

Grundlagen - Werkstofftechnik

Prof. Dr.-Ing. Christian Willberg^{id}
Hochschule Magdeburg-Stendal

Kontakt: christian.willberg@h2.de

Teile des Skripts sind von
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Häberle
übernommen

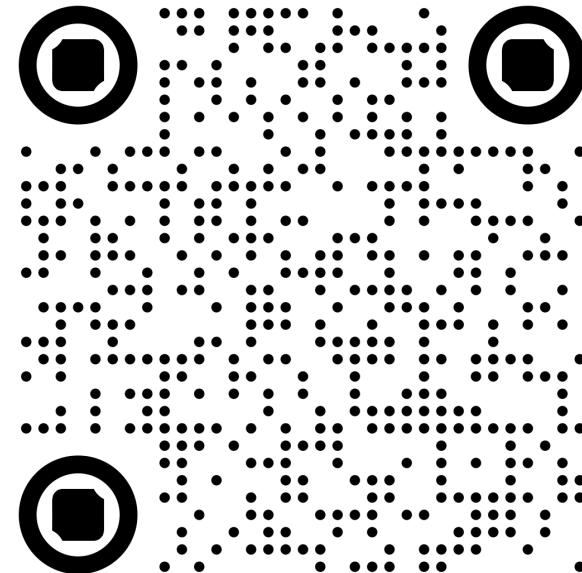
[Bildreferenz](#)



Vorlesung

Rahmen

- Essen oder Trinken sind okay,
aber leise
- Probleme:
 - bei der Kinderbetreuung
 - Nachteilsausgleich
 - Diskriminierung
 - sprachlich
 - ...
- Fragen



Organisation

- 2 Praktika
 - Zugprüfung
 - Härteprüfung
 - Teilnahme ist Zulassungsvoraussetzung zur Prüfung
- Prüfung 40 Minuten
- Fragen per E Mail; Konsultationen bei Bedarf

Inhalte nach Modulhandbuch

- Einteilung von Werkstoffen
- Materialeigenschaften
- Werkstoffstruktur, Gefüge, Legierungen, Gitterbaufehler
- ideale und reale Zustandsdiagramme, Gleichgewichts- und Ungleichgewichtszustände
- Wärmebehandlung, Härteverfahren
- Labor: Zugversuch, Härteprüfung

Werkstoffe

Was sind Werkstoffe?

Werkstoffe im engeren Sinne nennt man Materialien im festen Aggregatzustand, aus denen Bauteile und Konstruktionen hergestellt werden können.

Anwendungsbereiche

- Metalle
 - Eisen, Stahl, Gusseisen
 - Nicht Eisen
- Kunststoffe
- Keramiken
- Verbundwerkstoffe



