



Leseprobe

Harald Kugler

Umformtechnik

Umformen metallischer Konstruktionswerkstoffe

ISBN: 978-3-446-40672-8

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-40672-8>

sowie im Buchhandel.

---

## 2 Allgemeine Grundlagen der Umformtechnik

### 2.1 Grundgrößen der Umformung

#### 2.1.1 Größen der Umformzone

Im Folgenden werden Begriffe und Größen erläutert, die in der Umformtechnik häufig gebraucht werden. Sie bilden das Fundament für das Verstehen der einzelnen Umformmethoden und -verfahren.

##### Lernziele:

Der Lernende

- kennt die Umformgrade bezüglich Bauteillänge, -breite, -höhe und -querschnitt.
- kennt Haupt-, Vergleichs-, Bruch- und Grenzumformgrad.
- kann die Umformgeschwindigkeit erklären.

##### 2.1.1.1 Konstantes Volumen der Umformzone

Die plastische Formänderung von Metallen erfolgt durch die Umlagerung von Atomen, Atomreihen und sogar ganzer Atomebenen. Das am Umformvorgang beteiligte Volumen bleibt dabei konstant. Volumenänderungen aufgrund äußerer Kräfte sind elastischer Natur, d. h., sie gehen nach der Entlastung wieder vollständig zurück. Das **Modell der starren Kugeln und elastischen Federn** für Metalle besagt, dass man sich ein Bauteil aus Metall so vorstellen kann, als wäre es durch kugelförmig gedachte Atome aufgebaut, deren Abstände durch starke Federn gebildet werden (den sogenannten Bindungskräften). Im elastischen Bereich verlängern oder verkürzen sich die Federn durch äußere Kräfte. Im entlasteten Zustand sorgen die Federn aber immer für denselben Abstand der Atome. Wenn äußere Kräfte auf das Bauteil wirken, vergrößert sich durch Zug oder verringert sich durch Druck dieser Abstand, solange die Belastung im elastischen Bereich bleibt. Wenn man vom Kugel-Feder-Modell zum realen Metall zurückkehrt, sind es anziehende und abstoßende Kräfte der Elektronen und Atomkerne, die einen definierten Gleichgewichtsabstand  $x_0$  (Bild 2.18) der Atomkerne im Metallgitter ergeben. Der Gleichgewichtsabstand  $x_0$  ist bestimmend für die **Gitterkonstanten**  $a$  und  $c$  im Bild 2.19. Bei plastischen Formänderungen müssen diese „Federbindungen“ aufgebrochen und mit anderen Atomen neu gebildet werden, wenn z. B. eine Atomebene gegenüber einer anderen verschoben werden soll. Die Atomabstände bleiben dadurch natürlich gleich. Das erklärt, dass das an der Umformung beteiligte Volumen vor und nach der Umformung im entlasteten Zustand gleich ist. Der physikalische Prozess der plastischen Formänderung wird detailliert in Kapitel 2.3.2.1 „Mechanismen der plastischen Formänderung“ besprochen.

Der Bereich eines Bauteiles, der sich aufgrund äußerer Kräfte im plastischen Zustand – d. h. im plastisch formbaren Zustand – befindet, wird als Umformzone bezeichnet. Während des Umformprozesses können nacheinander verschiedene Bereiche des Bauteiles zur Umformzone werden, z. B. beim Ziehen von Stangen und Drähten.

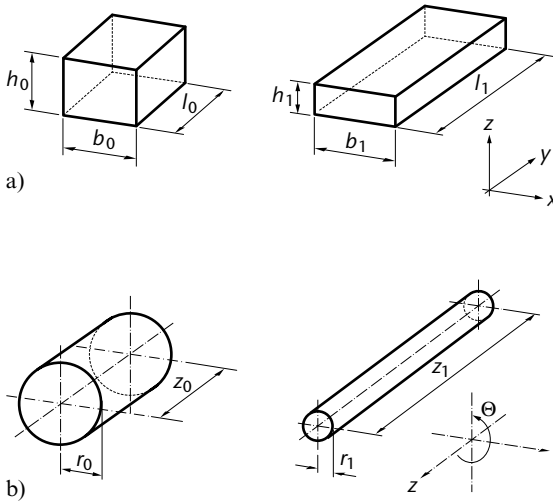


Bild 2.1: Geometrische Bezeichnungen bei der Umformung.

