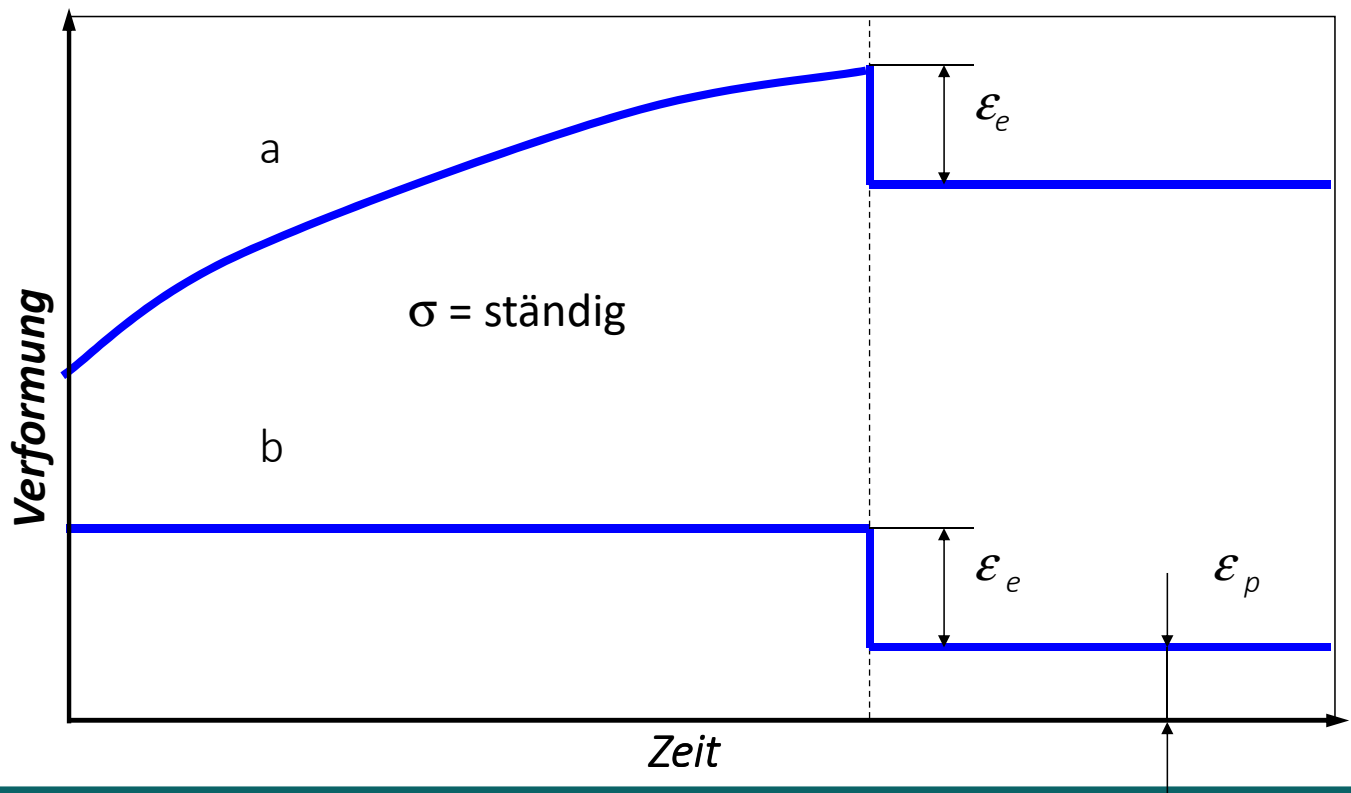


Kriechen Rekristallisation

Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung
(BMEGEMTAGK1N)

- die Erscheinung der zeitabhängige und zeitunabhängige Verformung,
- den zeitliche Ablauf der verschiedenen Abschnitte des Kriechens,
- die werkstoffstrukturelle Deutung des Kriechens,
- die Materialuntersuchung fürs Kriechen Die Erscheinung der Rekristallisation und deren technologischen Grundlagen kennenlernen.



3

Dauerhaftes Fließen oder Kriechen: bei konstanter Belastung nimmt die Verformung des Materials zu.

Dauerkriechfestigkeit: die Spannung, die bei unendlicher Zeit nicht größere Verformung verursacht als vorgeschrieben ist ($\sigma_{T0.2}$).

Zeitstandfestigkeit: die Spannung, die während t Zeitraum ϵ_t Verformung verursacht (z.B. $\sigma_{0.2/10^3}$).

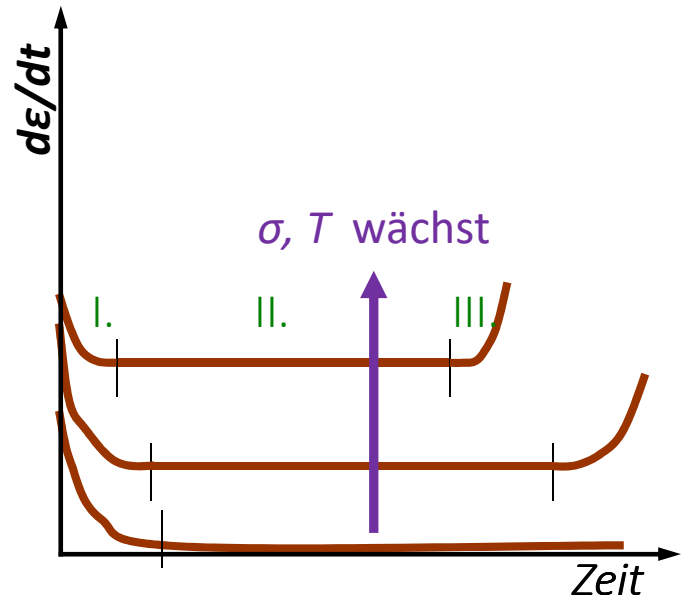
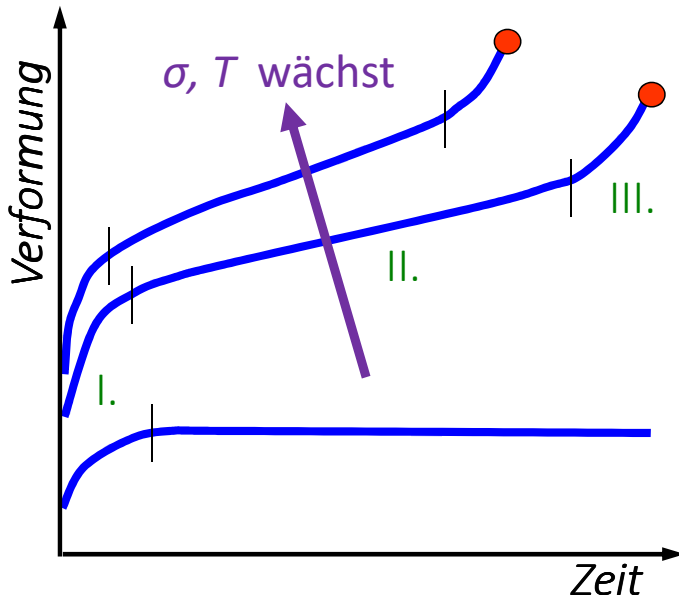
Kriechen ist eine Erscheinung auf höheren Temperaturen.

$$T > 0.4 T_{\text{schmelz}} \text{ (K)}$$

Ingenieuranwendungen: Gasturbinen der Flugzeugen funktionieren auf einer Betriebstemperatur von 1300°C , und Flugzeuge fliegen ohne Landung über Ozeanen.