Gußeisen - Stahl



Nicht Eisen Metalle

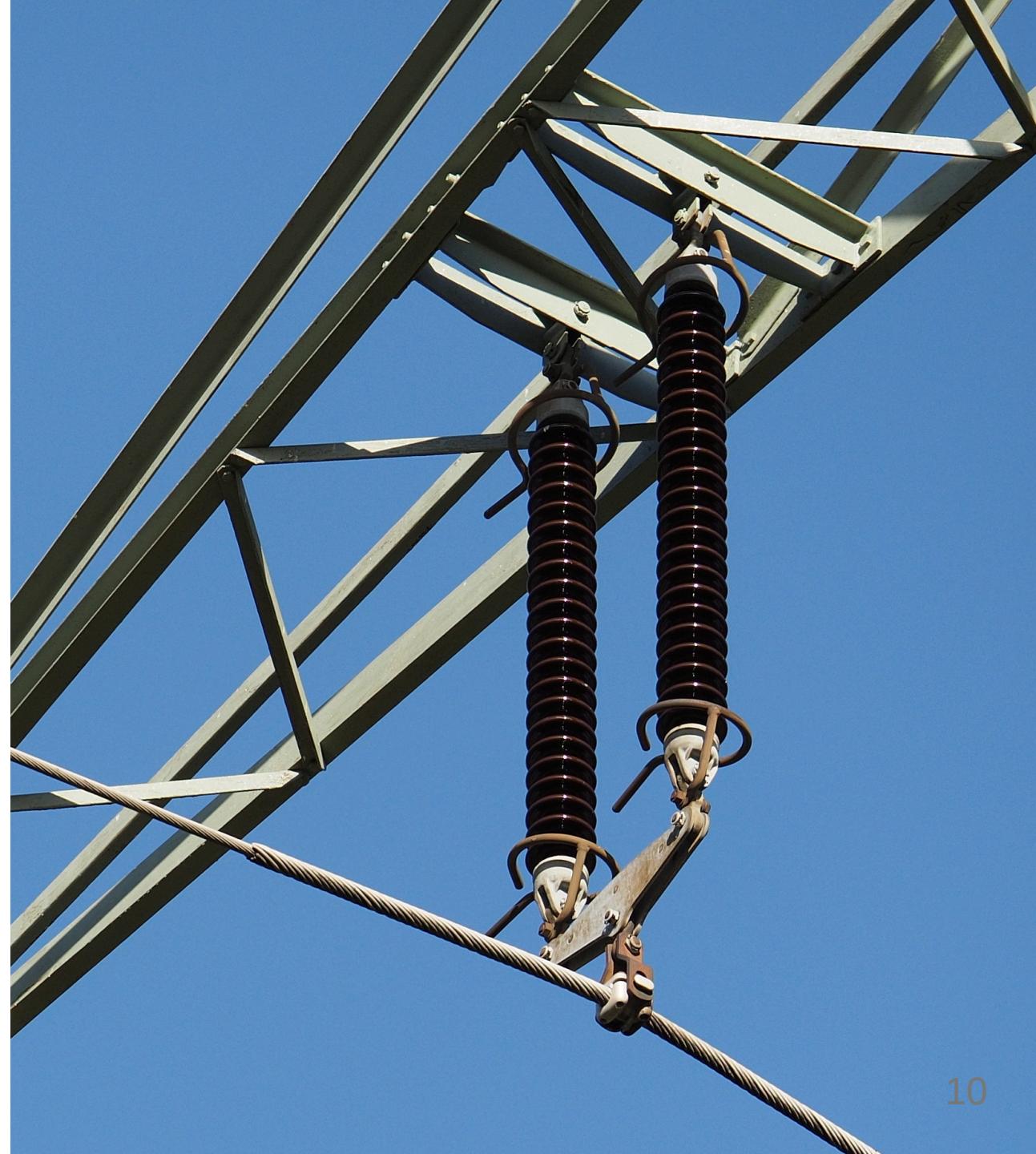
- Kupfer ist ein sehr guter elektrischer und thermischer Leiter



- Magnesium findet im Leichtbau Anwendung
- Titan und Titanlegierungen
 - hohe Festigkeit und Warmfestigkeit
 - Korrosionsbeständig
- Nickel
 - Korrosionsbeständigkeit
 - hohe Warmfestigkeit



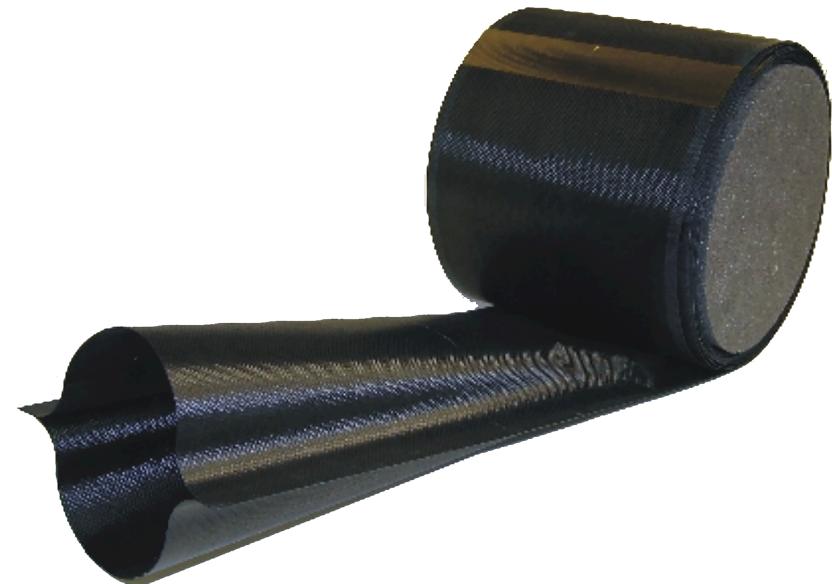
Keramiken



Gläser



Faserverbundwerkstoffe



Mechanische Eigenschaften

Was sind wichtige Eigenschaften aus Sicht einer Ingenieurin / eines Ingenieurs?

