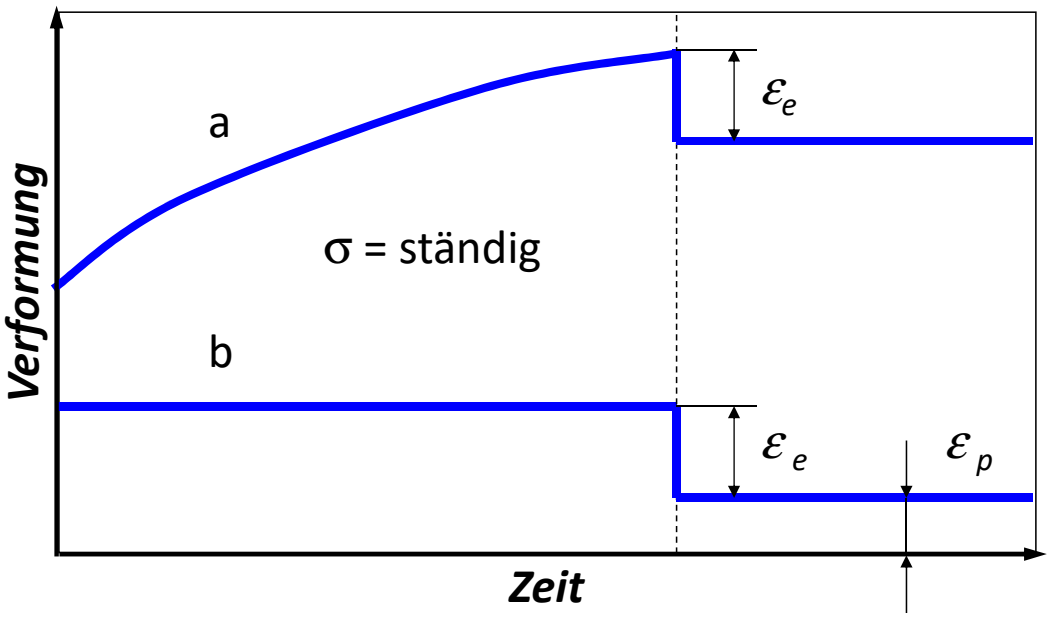
Kriechen

Während der Vorlesung werden wir:

- 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.

Zeitabhängige (a) und Zeitunabhängige (b) Verformung



Kriechen

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

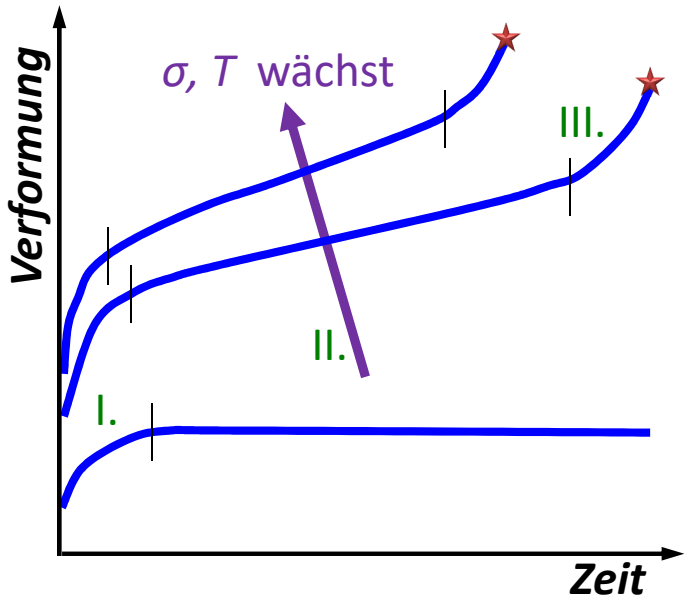
Ingenieursanwendungen: Gasturbinen der Flugzeugen funktionieren auf einer Betriebstemperatur von 1300°C, und Flugzeuge fliegen ohne Landung über Ozeanen.

