

Institut für Werkstofftechnik
Universität Siegen

Übung zur Vorlesung Werkstofftechnik I

Literatur

E. Werner, E. Hornbogen, N. Jost & G. Eggeler: *Fragen und Antworten zu Werkstoffe*, 6. Auflage, Springer, Berlin, 2010, € 29,95.

J. Rösler, H. Harders & M. Bäker: *Mechanisches Verhalten der Werkstoffe*, 3. Auflage, Teubner, Wiesbaden, 2008, € 34,90.

N.E. Dowling: *Mechanical Behavior of Materials*, 3. Auflage, Pearson, Upper Saddle River, 2007, \$ 170.

W.W. Seidel & F. Hahn: *Werkstofftechnik*, 8. Auflage, Hanser, München, 2009, € 24,90.

M. Riehle & E. Simmchen: *Grundlagen der Werkstofftechnik*, 2. Auflage Wiley-VCH, Weinheim, 2000, € 59,90.

1. Übung: Schwerpunkt Zugversuch

1. Aufgabe

Kennzeichnen Sie qualitativ die Art der Beanspruchung des Werkstoffes unter folgenden Betriebsbedingungen:

- Stahlseil eines Förderkorbs,
- Rotorblatt eines Hubschraubers,
- Gleitlagerschale,
- Generatorwelle (horizontale Lagerung),
- Hüllrohr eines Reaktorbrannelements,
- Gasturbinenschaufel.

2. Aufgabe

Erläutern Sie an einer Skizze des Spannungs-Dehnungs-Diagramms folgende Begriffe:

- Linear elastisches Verhalten,
- Elastizitätsgrenze,
- Plastisches Verhalten
- Elastizitätsmodul,
- Zugfestigkeit.

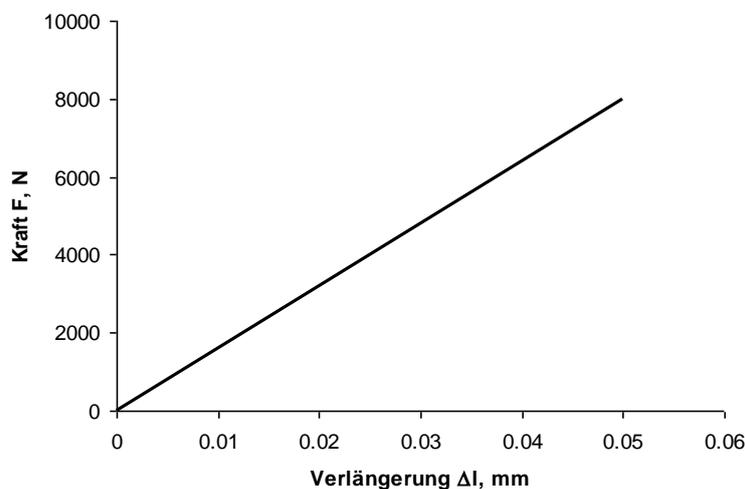
3. Aufgabe

Definieren Sie die Begriffe:

- elastische Verformung,
- plastische Verformung
- Gleichmaßdehnung,
- Bruchdehnung,
- Brucheinschnürung.

4. Aufgabe

Ein Zugstab mit der Länge $l_0 = 25$ mm (Querschnitt $A_0 = 20$ mm²) zeigt im Zugversuch folgendes Verhalten: Bestimmen Sie den Elastizitätsmodul E in GPa.



5. Aufgabe

In einem Zugversuch wurden folgende Werkstoffkennwerte ermittelt:

Kennwert	Zahlenwert
Elastizitätsgrenze R_e	750 MPa
Zugfestigkeit R_m	1100 MPa
Elastizitätsmodul	210 GPa
Gleimaßdehnung A_g	6 %
Bruchdehnung A_5	11 %

- Welcher Werkstoff wurde geprüft?
- Wie hoch ist die Dehnung bei Belastung bis zur Elastizitätsgrenze?
- Was bedeutet A_5 ?
- Was passiert mit der Probe bei Dehnungen größer als A_g ?
- Was passiert mit der Probe, wenn sie auf eine Spannung $R_e < \sigma < R_m$ belastet und dann vollständig entlastet wird?
- Mit der nach e. behandelten Probe wird erneut ein Zugversuch durchgeführt. Ist die hierbei gemessenen Elastizitätsgrenze gleich der ursprünglichen oder hat sie sich verändert? Erläutern Sie Ihre Antwort.

2. Übung: Schwerpunkt Kriechen

1. Aufgabe

- Was versteht man unter Kriechen und was unter Relaxation eines Werkstoffes?
- Ab welcher Temperatur tritt Kriechen auf und wie hoch ist diese Temperatur für Eisen, Aluminium und Blei?
- Skizzieren Sie den Verlauf einer typischen Kriechkurve unter Angabe der drei Kriechbereiche!

2. Aufgabe

Wie hängt die stationäre Dehnrate von der Spannung und der Temperatur im Kriechversuch ab? (Geben Sie die Gleichung mit Bezeichnung aller Größen an!)

