

# Vorlesung Werkstofftechnik

## - Vorlesung Reale Strukturen und Eigenschaften

Prof. Dr.-Ing. Christian Willberg<sup>id</sup>

Hochschule Magdeburg-Stendal

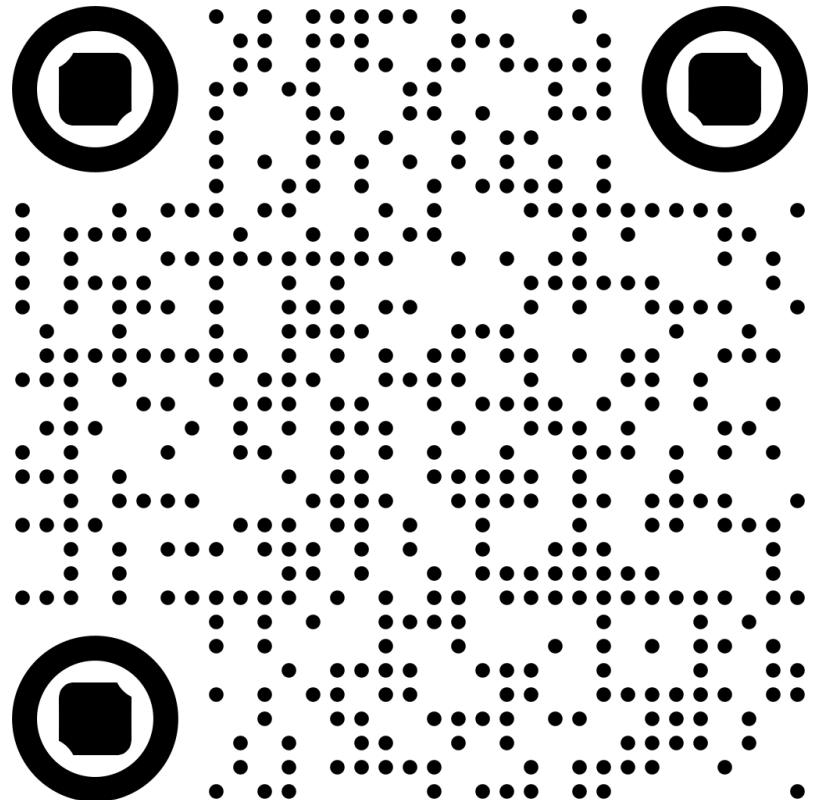
Kontakt: [christian.willberg@h2.de](mailto:christian.willberg@h2.de)

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



# Inhalte

- Fehler in Kristallen
- Plastizität
- Grundlagen mechanischer Eigenschaften



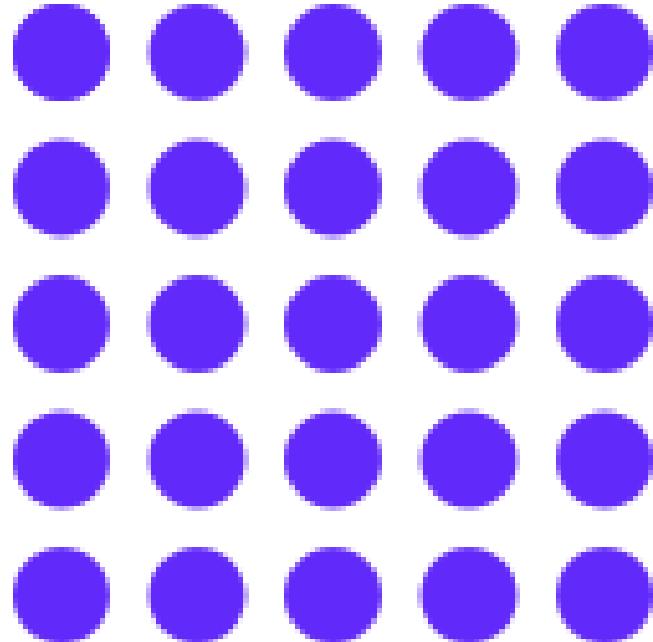
# Realstruktur von Kristallen

## Gitterbaudefekte

- Nulldimensionale Fehlstellen (Punktdefekte): Leerstellen, Zwischengitteratom, Zwischengitter-Fremdatome, Substitutions-Fremdatom
- Eindimensionale Fehlstellen (Liniendefekte): Versetzungen
- Zweidimensionale Fehlstellen (Flächendefekte): Stapelfehler, Korngrenzen, Subkorn-grenzen, Phasengrenzen

## Nulldimensionale Fehlstellen

- Was gibt es für mögliche Varianten?