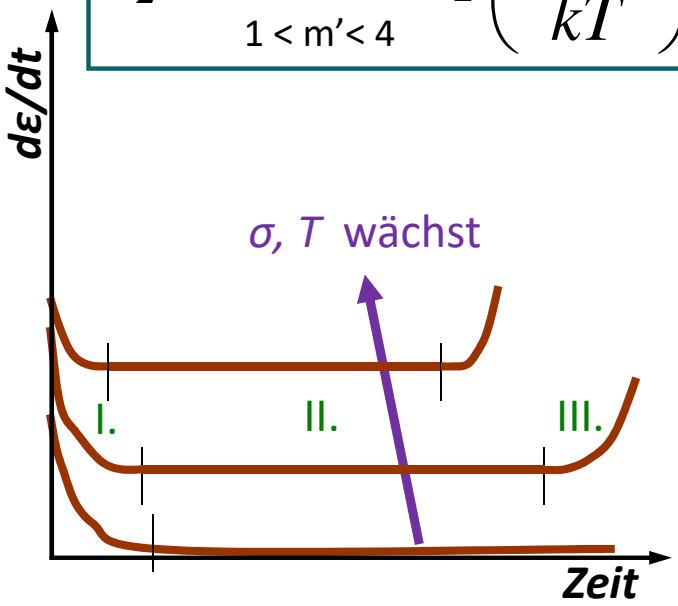
Kriechkurve

Zeitstandversuch

$$\dot{\varepsilon}_2 = A\sigma^{m'} \exp\left(\frac{-Q_c}{kT}\right)$$

$1 < m' < 4$





A, m'- Materialparameter, $\boldsymbol{Q_c}$- Aktivationsenergie,
k – *Boltzman*sche Konstante, $\boldsymbol{\sigma}$- Belastungsspannung

Drei Phasen der Kriechkurve

I. Primeres Kriechen

Die Verformungsgeschwindigkeit ist Zeitabhängig und nimmt ab mit der Zeit und Verformung. Die Versetzungs-dichte 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.

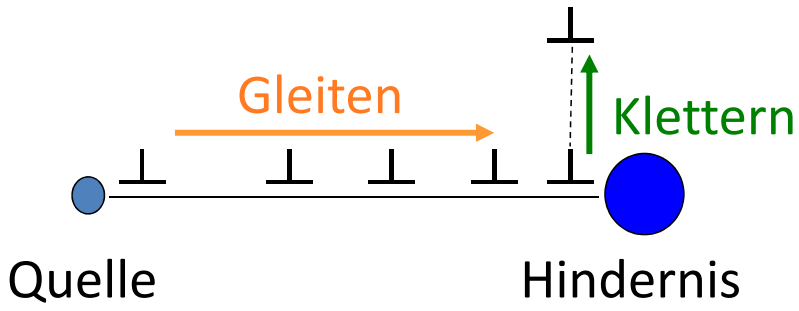
III. Tertiäres Kriechen

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

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

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

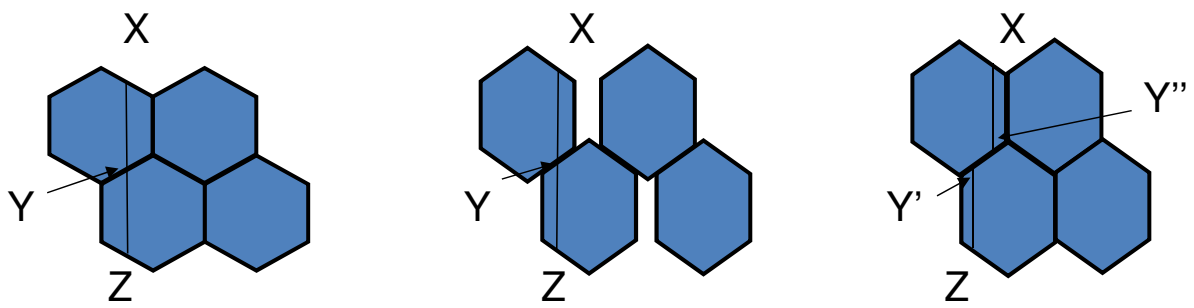
Gemeinsamer Einfluss der Gleiten und Klettern der Versetzungen