4

Zeitstandversuch



$$\dot{\epsilon}_2 = A \sigma^{m'} \exp\left(\frac{-Q_c}{kT}\right) \quad 1 < m' < 4$$

A, m' - Materialparameter,
 Q_c - Aktivierungsenergie,
 k - Boltzmannsche Konstante,
 σ - Belastungsspannung

I. Primäres Kriechen

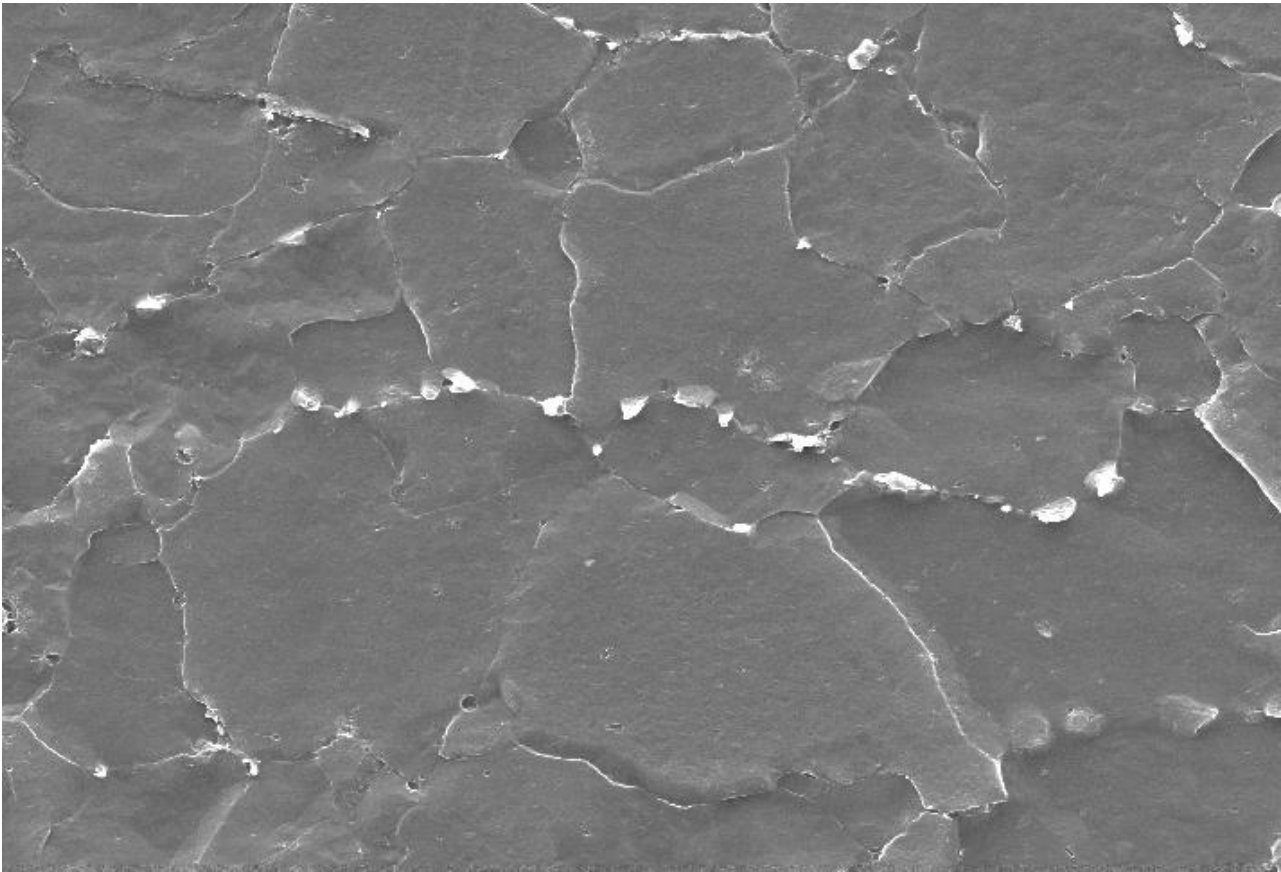
Die Verformungsgeschwindigkeit ist Zeitabhängig und nimmt ab mit der Zeit und Verformung. Die Versetzungsdichte nimmt zu, die Größe der Versetzungszellen nimmt mit der Zeit und Verformung ab.

II. Sekundäres Kriechen (stationäres Kriechen)

Die Verfestigungsmechanismen, und Erholungsmechanismen (Polygonisations-Mechanismen und Porenbildung usw.) sind im Gleichgewicht.

III. Tertiäres Kriechen

Rekristallisation, Vergröberung der zweiten Phasen, Entstehen der Poren -Porenketten und Mikrorisse.



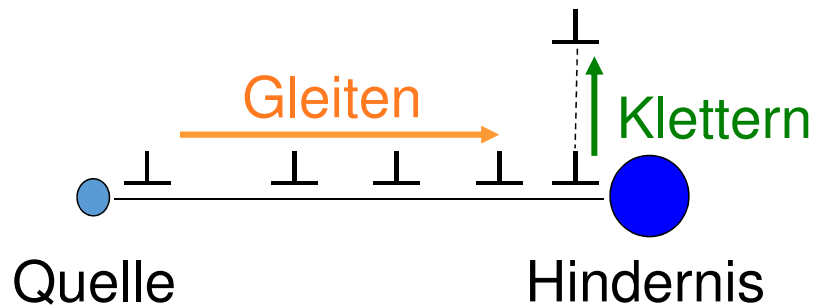
7

Im Laufe des Kriechprozess sind die verschiedene Strukturveränderungen beteiligt die abhängig von der Spannung und Temperatur sind.

- a) Gleiten der Versetzungen
- b) Klettern der Versetzungen (Poligonisation)
- c) Gleiten der Kristallgrenzen
- d) Verformung durch geordnete Diffusion der Leerstellen (Porenbildung).

8

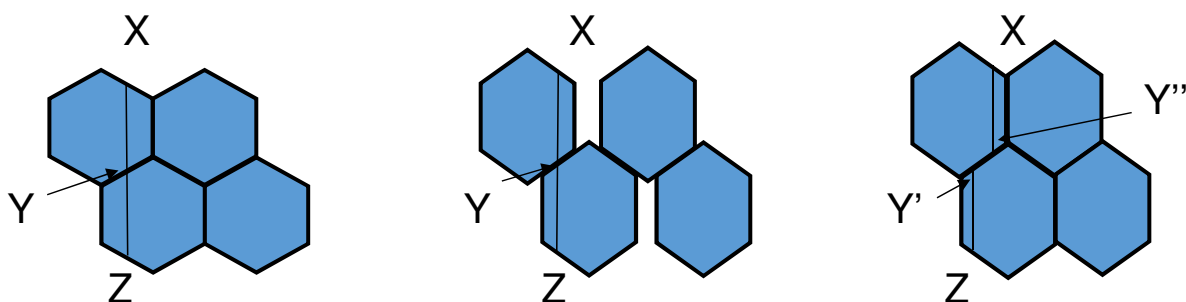
Klettern der Versetzungen



Plastische Verformung verursacht Verfestigung.
Versetzungnetzwerke entstehen.
Die Verfestigung und die Polygonisation
(Klettern) wirken gleichzeitig zusammen.