Mechanische Eigenschaften

Was sind wichtige Eigenschaften aus Sicht einer Ingenieurin / eines Ingenieurs?

- Materialverhalten ohne Schädigung
- Ermüdungsverhalten
- Verschleißverhalten
- Temperaturfestigkeit
- Festigkeit
- wann tritt eine Schädigung auf
- ...

Konzept Spannung - Dehnung

- Detailliert in der technischen Mechanik
 - ε - Dehnung
 - σ - Mechanische Spannung

Dehnungen 1D

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Beispiel:

$$l_0 = 1m$$

$$l_1 = 1.01m$$

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = 0.01 \rightarrow 1\%$$

Spannungen 1D

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Beispiel:

$$F = 100N$$

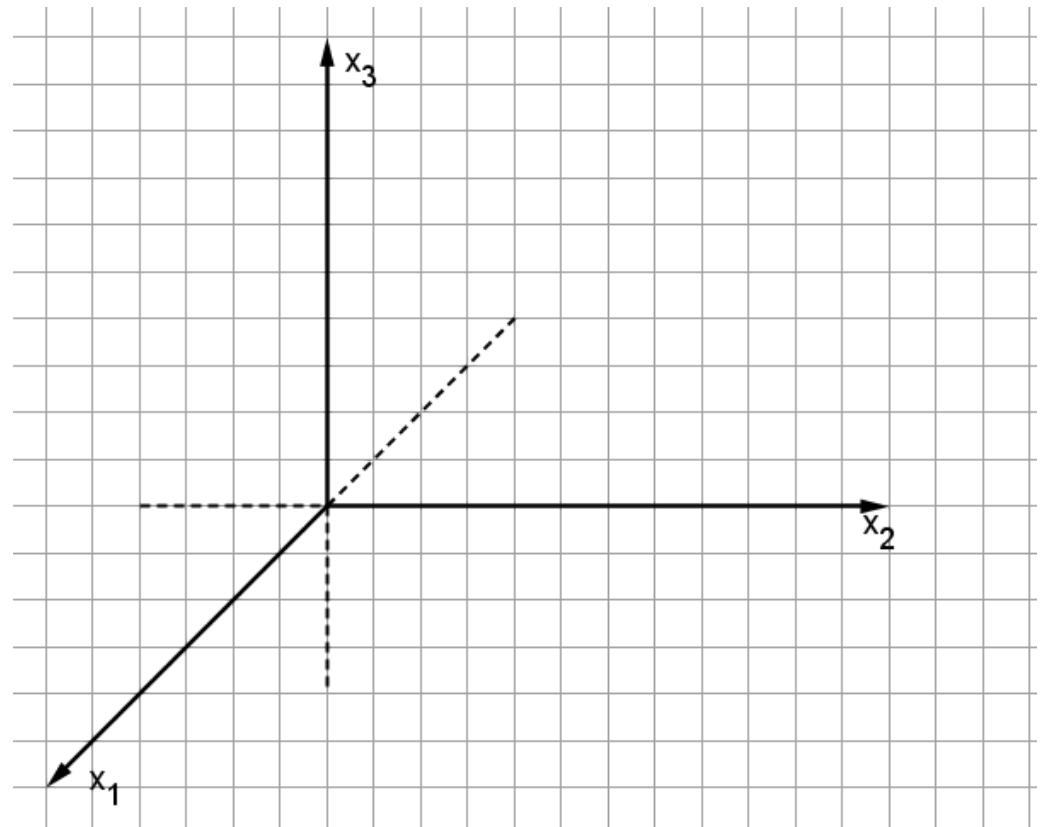
$$A = 20mm^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{100N}{20mm^2} = 5\frac{N}{mm^2}$$