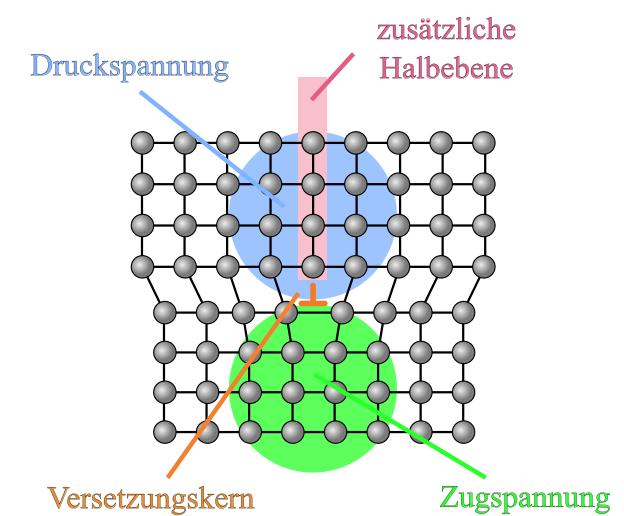
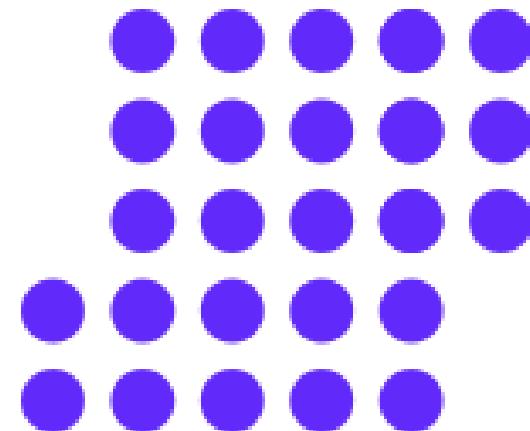
# Fremdatome

- Wie lassen sich Fremdatome nutzen?

# Versetzungen

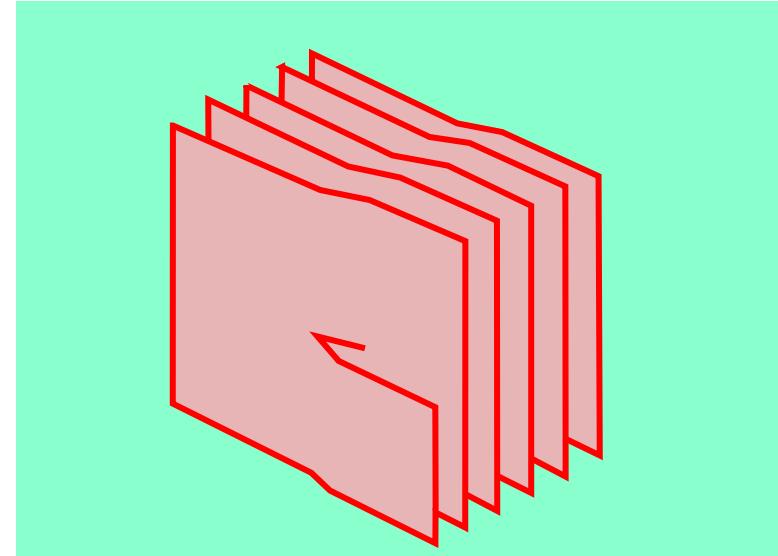
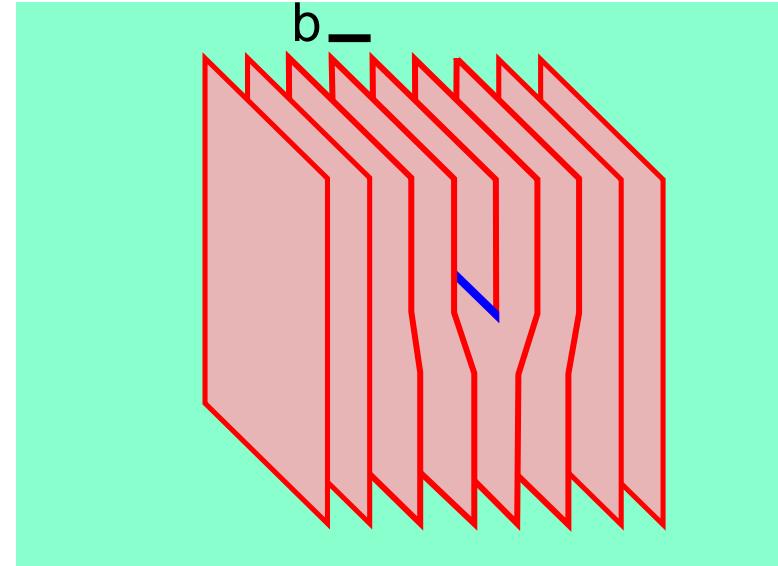
Versetzungen entstehen