9

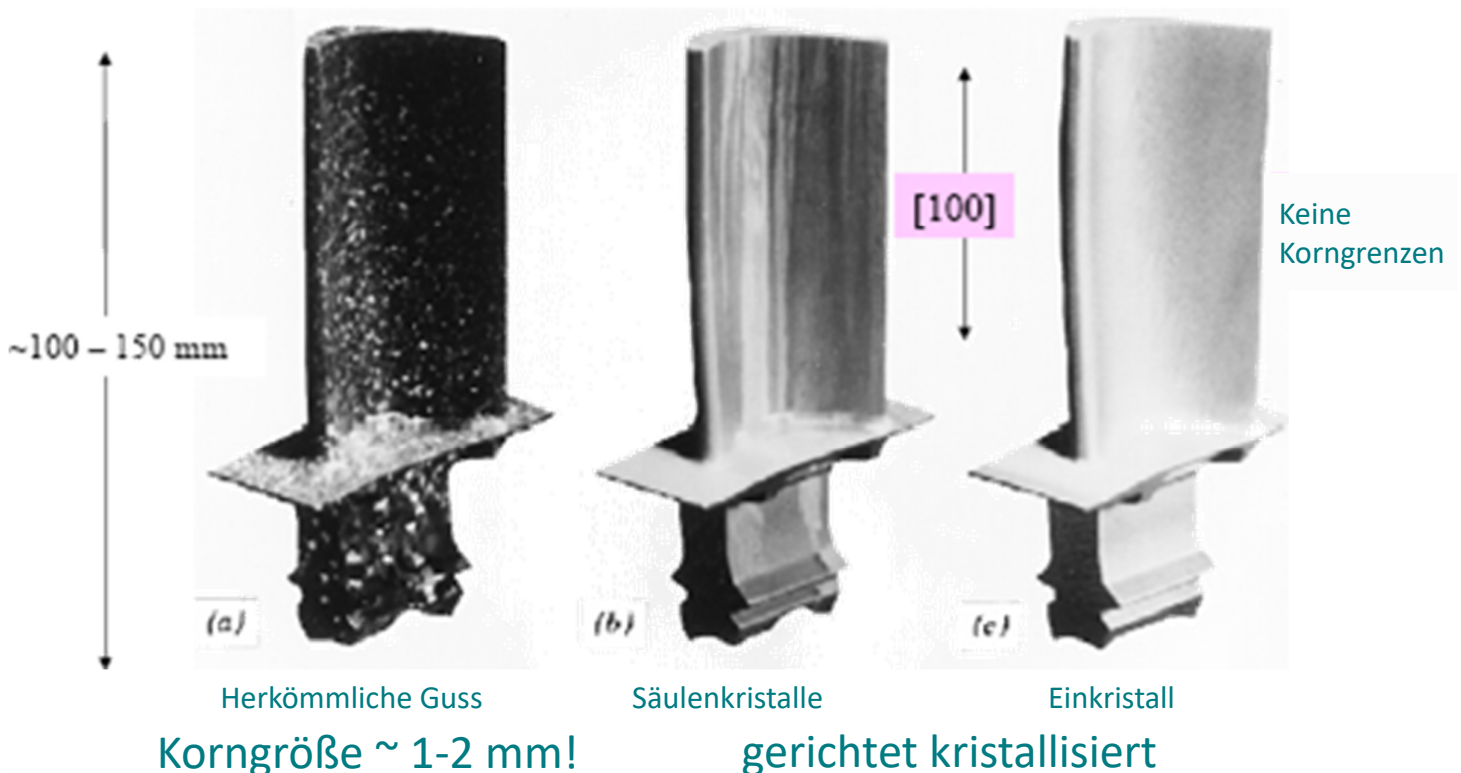
Die geordnete Strömung der Leerstellen
wirkt entlang der Korngrenzen.
Die Leerstellen verursachen Verformung
innerhalb den Körnern und Porenbildung an
den Korngrenzen.
Gleiten entlang der Korngrenzen kann die
Poren reduzieren.



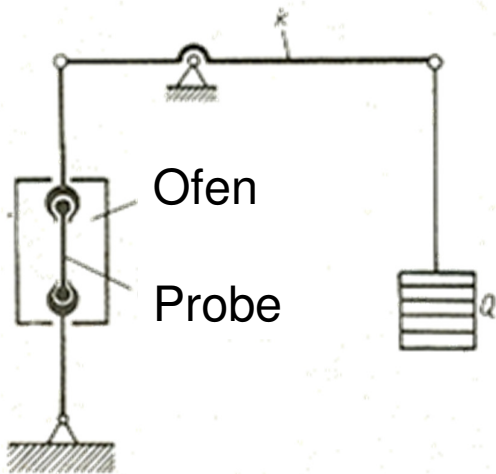
Kriechfestigkeit kann erhöht werden mit:

- Senken der Diffusionsgeschwindigkeit.
 - ➔ Verwendung von Materialien mit großem Schmelzpunkt
- Erhöhung des Schubmoduls
- Erhöhung der Größe der Korngrenzen (Korngröße) ➔ Einkristalle
- Erhöhung der Rekristallisationstemperatur
- Verwendung von zweiten Phasen, die die Versetzungsbewegung bremsen.

11

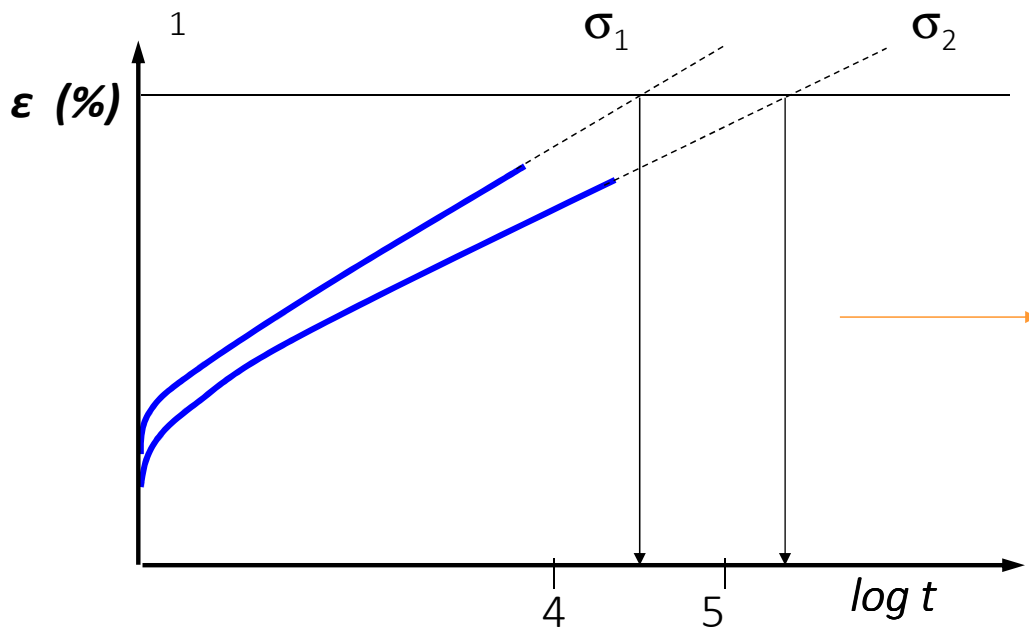
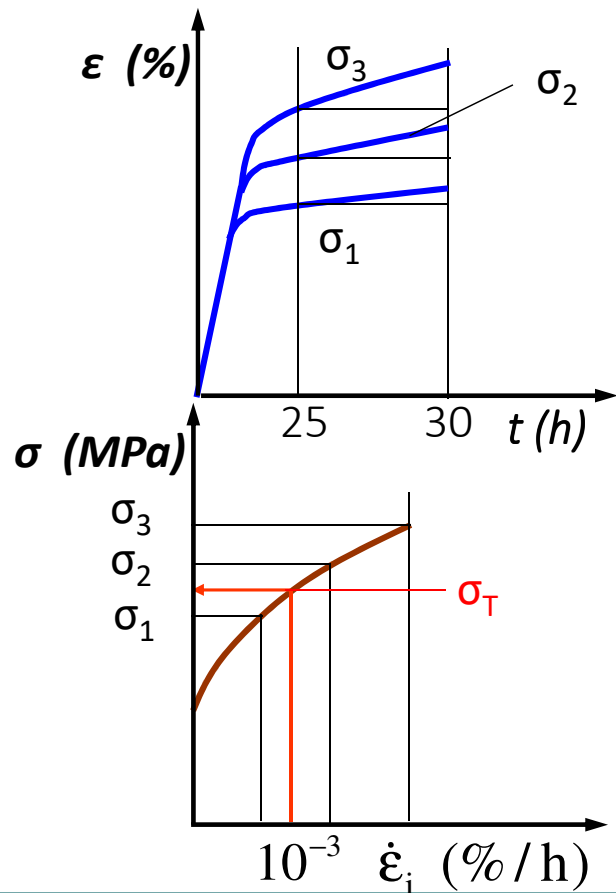


