb. 147:

- tailored blanks mit gekrümmten Schweißnähten (oben: Ford Mondeo → Radhaus)
- tailored tubes (partiell verstärkte Rohre)
- tailored strips (für leichtere Felgen)

IHU = Innenhochdruckumformen = „Umformung eines Körpers bis zur Anlage an eine Werkzeuggravur durch die kraftgebundene Wirkung eines flüssigen Mediums mit dem Werkstück“

⇒ Rohre, Kfz-Tanks (Emissionen), s. Abb. 20.

## 7.6 Tiefziehen – Berechnungen

### 7.6.1 Ziehverhältnis:

Kenngroße für die Umformung ist das Ziehverhältnis  $\beta$

⇒ s. Graphik



Gesamtziehverhältnis:

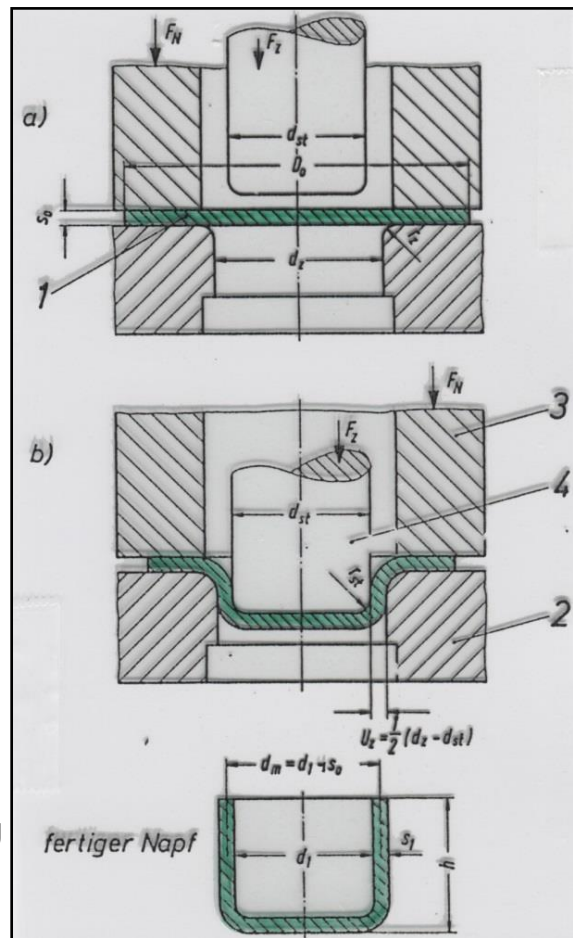


Abb. 148:  
Tiefziehvorgang

Beispiel:

Eine Blechscheibe mit  $D_0 = 200$  mm wird im Erstzug auf  $d_1 = 100$  mm und in zwei Weiterschlägen auf  $d_2 = 63$  mm und  $d_3 = 45$  mm gezogen. Wie groß ist das Gesamtziehverhältnis  $\beta_{\text{ges}}$  ?

Lösung:

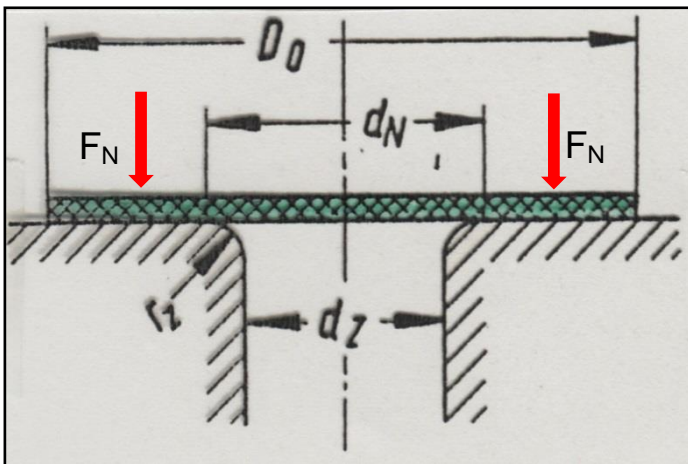
## 7.6.2 Niederhalterkraft

- ⇒ Faltenbildung vermeiden
- ⇒ Werkstofffluss noch zulassen

erforderlicher Niederhalter-Druck nach Siebel:

$$p_N = \left[ (\beta_1 - 1)^3 + \frac{d_1}{200 \cdot s} \right] \cdot \frac{R_m}{400} \text{ in N/mm}^2$$

$$p = \frac{F}{A} \quad \Leftrightarrow \quad F = p \cdot A \quad \text{mit } A = \text{Kreisring, s. Graphik}$$



⇒ Niederhalterkraft in N

$$\text{mit: } d_N = d_z + 2 \cdot r_1$$

- ⇒ Faltenbildung  $\uparrow$  bei dünnen Blechen (da  $p \uparrow$  wenn  $s \downarrow$ )

## Niederhalterkraft (Berechnungsbeispiel)

Ein rostfreies Stahlblech mit einer Zugfestigkeit von  $600 \text{ N/mm}^2$  wird mit einem Ziehverhältnis von 2 gezogen. Wie groß ist die nötige Niederhalterkraft ?

gegeben:

$$R_m = 600 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_1 = 2$$

$$D_0 = 200 \text{ mm} \quad (\text{Blechrollen-f})$$

$$d_1 = 100 \text{ mm} \quad (\text{Napf-f})$$

$$s = 1 \text{ mm} \quad (\text{Blechdicke})$$

$$d_N = d_z + 2 \cdot r_z \approx d_1$$

gesucht:

$$F_N$$

Lösung:

Ergebnis:

Die erforderliche Niederhalterkraft beträgt  $\approx 53,014 \text{ kN}$

### 7.6.3 Stempelkraft

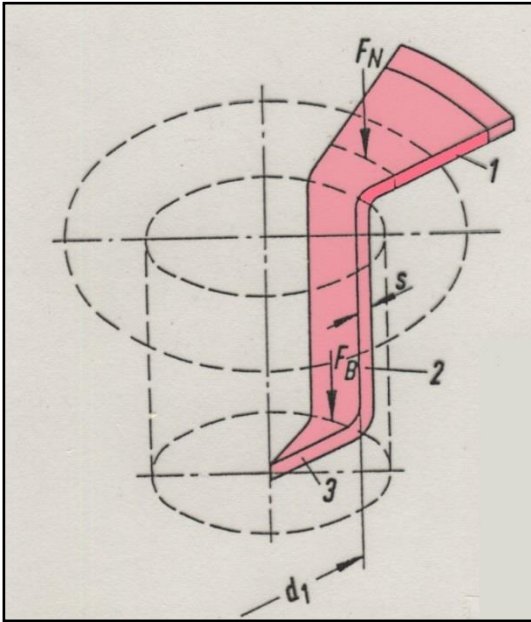


Abb. 149:  
Ausschnitt aus einem tiefgezogenen Hohlteil  
1 Flansch  
2 Zarge  
3 Boden

Querschnittsfläche des Hohlteils:  
 $A = \pi \cdot (d_1 + s) \cdot s$  in N

Bodenreißkraft:  
mit  $F_Z$  = tatsächliche Ziehkraft

$$F_Z = f(\text{Ziehweg}), \text{ s. Graphik}$$

Gesamtstempelkraft:

$$F_{Zg} = F_{id} + F_{RN} + F_{RZ} + F_B = \frac{F_{id}}{\eta_f} \text{ in N}$$

mit:  $F_{id}$  = reine (ideelle) Umformkraft

$F_{RN}$  = Reibungskraft zwischen Ziehring und Niederhalter

$F_{RZ}$  = Reibungskraft an Ziehkante

$F_B$  = Rückbiegungskraft

$f$  = FÄ-Wirkungsgrad

⇒ gilt streng nur wenn  $F_Z \neq f(\text{Ziehweg})$

### 7.6.4 Umformkraft für einen einfachen runden Napfzug nach Siebel:

$$F_{id} = \pi \cdot d_1 \cdot s \cdot k_{fm} \cdot (\ln \beta_1 - c) \text{ in N}$$

⇒



mit:  $0,5 < \eta_f < 0,7$ ; Beiwert  $c \approx 0,25$

vereinfacht:

FEV Teil-Skript Umformtechnik WS 2013-2014, © He 11.05.2014

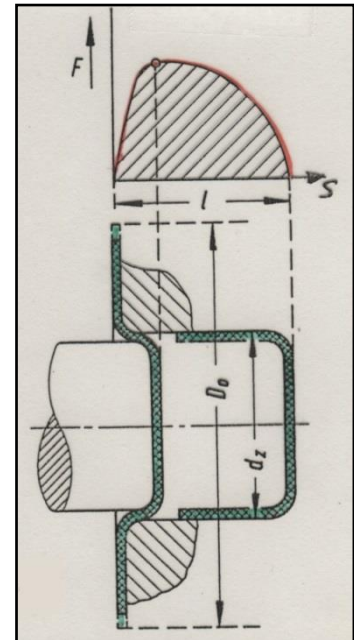


Abb. 150:  
Kraft-Wege-Schaubild beim Tiefziehen

$$F_{Zg} = 5 \cdot d_1 \cdot s \cdot k_{fm} \cdot \ln\beta_1 \quad \text{in N}$$

Für runde Napfweilerschläge gilt:

$$F_{Z_2} = 0,5 \cdot F_{Z_1} + 5 \cdot d_2 \cdot s \cdot k_{fm_2} \cdot \ln\beta_2 \quad \text{in N}$$

$$F_{Z_3} = 0,5 \cdot F_{Z_2} + 5 \cdot d_3 \cdot s \cdot k_{fm_3} \cdot \ln\beta_3 \quad \text{in N}$$

Beachte: Die Werkzeugmaschine muss  $F_Z + F_N$  in N aufbringen

$$F_{ges} = F_Z + F_N \quad \text{in N}$$

Formeln gelten nur näherungsweise !

#### Empfohlene (Tief)Ziehgeschwindigkeiten

Werkstoff	Ziehgeschwindigkeit
Aluminiumblech	30 m/min
Messingblech	45 m/min
rostfreies Stahlblech	12 m/min
Stahlblech	18 m/min
Zinkblech	22 m/min

⇒ Optimum aus Werkstoffverhalten und Wirtschaftlichkeit

Beispielaufgabe:

Berechne die Stempelkraft für Erstzug und Weiterschlag einer Stahlblechrunde aus Ck 10

### Aufgabe:

gegeben:

$$\begin{aligned} & \text{Fließkurve} && \Rightarrow \\ D_0 &= 200 \text{ mm} \\ d_1 &= 125 \text{ mm} \\ d_2 &= 100 \text{ mm} \\ R_m &= 380 \text{ N/mm}^2 \\ s &= 1 \text{ mm} \end{aligned}$$

gesucht:

$$F_{Zg1}, F_{Zg2},$$

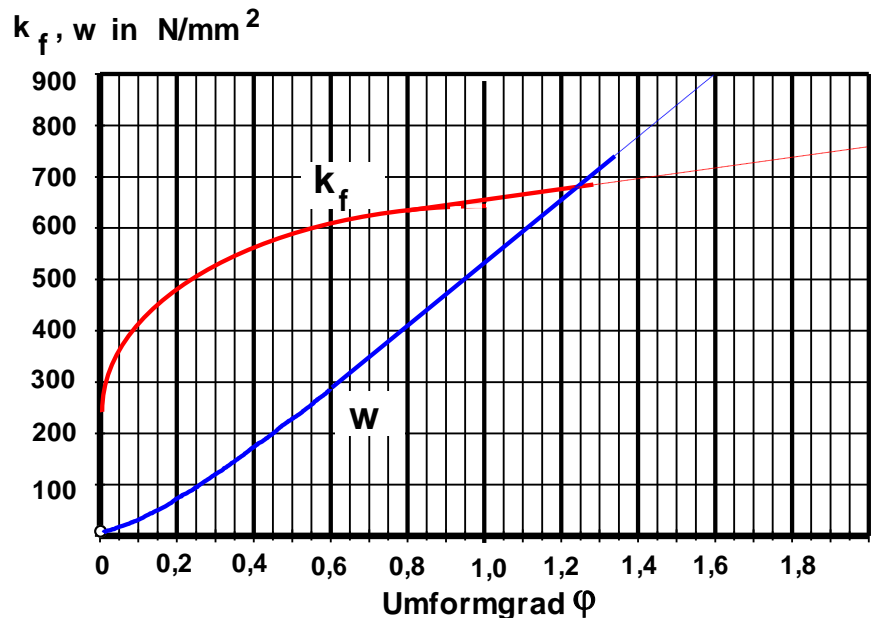


Abb. 151: Fließkurve von Ck10

### Lösung:

$$F_{Zg} = 5 \cdot d_1 \cdot s \cdot k_{fm} \cdot \ln \beta_1 \quad \text{in N}$$