- beim Kristallwachstum
- aufgrund von Eigenspannungen
- durch plastische Verformungen



# Versetzungarten

- Stufenversetzung
- $$E \approx \frac{3}{4} G b^2$$
- Schraubenversetzungen
- $$E \approx \frac{1}{2} G b^2$$

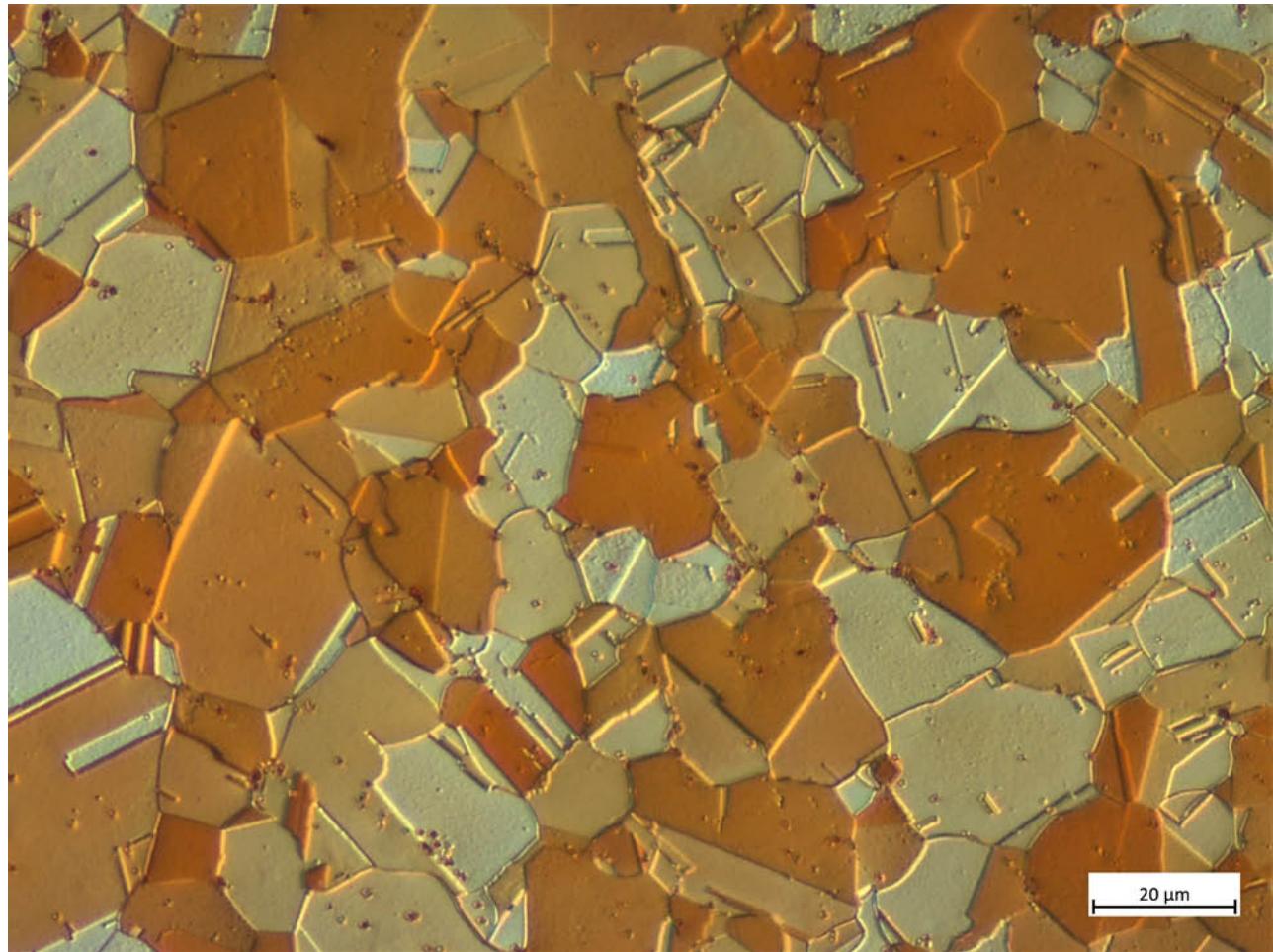


# Defektübersicht

# Zweidimensionale Fehlstellen - Korngrenzen

- Korngrenzen
- Phasengrenzen
- Subkorngrenzen

Skript



# Plastizität

Gut oder Schlecht



# Beispiele

## Hohe Plastizität:

- Knete
- feuchter Ton
- Metalle und Metallegierungen mit geeignetem Atomgitter:
  - glühender Stahl beim Schmieden
  - Kaltumformung von Blechen