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

Diffusion der Leerstellen

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

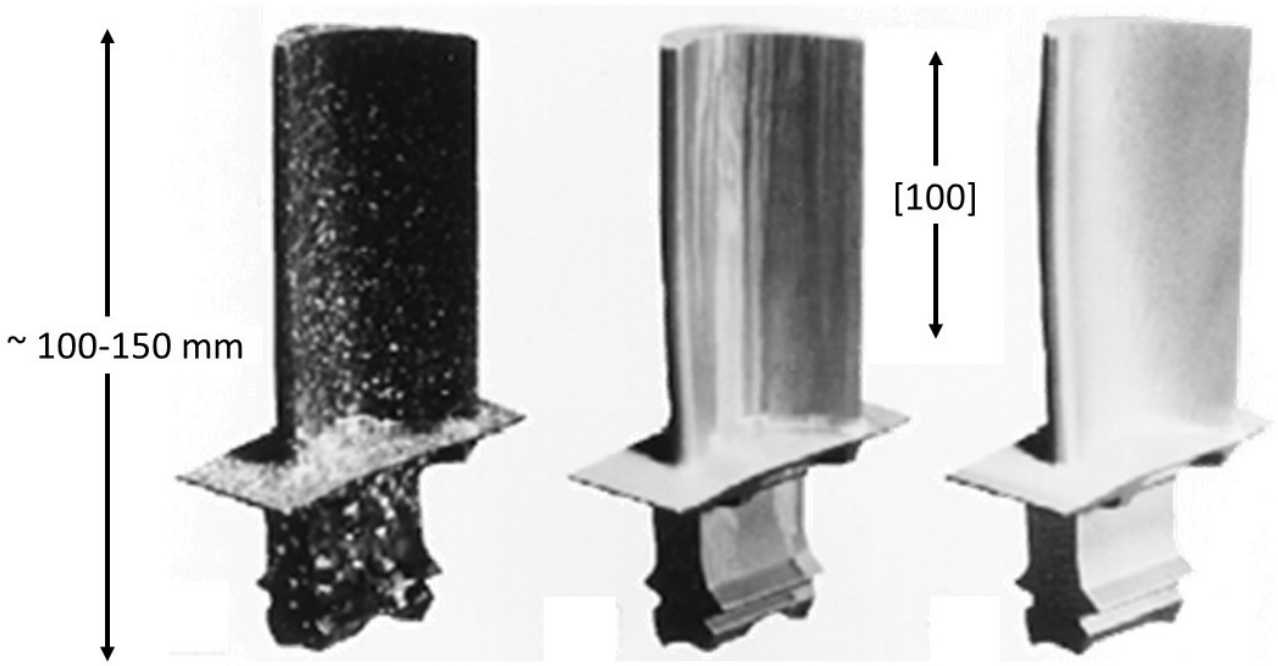


Planen von Kriechfesten Materialienen

Kriechfestigkeit kann erhöht werden mit:

- Senken der Diffusionsgeschwindigkeit. ➔ Anwendung 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.

Herstellung der Turbinenschaufel

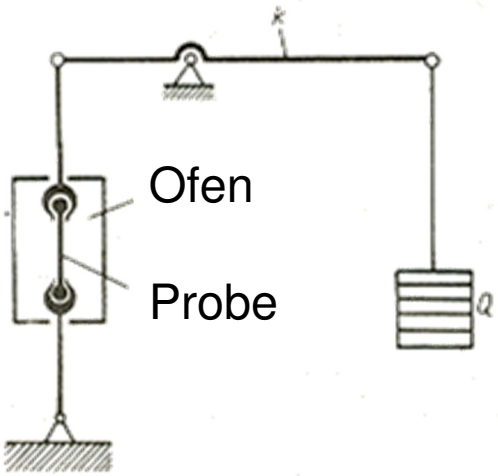


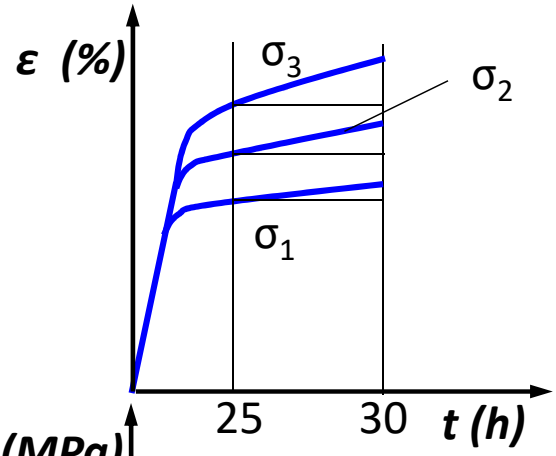
Herkömmlich gegossen
Korngröße: 1-2 mm !