Ziehverhältnis:

$$\beta_1 = \frac{200 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} = 2; \quad \beta_2 = \frac{100 \text{ mm}}{63 \text{ mm}} \approx 1,6; \quad \beta_3 = \frac{63 \text{ mm}}{45 \text{ mm}} = 1,4$$

$$\Rightarrow \quad \beta_1 = \frac{200 \text{ mm}}{125 \text{ mm}} = 1,6; \quad \beta_2 = \frac{125 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} = 1,25$$

### FÄ-Verhältnis:

$$\varphi = \ln \left( \frac{D_0}{d_1} \right) \Rightarrow \quad \varphi_1 = \ln \beta_1 = 0,47; \quad \varphi_2 = \ln \beta_2 = 0,233$$

mittlere FÄ-Festigkeit  $\Rightarrow$  Fließkurve:

Weiterschlag ohne Zwischenglühlung:

$$k_{fm2} = \frac{k_{f1} + k_{f2}}{2}$$

### FÄ-Festigkeit:

$$\text{Für } \varphi_1 = \ln \beta_1 = 0,47 \quad \Rightarrow \quad k_{f1} = 580 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Für } \varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 0,693 \quad \Rightarrow \quad k_{f2} = 610 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Stempelkraft für den Erstzug:

$$F_{Zg1} = 5 \cdot 125 \cdot 1 \cdot 447 \cdot 0,47 \text{ N} \approx 131,5 \text{ kN}$$

### Stempelkraft für den Weiterzug:

$$F_{Zg2} = (0,5 \cdot 131,5) + (5 \cdot 100 \cdot 0,595 \cdot 0,223) \text{ kN} \approx 132,25 \text{ kN}$$

### Bodenreißkraft für den Erstzug:

$$F_{B1} = \pi \cdot (125 + 1) \cdot 1 \cdot 380 \text{ N} = 150,5 \text{ kN} > F_{Zg1}$$

### Bodenreißkraft für den Weiterzug:

$$F_{B_2} = \pi \cdot (100 + 1) \cdot 1 \cdot 380 \text{ N} = 120,5 \text{ kN} < F_{Z_{g_2}}$$

⇒ da beim Weiterzug  $F_{B_2} < F_{Z_2}$  muss noch zwischengeglüht werden (Rekristallisation bringt Entfestigung !)

FÄ-Festigkeit nach Zwischenglühung: für  $\varphi_2 = 0,223$

$$k_{fm_2} = \frac{w}{\varphi} = \frac{80}{0,223} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 359 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Stempelkraft:

$$F_{Z_{g_2}} = (0,5 \cdot 131,5) + (5 \cdot 100 \cdot 0,359 \cdot 0,223) \text{ kN} = 105,75 \text{ kN}$$

$$F_{Z_{g_2}} < F_{B_2}$$

### Ergebnis:

Stempelkraft für den Erstzug:  $F_{Z_{g_1}} = 131,5 \text{ kN}$

Stempelkraft für den Weiterzug:  $F_{Z_{g_2}} = 105,75 \text{ kN}$

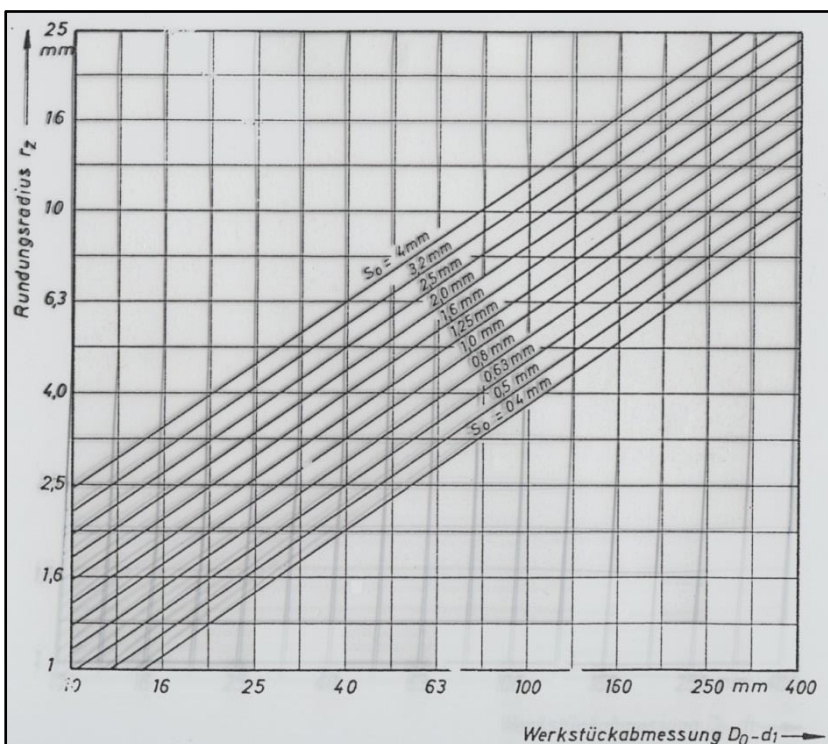
## 7.7 Werkzeuggestaltung

Umformergebnis ( $\beta_{\max}$ ) = f (Werkzeuggeometrie), z.B.:

□ vom Rundungsradius der Ziehkante  $r_z$

$$\Rightarrow r_z = f(D_0, d_1, s_0)$$

$$\Rightarrow \beta \uparrow = f(r_z \uparrow)$$



$$r_z = 0,035 \cdot [50 + (D_0 - d_1) \cdot \sqrt{s_0}]$$

(empirisch)

Beispiel:

für  $D_0 = 200 \text{ mm}$ ,  $d_1 = 100 \text{ mm}$ ,  
 $s_0 = 1 \text{ mm}$

$$\Rightarrow r_z = 5,25 \text{ mm} (?)$$

Abb. 152:

Nomogramm zur Bestimmung von  $r_z$



- ❑ vom Rundungsradius des Ziehstempels  $r_{St}$
- ⇒ Oberfläche, Abtrennung des Bodens
- ⇒  $r_{St} = (4 \dots 5)$  in mm (wobei immer  $r_{St} > r_z$ )

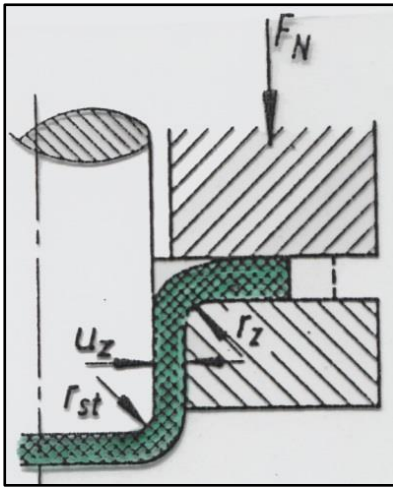


Abb. 153:

- ❑ von der Breite des Ziehspaltes  $U_z$

Ziehspalt  $\approx$  Blechdicke  $s_0$ , jedoch

Ziehtiefe  $\uparrow \Rightarrow$  Werkstoffanhäufung  $\uparrow$  an Ziehkante  $\Rightarrow$  Fließbehinderung  $\uparrow \Rightarrow F_z \uparrow \Rightarrow$

$\Rightarrow U_z > u_z$

beachte: wenn  $U_z \gg u_z$ :

- ❑ unterschiedliche Wanddicke
- ❑ keine glatte zylindrische Oberfläche
- ❑  $\beta_{\downarrow}$

beachte: wenn  $U_z \ll u_z$

- ❑ Gleitziehen mit Abstrecken (Abreißen)

Kompromiss:

Werkstoff	$u_z$
Stahlblech	$= s_0 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot s_0}$
Al-Blech	$= s_0 + 0,02 \cdot \sqrt{10 \cdot s_0}$
sonst. NE-Metalle	$= s_0 + 0,04 \cdot \sqrt{10 \cdot s_0}$
hochwarmfeste Legierungen	$= s_0 + 0,2 \cdot \sqrt{10 \cdot s_0}$

## 7.8 Ermittlung des Zuschnitts

Annahme:  $V_0 = V_1$

$$V_0 = \text{Volumen der Ronde} = \pi \cdot \frac{D_0^2}{4} \cdot s_0$$

$$V_1 = \text{Volumen des Hohlteils} = \pi \cdot \frac{d_1^2}{4} \cdot s_0 + \mu \cdot (d_1 + s_1) \cdot s_1 \cdot h$$

⇒

mit  $s_0 = s_1 = s$

Da  $s_1$  oft  $< s_0$  ⇒ Sicherheit gegeben

Falls das Blech eine Walztextur (Anisotropie) zeigt: ⇒ Zugabe von 5...15 mm

Falls  $s_1$  bewusst  $< s_0$  ⇒  $\Delta s_1$  berücksichtigen ⇒

□ Beipielaufgabe: Berechnung des Zuschnittdurchmessers  $D_0$

geg.:	$h$	=	75	mm	(Napfhöhe)
	$d_1$	=	100	mm	(Ziehdurchmesser)
	$s_0$	=	1mm		(Blechdicke)

Lösung:

Zuschnittdurchmesser ohne Streckung

$$D_0 = \sqrt{100^2 \text{ mm}^2 + 4 \cdot 75 \text{ mm} \cdot (100 \text{ mm} + 1 \text{ mm})} \approx \underline{\underline{200 \text{ mm}}}$$

Zuschnittdurchmessers mit Streckung

$$D_0 = \sqrt{\frac{0,65 \text{ mm}}{1 \text{ mm}} \left[ 100^2 \text{ mm}^2 + 4 \cdot 75 \text{ mm} \cdot (100 \text{ mm} + 1 \text{ mm}) \right]}$$

$$D_0 \approx \underline{\underline{161 \text{ mm}}}$$

## 7.9 Abstufung der Züge

Anzahl der Züge $\downarrow = f(\beta^{\uparrow})$ ,  $\beta$  ist abhängig von:

- Form des Ziehteils
- Festigkeitseigenschaften des Ziehwerkstoffes
- Blechdicke und Toleranz
- Oberfläche von Werkzeug und Werkstück
- Radien der Werkzeuge ( $r_z$ ,  $r_{St}$ )
- Ziehspaltweite  $u_z$
- Niederhalterdruck  $p_n$
- Ziehgeschwindigkeit, - T
- Schmierung

⇒ sehr komplex ⇒ Grenzziehverhältnis ( $d_1 = 100$  mm,  $s_0 = 1$  mm)

$$\beta' = (\beta_{100} + e) - \frac{e \cdot d_1}{100 \cdot s_0} \quad \text{mit } 0,05 < e < 0,15$$

