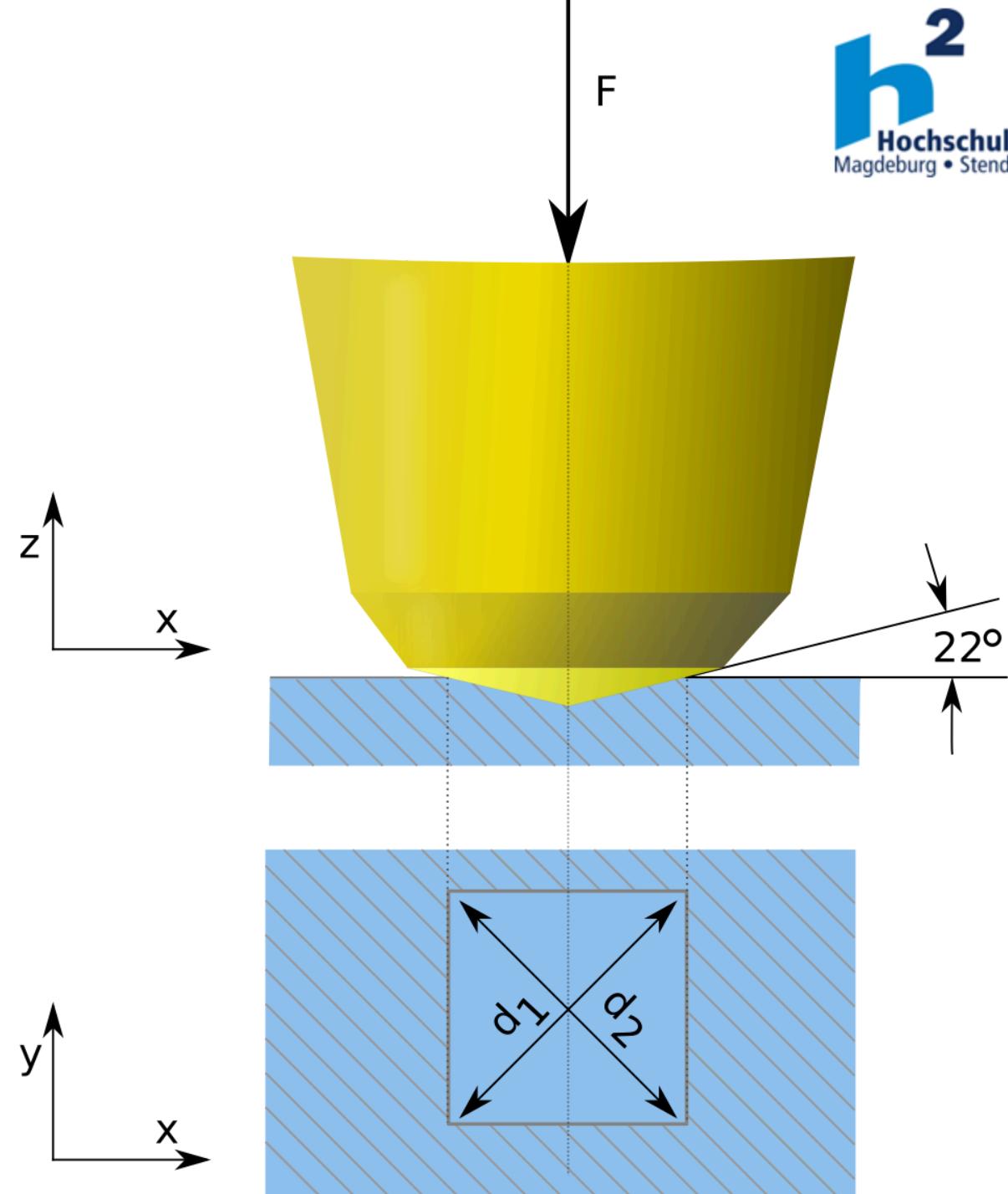


Vorlesung Werkstofftechnik - Zerstörende Prüfung

Prof. Dr.-Ing. Christian Willberg^{id}

Hochschule Magdeburg-Stendal

Kontakt: christian.willberg@h2.de



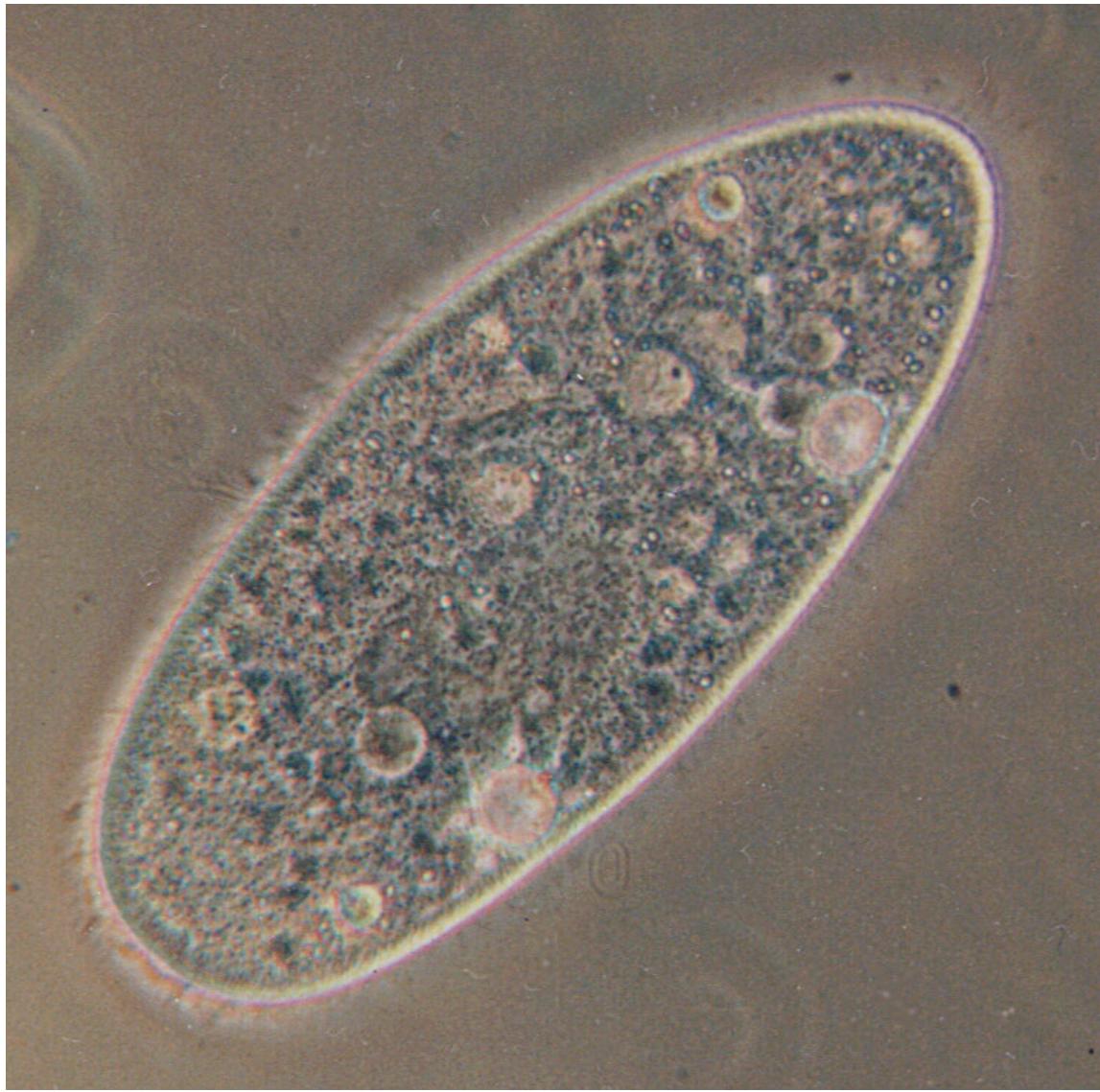
Charakterisierung

Mathematische Modelle werden im Ingenieurswesen genutzt, um Vorhersagen über das Verhalten von Bauteilen und Strukturen zu machen. Die Bestimmung der für das Modell notwendigen Parameter nennt man Charakterisierung.