Mehr Dimensionalität

Symmetrien

- isotropie
- transversale isotropie
- orthotropie
- ...
- anisotropie



Mechanische Eigenschaften

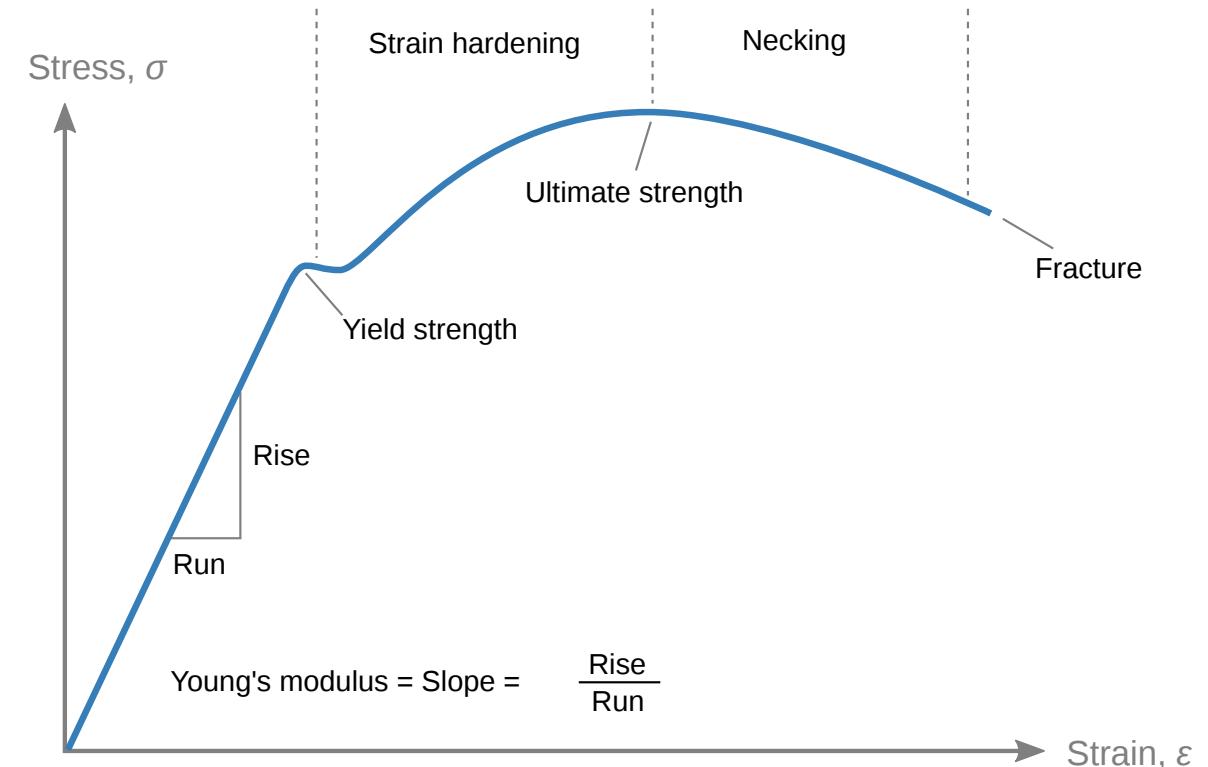
- die **reversible** Verformung, bei der sofort bzw. eine bestimmte Zeit nach dem Einwirken der äußeren Belastung der verformte Werkstoff seine ursprüngliche Form zurückhält: elastische und viskoelastische Verformung;
- die **irreversible (bleibende)** Verformung, bei der die Formänderung auch nach dem Einwirken der äußeren Belastung erhalten bleibt: plastische und viskose Verformung;
- der Bruch, d.h. eine durch Entstehen und Ausbreiten von Rissen bewirkte Trennung des Werkstoffes.

Beispiel Stahl

Kurvenbestimmung

Datenblatt Stahl

By Nicoguaro - Own work, CC BY 4.0



Materialverhalten - reversibel

Elastizität

- reversibel, energieerhaltend
- Hooksches Gesetz 1D

Normalspannung $\sigma = E\varepsilon$

Schubspannung $\tau = G\gamma$

Grundlagen

- Normaldehnung [-]