12



gekürzte Zeitstandsversuch

$$\dot{\epsilon}_i = \frac{\epsilon|_{30} - \epsilon|_{25}}{5} \Big|_{\sigma_i}$$



Nach mehreren Messungen kann die Spannung bestimmt werden, die unter vorgeschriebener Zeit (10^5 Stunde) bestimmte Verformung (1 %) verursacht. $\sigma_{1/10^5}$

Probe vs. Betrieb

$$\dot{\epsilon} = A \sigma^{m'} \exp\left(\frac{-Q_c}{RT}\right)$$

$$\ln \dot{\epsilon} = \frac{-Q_c}{RT} + \ln A + m' \ln \sigma$$

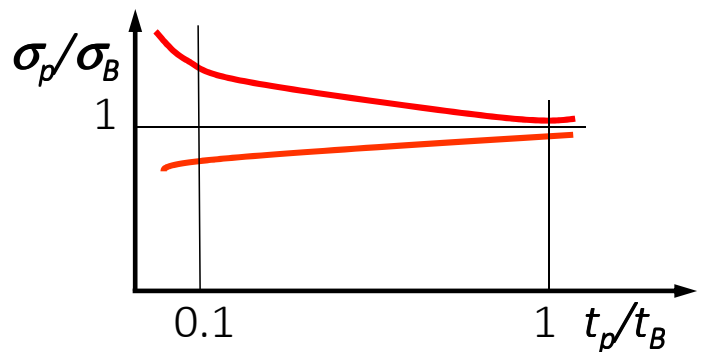
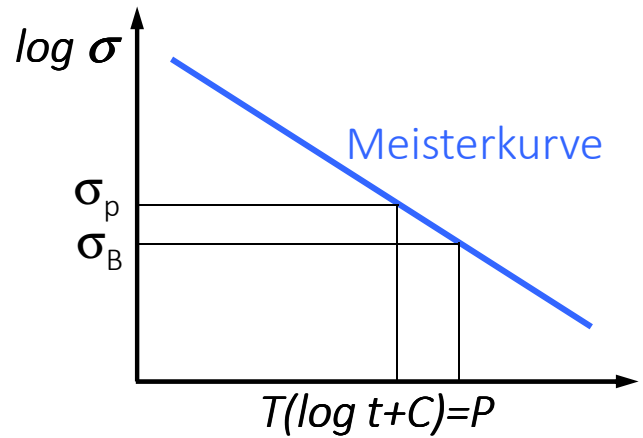
$$t = \epsilon / \dot{\epsilon}$$

$$\frac{Q_c}{R} = T(\log t + C) = P = LMP$$

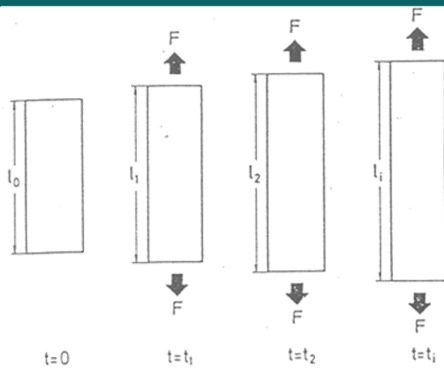
$$T_B, t_B, \sigma_B \rightarrow \epsilon \leftarrow T_p, t_p, \sigma_B \rightarrow P(\sigma_B)$$

$$\leftarrow T_p, t_p, \sigma_p \rightarrow P(\sigma_p)$$

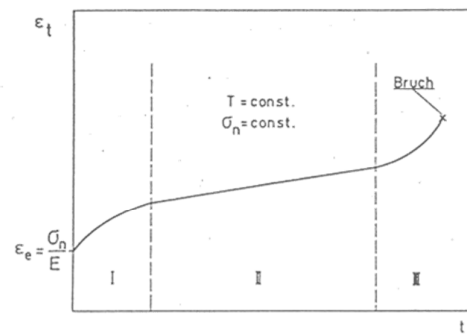
$$T_p = T_B + \max. 50^\circ \text{C}$$



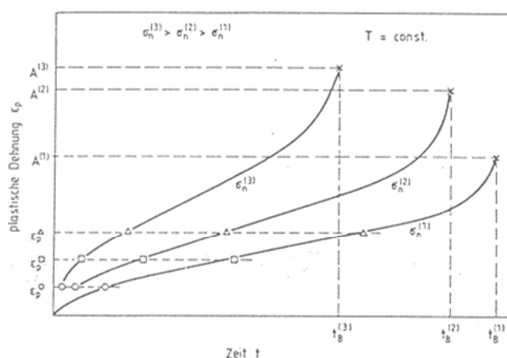
Zeitstandsdiagramm



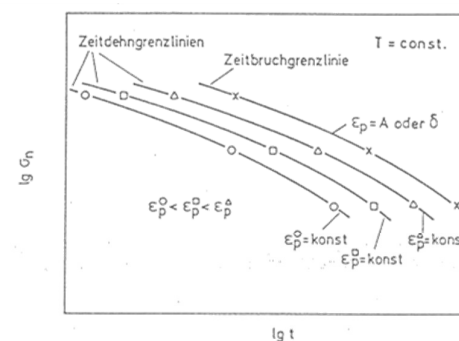
Prinzip von Kriechversuchen



ϵ_t, t -Diagramm bei Kriechbeanspruchung (Kriechkurve)

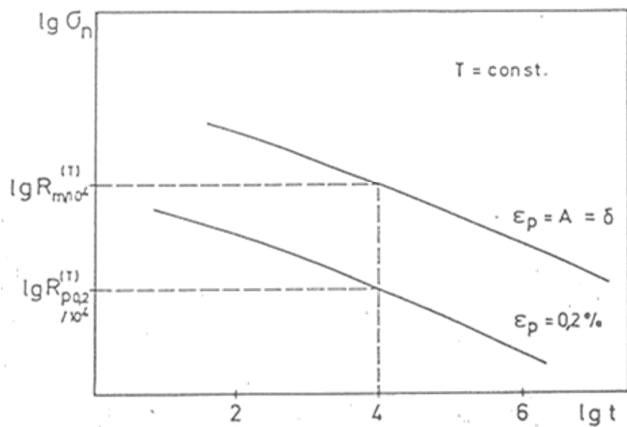


Kriechkurven bei drei Nennspannungsbeanspruchungen



Zeitdehngrenzlinien und Zeitbruchgrenzlinie : Zeitstandsdiagramm

Daraus

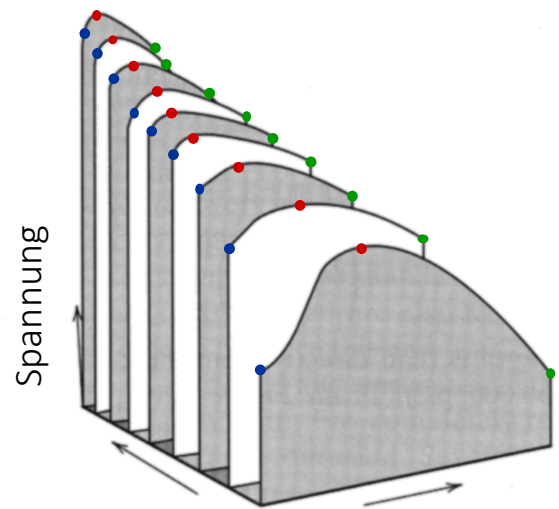
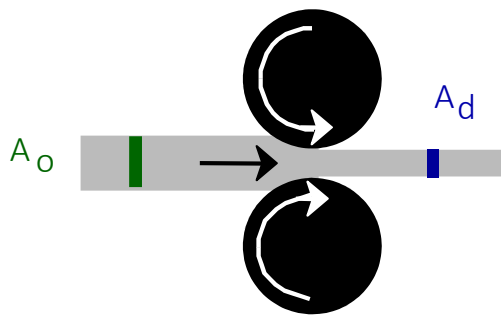