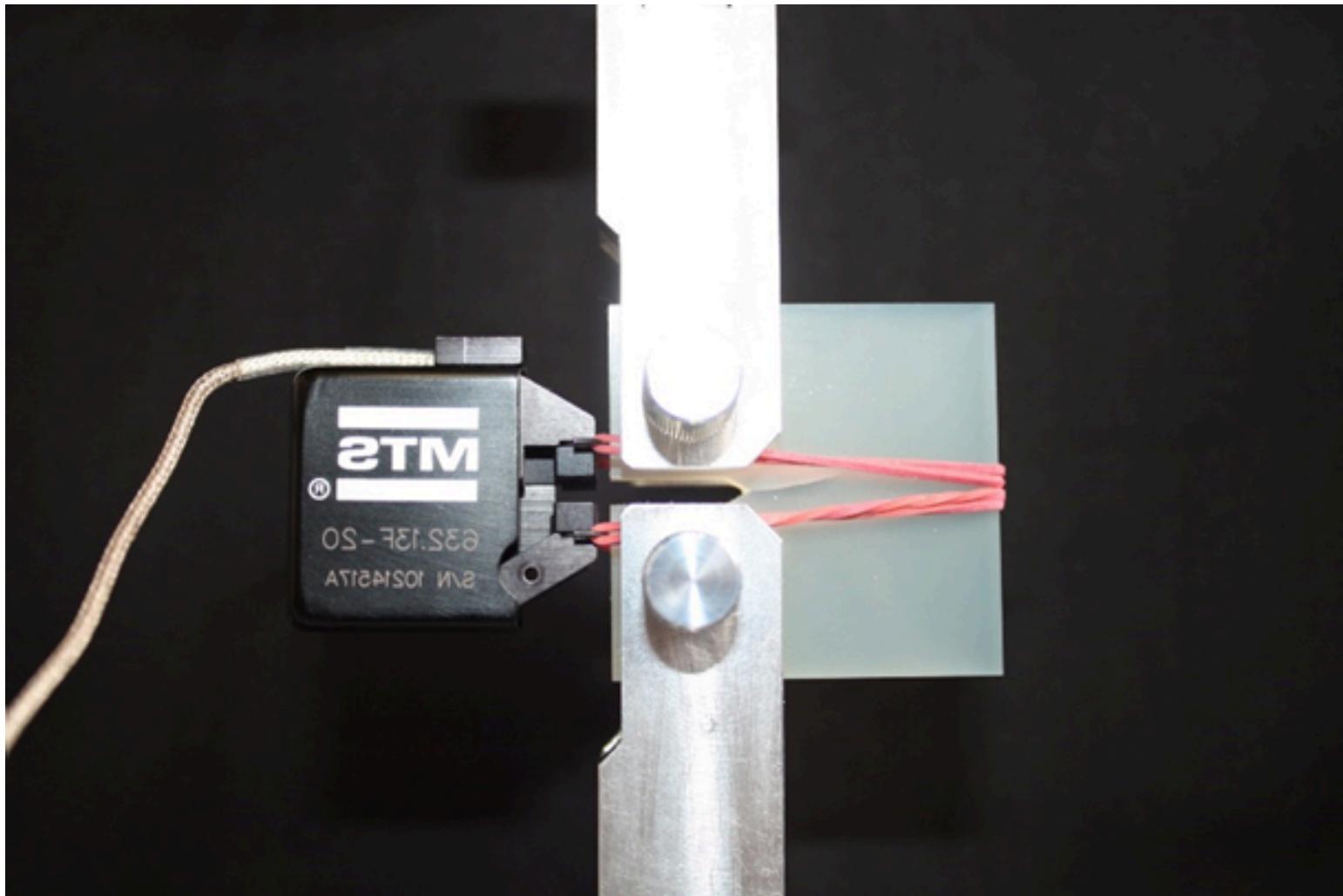
Modelle

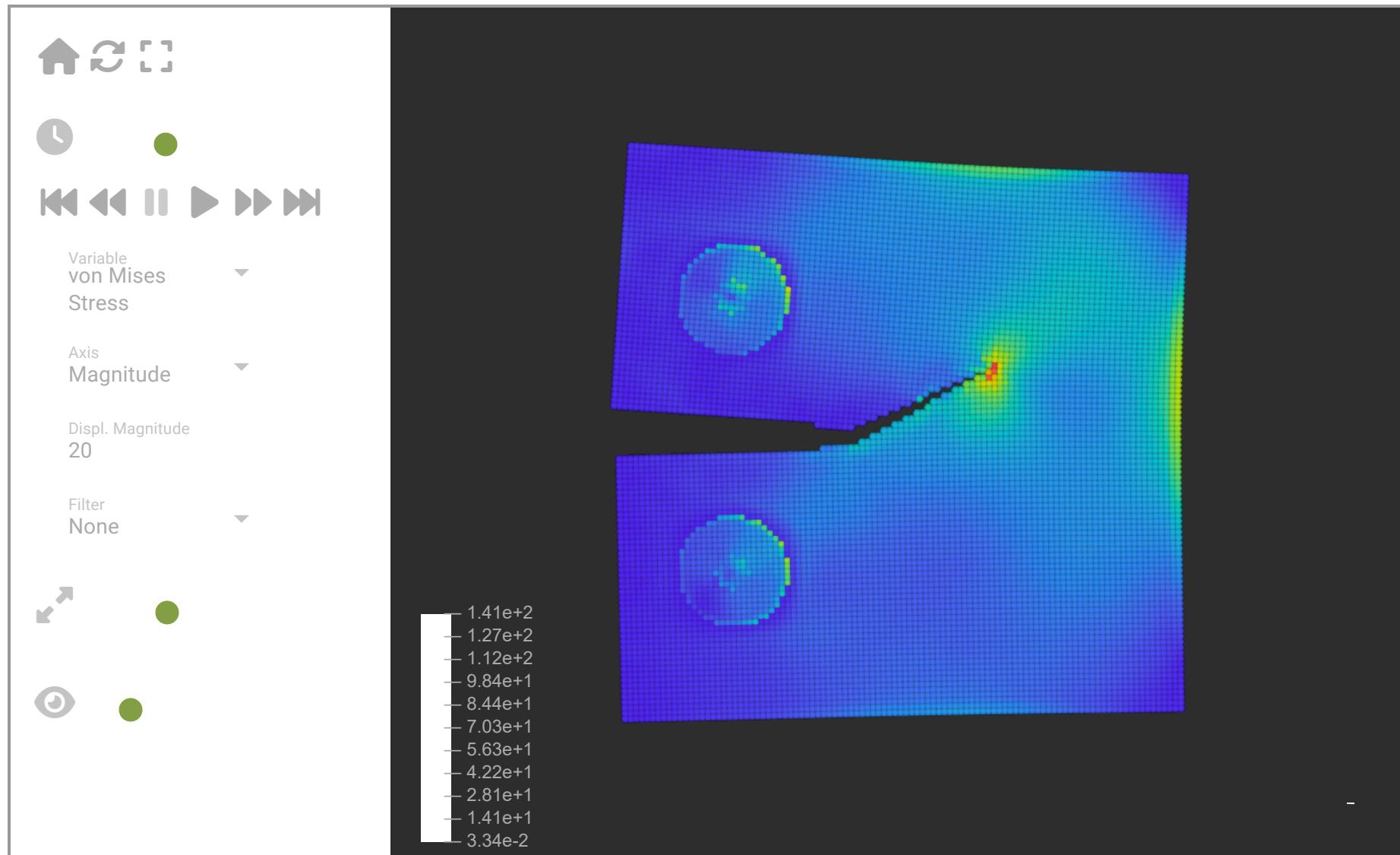
Was sind Modelle und wozu braucht man sie?