a) **kartesische Koordinaten**  $x$ ,  $y$  und  $z$  und die Maße  $h$ ,  $b$  und  $l$ ;  
 b) **Zylinderkoordinaten**  $z$ ,  $r$ , und  $\varphi$  und die Maße  $l$ ,  $d$  mit Umfang =  $d \cdot \pi$ .  
 Index 0: vor der Formänderung,  
 Index 1: nach der Formänderung

### 2.1.1.2 Umformgrad und andere Bezeichnungen für die plastische Formänderung

Weil die Atomabstände vor und nach einer Umformung gleich sind, bleibt das Volumen des umgeformten Bauteilbereiches bei plastischer Formänderung unverändert, sofern Masse weder hinzukommt noch weggenommen wird. Aufgrund dieser **Volumenkonstanz** gilt z. B. für einen Quader (Bild 2.1a) die Beziehung:

$$V = h_0 \cdot l_0 \cdot b_0 = h_1 \cdot l_1 \cdot b_1 = \text{const}$$

oder wenn man die Abmessungen zueinander in Beziehung setzt:

$$\frac{h_1 \cdot l_1 \cdot b_1}{h_0 \cdot l_0 \cdot b_0} = 1 \quad (2.1)$$

Die Gleichung 2.1 bezieht sich nur auf das am Umformprozess beteiligte Volumen  $V$ , das nicht identisch mit der Umformzone sein muss. Umformungen mit anderen geometrischen Formen (z. B. Bild 2.1b) müssen natürlich mit anderen mathematischen Formeln berechnet werden.

#### a) Mathematische Ausdrücke für die Formänderungen

- Die Seitenverhältnisse des Bauteils  $h_1/h_0$ ;  $l_1/l_0$  und  $b_1/b_0$  in der Gleichung 2.1 werden als **Formänderungsverhältnisse** bezeichnet. Weil das Volumen vor und nach der Umformung gleich ist, wird das Produkt der Formänderungsverhältnisse 1.
- Unter der **absoluten Formänderung** versteht man den Unterschied der geometrischen Abmessungen vor und nach der Umformung:

$$\Delta h = h_1 - h_0; \quad \Delta b = b_1 - b_0; \quad \Delta l = l_1 - l_0 \quad (2.2)$$

- Bei der **bezogenen Formänderung** (Höhen-, Breiten-, Längen- und Querschnittsänderung) wird die absolute Formänderung zum ursprünglichen Maß ins Verhältnis gesetzt:

$$\varepsilon_h = \frac{\Delta h}{h_0}; \quad \varepsilon_b = \frac{\Delta b}{b_0}; \quad \varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l_0}; \quad \varepsilon_s = \frac{S_1 - S_0}{S_0} \quad (2.3)$$

Ein positives Vorzeichen zeigt eine Verlängerung des umzuformenden Körpers an; eine Verkürzung wird durch ein negatives Vorzeichen gekennzeichnet. Die richtigen Vorzeichen ergeben sich, wenn die Differenzen entsprechend der Gleichung 2.2 eingesetzt werden, z. B.  $\Delta h = h_1 - h_0$ . Die bezogenen Formänderungen  $\varepsilon$  gleichen formal den elastischen Dehnungen, wie diese z. B. aus dem Zugversuch bekannt sind. Bei den elastischen Dehnungen werden die Ausgangsgrößen  $h_0$ ,  $b_0$ ,  $l_0$  und  $S_0$  nach der Entlastung wieder erreicht, nicht so bei den plastischen Formänderungen. Für ingenieurwissenschaftliche Berechnungen zur plastischen Formänderung sind aus diesem Grunde die bezogenen Formänderungen nicht geeignet; sie sind jedoch in älteren Fachartikeln anzutreffen und werden deshalb hier erwähnt.