Beispiel:

geg.: Werkstoff = St III 23

$$\beta_{100} = \text{St III 23}$$

$$d_1 = 100 \text{ mm}$$

$$s_0 = 1 \text{ mm}$$

ges.:  $\beta'$  für  $d_1 = 220$  mm und  $s_0 = 1,8$  mm

Lösung.:

$$\beta' = (1,7 + 0,05) - \frac{0,05 \cdot 220}{100 \cdot 1,8} \approx \underline{\underline{1,81}}$$

⇒ für rostfreie Stähle ⇒  $\beta'$  wird graphisch ermittelt (s. Folie):

## 7.10 Ziehringformen

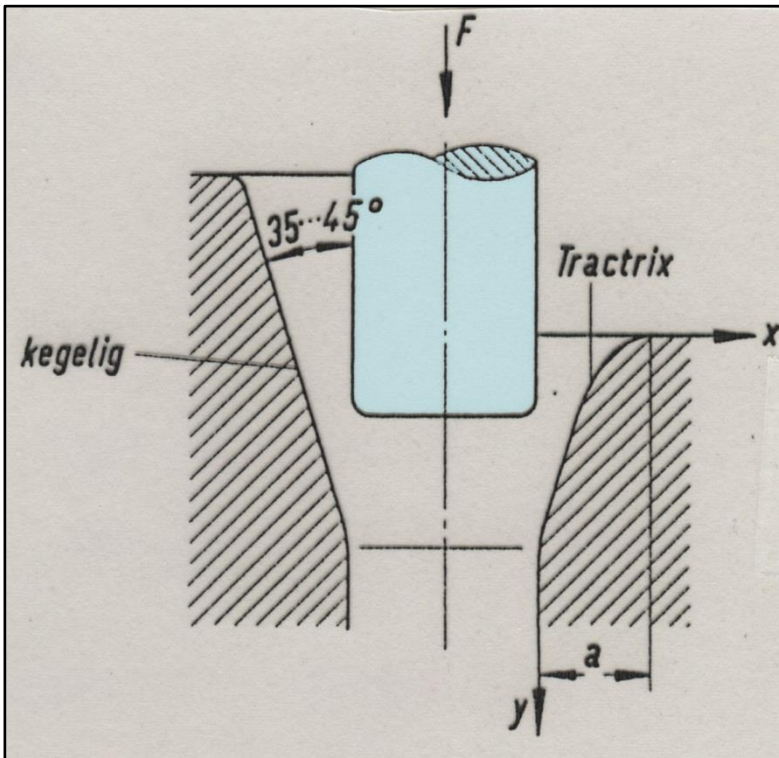


Abb. 154: Ziehringformen

- radiusförmig
- kegelig
- nach einer Tractrix-Kurve

$$y = a \cdot \ln \frac{a + \sqrt{a^2 - x^2}}{x} - \sqrt{a^2 - x^2}$$

⇒ Eigenschaften von oben nach unten:

gleichmäßigeres Biegen ⇒ besseres Fließen ⇒

bessere

Ausnutzung der Werkstofffähigkeiten ⇒  $\beta \uparrow$

⇒ Herstellungskosten  $\uparrow$

## 7.11 Schmierung

Sinn:

- $\mu \downarrow$  zwischen Werkzeug und Werkstück
- Verschleiß  $\downarrow$  der Werkzeuge
- keine Kaltverschweißungen zwischen Werkzeug und Werkstück
- Kühlung (Umformwärme)

wichtig:

- Zähigkeit und Teilchengröße des Schmiermittels
- Beschaffenheit der Oberflächen

## 7.12 Grenzformänderungskurven

Das Formänderungsvermögen ist hier ein Maß für die für einen gegebenen Werkstoff erzielbare maximale Formänderung in 2 Ebenen. Das Formänderungsvermögen ist keine konstante Größe und auch keine Werkstoffeigenschaft. Werkstoffabhängige Größen für erzielbare Formänderungen sind  $R_m$ ,  $A$  und  $R_p$  sowie das Streckgrenzenverhältnis  $R_p/R_m$ , das für gut umformbare Stähle zwischen 0,5 und 0,7 liegt.

Wie wird eine Formänderungsanalyse durchgeführt?

- Prüfronden erstellen, s. Abb. 28
- Aufbringen eines Liniennetzes auf die Prüfronde
- Blech bis zum Anriss verformen
- Umformgrade aufnehmen (mit Hilfe von Markierungen auf der Blechoberfläche)
- Werte in ein Grenzformänderungsschaubild eintragen

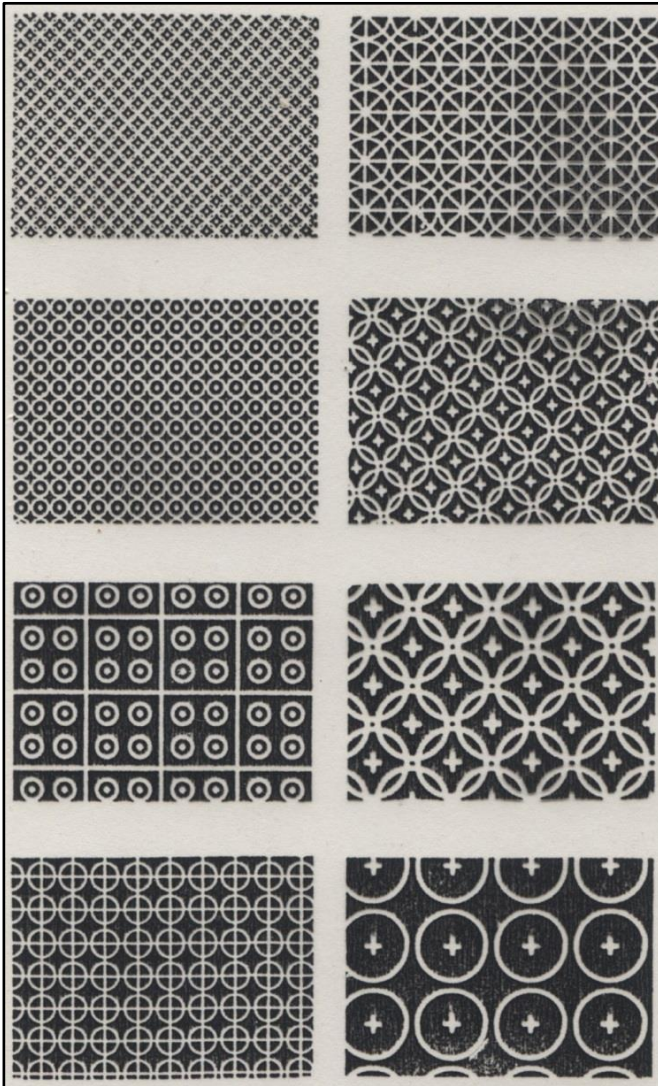


Abb. 155:

Blechmarkierungen zur Bestimmung der Grenzformänderungskurve

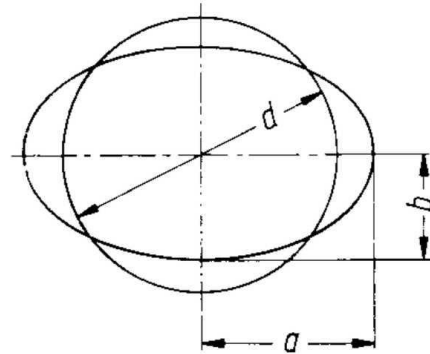
Aufbringung z.B.:

elektrochemisch

mechanisch

durch Siebdruck

mit Gummirollstempel (billig, Abrieb)



Durch das Umformen entstehen aus den Kreisen des Liniennetzes Ellipsen

$$\varphi_1 = \ln \frac{2a}{d}; \quad \varphi_2 = \ln \frac{2b}{d}$$

Die gemessenen Umformgrade werden in ein Diagramm eingetragen, s. Abb. 28

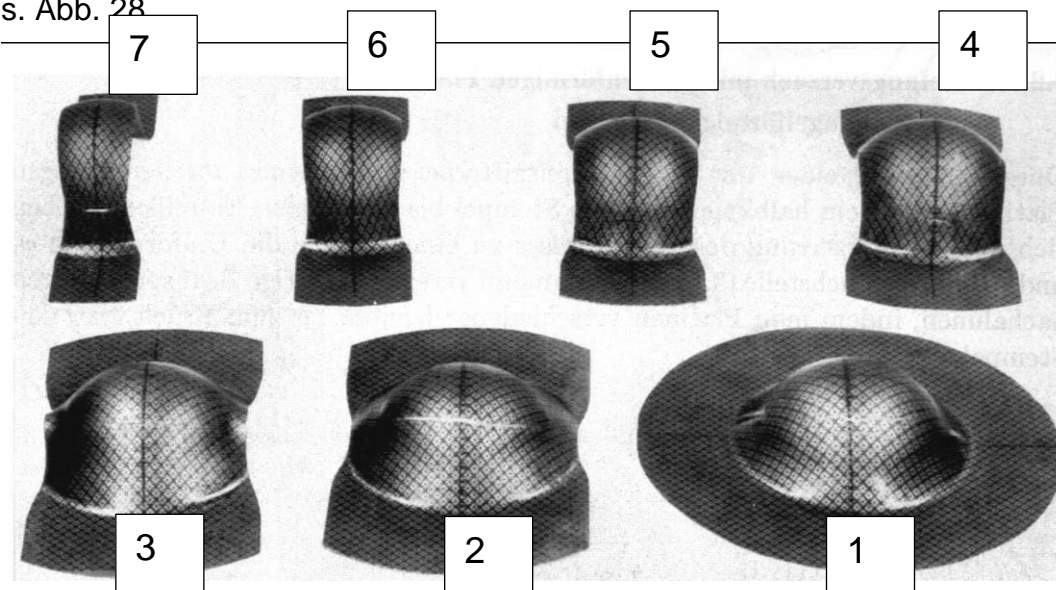


Abb. 156:

Ronden mit verschiedenen Abmessungen damit verschiedene Spannungszustände realisiert werden. Somit kann man zwischen dem

- **Tiefziehen** ( $\varphi_1 = -\varphi_2$ )
- bis hin zum **Streckziehen** ( $\varphi_1 = \varphi_2$ )  
variieren, s. auch  
Abb. 30/32. Seite 110

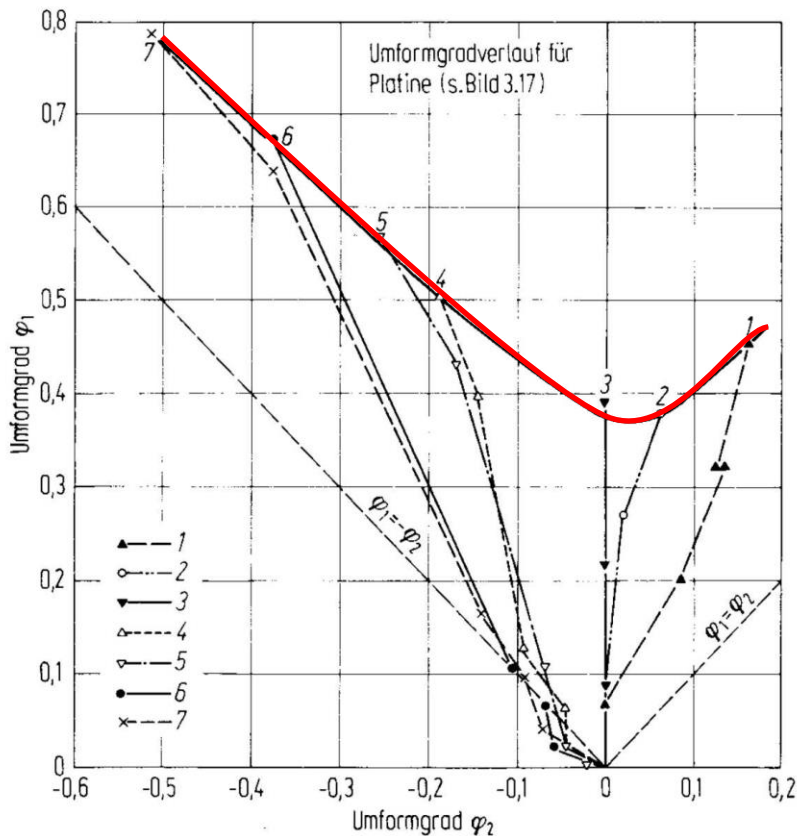


Abb. 157:

Grenzformänderungsdiagramm

Alle Formänderungen unterhalb der Kurve werden vom Werkstoff ertragen.