## Geringe Plastizität:

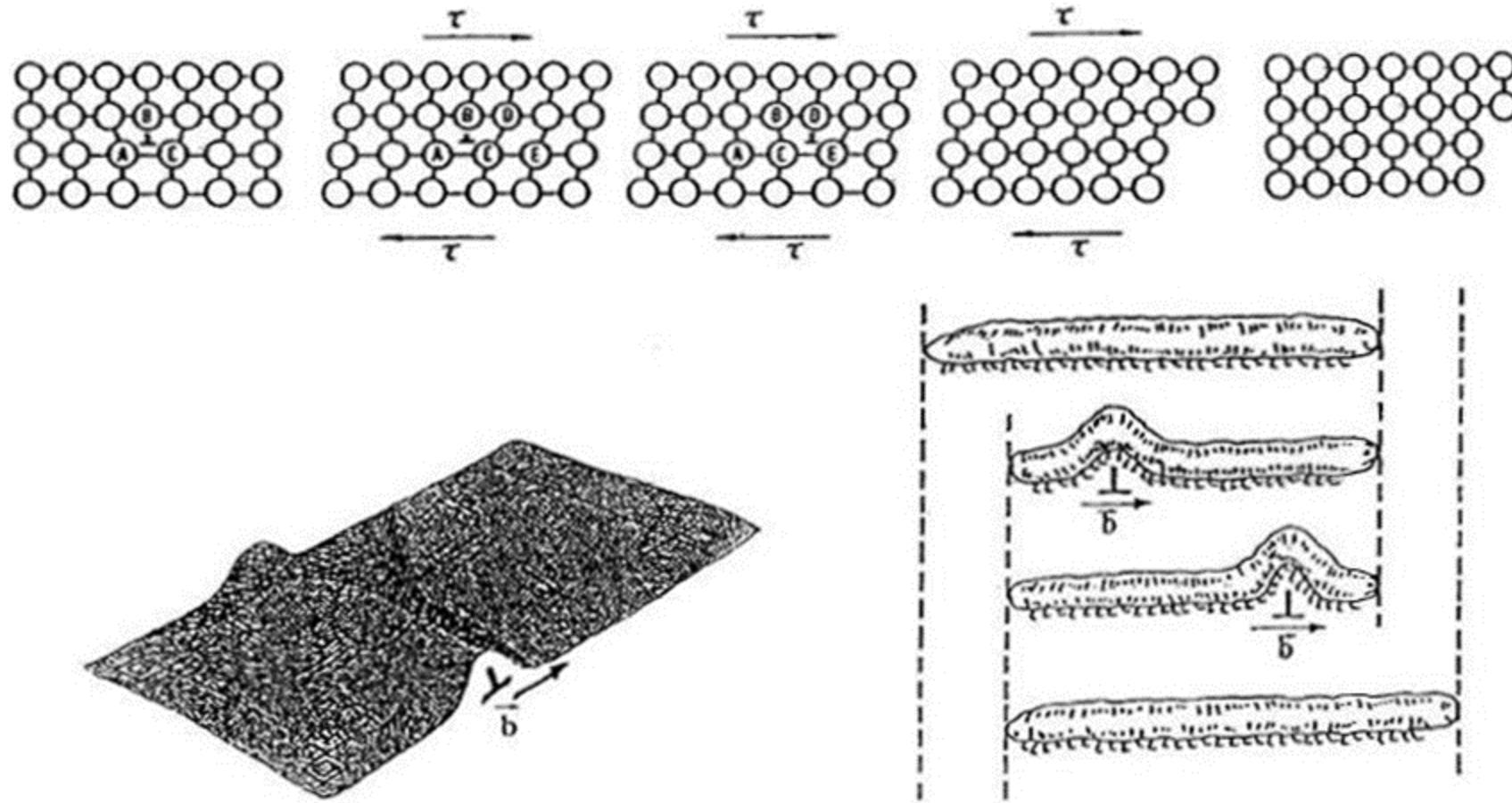
- Gummi
- Keramik
- Faserkunststoffverbunde (Epoxid-Glasfaser oder Epoxid-Kohlefaser)

## Plastizität - Einkristall

Die plastische Verformung eines Kristalls vollzieht sich im Wesentlichen durch Abgleiten von Atomschichten entlang bestimmter kristallographischer Ebenen und Richtungen unter Einwirken von Schubspannungen.