Säulenartige Körner

Einkristall
Keine Korngrenze

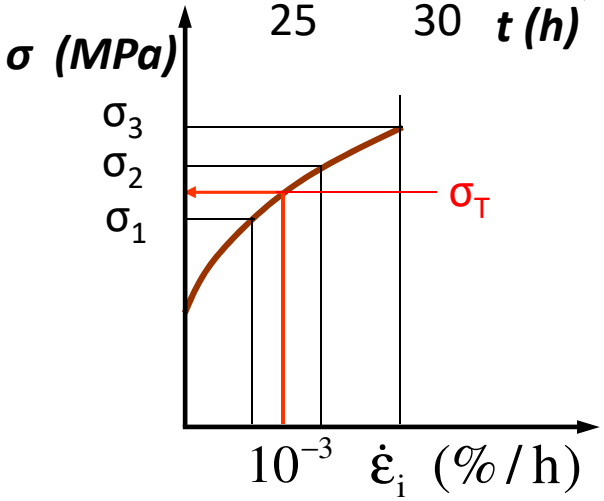
Zeitstandsversuch (Kriechversuch)



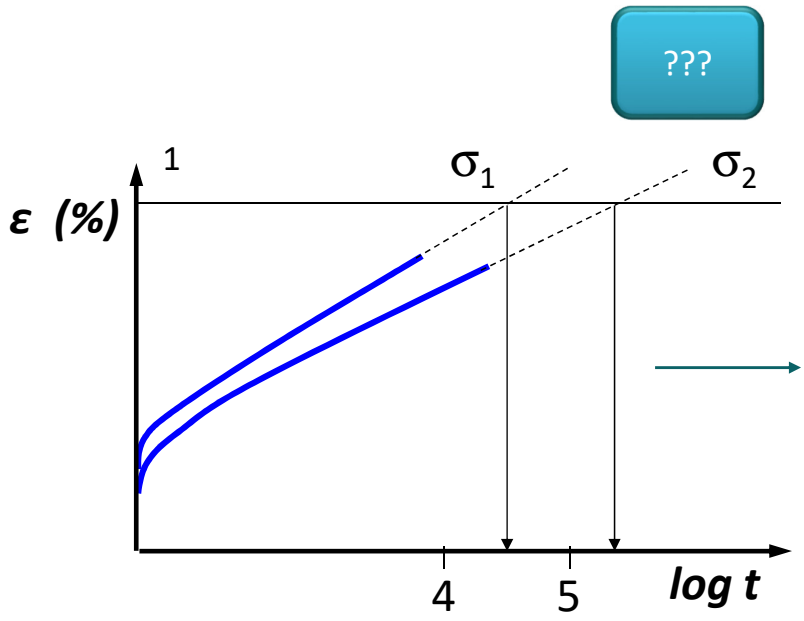


$$\dot{\varepsilon}_i = \left.\frac{\varepsilon|_{30} - \varepsilon|_{25}}{5}\right|_{\sigma_i}$$