Im Grenzformänderungsdiagramm stellen die Grenzformänderungskurven die Versagensgrenzen bzgl. Einschnüren (s. Abb. 33) bzw. Reißen/Bersten des Materials dar. Alle Formänderungskombinationen innerhalb der Oberfläche des Bleches, die sich unterhalb der Kurven befinden, führen nicht zu einem Versagen des Werkstücks während der Umformung. Liegen die Formänderungskombinationen oberhalb der dargestellten Kurven, ist eine Einschnürung bzw. ein Bruch des Werkstoffs zu erwarten.

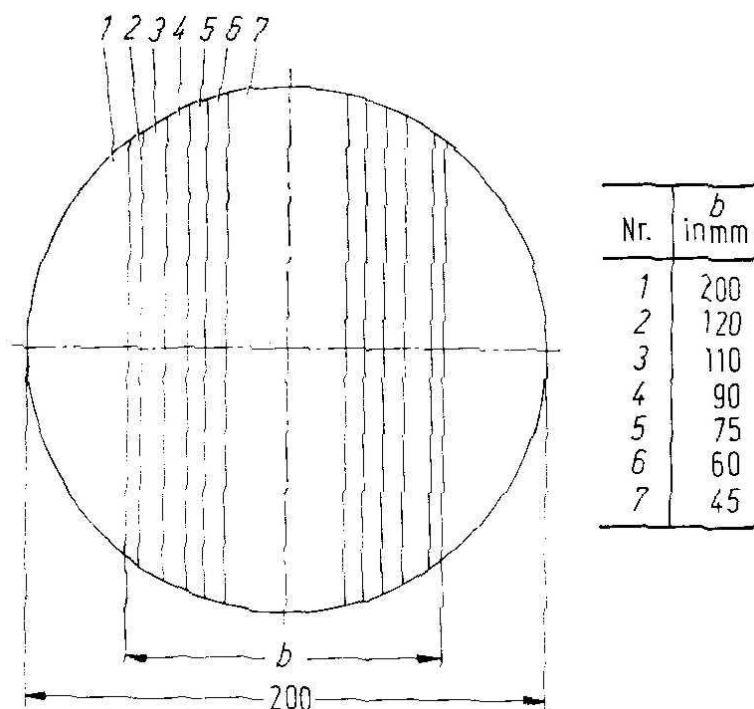


Abb. 158:

Probestreifen verschiedener Abmessung zur Ermittlung des Grenzformänderungsdiagramms

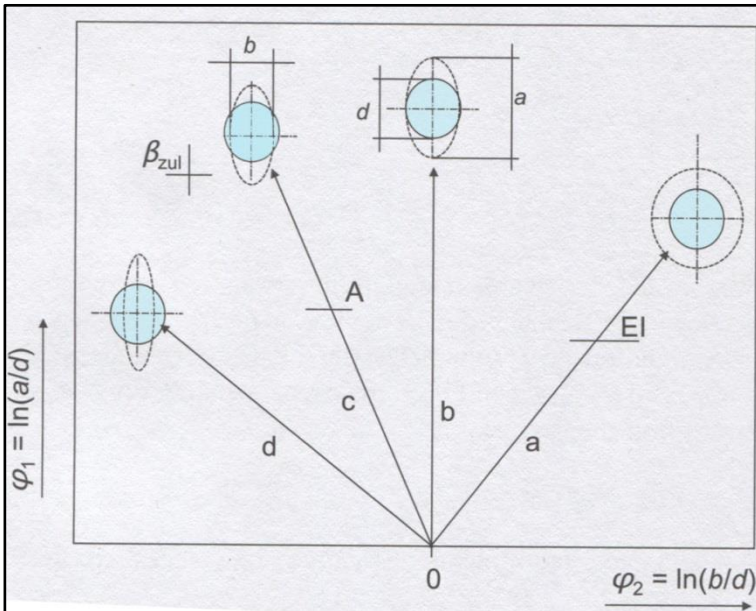


Abb. 159:  
Formänderung in der Ebene  
(2-achsig)

Bezüglich der Formänderung in der Ebene sind drei Fälle zu unterscheiden entsprechend Abb.30:

- Beide Hauptachsen werden beim Umformen größer (Linie a in Abb. 32), d.h., der Werkstoff wird in zwei Richtungen gedehnt. Man spricht von zweiachsigem Streckziehen ( $\varphi_1 = \varphi_2$ ).
- Eine Hauptachse wird größer, die andere bleibt gleich dem Ausgangsdurchmesser d, d. h., der Werkstoff wird nur in eine Richtung gestreckt (Linie b in Abb. 32). Man spricht von einachsigem Streckziehen.
- Eine Hauptachse wird größer, die andere wird kleiner als der Ausgangsdurchmesser d war, d.h., der Werkstoff wird in eine Richtung gestreckt und in die andere gestaucht. Man spricht von Tiefziehen im engeren Sinn (Linie c in Abb. 32) bzw. von reinem Tiefziehen (Linie d in Abb. 32), da keine Blechdickenänderung stattfindet ( $\varphi_1 = -\varphi_2$ )

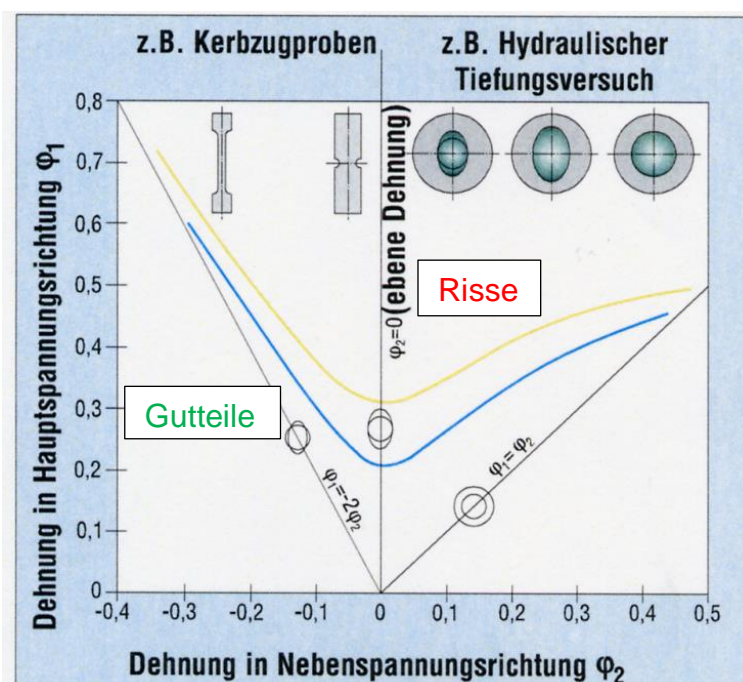


Abb. 160:  
Grenzformänderungsdiagramm

Gelb: Grenzformänderungskurve  
(Bruch)

Blau: Grenzformänderungskurve  
(Einschnürung)



## 8. Schmieden

### 8.1 Schmiedeverfahren

Def.: Warmformgebung durch hämmernde oder pressende Werkzeuge

- ❑ Schmieden (Freiformen): Dabei entsteht die Werkstückform durch Werkzeuge, die nicht oder nur teilweise die Form des Werkstückes enthalten. ⇒ Werkstoff kann beim Umformen frei fließen
- ❑ Schmieden (Gesenkformen): Dabei entsteht die Werkstückform durch gegeneinander bewegte Formwerkzeuge (Ober- und Untergesenk. Der Werkstoff ist beim Umformen ganz oder überwiegend durch eine Form (Gesenke) umschlossen  
⇒ die Fließrichtung des Werkstoffes wird erzwungen,

#### 1. Gegenüberstellung der Hauptverfahren

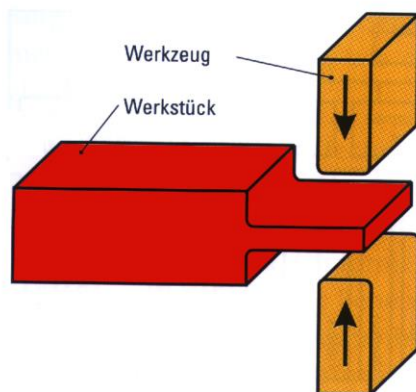


Abb. 161:  
Schmieden (Freiformen)

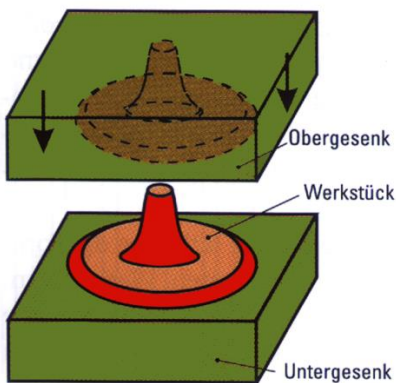


Abb. 162:  
Schmieden (Gesenkformen)

)

#### Werkstoffe:

- ❑ Stahl (mit  $\leq 1,7\%$  C)
- ❑ Al- und Cu-Knetlegierungen
- ❑ Ti-, Co- Legierungen

Gesamtproduktion Stähle und NE-Metalle. 2007: 2,42 Mio. t  
(Schmiedestücke bis über 100 t Gewicht)

## Anwendungsbeispiele:



Abb. 163: Medizinische Bauteile (Hüftprothesen) aus Titan



Abb. 164: Temperaturfeste Turbinenschaufeln aus Nickel-Legierungen



Abb. 165: Vorderrad-Schwenklager aus Aluminium



Abb. 166: Lkw-Pleuelstange aus AFP-Stahl (ausscheidungshärtender-ferritisch-perlitischer Stahl)

## Vorteile des Schmiedens:

⇒ "Verdichten" des Werkstoffes

⇒

⇒

⇒

## 8.1.1 Freiformschmieden

### Freiformen

- ⇒ handwerklich bedeutend
- ⇒ Werkzeuge einfach und billig
- Handwerk: Handhammer + Amboß
- Industrie: Bär mit Obersattel + Schabotte mit Untersattel

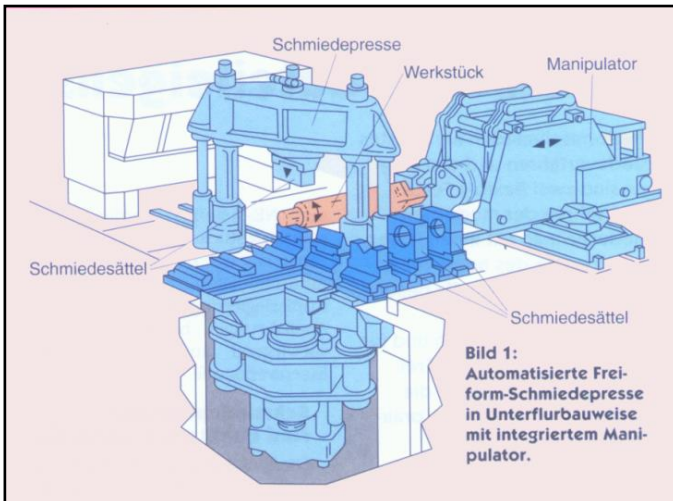


Abb. 167: Freiform-Schmiedepresse in Unterflurbauweise (automatisiert mit integriertem Manipulator)