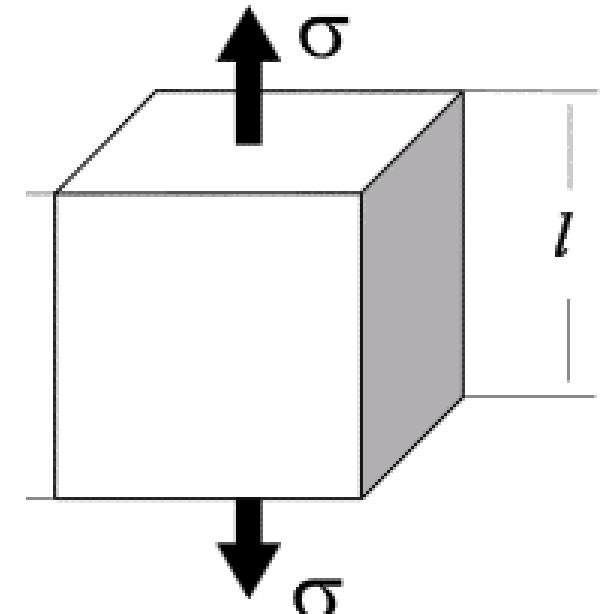
$$\varepsilon_{mechanisch} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

- Normalspannung $\left[\frac{N}{m^2} \right], [Pa]$

$$\sigma = \frac{F}{A} = E\varepsilon$$

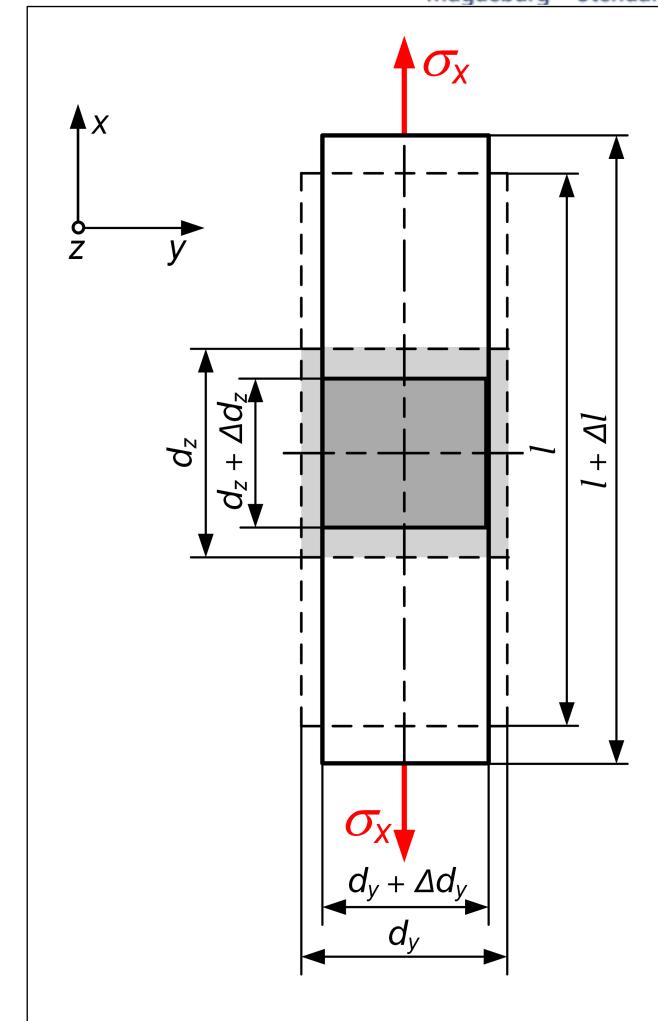
E - Elastizitätsmodul, Young's modulus $\left[\frac{N}{m^2} \right]$

- Relevant bspw. bei Verformungsanalysen



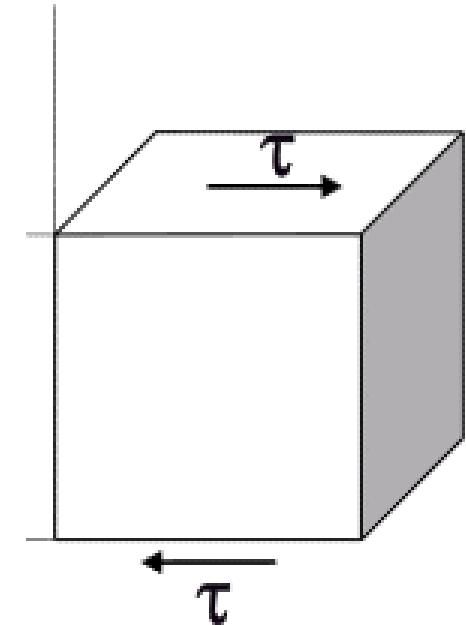
Grundlagen - Querkontraktion

- Querkontraktionszahl [-]
- $\nu = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}$
für homogene Werkstoffe $0 \leq \nu \leq 0.5$
für heterogene Werkstoffe sind anderen Konstellationen
denkbar
- Relevant bspw. bei Pressverbindungen