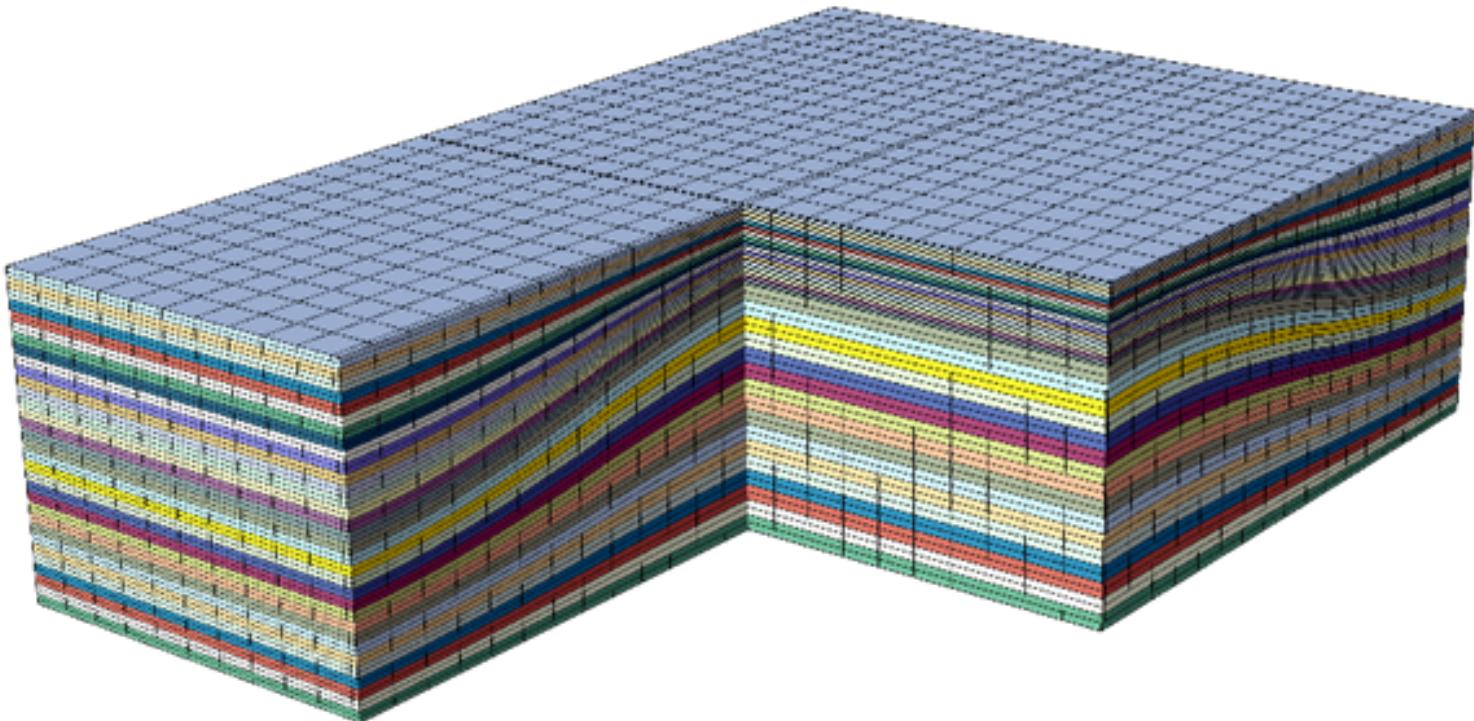


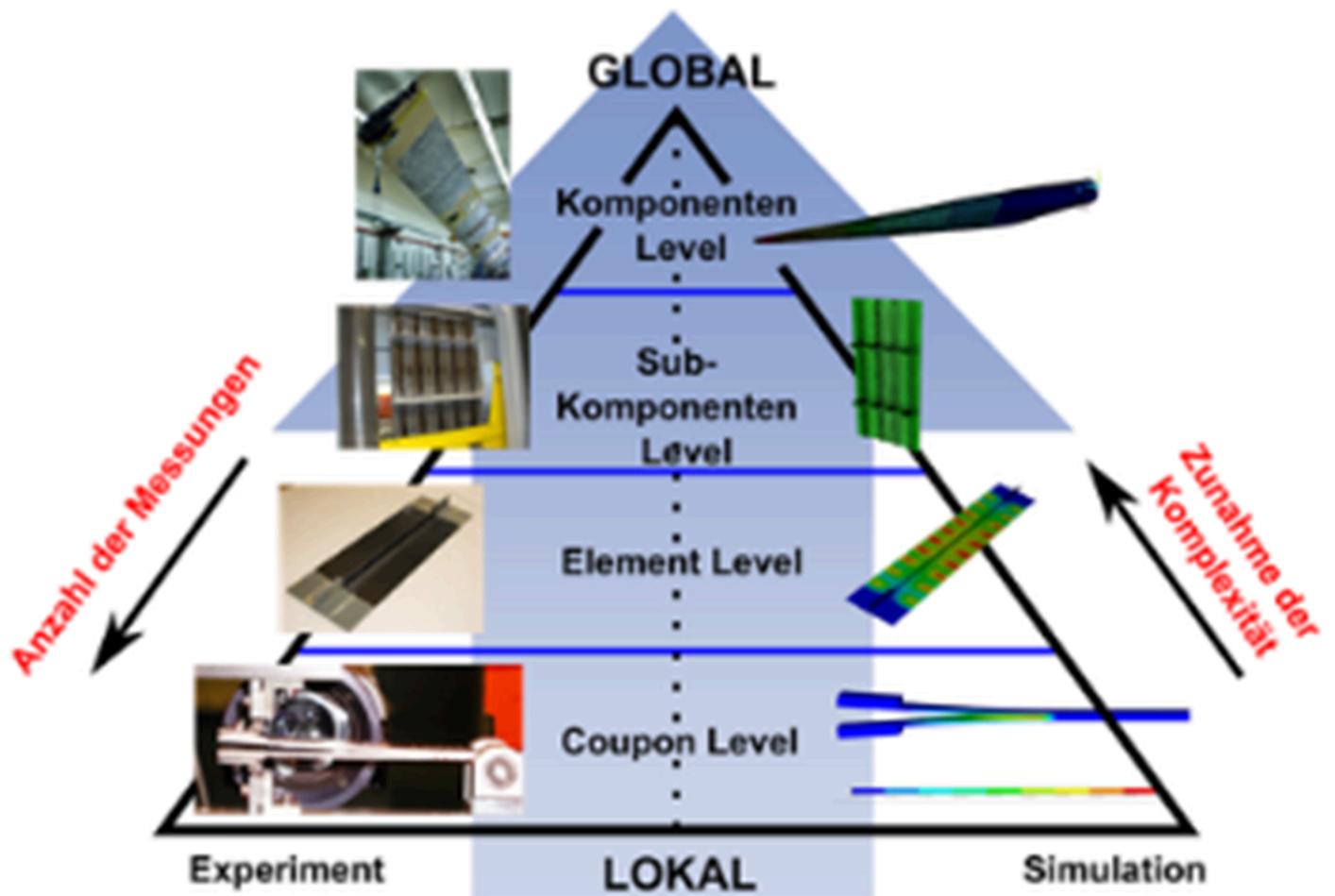












Beispiele

- Bestimmung E und ν in einem isotropen Material
- Verschiedene Wege skizzieren
- Probleme diskutieren