gekürzte Zeitstandversuch

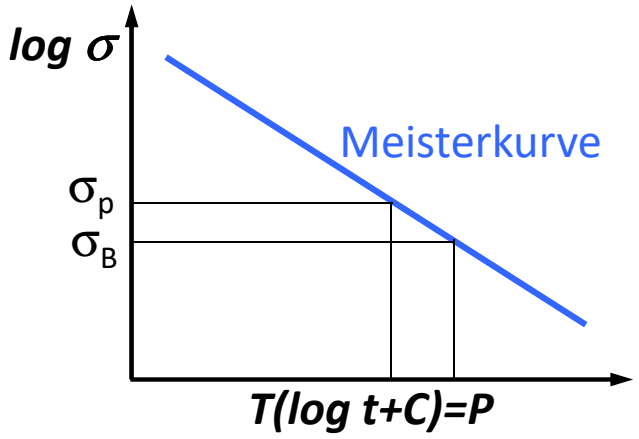


Extrapolation vom ständigen Bereich



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

Larson - Miller - Verfahren

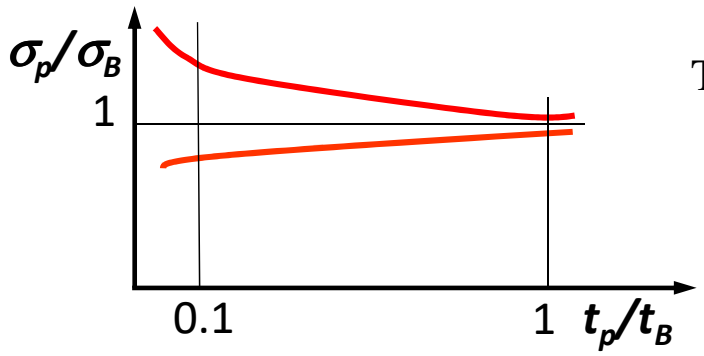


$$\dot{\varepsilon} = A\sigma^{m'} \exp\left(\frac{-Q_c}{RT}\right)$$

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

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

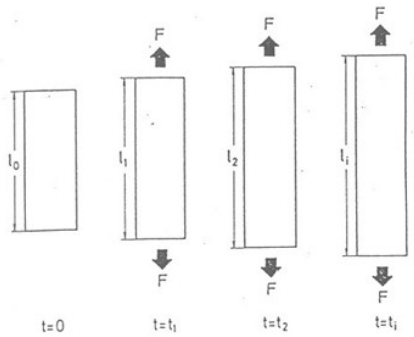
$$\frac{Q_c}{R} = T(\log t + C) = P = LMP$$



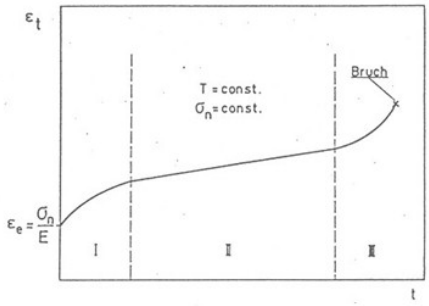
$$T_B, t_B, \sigma_B \rightarrow \varepsilon \leftarrow T_p, t_p, \sigma_B \rightarrow P(\sigma_B)$$
$$\leftarrow T_p, t_p, \sigma_p \rightarrow P(\sigma_p)$$

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

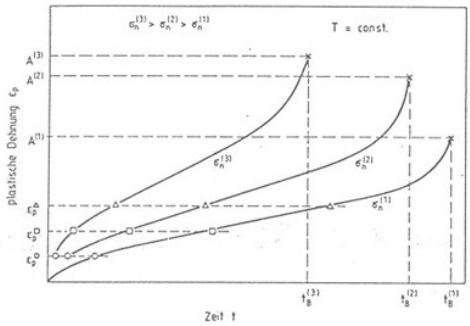
Zeitstaddiagramm

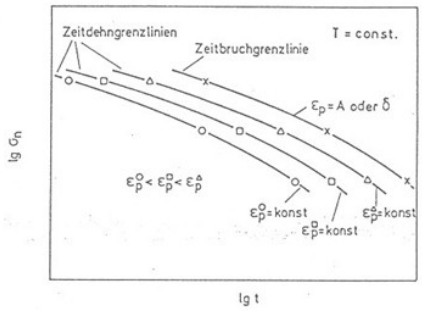


Prinzip von Kriechversuchen



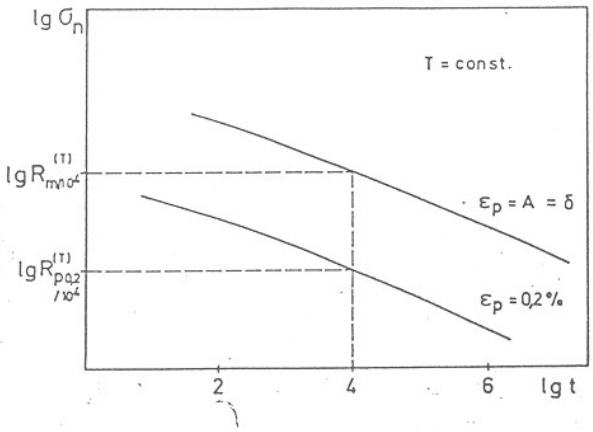
ε_t,t-Diagramm bei Kriechbeanspruchung (Kriechkurve)





Kriechkurven bei drei Nennspannungsbeanspruchungen } Daraus Zeitdehngrenzlinien und Zeitbruchgrenzlinie : Zeitstanddiagramm

Zeitstaddiagramm



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

Danke für die Aufmerksamkeit!