- Der **Umformgrad**  $\varphi$  ist der natürliche Logarithmus des Formänderungsverhältnisses. Der Umformgrad wird gelegentlich auch als **logarithmiertes Formänderungsverhältnis** bezeichnet. Der Umformgrad  $\varphi$  wird bezüglich den Bauteilabmessungen: Höhe  $h$ , Länge  $l$  und Breite  $b$  berechnet:

$$\varphi_h = \ln \frac{h_1}{h_0}; \quad \varphi_l = \ln \frac{l_1}{l_0}; \quad \varphi_b = \ln \frac{b_1}{b_0} \quad (2.4)$$

Aus der bezogenen Formänderung (Gl. 2.3) kann der Umformgrad  $\varphi$  berechnet werden. Es gilt z. B. für die Bauteillänge  $l$ :

$$\varphi_l = \ln \frac{l_1}{l_0} = \ln \frac{(l_0 + \Delta l)}{l_0} = \ln (1 + \varepsilon_l) \quad (2.5)$$

## b) Umformgrade

Der Umformgrad  $\varphi$  spielt in der Umformtechnik, z. B. bei der Ermittlung des Kraft- und Arbeitsbedarfes, aber nicht nur dort, eine wesentliche Rolle. Am Umformgrad bzgl. der Höhenänderung  $\varphi_h$  wird das Zustandekommen der Gleichungen 2.6 erläutert.

Die beim Umformen auf den Augenblickswert der Bauteilhöhe  $h$  bezogene **momentane Formänderung**  $d\varphi$  lautet  $d\varphi = \frac{dh}{h}$ . Diese Größe wird von der Anfangshöhe des Bauteils  $h_0$  bis zur Endabmessung  $h_1$  über den Umformvorgang aufsummiert, also integriert und ergibt den Umformgrad bezüglich der Bauteilhöhe  $\varphi_h$  zu:

$$\varphi_h = \int_{h_0}^{h_1} \frac{1}{h} dh = \ln h \Big|_{h_0}^{h_1} = \ln \frac{h_1}{h_0} \quad \textbf{Stauchgrad} \quad (2.6a)$$

Analog für die anderen geometrischen Größen der Umformzone wird der Umformgrad bezüglich der Bauteilbreite  $\varphi_b$  zu:

$$\varphi_b = \int_{b_0}^{b_1} \frac{1}{b} db = \ln b \Big|_{b_0}^{b_1} = \ln \frac{b_1}{b_0} \quad \textbf{Breitungsgrad} \quad (2.6b)$$

und der Umformgrad bezüglich der Bauteillänge  $\varphi_l$  zu:

$$\varphi_l = \int_{l_0}^{l_1} \frac{1}{l} dl = \ln l \Big|_{l_0}^{l_1} = \ln \frac{l_1}{l_0} \quad \textbf{Längungsgrad} \quad (2.6c)$$

Der **Umformgrad**  $\varphi$  ist also ein integrales Maß für die gesamte plastische Formänderung eines Bauteiles. Lokale Unterschiede bezüglich der Größe der plastischen Formänderung innerhalb der Umformzone können mit den Umformgraden  $\varphi_h$ ,  $\varphi_b$  und  $\varphi_l$  somit nicht beschrieben werden.

Wird die Gleichung 2.1 logarithmiert, so ergibt sich:

$$\ln \frac{h_1}{h_0} \cdot \frac{b_1}{b_0} \cdot \frac{l_1}{l_0} = \ln 1 = 0$$

die linke Seite umgeformt ergibt:

$$\ln \frac{h_1}{h_0} \cdot \frac{b_1}{b_0} \cdot \frac{l_1}{l_0} = \ln \frac{h_1}{h_0} + \ln \frac{b_1}{b_0} + \ln \frac{l_1}{l_0} = \varphi_h + \varphi_b + \varphi_l$$

und aus dem Vergleich mit der rechten Seite folgt für **kartesische Koordinaten**:

$$\varphi_h + \varphi_b + \varphi_l = 0 \quad (2.7)$$

Das heißt: **Die Summe der Umformgrade ist null.**

In **Zylinderkoordinaten** ergibt sich mit den Querschnitten  $S_0$  vor und  $S_1$  nach dem Umformen:

$$\ln \left( \frac{l_1}{l_0} \cdot \frac{S_1}{S_0} \right) = \ln \left( \frac{l_1}{l_0} \cdot \frac{d_1^2}{d_0^2} \cdot \frac{\pi/4}{\pi/4} \right) = \ln 1 = 0$$

oder

$$\ln \frac{l_1}{l_0} + \ln \frac{S_1}{S_0} = 0 \quad \text{bzw.} \quad \ln \frac{l_1}{l_0} + 2 \cdot \ln \frac{d_1}{d_0} = 0$$

und somit

$$\varphi_l + \varphi_s = 0 \quad (2.8a)$$

bzw.

$$\varphi_l + 2 \cdot \varphi_d = 0 \quad (2.8b)$$

Dies gilt in aller Strenge nur für Umformzonen mit runden Querschnitten, wird aber in der Form  $\varphi_l + \varphi_s = 0$  (Gleichung 2.8a) auch für beliebige Querschnitte verwendet.