Hinweis

- Es gibt Beziehungen zwischen dem Schubmodul G und E und ν

Messdatenerfassung

Typische Sensoren

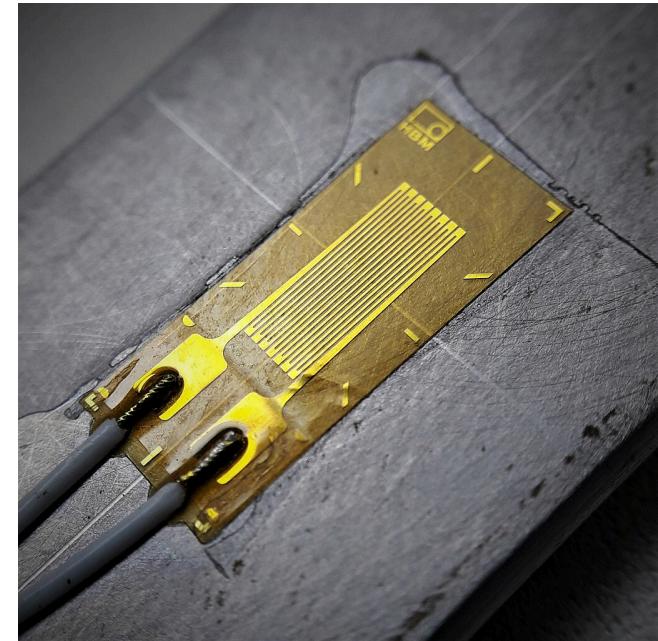
- Dehnungssensoren
 - Dehnungsmessstreifen (DMS)
 - Fibre Bragg
 - Kamerasysteme
- Wegsensoren
 - Lasertriangulation
 - Maßband
 - Laufzeitmessung
- Kraftaufnehmer

DMS

- Funktionsweise
- elektrischer Widerstand

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{U}{I}$$

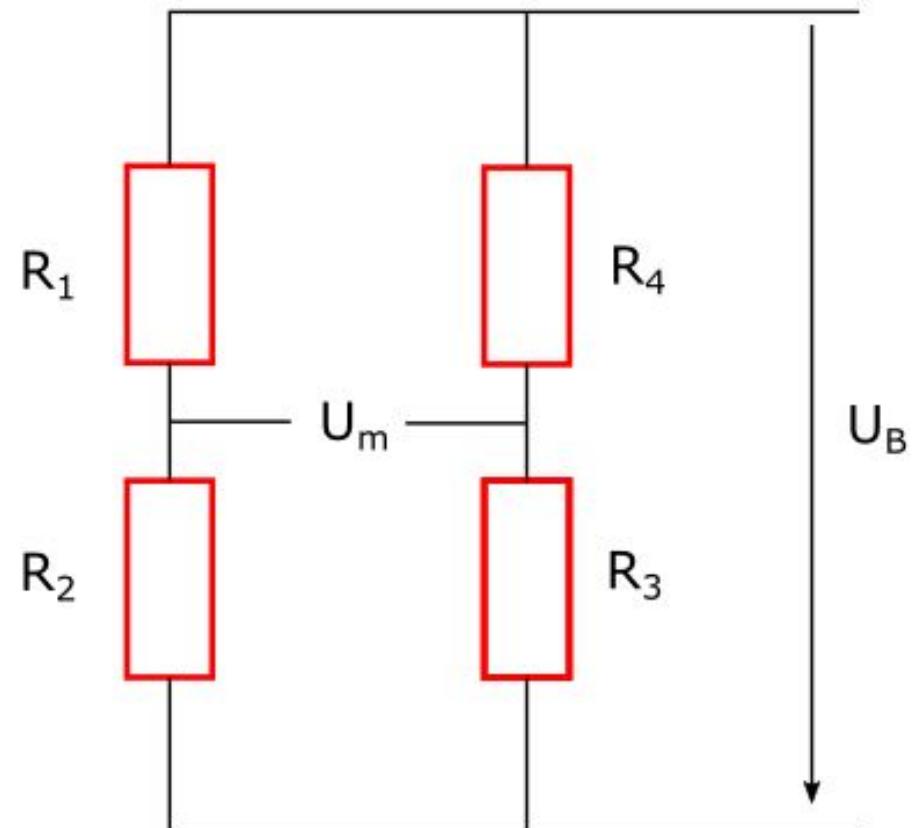
$$\frac{\Delta R}{R} = k\epsilon$$



Kompensation

- Temperaturkompensation
 - auf einem lastfreien Bauteil messen
 - Ausnutzen einer Brückenschaltung von DMS
- Normaldehnungskompensation
 - Ausnutzen einer Brückenschaltung von DMS

$$\frac{U_m}{U_B} = \frac{k}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$



Analog-Digital

- Analogssignale
- Digitale Signale
- A-D-Wandler

$$dt < \frac{1}{2f_{max}}$$

- wenn nicht eingehalten, dann kommt es zu Informationsverlusten

Beispiel

Datenanalyse - Grundlagen

Streuungen

- Messunsicherheiten
- Materialunsicherheiten
- Fertigungsunsicherheiten

Sonderfall

- Modellunsicherheiten -> werden nicht durch mehr Messungen kleiner

Umgang mit Streuungen

Mittelwert

$$sample_{mean} = \sum_{i=1}^n \frac{samples_i}{n}$$

Median

50% der Werte liegen oberhalb und 50% unterhalb dieses Werts; Robuster gegen Ausreißer

Standardabweichung

Ist ein Maß für die Streuung der Daten

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (samples_i - sample_{mean})^2}$$

Korrelationskoeffizient

Beschreibt wie gut zwischen Daten ein linearer Zusammenhang besteht (zwischen -1 und +1)

Fitting

Methode der kleinsten Fehlerquadrate

$$\min \|\mathbf{y}_m(\mathbf{x}) - \mathbf{y}\|$$

um eine beliebige fitting Funktion zu bestimmen.