0,2 %-Zeitdehngrenze und Zeitbruchgrenzlinie mit Heraushebung der Zeitdehngrenze $R_{p0,2/10^4}^{(T)}$ und der Zeitfestigkeit $R_{m/10^4}^{(T)}$

- $R_{p.0.2/t}^{(T)}$ = 0.2 %-Zeitdehngrenze für t-Stunden bei der Temperatur T
- = t-Stunden 0.2 %-Zeitdehngrenze bei der Temperatur T
- = WW gegen Überschreiten einer plast. Verformung von 0.2 % in t-Stunden bei der Temperatur T
- $R_{m/t}^{(T)}$ = Zeitbruchgrenze für t-Stunden bei der Temperatur T
- = t-Stunden Zeitbruchgrenze bei der Temperatur T
- = Zeitstandfestigkeit für t-Stunden bei der Temperatur T
- = t-Stunden Zeitstandfestigkeit bei der Temperatur T
- = WW gegen Kriechbruch in t-Stunden bei der Temperatur T

Rekristallisation

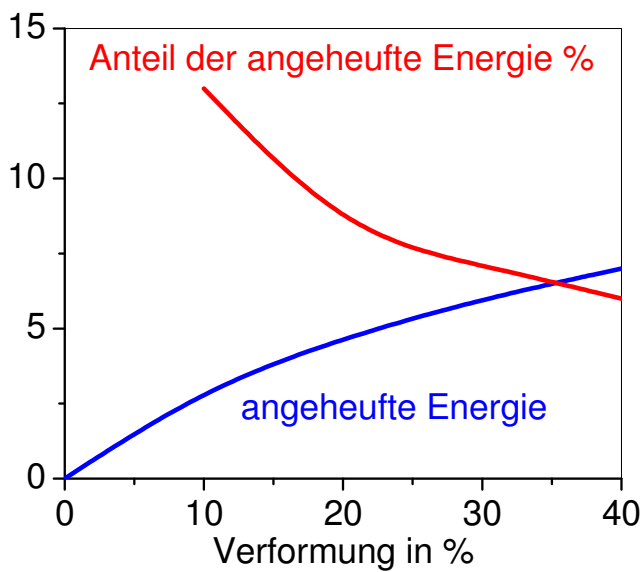
Walzen



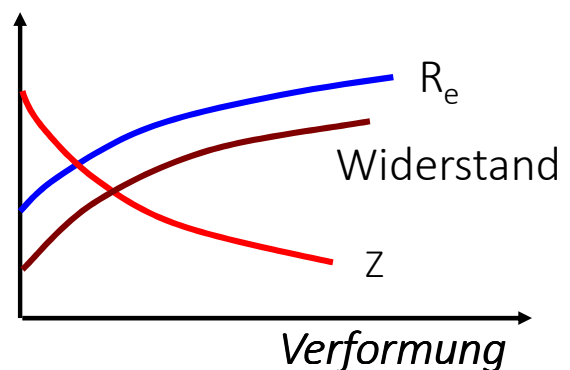
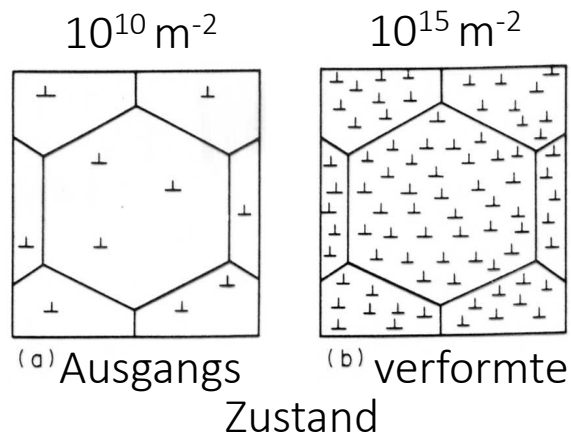
$$q = (A_0 - A_d) / A_0 * 100 \%$$

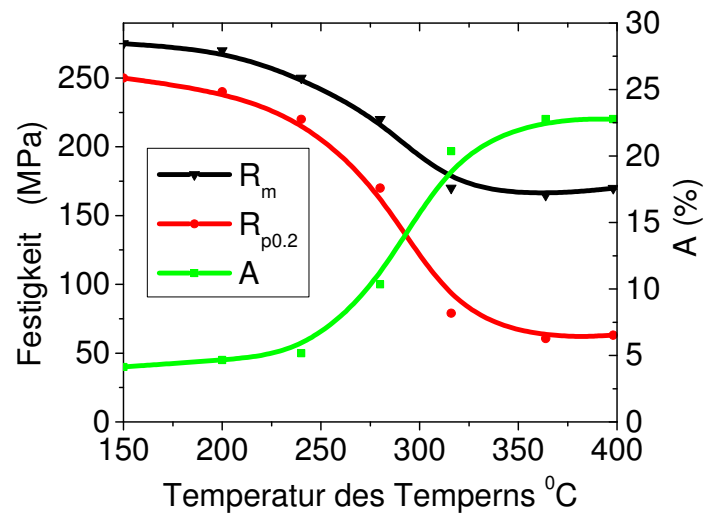
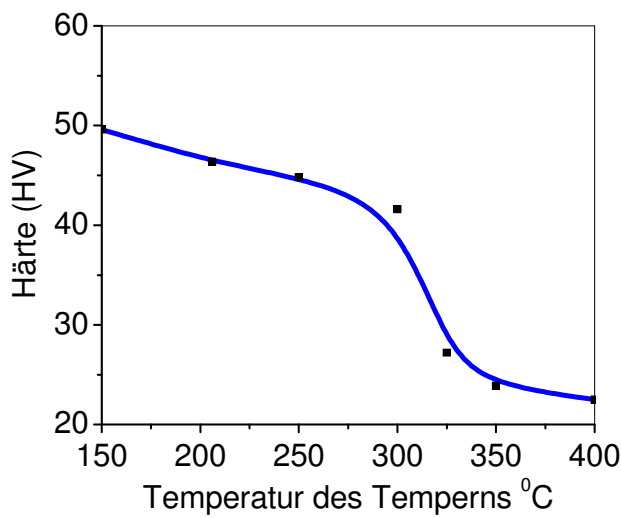
Die **Festigkeit** nimmt zu, die **Zähigkeit** sinkt
 Die **Gitterfehlerkonzentration** und die **angehäufte Energie** nimmt zu

Angehäufte Energie während Kaltverformung

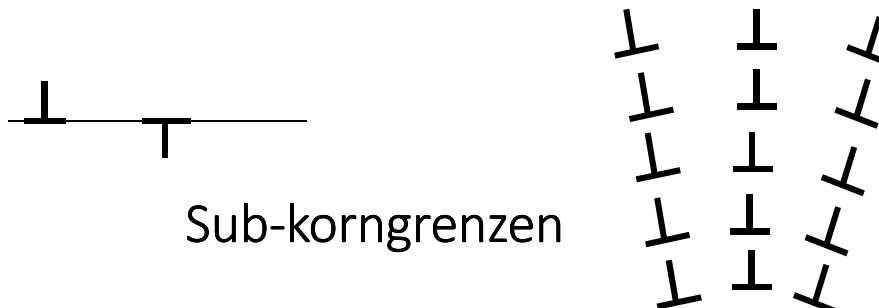


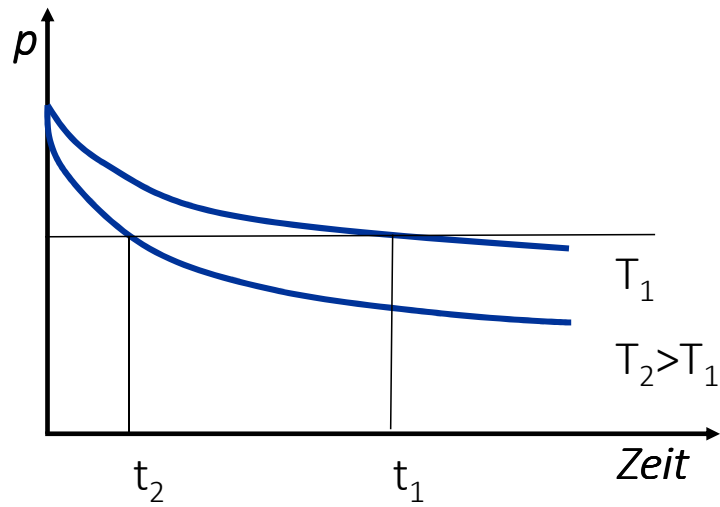
→ Freie Enthalpie (G)