### **Merkregel**

**Aus der Volumenkonstanz folgt: Die Summe der Umformgrade ist null!**

$$\varphi_h + \varphi_b + \varphi_l = 0$$

$$\varphi_l + \varphi_s = 0$$

$$\varphi_l + 2 \cdot \varphi_d = 0$$

Kartesische Koordinaten

Zylinderkoordinaten

### **c) Hauptumformrichtung und Hauptumformgrad**

Weil die Summe aller Umformgrade null ergibt, ist einer der drei Umformgrade (eines der drei logarithmierten Formänderungsverhältnisse) gleich der negativen Summe der beiden anderen: z. B.

$$\varphi_1 = -(\varphi_2 + \varphi_3) \quad (2.9)$$

$\varphi_1$  ist in dem Beispiel der Gleichung 2.9 der Umformgrad mit dem größten Betrag. Die zugehörige Umformrichtung – hier die Bauteillänge – bezeichnet man als **Hauptumformrichtung** und den zu-

gehörigen Umformgrad als **Hauptumformgrad**  $\varphi_H$ . Die beiden anderen Umformgrade werden Nebenumformgrade genannt.

Oft ist die Bauteillängsachse die Hauptumformrichtung:

- die Länge  $l$  bei Stäben, Stangen, Röhren und Drähten sowie
- die Höhe  $h$  bei Schraubenköpfen und anderen Stauchteilen.

### Definition des Hauptumformgrades

Jede Umformzone hat drei Umformgrade entsprechend den kartesischen Koordinaten oder den Zylinderkoordinaten.

Der Umformgrad der Hauptumformrichtung hat von den genannten drei Umformgraden den größten Betrag und wird Hauptumformgrad  $\varphi_H$  genannt.

Wenn die Länge  $l$  die Hauptumformrichtung ist und beim Umformen größer wird (z. B. beim Drahtziehen), dann ist es schwierig, die Länge zu bestimmen. Es ist viel einfacher, den Drahtdurchmesser zu messen und daraus den Querschnitt zu berechnen. In diesen Fällen ist es sinnvoll, den Hauptumformgrad mit der Gleichung 2.9 durch die Nebenumformgrade auszudrücken:

$$\varphi_H = \varphi_1 = -\varphi_s = -\ln \frac{S_1}{S_0} = \ln \frac{S_0}{S_1} \quad (2.10)$$

oder

$$\varphi_H = \varphi_1 = -2 \cdot \varphi_d = -2 \cdot \ln \frac{d_1}{d_0} = 2 \cdot \ln \frac{d_0}{d_1} \quad (2.11)$$

Beim Berechnen des Hauptumformgrades ist eine Besonderheit zu beachten: Der Hauptumformgrad kann aus der Hauptumformrichtung berechnet werden oder aus den Nebenumformrichtungen (Gl 2.9) oder aus den Querschnittsflächen (Gl 2.10). Dabei sind zweckmäßigerweise die Quotienten der geometrischen Größen, aus denen der Hauptumformgrad  $\varphi_H$  berechnet werden soll, so zu wählen, dass  $\varphi_H$  einen positiven Wert hat. Formal gelangt man zum selben Ergebnis, wenn man mit Betragstrichen arbeitet. Das führt jedoch zu einem mathematischen Problem, wenn Hauptumformgrade miteinander verglichen werden müssen, die zwar am selben Bauteil auftreten, aber von verschiedenen Verfahren herrühren. Siehe hierzu insbesondere das Berechnungsbeispiel Schraubenrohling mit  $\varphi_{H, \text{Kopf}} = \varphi_{H, \text{Schaft}}$  im Kapitel 3.3.2.4.

### d) Technologisch wichtige Umformgrade

Für viele Umformverfahren ist der Hauptumformgrad  $\varphi_H$  identisch mit dem **Vergleichsumformgrad**  $\varphi_V$ , der die Umformverfahren charakterisiert und in die Kraft- und Arbeitsberechnung eingeht.

$$\varphi_V = \varphi_H \quad (2.12)$$

Muss bei einem Umformverfahren der Vergleichsumformgrad  $\varphi_V$  anders als nach Gleichung 2.12 bestimmt werden, so ist dies in den entsprechenden Kapiteln angegeben, z. B. beim Tiefziehen und beim Gesenkschmieden.