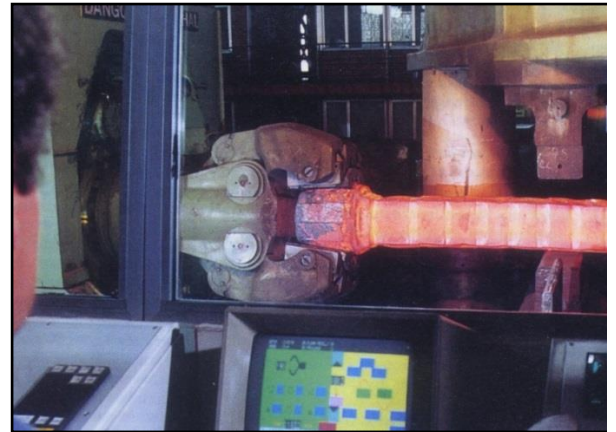


Abb. 168: Freiformschmieden Beispiel: Freiform-Schmiedepresse im Betrieb



Abb. 169: Schiffskurbelwelle (Freiformschmieden)

- ⇒ **Vorteil:** geringe Stückzahlen schon wirtschaftlich

Freiform-Verfahren:

- A) Stauchen
- B) Recken
- C) Sonstige

## 8.1.2 Gesenkschmieden



Abb. 170: Umformstufen bei einer 4-Zylinder-PKW-Kurbelwelle:  
 1: Zuschnitt, 2: vorgewalztes (Reckwalzen), 3: vorgeschmiedetes -  
 4: fertiggeschmiedetes -, 5: entgratetes - und 6: kalibriertes Werkstück

### Arbeitsgänge beim Gesenk-Schmieden, s. Abb.

1. Abtrennen des Stangenabschnittes oder der Spaltstücke, s.u. (entfällt beim Schmieden von der Stange)
2. Zwischenformung (Massenverteilung)
3. Fertigformen durch Gesenkschmieden
4. Abtrennen des Werkstückes von der Stange (entfällt beim Schmieden vom Spaltstück)
5. Abgraten des Schmiedestückes

### Vorgänge im Gesenk

Umformen des Werkstoffes durch:

- Stauchen
- Breiten
- Steigen

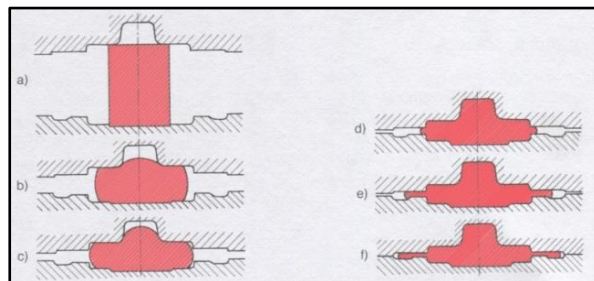
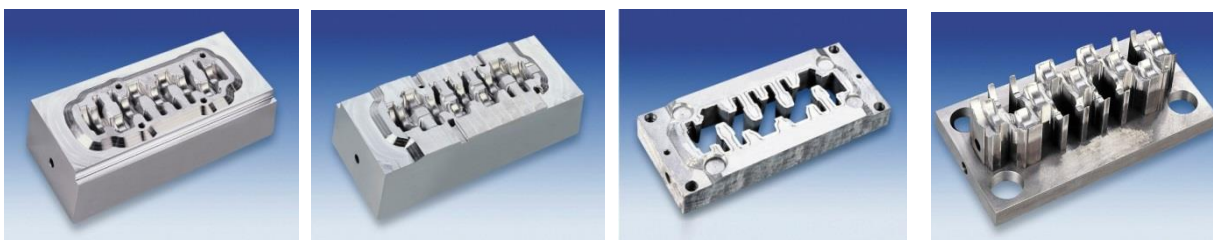


Abb. 171: a) Rohteil b) – e) Zwischenstufen  
 f) fertiges Schmiedeteil

Werkstofffluss wird durch Ausgangsquerschnitt und Gesenkform beeinflusst



Untergesenk Vor-schmiedeform

Untergesenk Fertig-schmiedeform

Abgrat-Schnitt

Abgrat-Stempel

Abb. 172: Fertigungsschritte beim Gesenkschmieden



### 8.1.2.1 Schmieden von der Stange

Rohling = Stangenmaterial

Durchführung:

- Stange wird von Hand geführt
- Stangenende wird erwärmt und geschmiedet
- Stangenende wird abgetrennt
- Vorgang wird wiederholt

Charakteristika:

- i.a. nur längliche Werkstücke
- nur kleine Werkstücke
  - Handarbeit, Manipulator
  - Stangen- $\varnothing \leq 50$  mm
- Zeitgewinn
  - kein Spannen mit der Zange
  - kein Erwärmen und Einlegen von Einzelstücken (Butzen)

### 8.1.2.2 Schmieden vom Spaltstück

Rohling = Blechmaterial

Charakteristika

- Längsachse des Werkstückes liegt senkrecht zur Schlagrichtung
- Blechmaterial  $\Rightarrow$  flache Werkstücke
- Blechstreifen  $\Rightarrow$  Faserverlauf unterbrochen
- Zwischenformherstellung durch Biegen oder Stauchen (Massenverteilung)

Vorteile:

- Energieverbrauch  $\downarrow$
- Werkstoffmenge  $\downarrow$
- Werkzeuge werden geschont
- Form- und Maßgenauigkeit  $\uparrow$

Nachteile:

- mehrere Arbeitsgänge



Abb. 175:  
Schmieden vom Spaltstück  
(vom gewalzten Blech)

### 8.1.2.3 Weitere Schmiede-Verfahren

Recken

⇒ mehrere Stauchungen hintereinander

Verfahren:

⇒ Recken mit balligen Druckflächen

⇒ Breitschmieden

⇒ Breiten über Dorn

⇒ Weiten über Dorn

⇒ Rundschmieden

⇒ Glätten (Schlichten)

**D)** Sonstige

⇒ Lochen, Schlitzen, Erweitern, Schroten, Absetzen, Rundkneten

#### 8.1.2.4 Gesenkschmieden/Kraftbedarf

warum ? → Auswahl der geeigneten Umformmaschine

Umformkraft:  $F$  in N

mit  $A_D$  = gedrückte Fläche (incl. Grat) in  $\text{mm}^2$

$k_{we}$  = FÄ-Widerstand bei  $\varphi_{\max}$

( $k_{we} \approx 10 - 12 \cdot k_{wa}$ )

$k_W = f$  (Werkstoff, Verfahren, Werkstückgeometrie, ( $\mu$ ,  $T$ ,  $\varphi$ ,  $w_m$ ))

- ⇒ Berechnung von  $F$  sehr kompliziert
- ⇒  $k_W$  nur durch Messungen bestimmbar
- ⇒ Aufstellung von Nomogrammen zur Ermittlung des Kraftbedarfs in 1. Näherung, s.u.

**Die Nomogramme gelten nur für Stähle bis 0,45 % C sowie für niedrig legierte Stähle**

#### Umformgeschwindigkeit (Erinnerung)

$$\dot{\varphi} = \frac{v}{h_0} \text{ in } s^{-1}$$

mit  $v$  = Werkzeuggeschwindigkeit in cm/s

$h_0$  = Werkstück-Anfangshöhe in cm

$\dot{\varphi}$  = anfängliche Umformgeschwindigkeit

$\varphi_m$  = mittlere Umformgeschwindigkeit

$\varphi_m = (1,3 \dots 1,6) \times \dot{\varphi}$  für hydraulische

$\varphi_m = (0,85 \dots 0,9) \times \dot{\varphi}$  für Hämmer und Reibspindelpressen

$\varphi_m = (0,3 \dots 0,4) \times \dot{\varphi}$  für Kurbel- bzw. Exzenterpressen



## Beispiel:

Gesenkschmieden eines Schmiedeteils unter einer hydraulischen Presse

gegeben:  $T = 1200\text{ °C}$   
 $v = 500\text{ mm/s}$   
 $h_0 = 125\text{ mm}$   
 $A_d = 16000\text{ mm}^2$   
Umformvorgang Nr. 7

gesucht: Umformkraft  $F$  in kN

Lösung: mit Hilfe des Nomogramms zur Ermittlung der Umformkraft  
dazu  $w_0$ - und  $w_m$ -Bestimmung:

$w_0 =$

$w_m \approx$

FÄ-Widerstand: aus Feld 1  $\rightarrow k_{wa} = 63\text{ N/mm}^2$

FÄ-Widerstand: aus Feld 2  $\rightarrow k_{we} = 630\text{ N/mm}^2$

Umformkraft: aus Feld 3  $\rightarrow F \approx 10\text{ kN}$

Abb. 176: Umformvorgänge zur Ermittlung der Umformkräfte

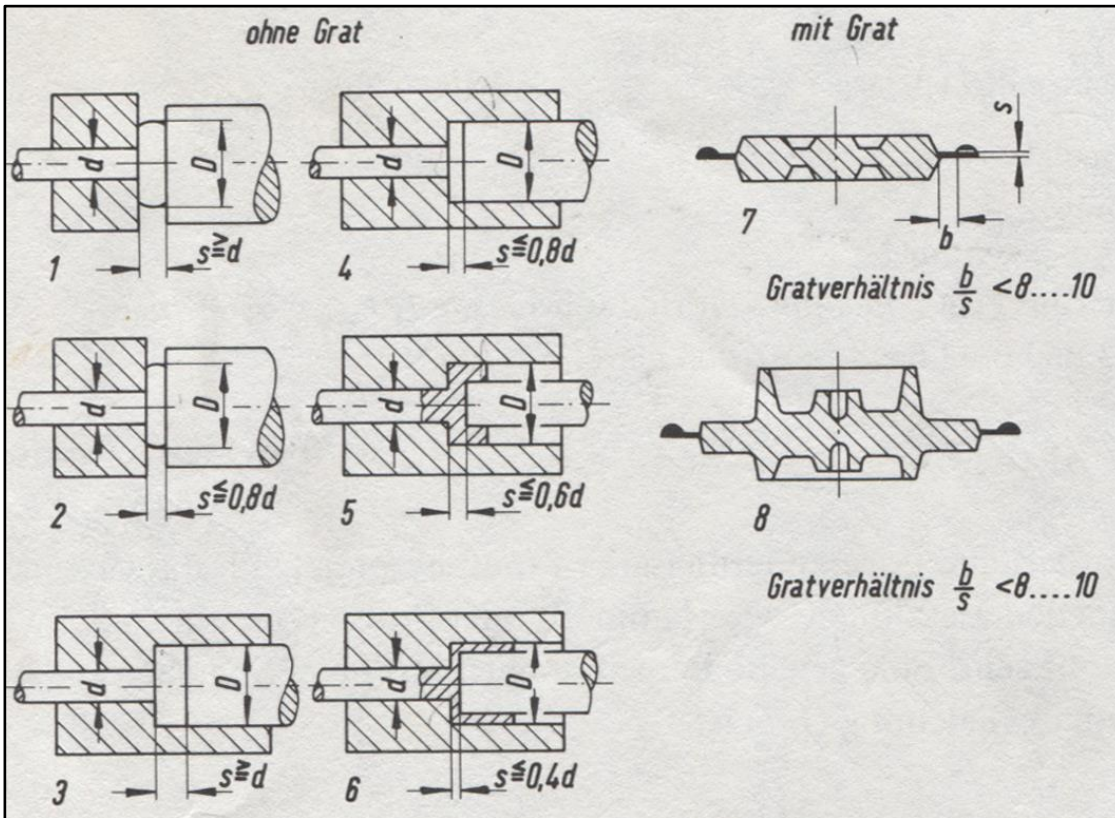
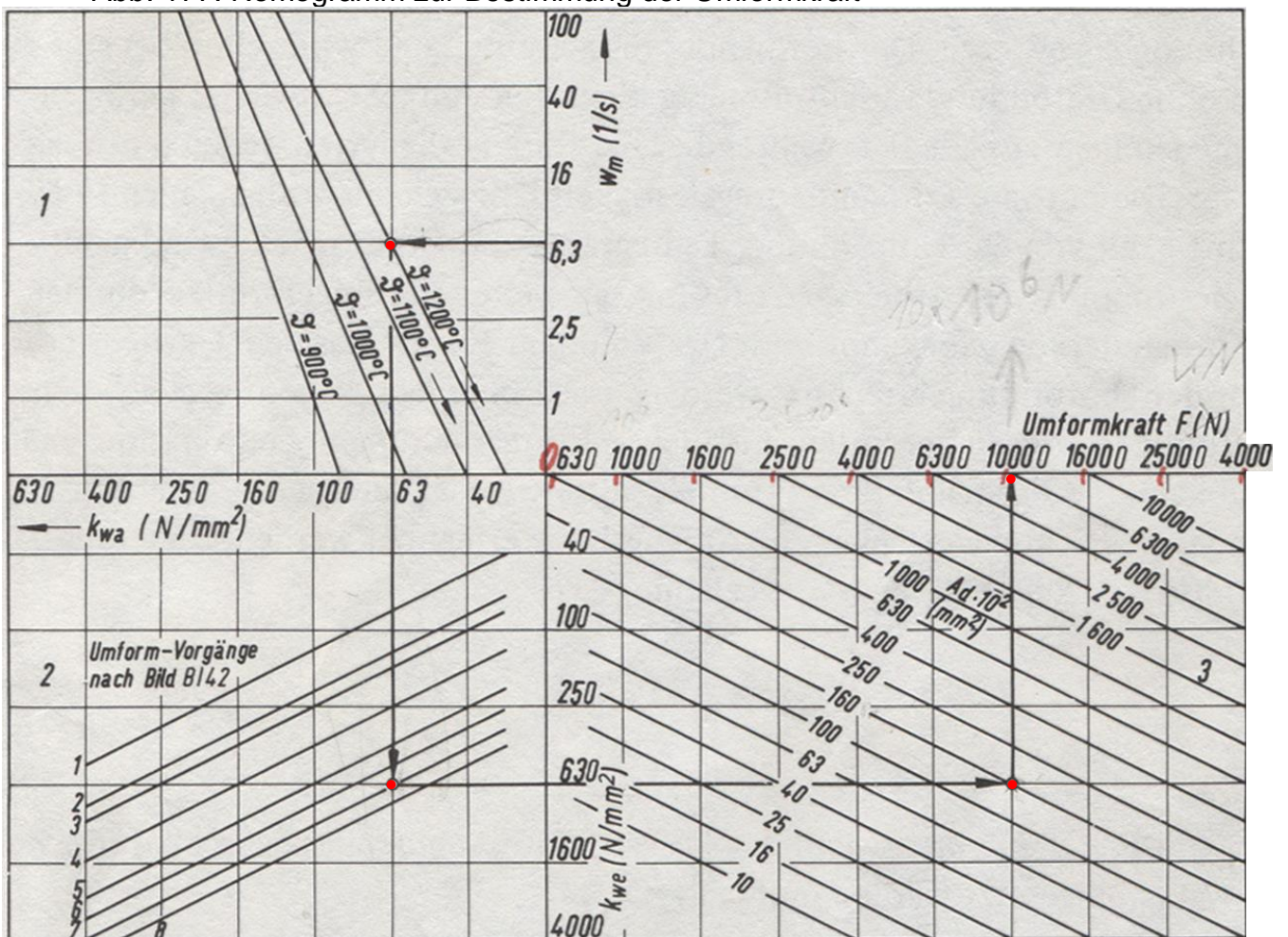


Abb. 177: Nomogramm zur Bestimmung der Umformkraft



### 8.1.2.5 Gesenkschmieden/Arbeitsbedarf

warum ? → Auswahl der geeigneten Umformmaschine.

$$w = \frac{W_{id}}{V} \quad \text{in Nmm/mm}^3$$

$$W_{id} = \int_0^\varphi d\varphi = V \cdot k_{fm} \cdot \varphi \quad \text{in Nmm}$$

Umformarbeit:  $W =$  \* in Nmm

\*gilt exakt nur für das Stauchen zwischen ebenen Bahnen mit  $\eta_f = 0,60 \dots 0,95$

= f (Werkstoff,  $\varphi$ ,  $\mu$ , T,  $w_m$ )

Berechnung von W sehr kompliziert, da

⇒  $\eta_f$  nur durch Messungen bestimmbar

⇒  $\varphi \rightarrow \varphi_m$ , da  $\varphi = f$  (Werkstoffzone)

$\varphi_m$

[V aus Gewicht ( $V = m/\rho \approx$  umgeformtes Volumen)]

⇒  $k_{fm}$  aus Fließkurve = f (Werkstoff,  $\varphi$ ,  $w_m$ , T)

⇒ Form- und Grat-Einflüsse (verwickelte Teile)

⇒ Aufstellung von Nomogrammen zur Ermittlung des Arbeitsbedarfs in 1. Näherung

**Die Nomogramme gelten nur für Stähle bis 0,45 % C sowie für niedrig legierte Stähle**

Beispiel:

Gesenkschmieden eines Schmiedeteils unter einem Gegenschlaghammer\*

gegeben:  $T = 1200 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $v = 5600 \text{ mm/s}$   
 $h_0 = 125 \text{ mm}$   
 $V = 100.000 \text{ mm}^2$   
 $\varphi = 0,63^*$   
Umformvorgang Nr. 6

gesucht : Umformarbeit  $W$  in kNm

Lösung : mit Hilfe des Nomogramms zur Ermittlung der Umformarbeit  
dazu  $w_0$ - und  $w_m$ -Bestimmung:

FÄ-Widerstand: aus Feld 1\*  $\rightarrow k_{wa} = 100 \text{ N/mm}^2$

FÄ-Widerstand: aus Feld 2\*  $\rightarrow k_{wm} = 315 \text{ N/mm}^2$

spez. FÄ-Arbeit: aus Feld 3\*  $\rightarrow w = 200 \text{ Nmm/mm}^3$

FÄ-Arbeit: aus Feld 4\*  $\rightarrow W = 20 \text{ kNm}$

Abb. 178: Umformvorgänge zur Ermittlung der Umformarbeit

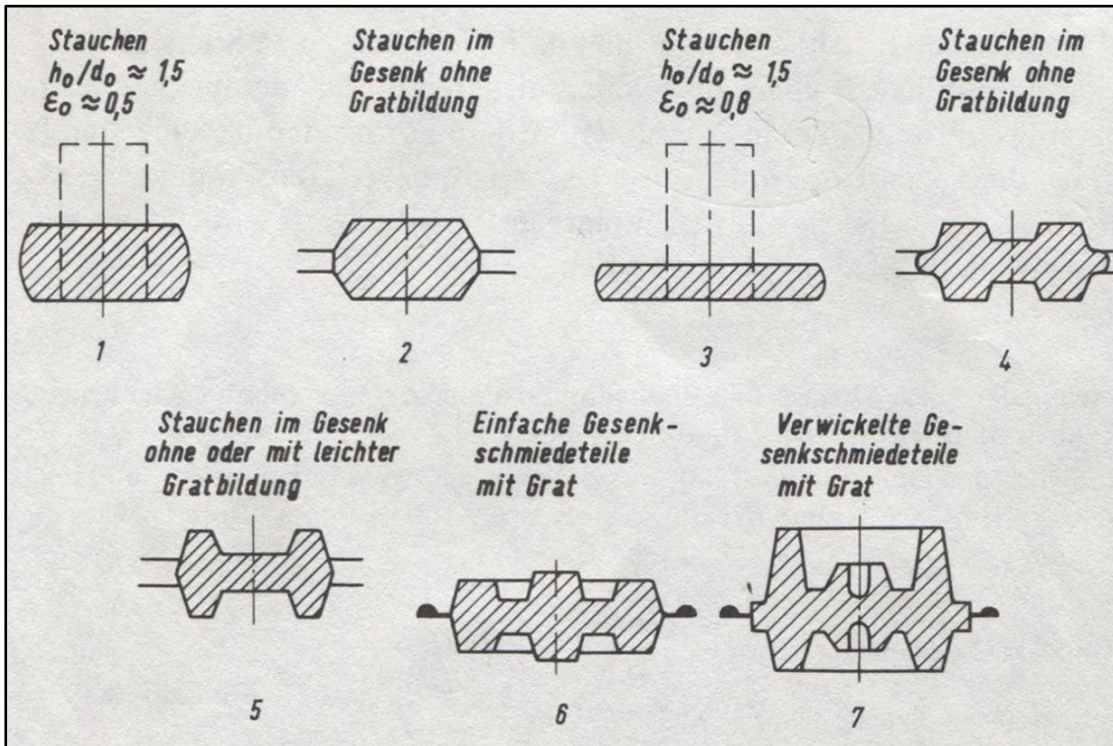
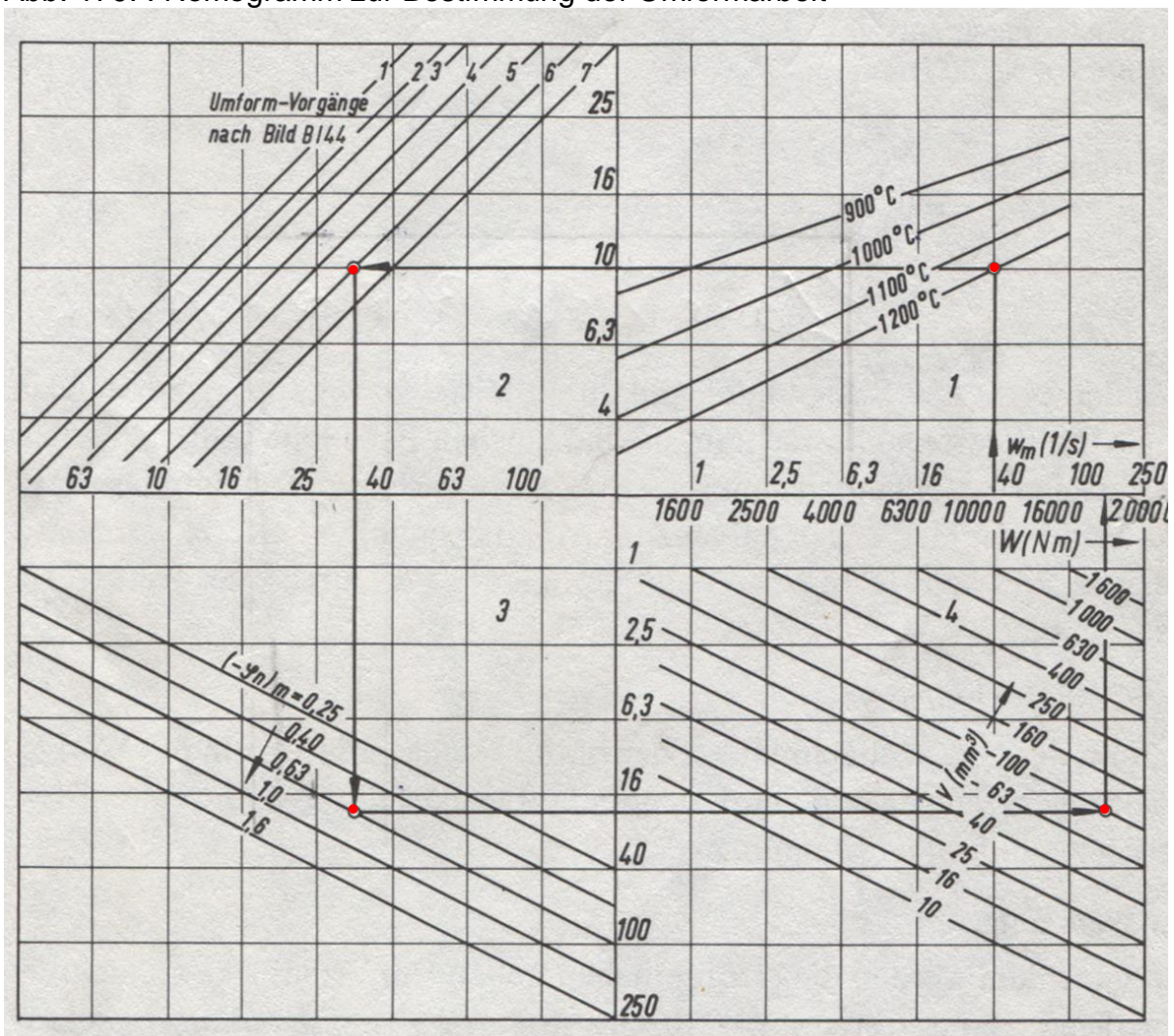


Abb. 179: : Nomogramm zur Bestimmung der Umformarbeit



Berechnung von Kraft und Arbeitsbedarf mit Hilfe von Nomogrammen (s. nächste Abb.)