Grundlagen - Schub

- Schubdehnungen [-]
$$\varepsilon = \frac{1}{2} \left(\frac{u_x}{l_0} + \frac{u_y}{b_0} \right) = \frac{\gamma}{2}$$
- Schubspannung $\left[\frac{N}{m^2} \right]$, [Pa]
$$\tau = \frac{F_s}{A} = G\gamma$$
- Normal- und Schubspannungen sind nicht kompatibel;
daher die Vergleichsspannungen
- G - **Schub--**, Gleitmodul, Shear modulus $\left[\frac{N}{m^2} \right]$
$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$
- Relevant bspw. bei Torsion (Antriebsstränge, Drehfedern)



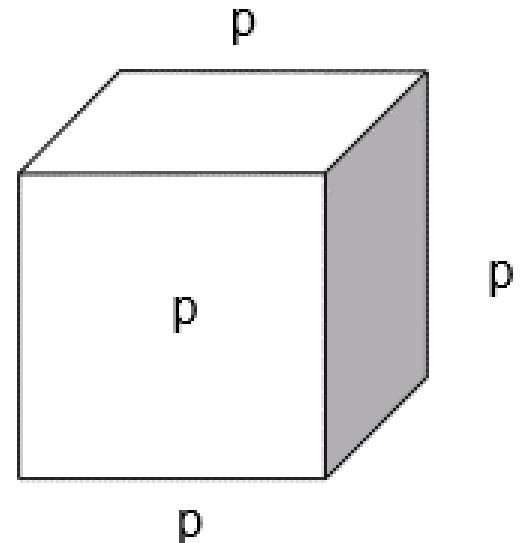
Grundlagen - Kompression

$$\sigma_h = p = -K \cdot \frac{\Delta V}{V_0}$$

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta V}{V_0} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

Kompressionsmodul $K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$

- Relevant bspw. bei Hydrauliken



Werkstoff	E [GPa]	G [GPa]	v [-]
Stahl unlegiert	200	77	0.30
Titan	110	40	0.36
Kupfer	120	45	0.35
Aluminium	70	26	0.34
Magnesium	45	17	0.27
Wolfram	360	130	0.35
Gusseisen mit lamellarem Graphit	120	60	0.25
Thermoplaste/Duromere	2-5	1-2	ca. 0.35
Elastomere	0.1	0.03	0.45-0.49
Sperrholz	4-16	-	-

Steifigkeiten

- Wie Materialeigenschaften den Steifigkeiten zusammen?

Bildreferenz



Viskoses Verhalten

- irreversibel
- zeitabhängig, dehnratenabhängig

Federmodell $\sigma = E\epsilon$

- Elastischer Anteil
- Dargestellt durch Federlemente

- schnelle Belastung -> Verhalten ist elastisch
- langsame Belastung -> Material fließt
- **schnelle Belastung**



Härte

Widerstand eines Werkstoffs gegen das Eindringen eines härteren Prüfkörpers

Abhängigkeit von:

- Bindungsart und Bindungsstärke
- Kristallstruktur
- Gefüge und Korngröße
- Legierungselemente
- Wärmebehandlung

Bedeutung:

- Verschleißbeständigkeit
- Bearbeitbarkeit

Materialverhalten - irreversibel

Festigkeit

Die Festigkeit eines Werkstoffes beschreibt die Beanspruchbarkeit durch mechanische Belastungen, bevor es zu einem Versagen kommt, und wird angegeben als mechanische Spannung [N/m^2]. Das Versagen kann eine **unzulässige Verformung** sein, insbesondere eine **plastische (bleibende) Verformung** oder auch ein **Bruch**.

Wichtig: Festigkeit \neq Steifigkeit

Plastizität

- Schmieden
- Walzen

Duktilität

Brucheinschnürung

$$Z = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \cdot 100\%$$

- A_0 = Ausgangsquerschnittsfläche [mm^2]
- A_f = Querschnittsfläche bei Bruch [mm^2]
- Z = Brucheinschnürung [%]

Die Brucheinschnürung beschreibt die **relative Querschnittsverringerung** eines Materials bei Zugbelastung bis zum Bruch.