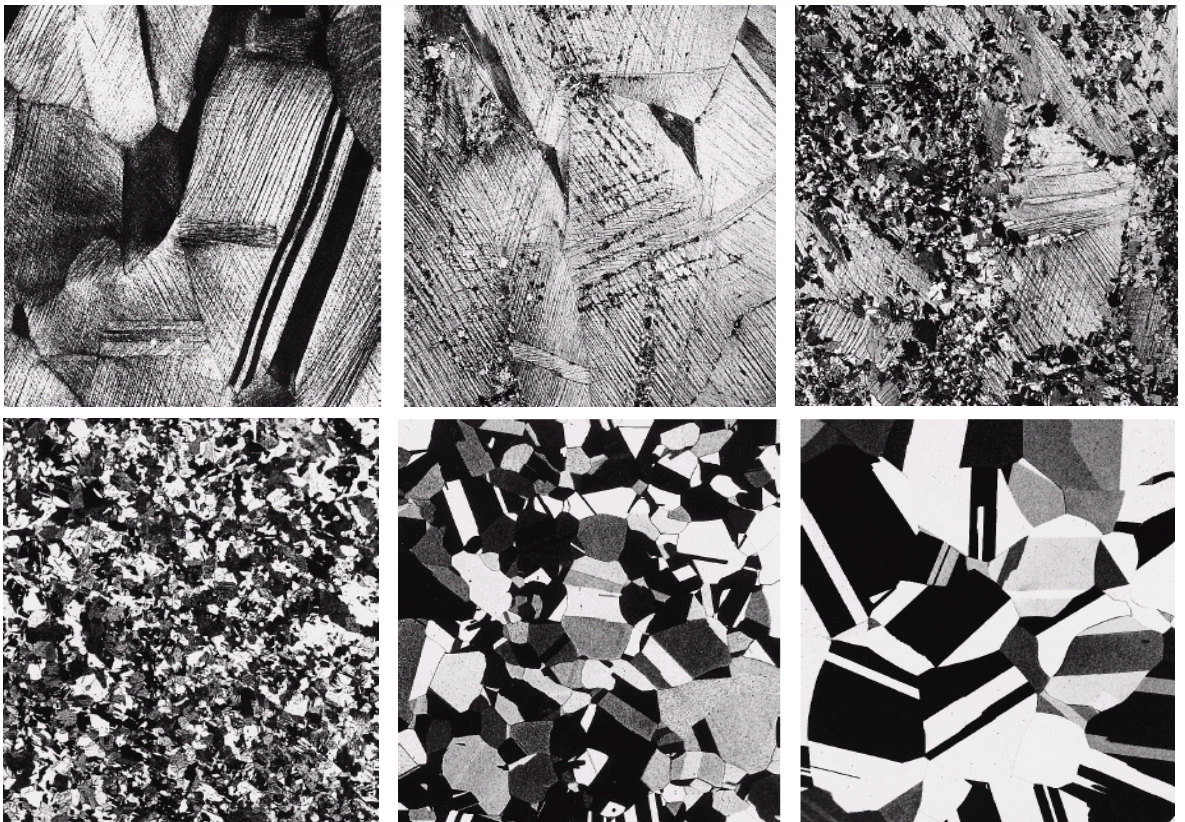
1. Verschwinden der Leerstellenpaare
2. Verschwinden der Leerstellen
3. Sinken der Versetzungsdichte, Umordnung der Versetzungen (Poligonsation)
4. Rekristallisation





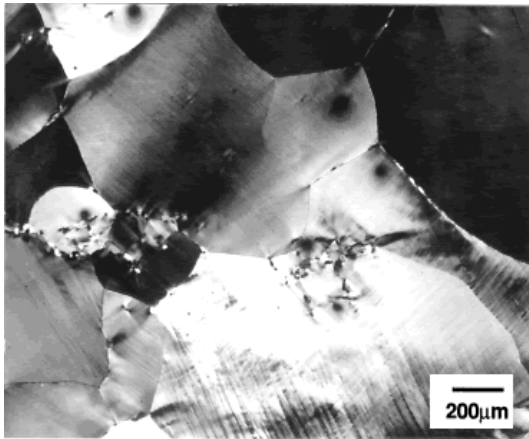
$$\ln(p - p_0) = konst. - A \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) t$$

Verformte Struktur

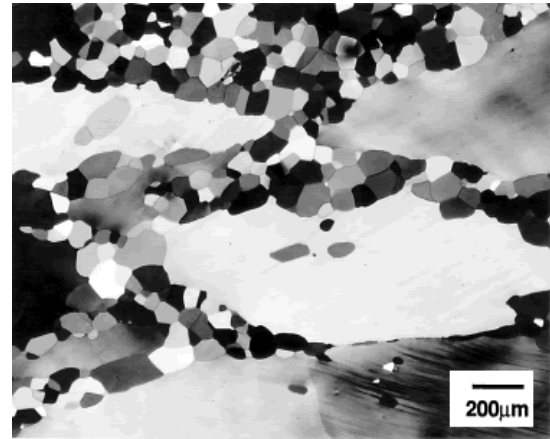


Messing

Al-Mg Legierung

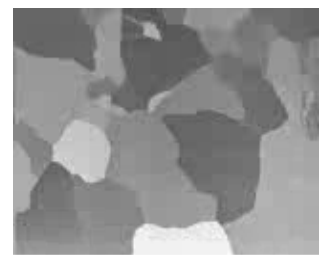
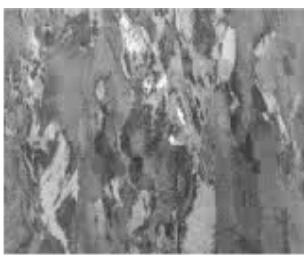