Wahl der Funktion:

Polynome - können bei hohen Polynomgraden zu Überschwingen führen

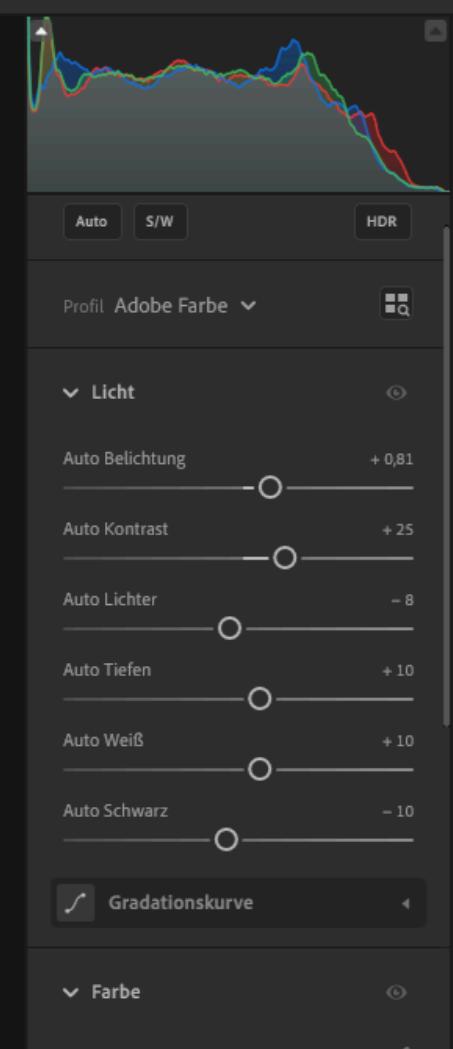
Splines, B-Splines - komplexer

Fourier Transformation

- Jede Signal / Funktion kann in eine Summe aus Sinus Kurven zusammengesetzt werden
- Zeitfunktionen -> in Frequenzdarstellungen

Filter

- Tiefpass
 - Signale unterhalb einer definierten Frequenz werden erlaubt
- Hochpass
 - Signale oberhalb einer definierten Frequenz werden erlaubt
- Bandpass
 - Signale zwischen zwei definierten Frequenzen werden erlaubt
- Bandstopfilter
 - Signale außerhalb zweier definierten Frequenzen werden erlaubt



Übung

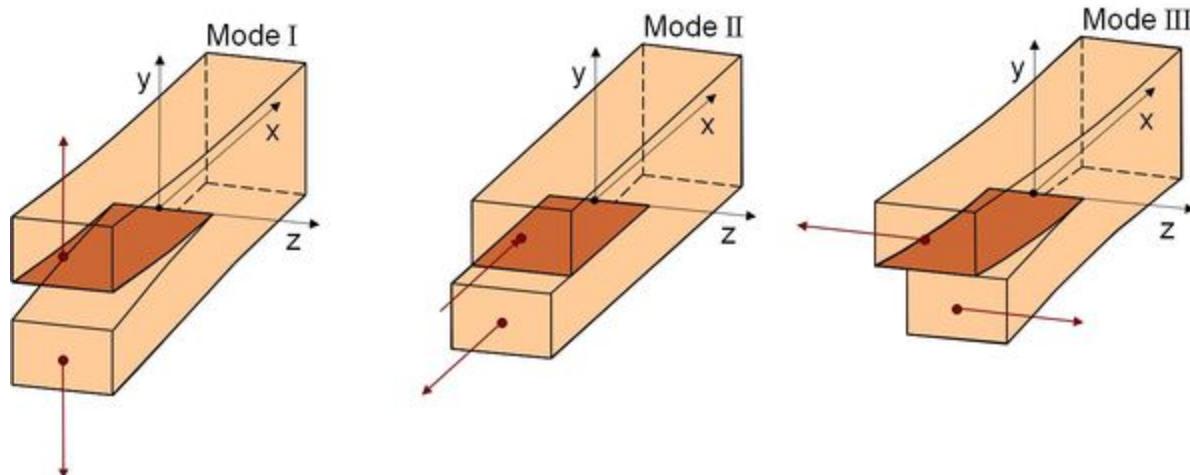
- Erstellen eines Datensatzes
- Plotten des Datensatzes
- Fitting
- Statistisch Bewertung von Daten
- Überschwingen von Signalen
- FFTs
- Gradientenbestimmung

Zerstörende Prüfung

Bestimmte Kennwerte oder Aussagen über ein Material oder ein Bauteil können nur getroffen werden, wenn bis zum Versagen belastet wird.

Exkurs Bruchmechanik

- Brüche lassen sich in diese Moden unterteilen
- Es gibt spezifische Energiefreisetzungsraten



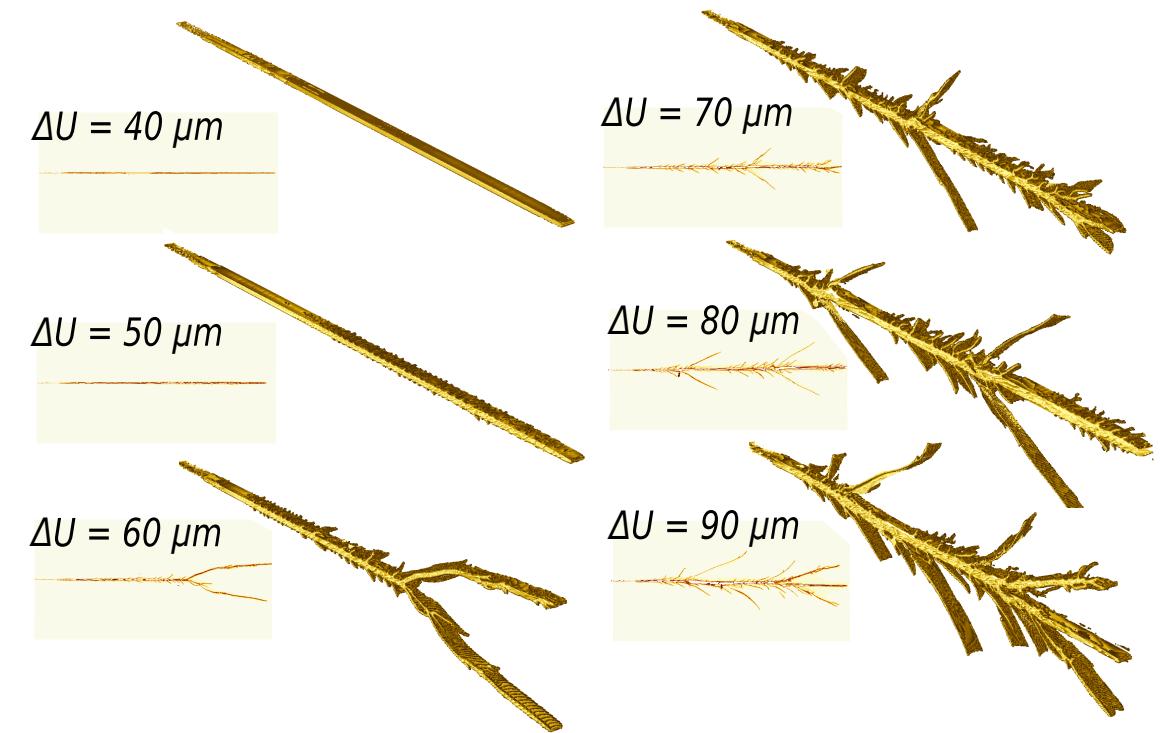
Liste von Experimenten zur Bestimmung dieser Energien

Bestimmung der Zähigkeit

- Widerstand eines Werkstoffs gegen Bruch oder Rissausbreitung
- Fähigkeit zur Absorption von mechanischer Energie bei plastischer Verformung

$$Z = \int_0^{\varepsilon_B} \sigma d\varepsilon$$

- Energiefreisetzungsraten
- $$G = \frac{Z}{A_{Bruch}}$$
- Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit

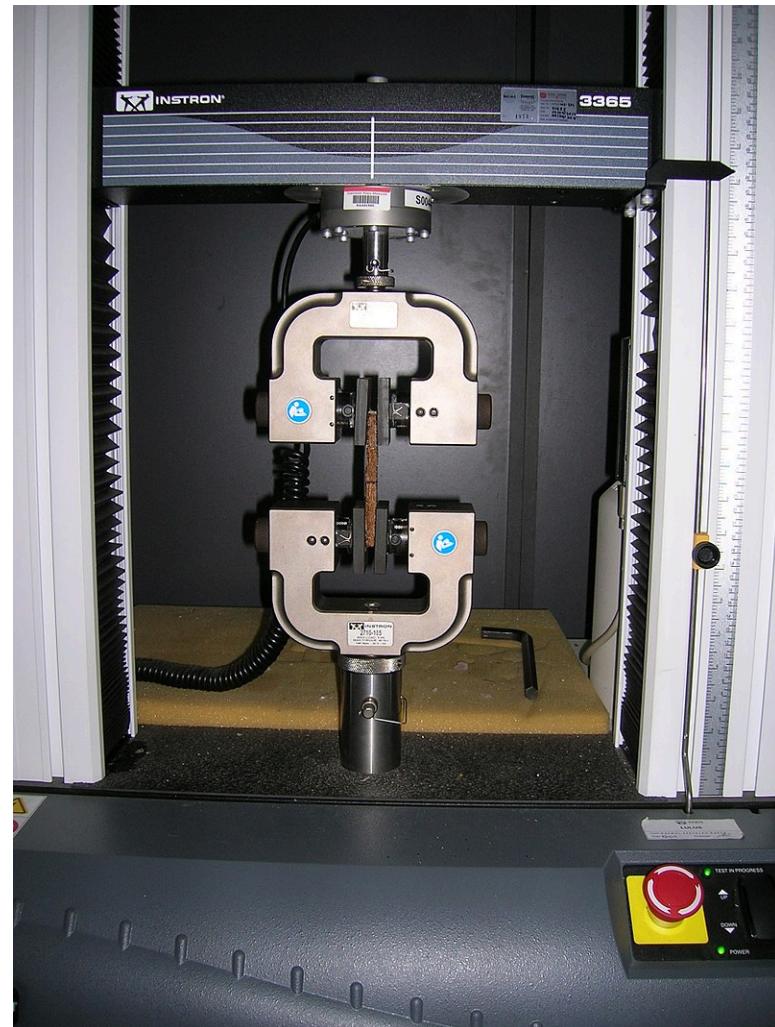


Zugversuch

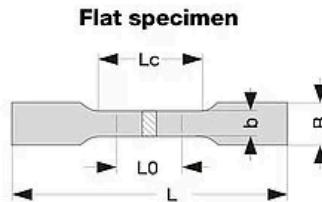
- Bestimmung von
 - elastischen Steifigkeiten
 - Festigkeiten
 - Streckgrenze
 - in einer Richtung

- es wird von konstanten Spannungen im Querschnitt ausgegangen

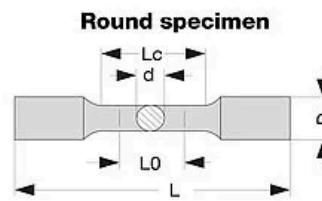
$$\sigma = \frac{F}{A} = E\varepsilon = E \frac{\Delta l}{l}$$
$$F = \frac{\Delta l E A}{l}$$



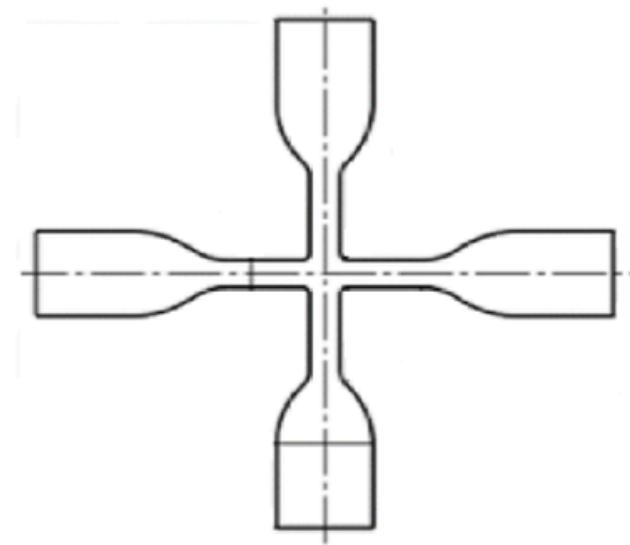
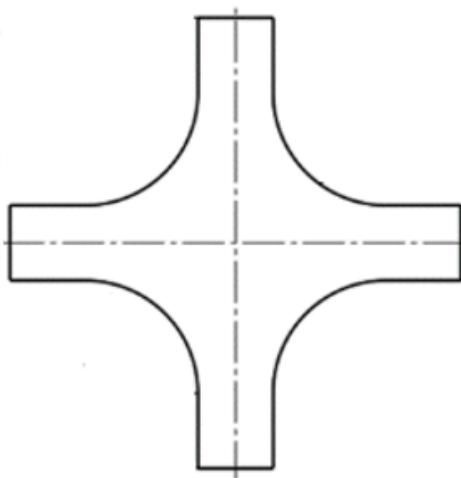
Probengeometrie



Dimension, mm					
b	L_0	B	L_c	L	Δb
12,5 40	50 200	20 50	60 225	≥ 200 ≥ 450	0,05 0,1



d	L_0	L_c
12,5	50	60
8,75	35	45



Video 1

Parameter Zug

Bruchdehnung

- bleibende Verlängerung der Zugprobe nach Bruch

Bruchdehnung A11

Streckgrenze

- Grenze bis zu der ein Werkstoff elastisch verformbar ist

technische Elastizitätsgrenze

- $R_{0.2}$ bei Werkstoffen wo die Streckgrenze nicht ausgeprägt ist

E Modul

- Proportionalitätsfaktor zwischen Spannung und Dehnung

Gleichmaßdehnung

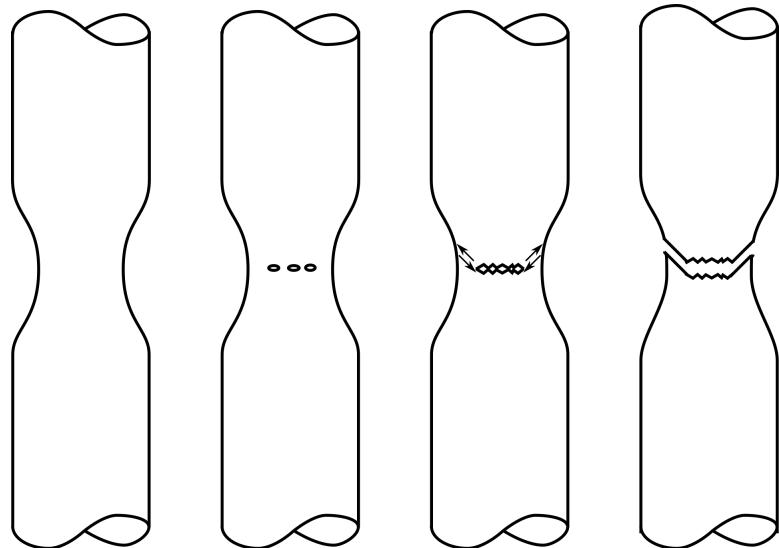
- Probe dehnt sich gleichmäßig bis zur Maximalkraft