Duktilitätsbewertung

Interpretation der Brucheinschnürung

Z-Wert	Duktilität	Materialverhalten
$Z < 5\%$	Spröde	Keramiken, Gusseisen
$5\% \leq Z < 20\%$	Mäßig duktil	Hochfeste Stähle
$20\% \leq Z < 50\%$	Duktil	Baustähle
$Z \geq 50\%$	Sehr duktil	Reinkupfer, Aluminium

Bedeutung

Hohe Brucheinschnürung ($Z > 40\%$) bedeutet:

- Material kann große plastische Verformungen ertragen
- Gute Umformbarkeit (Schmieden, Tiefziehen)
- Bruchwarnung durch sichtbare Einschnürung
- Hohe Energieabsorption vor dem Versagen

Niedrige Brucheinschnürung ($Z < 10\%$) bedeutet:

- Sprödes Versagen ohne Vorwarnung
- Geringe Umformbarkeit
- Wenig Energieabsorption

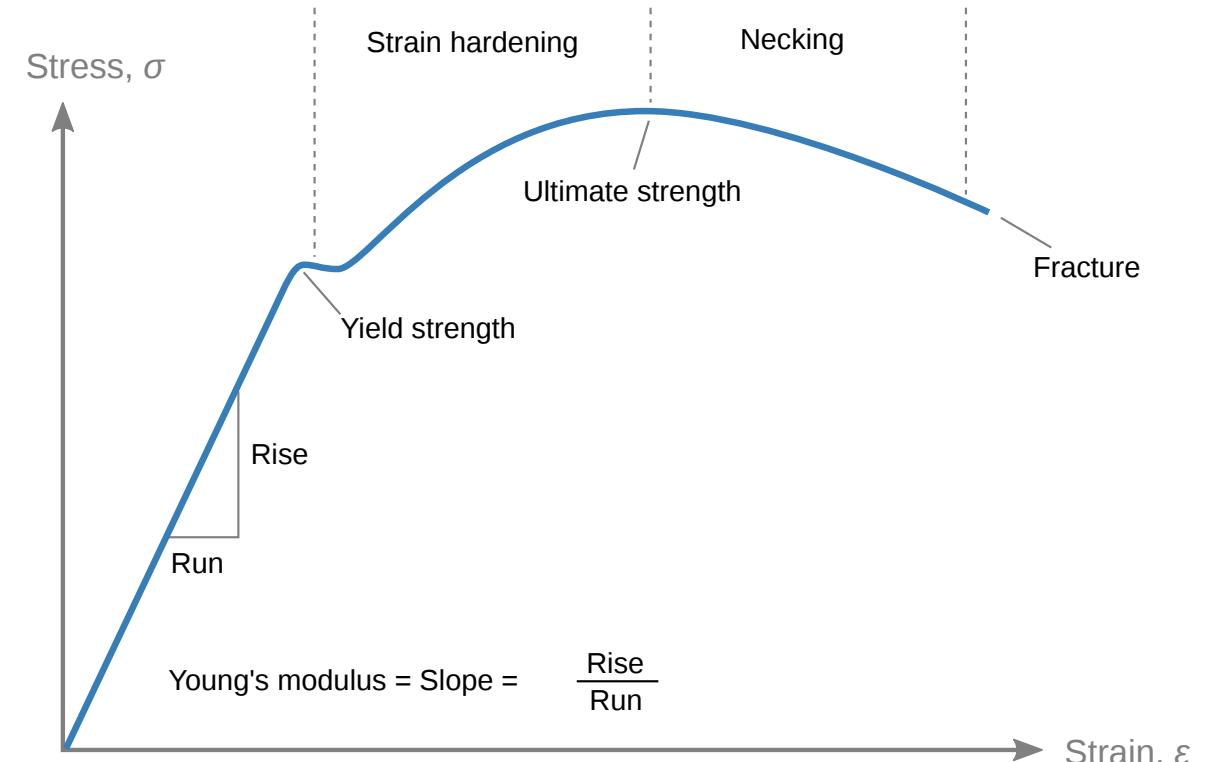
Zähigkeit (Brucharbeit)