An Korngrenzen in der Nähe von zweite Phasen, im Bereich der Gelitbänder

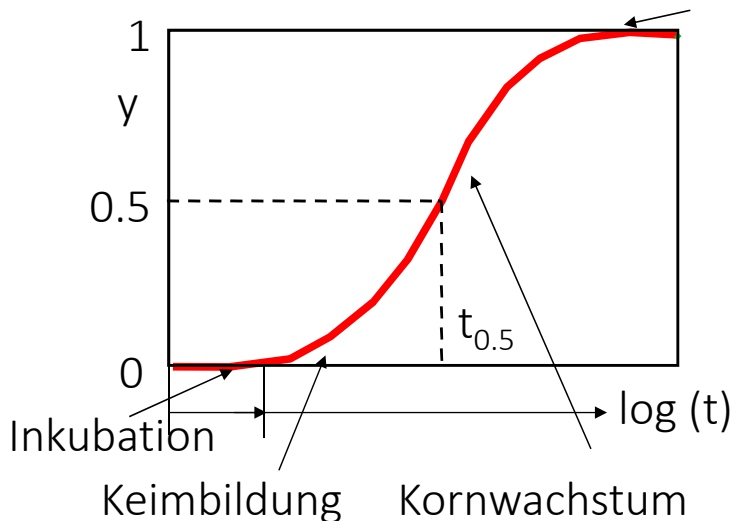


Heterogene Bereiche, große Orientationsunterschied und große Versetzungsdichte

25



Rekristallisiertes Anteil Kornzusammenstoß



Avrami Gleichung

$$y = 1 - \exp(-kt^n)$$

$r = \frac{1}{t_{0.5}}$ – Geschwindigkeit der Umwandlung

$$r = A \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

26

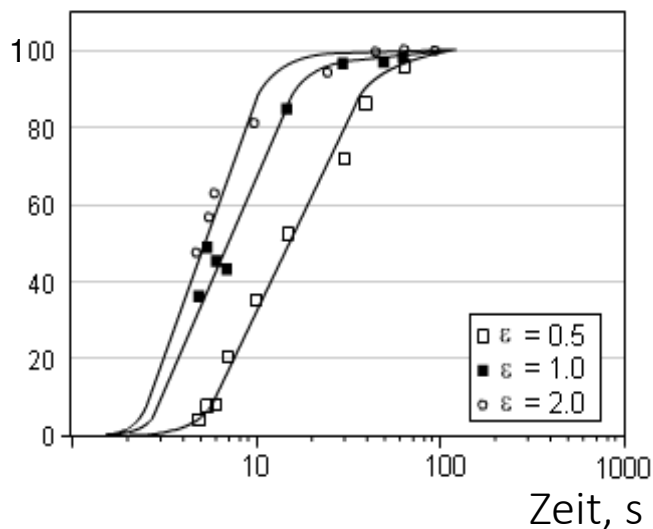
➤ Prozessparameter

- Temperatur (thermisch aktiviertes Vorgang);
- Geschwindigkeit der Erwärmung (größere Erwärmungsgeschwindigkeit → größere Rekristallisationsgeschwindigkeit);
- Dauer der Tempern;
- Verformungsanteil
- Geschwindigkeit der Verformung

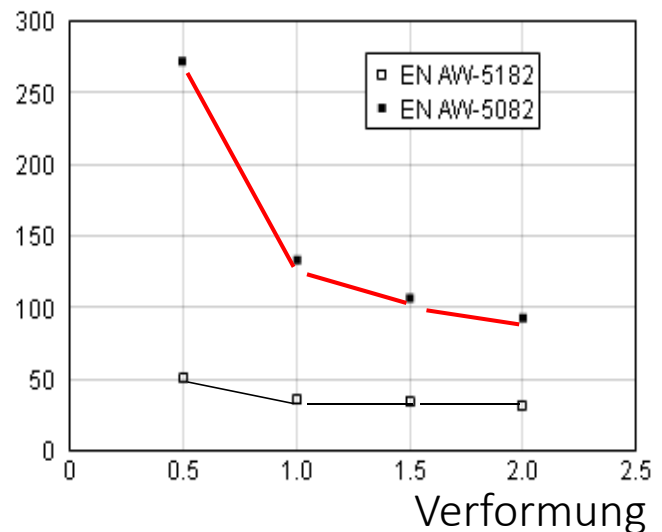
➤ Mikrostrukturparameter

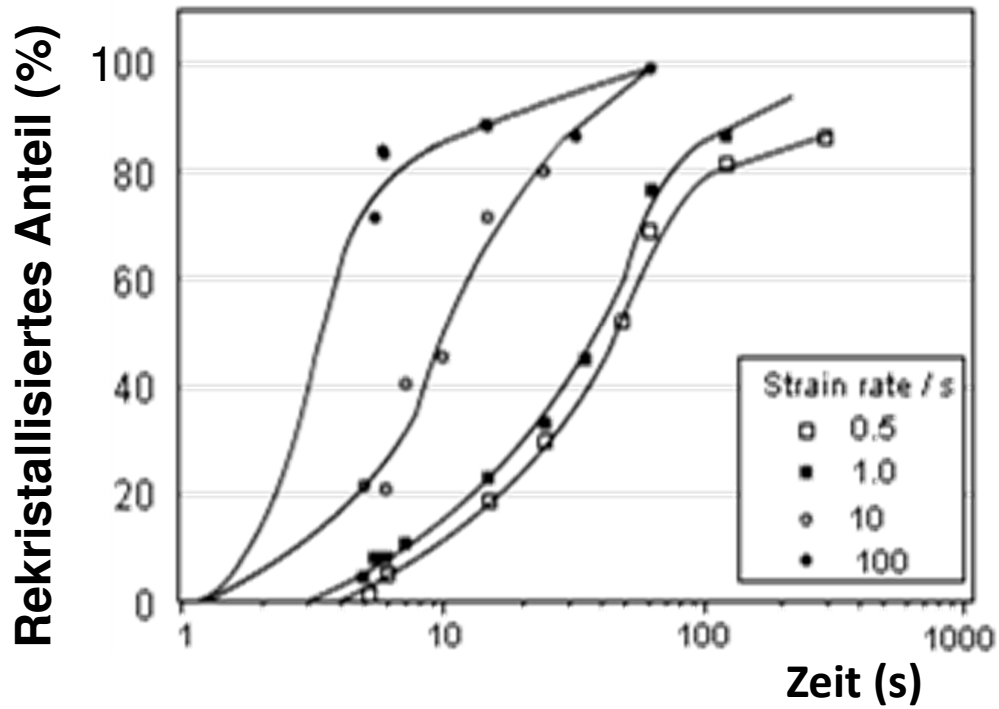
- Anfangskorngröße (feinere Ausgangskörner → feinere rekristallisierte Körner, größere Rekristallisationsgeschwindigkeit);
- Größe, Verteilung, und Bindung zur Grundmaterial der Partikel einer zweite Phase;
- Anteil und Qualität der gelöste Elemente;
- Textur vor und nach der Verformung

Rekristallisierte Anteil, %



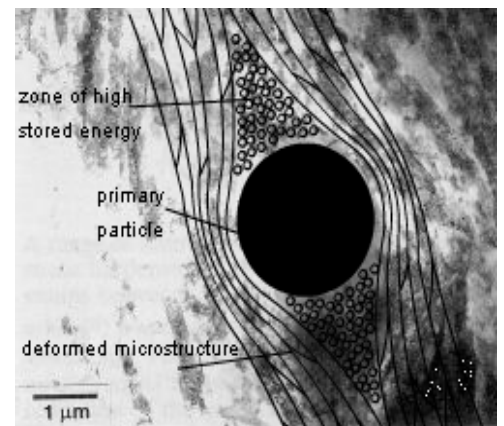
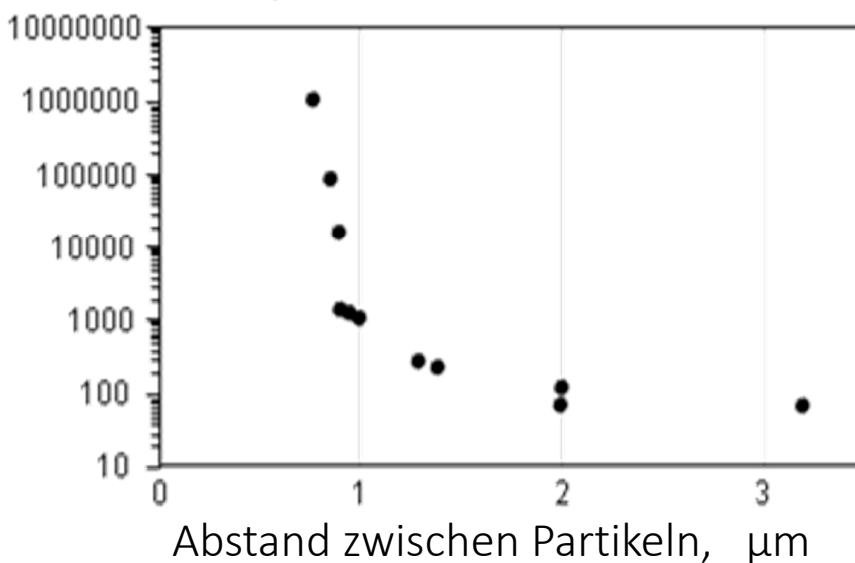
Korngröße, μm