Der größte mit einem Verfahren erzielbare Vergleichsumformgrad wird **Grenzumformgrad**  $\varphi_G$  genannt. Der Grenzumformgrad ist abhängig von den Werkstoffeigenschaften, der Werkzeugbe-

lastung und von Verfahrensparametern wie Temperatur, Umformgeschwindigkeit, tribologische Bedingungen und Spannungszustand. Druckspannungen beeinflussen den Grenzumformgrad günstig.

### Merksatz

Der Grenzumformgrad ist umso größer, je höher der Druckspannungsanteil in der Umformzone ist.

Der Grenzumformgrad kann maximal den **Bruchumformgrad**  $\varphi_B$  erreichen:

$$\varphi_G \leq \varphi_B \quad (2.13)$$

Der Bruchumformgrad  $\varphi_B$  stellt eine Kenngröße dar, die ähnlich wie die Festigkeit  $R_m$  nicht nur vom Werkstoff, sondern auch von den Versuchsbedingungen abhängt, insbesondere von der Umformgeschwindigkeit bzw. vom Messverfahren.

Grenzumformgrade können indirekt den Fließkurven entnommen werden – meist endet die ausgezogene Linie der Fließkurve dort, wo üblicherweise die Umformung zu Rissen im Bauteil führt. Die Tabelle 2.1 gibt einige Erfahrungswerte zu den Grenz- und Bruchumformgraden wieder.

Tabelle 2.1: Verfahrensspezifische Umformgrade für C15E

Verfahren	Grenzumformgrad $\varphi_G$	Bruchumformgrad $\varphi_B$
Fließpressen	1,4	>1,9
Walzen	1,2	>1,4
Drahtziehen	0,9	>1,0

Für die Umformgrade beim Fließpressen gibt die Tabelle 3.12 (Kap. 3.3.1.7) weitere Werte an, die unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erreichbar sind: **erreichbare Umformgrade**  $\varphi_{er}$ .  $\varphi_{er}$  kann näherungsweise dem Grenzumformgrad gleichgesetzt werden:  $\varphi_{er} \approx \varphi_G$ .

## e) Umformgeschwindigkeit

Die **Umformgeschwindigkeit**  $\dot{\varphi}$  ist die Ableitung des Umformgrades  $\varphi$  nach der Zeit

$$\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (2.14)$$

Umformprozesse laufen meist mit hohen Geschwindigkeiten ab, so dass der Hauptumformgrad und damit das Ende des Umformprozesses in einem Bruchteil einer Sekunde erreicht wird. So sind in der Schraubenindustrie Stauchmaschinen mit 300 Hübten pro Minute und mehr im Einsatz. Ein Hub dauert bei diesen Maschinen  $60 \text{ s}/300 = 0,2 \text{ s}$ . Während des Rückhubes werden die Teile in der Maschine transportiert und ein Teil des Vorwärtshubes dient dem Schließen des Werkzeuges. Der Rest des Hubes mit ca.  $\frac{1}{4}$  der Hubzeit steht der Umformung zur Verfügung. In diesem Beispiel wird ein gegebener Umformgrad z. B. für einen Schraubenkopf von  $\varphi_H = 0,75$  in  $0,2 \text{ s}/4 = 0,05 \text{ s}$  erreicht, d. h., der Schraubenkopf wird in ca. 50 Millisekunde fertig geformt!

Für die mittlere Umformgeschwindigkeit  $\dot{\varphi}$  kann die Gleichung 2.14 umgeschrieben werden zu:

$$\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt} \cong \frac{\varphi_H}{\Delta t}. \text{ Mit } \varphi_H = 0,75 \text{ und } \Delta t = 0,05 \text{ s ergibt sich } \dot{\varphi} = 15 \text{ s}^{-1}; \text{ dies ist eine typische Größe der}$$

Umformgeschwindigkeit einer Kurbelpresse, wie sie beim Stauchen von Schrauben verwendet wird. Umformgeschwindigkeiten weiterer Umformmaschinen sind in der Tabelle 2.2 angegeben.