- Gleitsystem besteht aus Gleitebene und Gleitrichtung
- kritische Schubspannung ( $\tau_{K_r} \approx G/10$  - Abschätzung oder theoretische Schubfestigkeit)
- Realität um Faktor  $\sim 100$  niedriger durch Versetzungen

# Bild



# Plastische Verformung des polykristallinen Werkstoffs

- Mikro- und Makroplastizität
  - Plastische Verformung beginnt bei "ungünstigen" Orientierungen
- Korngrenzen
  - Barriere für Versetzungsbewegung
  - bei hohen Temperaturen können Korngrenzen gleiten (Kriechen)
  - gezielte Fertigung kann durch Korngrenzen Zähigkeit erhöhen
- Heterogenität
  - Mehrphasigkeit
  - inhomogene Verteilung der Spannungen und Verformungen
- Anisotropie

# Polykristall Plastizität

Beispiel aus einer Simulation

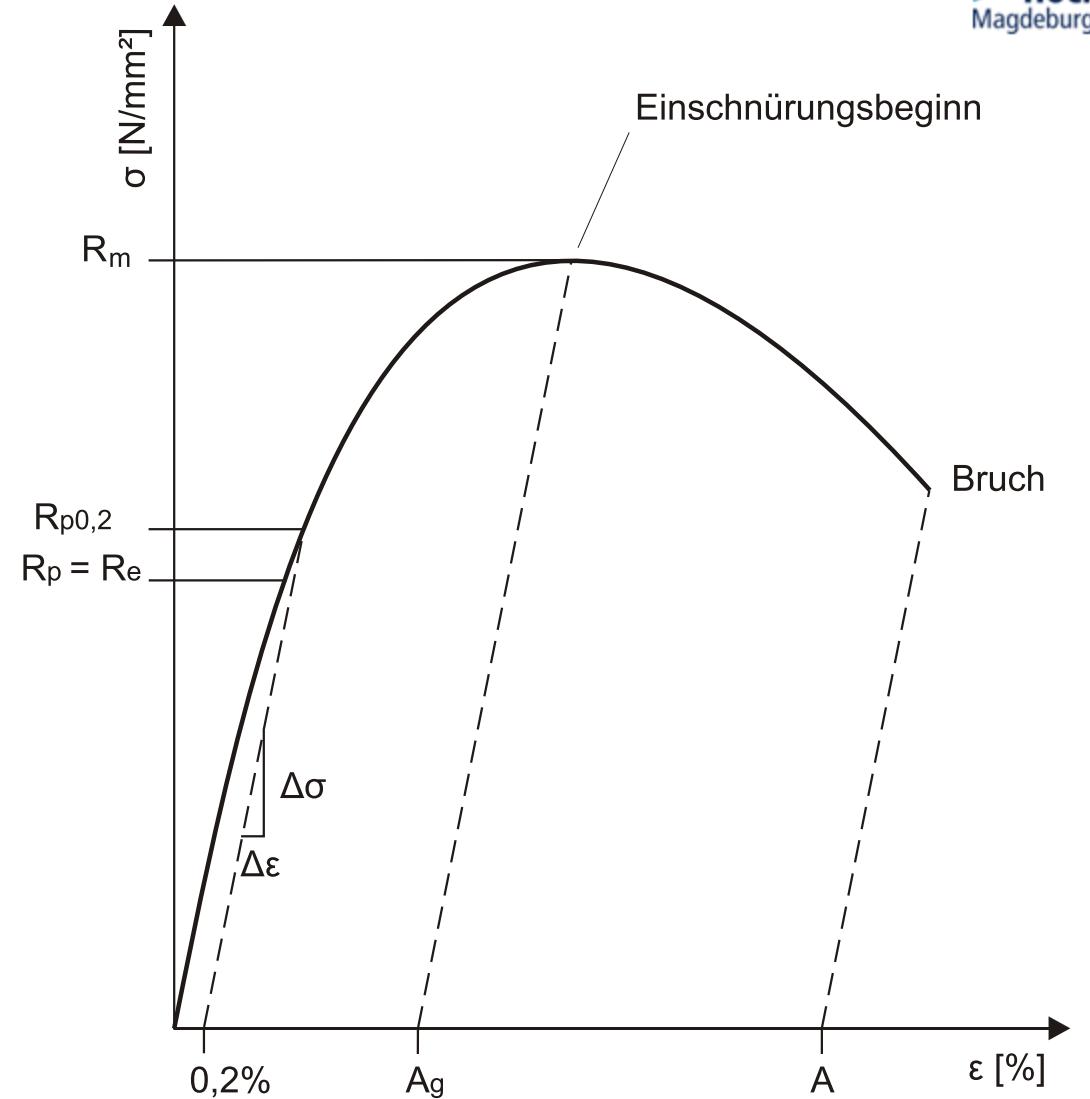
# Konzept Spannung - Dehnung

- Geometriefreie Kennwerte
- Diskussion: Wie kann man einen Kennwert bestimmen, der nur durch das Material bestimmt ist?
- Beispiel: Dichte