$$\text{Brucheinschnürrung } Z = \frac{\Delta A}{A_0}$$

- ein Maß für die Duktilität eines Werkstoffs

Einschnürdehnung

- Probe dehnt sich nur noch in der Einschnürung



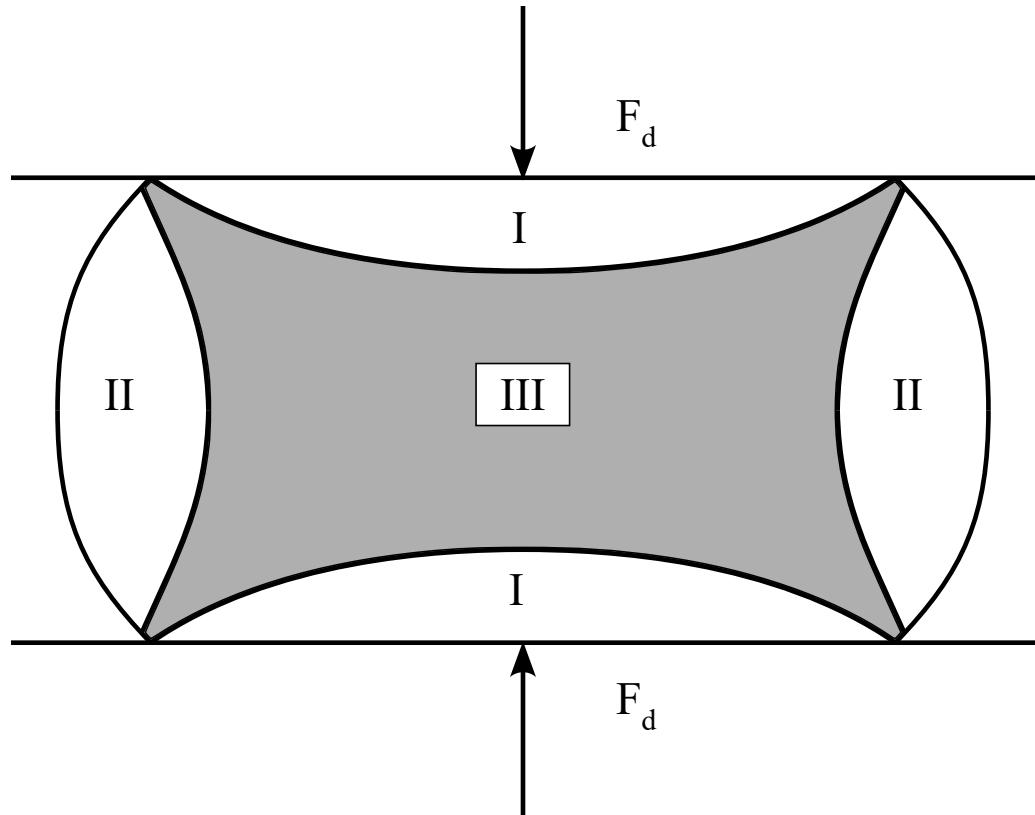
Parameter Druck

Quetschgrenze

- Oberhalb der Grenze setzt plastische Verformung ein (duktiles Material)
- bei sprödem Material entstehen Risse und dann **Bruch**

Stabilität

- Knicken
- **Beulen**
Verformungszonen einer gestauchten Probe (Abb3.16)



Druckverformung

- I - geringe Verformung
(Reibbehinderung)
- II - mäßige Zugverformung
- III - hohe Schubverformung

Anisotrope Messungen

Anisotropie

- Messungen unter verschiedenen Winkeln

Einflussgrößen

- Schlupf bei der Einspannung
- Temperatur
- Geometrie
- Probeneinspannung

Biegeversuch

- in der Regel Flachproben mit einem Rechteckprofil
- meist besser für sprödes Material
- Annahmen der Bernoulli Balkentheorie müssen gelten
- eher für spröde Werkstoffe

$l > 20 * h$.

F - Prüfkraft

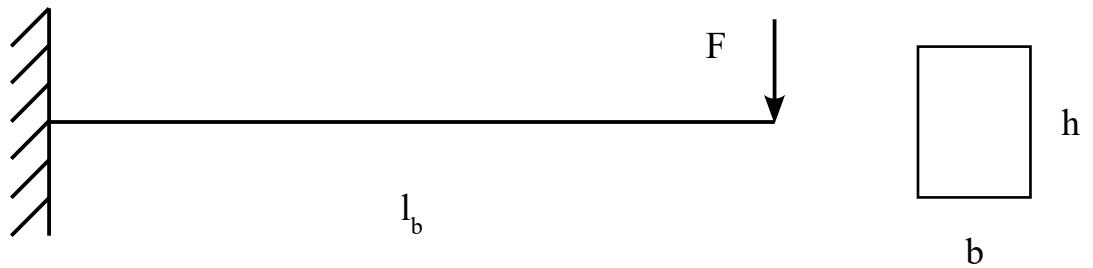
u - resultierende Verschiebung

a - Höhe des rechteckigen Profils

b - Breite des rechteckigen Profils

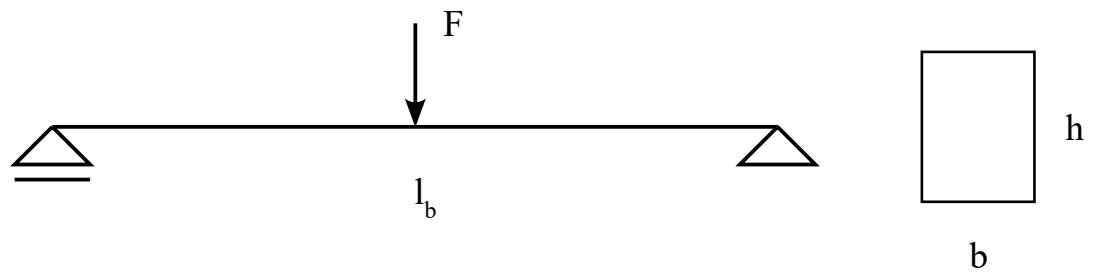
l_b - Länge der Probe

2 Punkt Biegeversuch



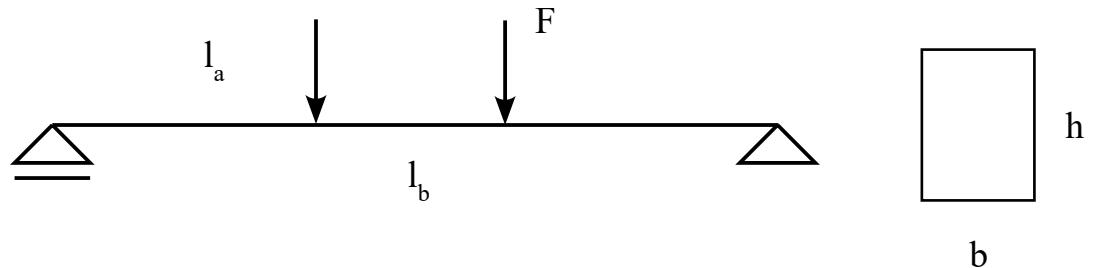
$$E = \frac{4l_b^2 F}{ubh^3}$$

3 Punkt Biegeversuch



$$E = \frac{l_b^3 F}{4 u b h^3}$$

4 Punkt Biegeversuch



Ziel ist ein querkraftfreier Bereich und daraus resultierend ein konstantes Biegemoment

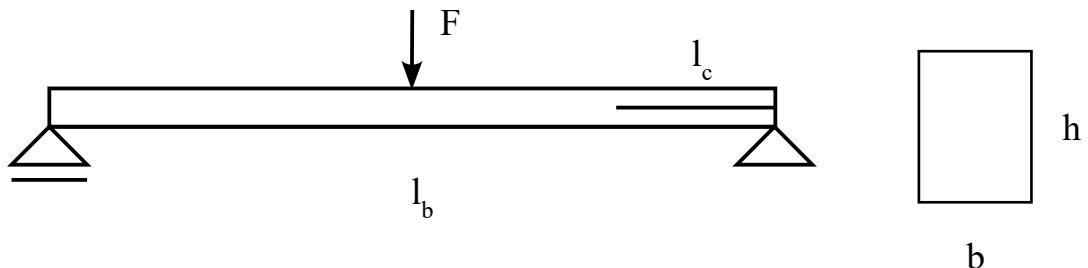
$$E = \frac{l_a^2(2l_a + 3l_b)F}{ubh^3};$$

l_a Abstand zwischen Auflagepunkt und näher gelegenem Druckpunkt des Prüfstempels