Tabelle 2.2: Umformgeschwindigkeiten einiger Umformmaschinen

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

### Zusammenfassung

**Beim Umformen bleibt das Volumen konstant.**

$V_1 = V_0$       Index 0: vor dem Umformen

Index 1: nach dem Umformen

Daraus folgt: **Die Summe der Umformgrade ist null.**

$\varphi_h + \varphi_b + \varphi_l = 0$      $h, b$  und  $l$ : Kanten eines quaderförmigen Bauteiles

Der **Umformgrad der Hauptumformrichtung hat den größten Betrag**. Dieser Umformgrad ist der **Hauptumformgrad**  $\varphi_H$ . Bei vielen Umformverfahren ist der Hauptumformgrad gleich dem Vergleichsumformgrad  $\varphi_V = \varphi_H$ .

Der **Vergleichsumformgrad**  $\varphi_V$  wird für die Bestimmung der Bauteilfestigkeit nach einer Kaltmassivumformung und für die Berechnung des Kraft- und Arbeitsbedarfs benötigt.

Der **Grenzumformgrad**  $\varphi_G$  ist der größte mit einem Verfahren erzielbare Umformgrad.

Der Bruchumformgrad  $\varphi_B$  ist eine Werkstoff-Kenngröße.

Es gilt:  $\varphi_G \leq \varphi_B$

Umformbetriebe orientieren sich meist an dem unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten **erreichbaren Umformgrad**  $\varphi_{er}$ .

Es gilt:  $\varphi_{er} \cong \varphi_G$

Die **Umformgeschwindigkeit**  $\dot{\varphi}$  gibt an, wie schnell der Hauptumformgrad erreicht wird.

Umformprozesse laufen mit hohen Geschwindigkeiten ab; ein Vergleichsumformgrad von  $\varphi_V = 1$  wird in vielen Umformverfahren in 10 ms erreicht.



### 2.1.1.3 Fragen zum Kapitel 2.1.1

1. Welche Voraussetzung muss durch den Umformprozess gegeben sein, damit beim Umformen das Volumen konstant bleibt?
2. Warum sind die Atomabstände vor und nach der Umformung im entlasteten Zustand gleich groß?
3. Für jede unabhängige Koordinate (z. B. für die drei Zylinderkoordinaten  $z$ ,  $r$  und  $\Theta$  oder die drei kartesischen Koordinaten  $x$ ,  $y$  und  $z$ ) kann ein Umformgrad berechnet werden. Was sagt dieser Umformgrad aus, wofür ist er ein Maß?
4. Das Volumen bleibt beim Umformen konstant. Welche Auswirkung hat dies auf die Umformgrade?
5. Wie ist der Hauptumformgrad definiert und wie wird er berechnet?
6. Was ist der Vergleichsumformgrad?
7. Was ist der Grenzumformgrad und was der Bruchumformgrad?
8. Warum ist der Grenzumformgrad kleiner als der Bruchumformgrad?
9. Welche Umformzeiten ergeben sich mit  $\dot{\varphi} = 0,5 \text{ s}^{-1}$  und mit  $\dot{\varphi} = 500 \text{ s}^{-1}$  für ein Bauteil, dessen Hauptumformgrad  $\varphi_H = 1,0$  beträgt?

## 2.1.2 Spannungsgrößen

### Lernziele:

Der Lernende

- kennt die Werkstoffkennwerte: E-Modul, Streckgrenze  $R_{p0,2}$  und Zugfestigkeit  $R_m$ .
- kennt die Bedeutung der Fließspannung  $k_f$  für die plastische Formänderung und deren Abhängigkeit von umformtechnischen Prozessgrößen.
- kann die Fließbedingung (das Fließkriterium) anwenden.
- kennt zwei wichtige Spannungshypothesen und kann diese den Umformverfahren zuordnen.

### 2.1.2.1 Fließspannung und andere Werkstoffkennwerte

Das Bild 2.2a zeigt die Spannungs-Dehnungs-Diagramme von einigen wichtigen Werkstoffen der Umformtechnik und das Bild 2.2b die zugehörigen Fließkurven. In der Tabelle 2.3 sind für die

Tabelle 2.3: Werkstoffkennwerte I  
(E-Modul, Zugfestigkeit  $R_m$  und Streckgrenze  $R_{p0,2}$ )

Werkstoff	E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{p0,2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
C15E+A*)	210 000	600	355
DC05	210 000	300	140
EN AW-Al99,5	70 000	100	60

\*) in der Normbezeichnung steht E für Edelstahl und +A für weich gegläht (annealed)