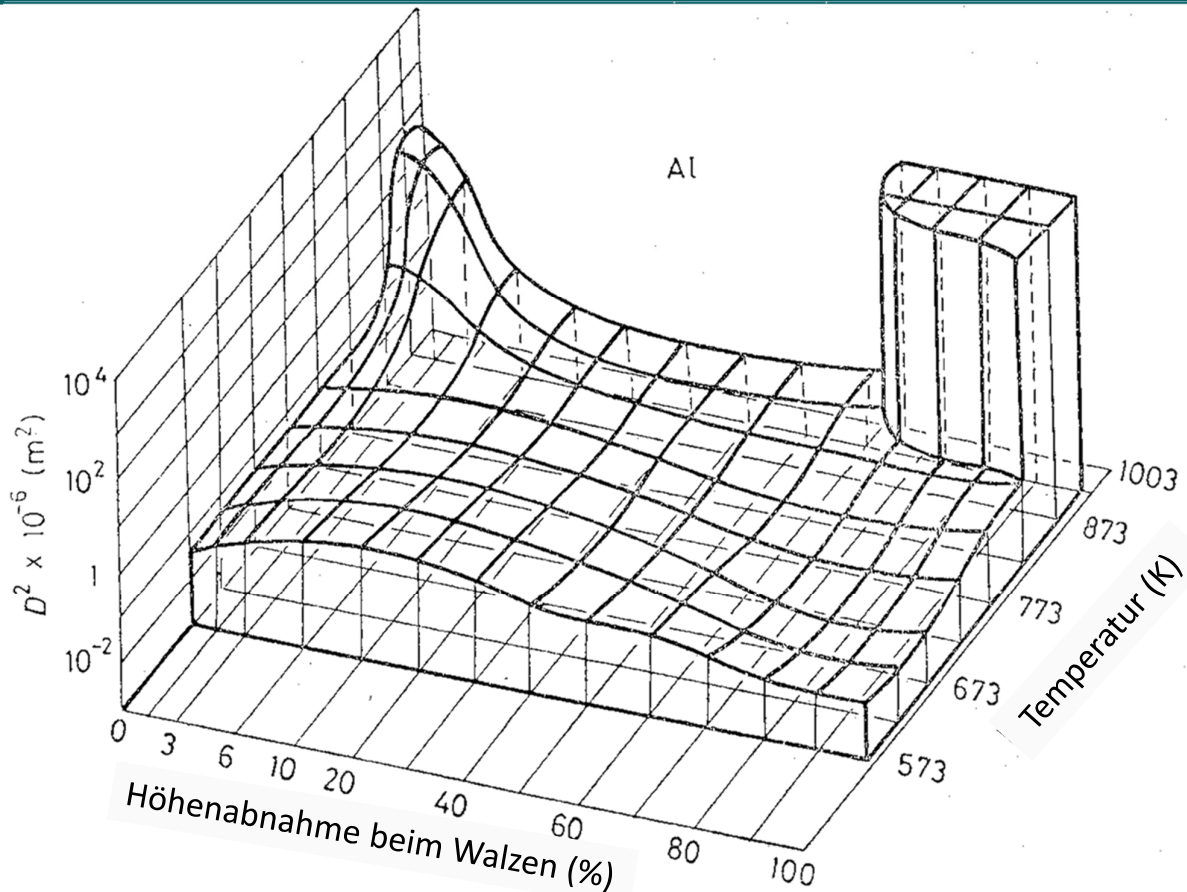
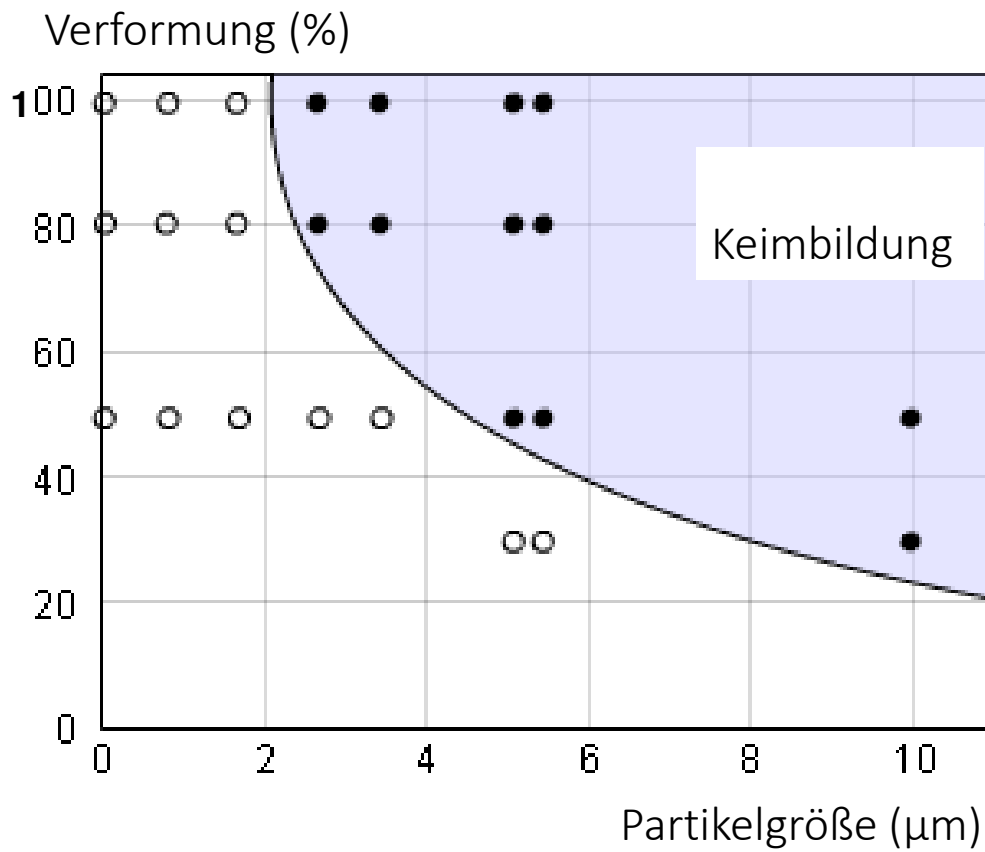


Größere Verformungsgeschwindigkeit beschleunigt die Rekristallisation

Zeit der 50%-iger Rekristallisation



Partikeln erhöhen der angehäuften Energie. Umgebung der große Partikeln dienen als Keimbildungsplätze.



- **Kaltumformung:** die Verformung geht auf einer Temperatur, wo der Eigenschaftsänderung der Verformung bleibt.
- **Warmumformung:** die Verformung geht auf einer Temperatur, wo der Eigenschaftsänderung der Verformung verschwindet.

$$T_{\text{kaltverf.}} < T_{\text{rekr.}} < T_{\text{Warmverf.}}$$

Homologe Temperatur:

(Temperatur der Verformung in K) / (Schmelzpunkt in K)

- Kritische (kleine) Verformung ist nötig um die Rekr. einzuleiten.
- Temperatur der Rekr. sinkt, wenn die Zeit der Temp. wächst.
- Temperatur der Rekr. sinkt mit der größeren Vorverformung.
- Der rekrystallisierte Korngröße wird mit der größeren Vorverformung kleiner
- Reine Metalle können leichter rekrystallisiert werden als die Legierungen.
- Bei gegebener Vorverformung der Rekrystallisationstemperatur wächst:
 - Mit größeren Ausgangskorngröße
 - Mit größeren Verformungstemperatur

Danke für die Aufmerksamkeit!