# Streckgrenze

- $R_m$  - Zugfestigkeit
- $R_e$  - Streckgrenze
- Dehngrenze oder  
Elastizitätsgrenze  $R_{p0,2}$ 
  - Belastung und dann  
Entlastung 0.2% Dehung  
verbleibt
- Dehngrenze wird als  
Ersatzstreckgrenze verwendet

Datenblatt Stahl

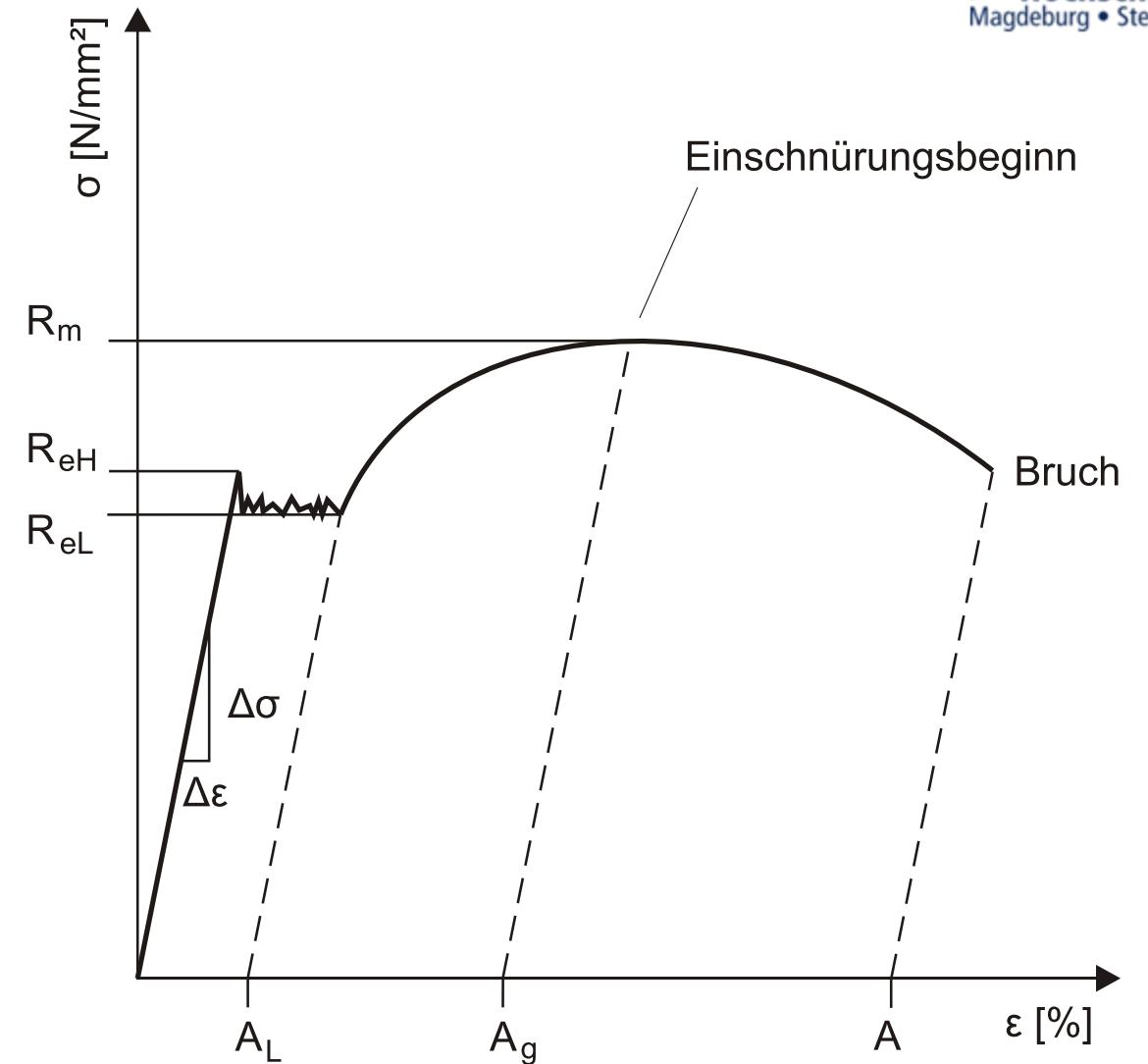


# Streckgrenze

- obere Streckgrenze  $R_{eH}$
- untere Streckgrenze  $R_{eL}$

gezackter Bereich:  
Lüdersbereich

[Beispielvideo](#)