Ablesen logarithmierter Achsen

Sowohl beim Ermitteln des "normalen" Wertes aus Diagrammen mit logarithmierten Achsen als auch beim Eintragen von "normalen" Werten in solche Diagramme kann folgender Ansatz hilfreich sein:

$$\frac{\log 10}{l} = \frac{\log y}{x}$$

mit  $l$  = Länge einer Dekade in cm

$y$  = "normaler" Wert in ...

$x$  = Achsenabschnitt in cm

$$y = 10^{\frac{x}{l}} \cdot c \Rightarrow \text{Ermittlung des "normalen" Wertes in ...}$$

$$x = \log\left(\frac{y}{c}\right) \cdot l \Rightarrow \text{Ermittlung des Achsenabschnittes in cm}$$

mit  $c$  = Faktor entsprechend der untersuchten Dekade (0,1; 1; 10; 100 etc.)

s. auch Schmiedepaktikum auf meiner [homepage](#)

## 11. Liste der Fachausdrücke zur FEV-VL (Teil Umformtechnik)

Die Bedeutung der folgenden Ausdrücke sollte Ihnen bekannt sein:

deutsch	englisch
Allotropie	allotropy
Amboß	anvil
Arbeitswalze	roll, platen
Arrheniusgleichung	Arrhenius equation
Bandgießen	tape casting
Beschichten	coating
Block	bar, block, ingot
Bramme	slab
Burgersvektor	Burgersvektor
Dehnung	strain
dichteste Kugelpackung	most dense sphere package
Druckumformen	pressure-forming
Dünnbandgießen	light (thin) tape casting
Dünnbrammengießen	light (thin) slab casting
Durchschmieden	through-forging (?)
Durchwalzen	through-rolling
Durchziehbedingung	pull-through condition
Eingriffsbogen	arc of contact
Einziehbedingung	pulling-in condition
Elastizität	elasticity
Elementarzelle	unit cell
Erholung	recovery
Faserverlauf	fiber course
Fe-Fe <sub>3</sub> C-Diagramm	Fe-Fe <sub>3</sub> C-diagram
Festigkeitshypothesen	stress (strength-) hypothesis
Flachprodukt	flat product
Fließen	flow
Fließkurvenatlas	book containing flow curves
Fließspannung	flow stress (tension)
Formänderung	deformation
Formänderungsfestigkeit	deformation
Formänderungswiderstand	deformation resistance, consistency
Formänderungswirkungsgrad	theoretical to actual ratio
Frank-Read-Quelle	Frank-Read-source
Fügen	jointing, (welding)
Galvanoformung	galvanoforming
Gefüge	micro structure
Gesenkschmieden	drop forging, die stamping
Gewindewalzen	thread rolling
Gießwalzen	cast rolling
Gitterbaufehler	lattice defect
Gitterebene	lattice plane
Gitterrichtung	lattice direction
glatte Walzen	even, smooth, plain rolls
Gleichmaßdehnung	percentage elongation before reduction
Gleitebene	slip plane, gliding plane
Gleitsystem	gliding system

Greifbedingung	biting condition
Greifwinkel	angle of bite
Halbwarmumformung	semi hot deformation
Hammer	hammer
Hammerbär	hammer tup
Idealkristall	ideal crystal
Kaliberwalzen	grooved roll
Kaltumformung	cold working
Kaltverfestigung	strain hardening
Kegelstauchversuch	conical compression test
kfz	bfc
Kokille	chill, ingot mould
Kornwachstum	graingrowth
kritische Schubspannung	critical shear strain
krz	cbc
Kupplungzapfen	palm end
Längswalzen	longitudinal rolling
Laufzapfen	journal
Massenverteilung	mass ditribution
Metallbindung	metallic bond
Millersche Indizees	Miller indices
Mohrsche Schubspannungshypothese	Mohrs´ shear stress-hypothesis
Mohrscher Spannungskreis	Mohrs´ cirle of tension
nanokristalline Werkstoffe	nanograin material
Nomogramm	nomograph
Normalspannung	direct stress
Normalspannungsbruch	direct stress fracture
Packungsdichte	packing density
Pilgerschrittverfahren	reciprocation rolling process
Plastizität	plasticity
Querwalzen	transverse rolling
Realkristall	real crystal
Reckwalzen	stretch rolling
Reibungskoeffizient	coefficient of friction
Reibungswinkel	angle of friction
Reihle	Reihle
Rekristallisation	recrystallisation
Rekristallisationsschaubild	recrystallisation graph
Schabotte	anvil bed
Schmidtsche Schubspannungshypoth.	shear stress hypothesis of Schmidt
Schmiedepresse	forging press
Schrägwalzen	rotary forging
Schubspannung	shear stress
Schubspannungsbruch	shear stress fracture
Siebel	Siebel
Sintern	sinter
Spanlose Fertigung	noncutting manufacturing (shaping)
Spannung	stress, tension
Spannungs-Dehnungs-Diagramm	stress -strain-diagramm
Spannungshypothese	stress-hypothesis
Staffelwalze	stepped roll
Stauchten	forging, metal gathering, shrinking



Stoffeigenschaftenändern	change properties of material
Stranggießen	continous casting
Streckgrenze	yield strength
Stützwalze	idele roll, backing roll
Thermomechanisches Walzen (TM)	thermomechanical rolling
Trennen	seperate, disconnect, disjoint (?)
Umformarbeit (ideal, real)	forming, shaping, deformat. work (ideal, real)
Umformgeschwindigkeit	deformation rate
Umformgrad	degree of deformation
Umformkraft (ideal, real)	force of deformation
Umformtechnik	metall working, metall forming
Urformen	moulding
Verfestigungsexponent	hardening exponent
Vergleichsspannung	effective stress, reference stress
Versetzung	islocation
Versetzungsnetzwerk	dislocation network
Verzunderung	scaling oxidation at high temperature
Volumenkonstanz	constance of volume
Vorbandgießen (CSP-Verfahren)	constant strip production (csp)
wahre Dehnung	true elongation (strain)
wahre Spannung	true stress
wahres Spannungs-Dehnungs-Diagr.m	true stress strain diagramm
Walzenballen	roll barrel, roll body
Walzengerüst	roll housing
Walzkraft	roll force
Walzleistung	roll power (performance)
Walzmoment	roll moment
Walzspalt	roll clearance
Warmumformung	hot forming, - shaping, - deformation
Zerschmieden	overforge
ZTU-Schaubild	ttt-diagram
Zugdruckumformen	tension-compression shaping
Zugumformen	tension-shaping
Zunder	scale

Übersetzung ohne Gewähr

**Ergänzend zu den Arbeitsblättern werden folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt:**

- Veröffentlichung auf meiner Homepage ,  
<http://homepages.fh-regensburg.de/~heh39273/aufsatz.shtml>,
- ca. 15 „Merkfolien“, die in der Vorlesung als Zusammenfassung einzelner Kapitel zum Abschreiben angeboten werden (keine Kopien)

## 12. Formelsammlung zur Klausur FEV, Teil Umformtechnik, 1. Semester

### 2. Umformtechnik:

#### a) Grundlagen:

$$\Delta h = h_1 - h_0; \Delta b = b_1 - b_0; \Delta l = l_1 - l_0 \quad \Rightarrow \quad \text{absolute Formänderung in mm}$$

$$\varepsilon_h = \frac{h_1 - h_0}{h_0}; \quad \varepsilon_b = \frac{b_1 - b_0}{b_0}; \quad \varepsilon_l = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \quad \Rightarrow \quad \text{bezogene Formänderung}$$

$$\frac{h_1}{h_0}; \quad \frac{b_1}{b_0}; \quad \frac{l_1}{l_0} \quad \Rightarrow \quad \text{Formänderungsverhältnis}$$

$$\varphi_h = \left| \ln \frac{h_1}{h_0} \right|; \quad \varphi_b = \left| \ln \frac{b_1}{b_0} \right|; \quad \varphi_l = \left| \ln \frac{l_1}{l_0} \right| \quad \Rightarrow \quad \text{logarithmiertes Form-}$$

$$\varphi = \ln(1 + \varepsilon) \quad \Rightarrow \quad \sigma = f(\varepsilon) \Leftrightarrow k_f = f(\varphi)$$

$$k_f = \sigma(1 + \varepsilon)$$

$$k_f = f(\varphi)$$

$$K_f = c \cdot \varphi^n$$

$$c = R_m \cdot \left( \frac{e}{n} \right)^n$$

$$n = \varphi_{gl} = \ln(1 + A_{gl})$$

⇒

⇒

⇒

⇒

⇒

⇒

⇒

⇒

⇒

⇒

⇒

#### b) Stauchen

$$F_{id} = A_1 \cdot k_f \quad \Rightarrow \quad \text{ideale Umformkraft} \quad \text{in N}$$

$$F_{re} = A_1 \cdot k_w \quad \Rightarrow \quad \text{reale Umformkraft (allg.)} \quad \text{in N}$$

$$F_{re} = A_1 \cdot k_f \left[ 1 + \left( \frac{1}{3} \mu \cdot d_1 / h_1 \right) \right] \quad \Rightarrow \quad \text{reale Umformkraft am} \\ \text{zylindrischen Werkstück} \quad \text{in N} \\ (\mu = \text{Reibungskoeffizient})$$

$$W_{id} = V \cdot \int_0^\varphi k_f d\varphi = V \cdot k_{fm} \cdot \varphi_1 = w \cdot V \quad \Rightarrow \quad \text{Formänderungsarbeit in Nm}$$

$$W = V \cdot \varphi_1 \cdot \frac{k_{fm}}{\eta_f} = V \cdot \varphi_1 \cdot k_{wm} = \frac{W_{id}}{\eta_f} \quad \Rightarrow \quad \text{Umformarbeit} \quad \text{in Nm}$$

#### c) Gesenkschmieden: F- und W- Bestimmung mit Hilfe von Nomogrammen

$$\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{v}{h_0} = w_0 \quad \Rightarrow \quad \text{Umformgeschwindigkeit} \quad \text{in 1/s}$$

$$\text{Umformkraft:} \quad F = A_d \cdot k_{we} \quad \text{in N}$$

$$\text{Anfängliche Umformgeschwindigkeit: } w_0 = v/h_0 \quad \text{in 1/s}$$

Mittlere Umformgeschwindigkeit  $w_m$  in Abhängigkeit von der benutzten Werkzeugmaschine:

1. arbeitsgebundene Maschinen

Hammer und Reibspindelpresse:  $w_m = (0,85 \dots 0,9) \cdot w_O$  in 1/s

Hammer:

$v = 5 \dots 7$  m/s  
 $w_O = 40 \dots 160$  1/s

Spindelpresse:

$v = 0,3 \dots 0,4$  m/s  
 $w_O = 4 \dots 25$  1/s

2. kraftgebundene Maschinen

hydraulische Presse:  $w_m = (1,3 \dots 1,6) \cdot w_O$  in 1/s

$v = 0,2 \dots 0,5$  m/s  
 $w_O = 0,01 \dots 10$  1/s

3. weggebundene Maschinen:

Kurbel- bzw Exyzenterpresse :  $w_m = (0,3 \dots 0,4) \cdot w_O$  in 1/s

$v = 0,4 \dots 0,6$  m/s  
 $w_O = 4 \dots 25$  1/s

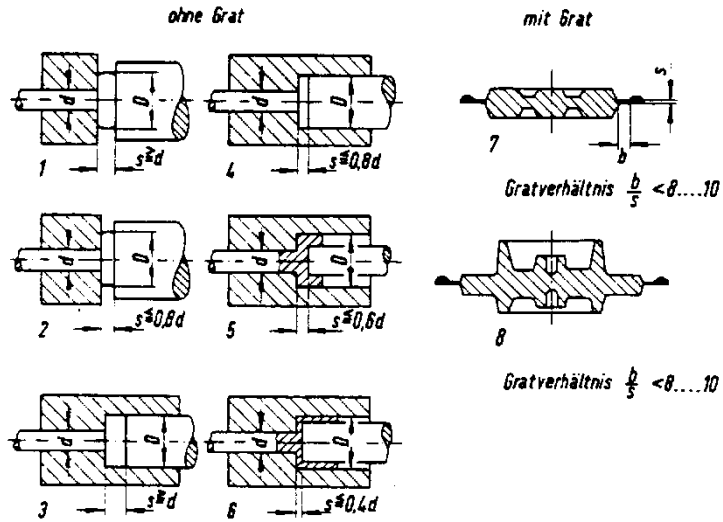
**c1) Auswertungshilfe für Diagramme mit logarithmierten Achsen:**

$y = 10^{\frac{x}{l}} \cdot c$   $\Rightarrow$  "normaler" Wert in ...

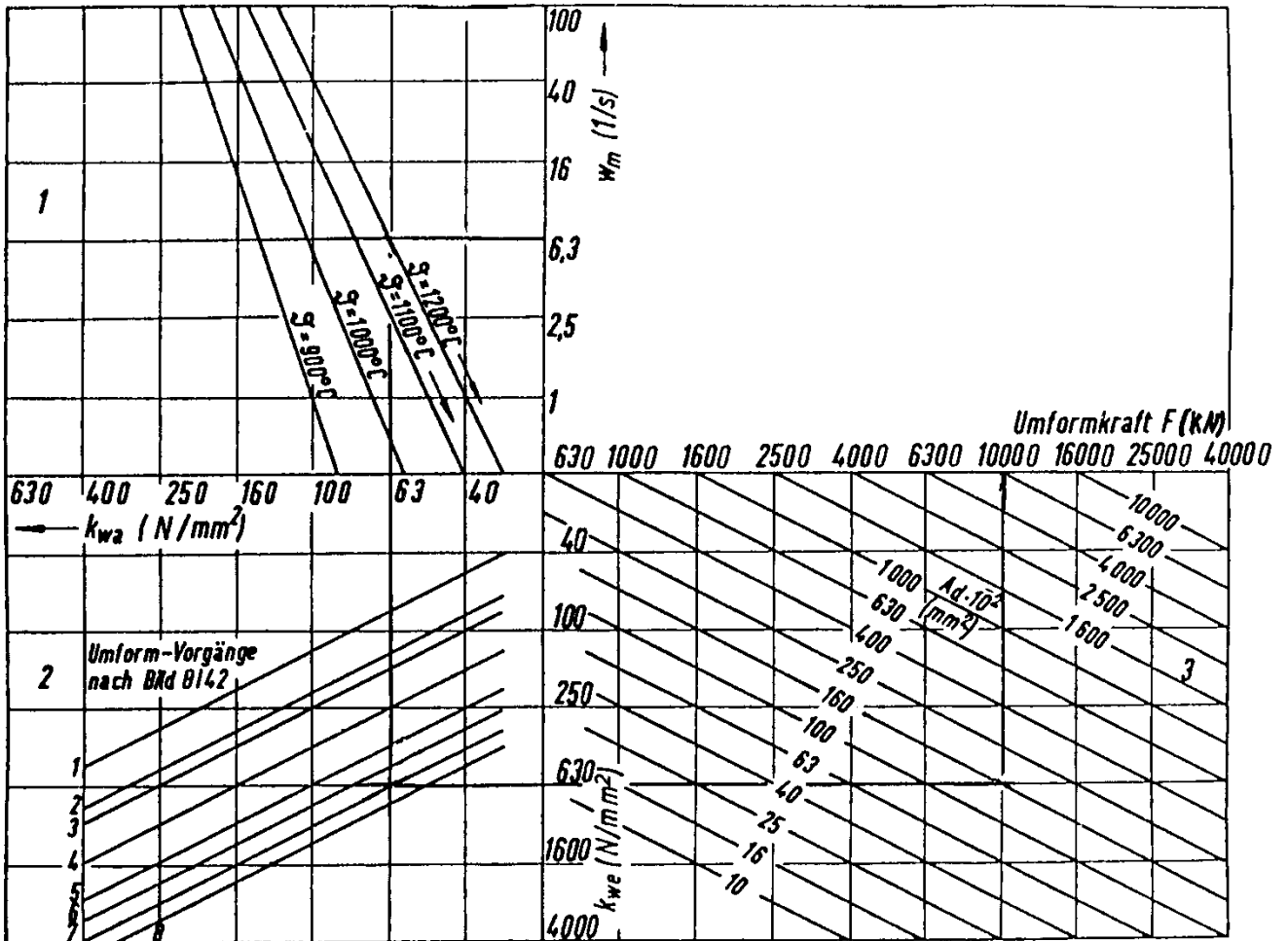
$x = \log\left(\frac{y}{c}\right) \cdot l$   $\Rightarrow$  Achsenabschnitt in mm

mit  $l =$  Länge einer Dekade  
 $c =$  unterster Wert der Dekade (10,100,1000 etc.)

c2) Umformvorgänge zur Ermittlung der Umformkräfte



Nomogramm zur Bestimmung der Umformkraft:



d) Walzen:

$\alpha_0 \leq \rho$	⇒	Greifen	
$\alpha_0 \leq 2\rho$	⇒	Durchwalzen	
$\mu = \operatorname{tg} \rho$	⇒	Reibungskoeffizient	
$\Delta h = 4 \cdot r \cdot \sin^2 \frac{\alpha_0}{2} \approx r \cdot \alpha_0^2$	⇒	Anstellung	in mm
$F_{id} = \frac{1}{2} \cdot k_{fm} \cdot A_1 \cdot \left  \ln \frac{h_1}{h_0} \right $	⇒	ideale Umfangskraft in N	
$F_{tr} = \frac{1}{\eta_f} \cdot F_{id}$	⇒	reale Umformkraft	in N
$M_r = F_{tr} \cdot r = \frac{r}{2\eta_f} \cdot k_{fm} \cdot A_1 \cdot \left  \ln \frac{h_1}{h_0} \right $	⇒	Walzen-Drehmoment	in Nm
$P_r = \frac{1}{\eta_f} \cdot k_{fm} \cdot A_1 \cdot \left  \ln \frac{h_1}{h_0} \right  \cdot v_t$	⇒	Walzen-Leistung	in kW
		( $v_t =$ Umfanggeschw.)	in m/s
		da gilt:	
$P_r = M \cdot \omega = F_{tr} \cdot r \cdot \omega = F_{tr} \cdot v_t$			
$v_t = \omega \cdot r = d \cdot \pi \cdot f$			

d1) Bestimmung des Reibungskoeffizienten  $\mu$  für Stahl:

$$\mu = 1,05 - 0,5 \cdot 10^{-3} T - 0,05 \cdot v_t \quad (= F_R/F_N)$$

mit  $T =$  Temperatur des Walzgutes in  $^{\circ}\text{C}$  ( $700 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq T \leq 1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )  
 $v =$  Walzgeschwindigkeit ( $5 \geq v \geq 0 \text{ m/s}$ )

für Hartgußwalzen:  $\mu_H = \mu - 0,1$

für geschliffene und Stahlgußwalzen:  $\mu_S = \mu - 0,21$

e) Tiefziehen:

$\beta = \frac{D_0}{d_1}$	$\Rightarrow$	Ziehverhältnis	in 1
$\beta_{\text{ges}} = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \dots \cdot \beta_n$	$\Rightarrow$	Gesamtziehverhältnis	in 1
$p_N = \left[ (\beta_1 - 1)^3 + \frac{d_1}{200 \cdot s} \right] \cdot \frac{R_m}{400}$	$\Rightarrow$	Niederhalter-Druck	N/mm <sup>2</sup>
$F_N = \frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d_N^2) \cdot p_N$	$\Rightarrow$	Niederhalter-Kraft	in N
$F_B = \pi \cdot (d_1 + s) \cdot s \cdot R_m \geq F_Z$	$\Rightarrow$	Bodenreiß-Kraft	in N
$F_{Zg} = F_{id} + F_{RN} + F_{RZ} + F_B = \frac{F_{id}}{\eta_F}$	$\Rightarrow$	Ges. Stempel-Kraft	in N
$F_{id} = \pi \cdot d_1 \cdot s \cdot k_{fm} \cdot (\ln \beta_1 - c)$	$\Rightarrow$	Ges. id. Stempel-Kraft (nach Siebel)	in N
$F_{Zg} = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot s \cdot k_{fm}}{\eta_f} \cdot (\ln \beta_1 - c)$	$\Rightarrow$	Ges. Stempel-Kraft (nach Siebel)	in N
$F_{Zg} = 5 \cdot d_1 \cdot s \cdot k_{fm} \cdot \ln \beta_1$	$\Rightarrow$	Ges. Stempel-Kraft (nach Siebel, vereinfacht)	in N
$F = F_Z + F_N$	$\Rightarrow$	Werkzeugmaschinen-Kraft	in N
$r_z = 0,035 \cdot \left[ 50 + (D_0 - d_1) \right] \cdot \sqrt{s_0}$	$\Rightarrow$	Ziehkanten-Radius	in mm
$u_z = s_0 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot s_0}$	$\Rightarrow$	Ziehspalt-Breite (Stahl)	in mm
$u_z = s_0 + 0,02 \cdot \sqrt{10 \cdot s_0}$	$\Rightarrow$	Ziehspalt-Breite (Al)	in mm
$u_z = s_0 + 0,04 \cdot \sqrt{10 \cdot s_0}$	$\Rightarrow$	Ziehspalt-Breite (NE-Metalle)	in mm
$u_z = s_0 + 0,2 \cdot \sqrt{10 \cdot s_0}$	$\Rightarrow$	Ziehspalt-Breite (h.-warmfest)	in mm
$D_0 = \sqrt{d_1^2 + 4 \cdot h \cdot (d_1 + s)}$ mit $s_0 = s_1 = s$	$\Rightarrow$	Zuschnitt - f	in mm
$D_0 = \sqrt{\frac{s_1}{s_0} \cdot \left[ d_1^2 + 4 \cdot h \cdot (d_1 + s) \right]}$ mit $s_1 < s_0$	$\Rightarrow$	Zuschnitt - f	in mm
$\beta' = (\beta_{100} + e) - \frac{e \cdot d_1}{100 \cdot s_0}$ mit $0,05 < e < 0,15$	$\Rightarrow$	Grenz-Ziehverhältnis	in mm
$y = a \cdot \ln \frac{a + \sqrt{a^2 - x^2}}{x} - \sqrt{a^2 - x^2}$	$\Rightarrow$	Tractrix - Kurve	