Spannungsverläufe

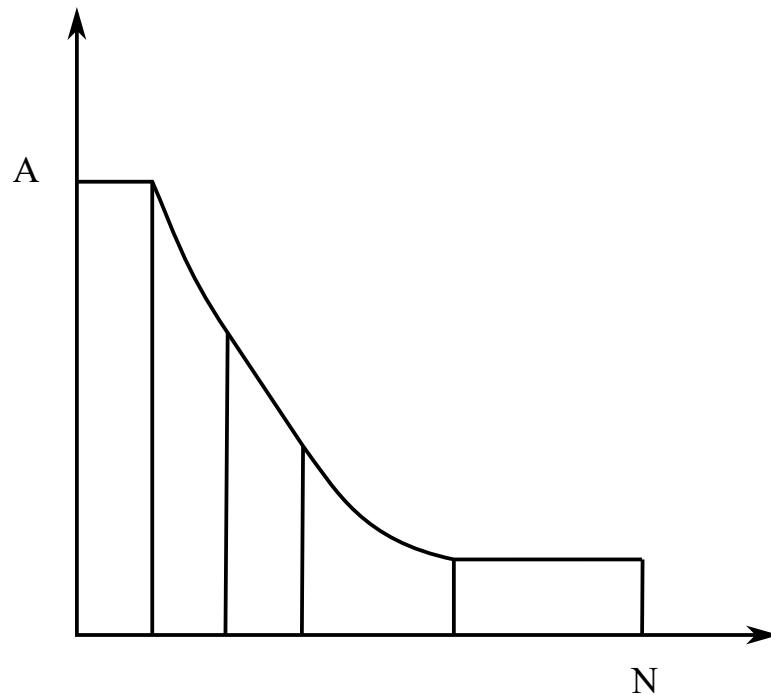
Video

- Biegespannung
 - $\sigma_b = \frac{M_b}{I_{xx}y}$
 - Spannungsnnullinie
- ENF (End-Notched Flexure) Versuch nutzt die Spannungsnnulllinie gezielt aus



Dauerschwingversuch nach Wöhler

- Versuchsaufbau
 - Biegeversuch
 - Torsionsversuch
 - Zug-/Druckversuch



Dauerschwingversuch nach Wöhler

Einflussgrößen

- Temperatur
- Korossive Medien
- Kerben
- Oberflächenbeschaffenheit
 - glatte Oberflächen sind günstiger
- Wärmebehandlung

Strukturermüdungsversuch

Video

- ▶ Herausforderungen?

Kerbschlagbiegeversuch

- Bestimmung der Kerbschlagenergie und Kerbschlagzähigkeit $\frac{E}{A_{Nenn}}$
 - hat keine technische Bedeutung mehr
- Energie ist ausreichend für die Bestimmung der Werkstoffgüte
- Aufteilung in Hochlage (Verformungsbrüche, duktile), Tieflage (Trennbrüche, Sprödbruch) und Bereich des Steilabfalls (Mischbrüche)
- Kennwerte zur Bestimmung der Festigkeit nicht geeignet

[Versuch](#)

[Erklärvideo](#)

Weitere Versuche

- Berstversuche
- Scherversuche
- Ausziehversuch
- Korrosionsversuche
- Brennproben

Härteprüfung

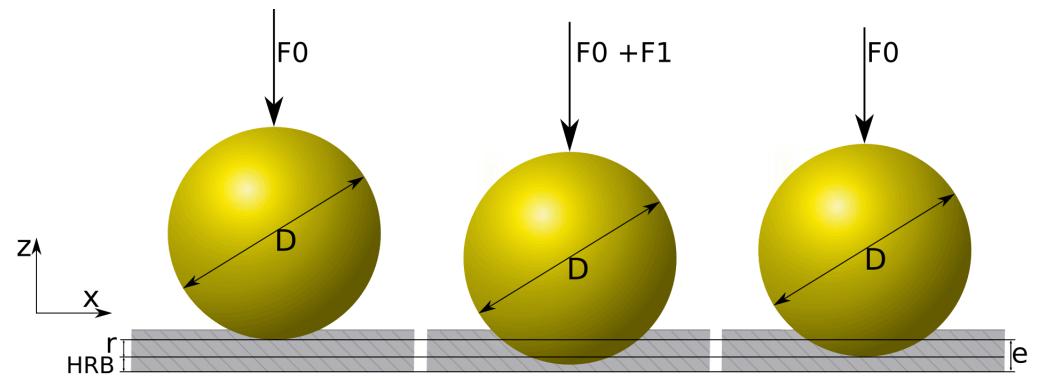
- Probe oder Bauteil wird nicht vollständig zerstört
- Bedingt zerstörungsfreie Werkstoffprüfung
- am verbreitesten Rockwell (HR), Brinell, Vickers und Shore
- Härteeigenschaften der Bauteilloberfläche beeinflussen die Ermüdung und den Verschleiß

Rockwell

- die Eindringtiefe t mit verschiedenen normierten Prüfkörpern vermessen
- Ablauf der Messung ist vorgeben

$$\text{Rockwellhärte} = a - \frac{t}{d}$$

- Skalen A, C, D; $a = 100$, $d = 0.002\text{mm}$
- Skalen B, E-H, K; $a = 130$, $d = 0.002\text{mm}$
- Skalen N, T; $a = 100$, $d = 0.001\text{mm}$

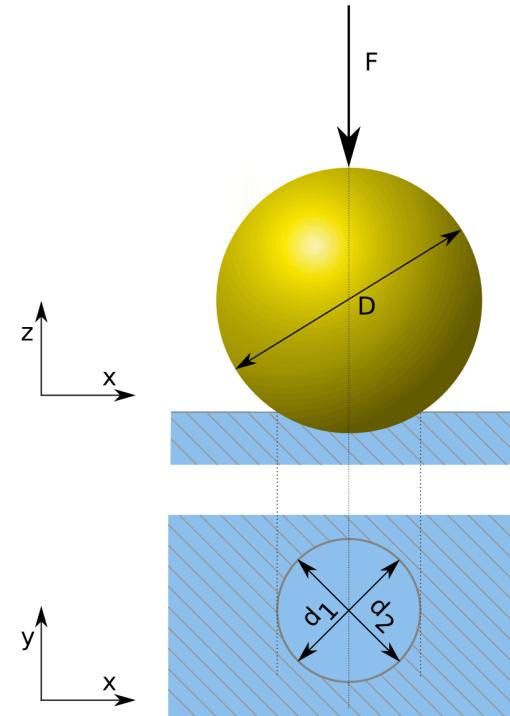


Brinell

- mit einer Hartmetallkugel wird mit einer festgelegten Kraft auf die Oberfläche gedrückt
- wird ein mittlere Durchmesser bestimmt

$$\text{Brinellhärte} = \frac{0.204F}{\pi D \sqrt{D - \sqrt{D^2 - d^2}}}$$

mit $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$



Vickers

- ähnlich zu Brinell, aber es wird statt einer Kugel eine gleichseitige Diamantpyramide verwendet
- kleinere Fläche nötig gegenüber Brinell

$$\text{Vickershärte} = \frac{0.204F \cos 22^\circ}{d^2}$$

$$\text{mit } d = \frac{d_1+d_2}{2}$$