# Plastizität - Umformen

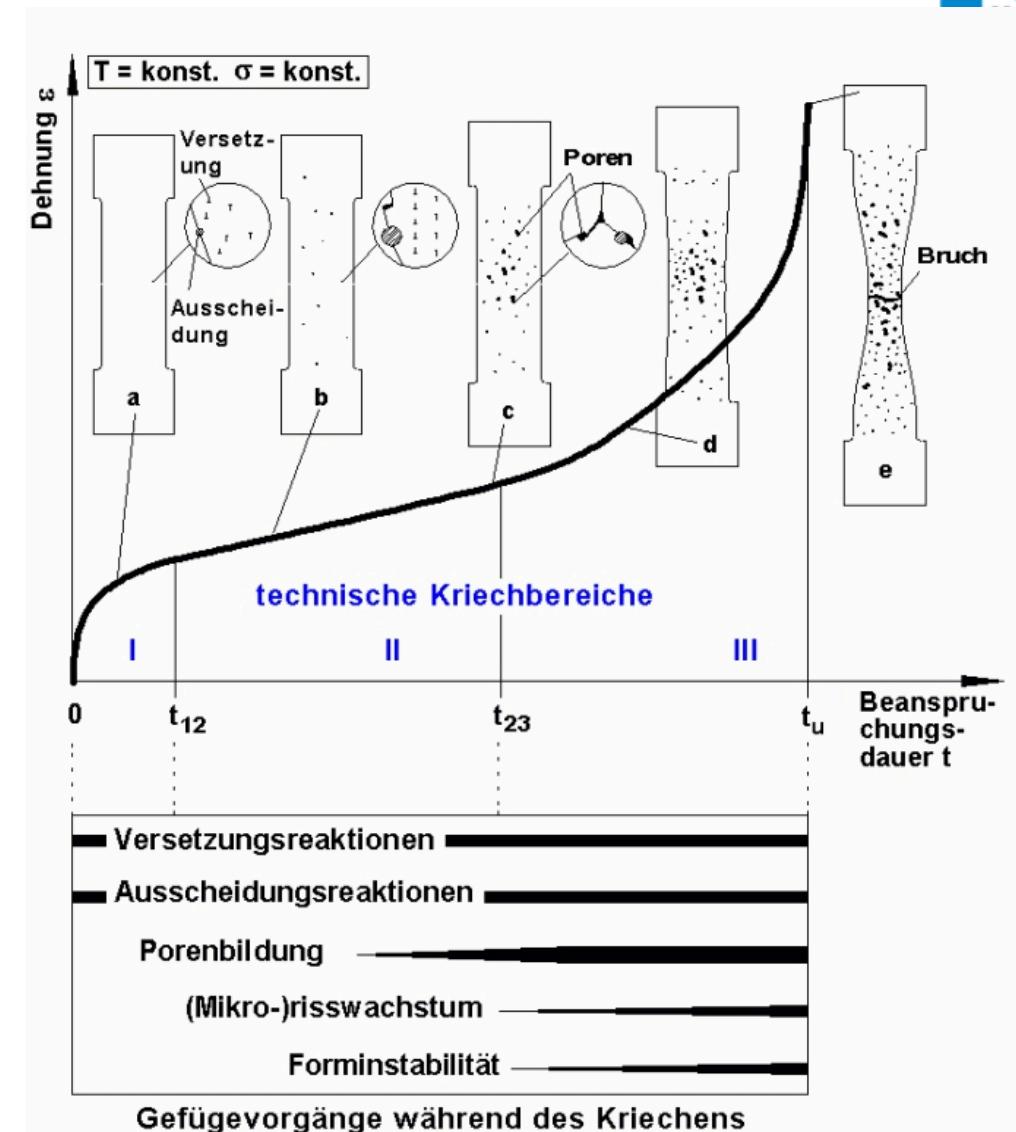
- Tiefziehen Prinzip
- Tiefziehen Real

# Kriechen

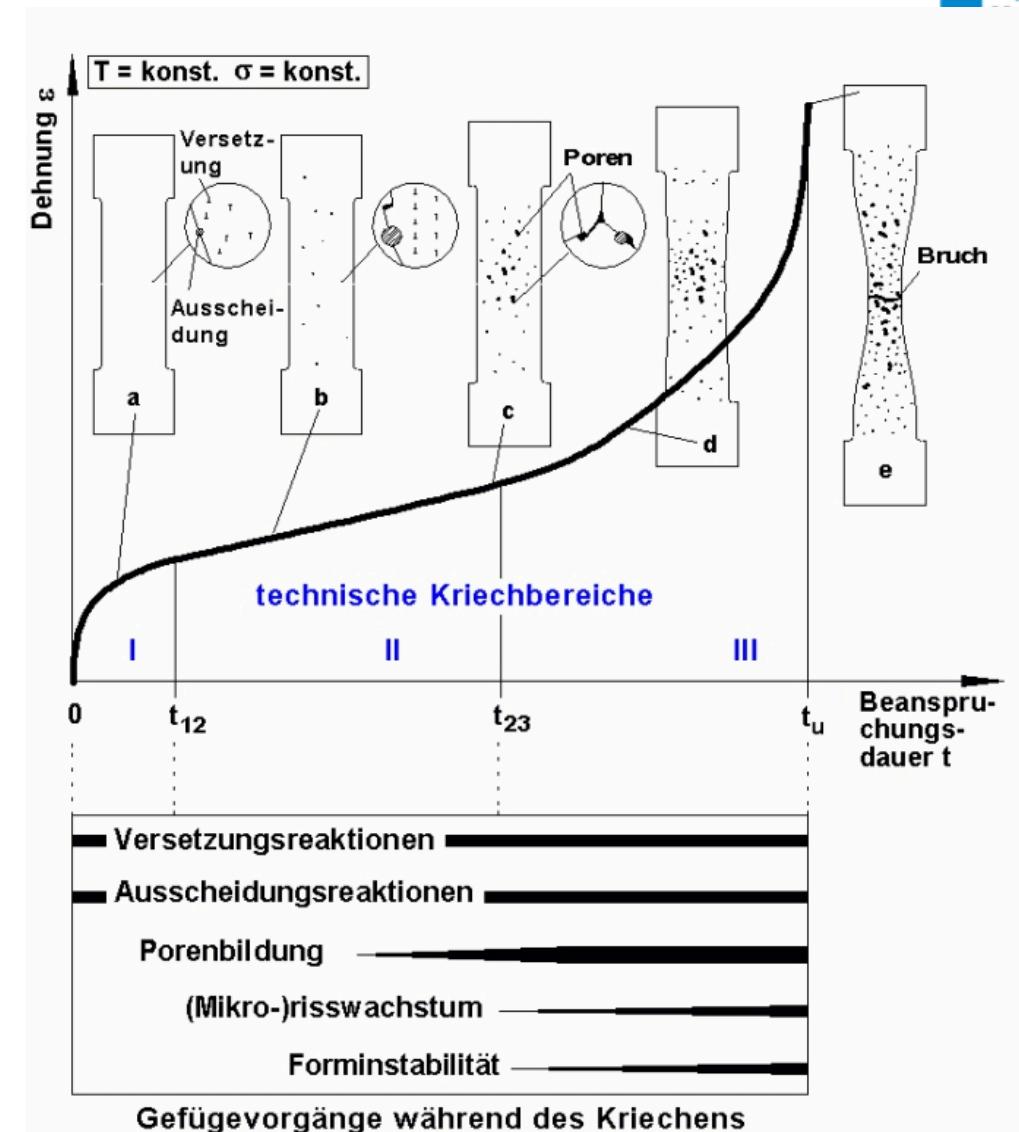
- Zeitabhängige Verformung bei konstanter Belastung
- Beispiel [entfallbare Raumfahrtstrukturen](#)



- findet bei Metallen oberhalb einer Übergangstemperatur statt ( $0.3 - 0.4 \cdot T_S$ )
- auch bei geringen mechanischen Spannungen unterhalb der Streckgrenze  $R_e$  findet eine irreversible plastische Verformung, die langsam, aber stetig voranschreitet statt



- temperatur-, spannungs-, zeit- und werkstoffabhängig
- Ursache:  
Versetzungsbewegungen,  
Leerstellendiffusion,  
Korngrenzengleiten,  
Korngrenzendiffusion



## Kriechen in Kunststoffen

- bestehen aus Molekülketten
- diese gleiten bzw. entknäueln sich diese unter äußerer
- Sekundärbindungen zwischen den Makromolekülen werden neu gebildet und Deformation bleibt erhalten