Wahre Dehnung und Spannung

$$\varepsilon_{true} = \ln \left(\frac{L}{L_0} \right) = \ln(1 + \varepsilon_{nom})$$

$$\sigma_{true} = \sigma_{nom} \cdot (1 + \varepsilon_{nom}) = \frac{F}{A}$$

- F = Kraft
- A = aktuelle Querschnittsfläche

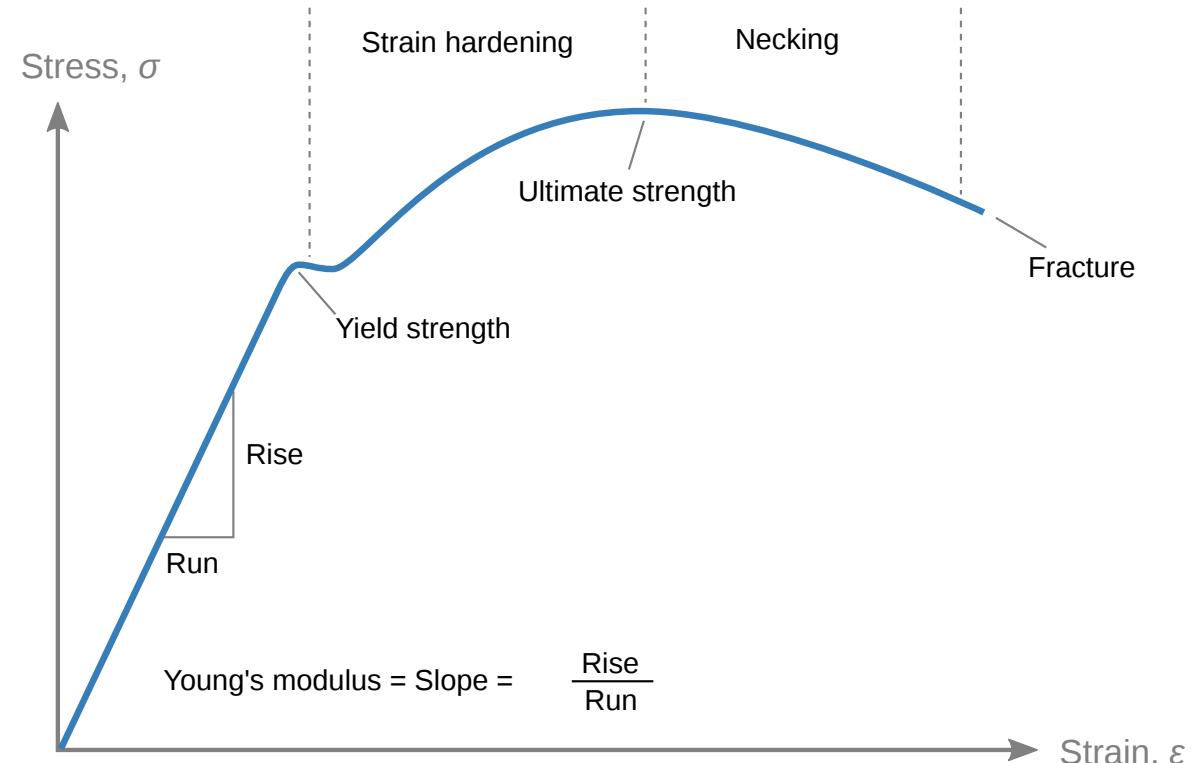


Zähigkeit als Energieabsorption

$$U = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma_{true} d\varepsilon_{true}$$

- U = spezifische Zähigkeit [J/m^3]
- ε_f = Bruchdehnung

By Nicoguaro - Own work, CC BY 4.0



Ein zäher Werkstoff kombiniert:

- **Hohe Festigkeit (σ)** → widersteht hohen Spannungen
- **Hohe Duktilität (ε)** → verformt sich stark vor dem Bruch

Zähigkeit = Überlebensfähigkeit eines Materials unter extremen Bedingungen

Zähigkeitswerte typischer Materialien

Material	Zähigkeit [MJ/m ³]	Charakteristik
Glas	0.01	Extrem spröde
Gusseisen	1-3	Spröde
Hochfester Stahl	50-100	Fest, mäßig duktil
Baustahl	100-200	Optimal zäh
Aluminium	70-200	Leicht und zäh
Kupfer	200-400	Sehr duktil
Gummi	10-100	Elastisch-duktil

Referenzen

Rainer Schwab: Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung für Dummies, 2019; ISBN-10 352771538X