3. Aufgabe

Ein Lötendraht (40 % Zinn, 60 % Blei) mit dem Durchmesser 3,15 mm und der Messlänge 254 mm erfährt eine Kriechbeanspruchung, indem Gewichte an den Draht gehängt werden. Die Längenänderungen sind für drei verschiedene Gewichte angegeben.

Zeit [min]	Längenänderung [mm]		
	4,54 kg	6,8 kg	9,07 kg
0	0	0	0
0,25	0,28	0,46	0,69
0,5	0,36	0,66	0,94
1	0,48	0,91	1,45
2	0,71	1,40	2,36
4	1,09	2,24	4,09
6	1,47	3,00	5,72
8	1,83	3,38	7,26
12	2,54	4,90	10,41
16	3,23	6,38	13,64
20	3,91	7,82	16,74

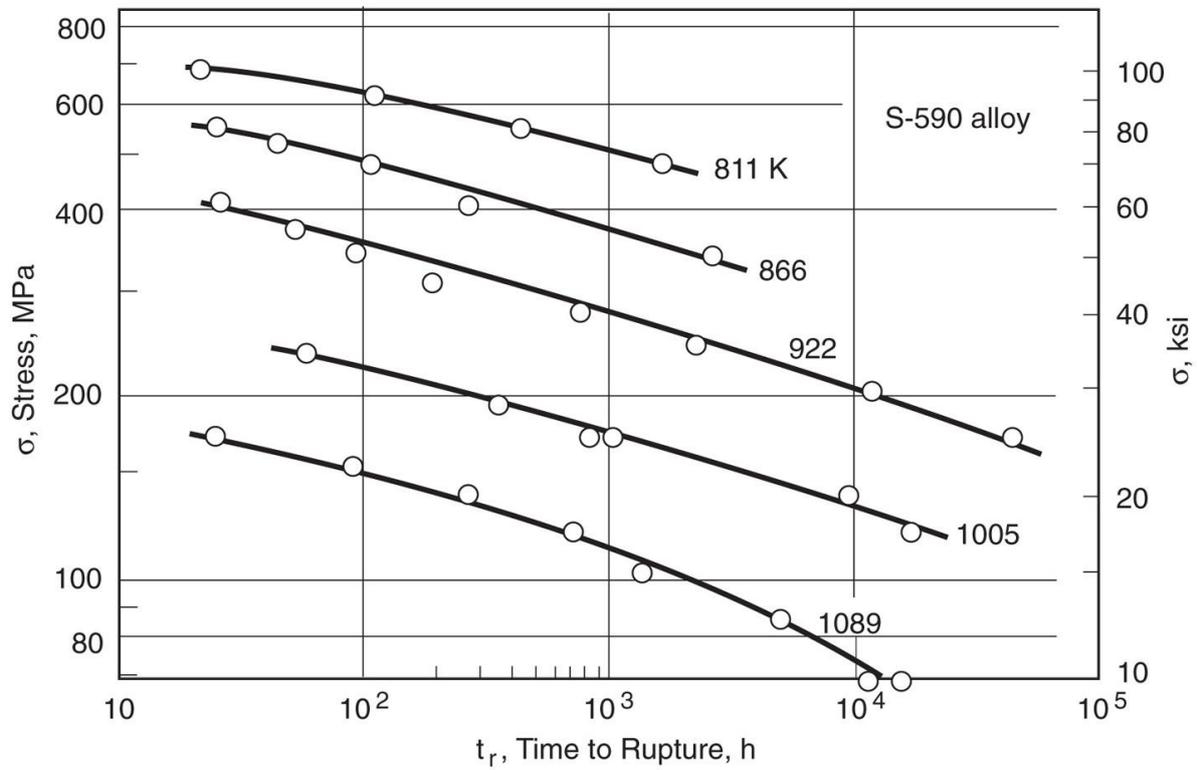
Zeichnen Sie die entsprechenden Kriechkurven. Wird das Verhalten vom Übergangs- oder stationären Kriechen dominiert?

Bestimmen Sie die stationäre Kriechrate für jeden Gewichtswert und stellen Sie diese in einer doppeltlogarithmischen Darstellung über der Spannung dar. Kann der Zusammenhang durch eine Gerade hinreichend genau bestimmt werden? Falls dies so ist, bestimmen Sie den Spannungsexponenten.

Welches Vorgehen schlagen Sie vor, um die Aktivierungsenergie zu bestimmen?

4. Aufgabe

Aus dem gegebenen Zeitstanddiagramm sollen drei Kurven für die Spannung über der Temperatur für die Bruchzeiten 10^2 , 10^3 und 10^4 Stunden gezeichnet werden.



3. Übung: Schwerpunkt Ermüdung

1. Aufgabe

Geben Sie die drei möglichen dynamischen Belastungsfälle für Laborermüdungsversuche in einem σ - t -Diagramm an und kennzeichnen Sie darin folgende Größen σ_o , σ_u , σ_m , σ_a . Wie ist R definiert?

2. Aufgabe

Warum tritt bei einer schwingenden Beanspruchung eines Bauteils die Rissbildung bevorzugt an der Oberfläche auf?

3. Aufgabe

- Skizzieren Sie die typische Form eines Wöhler-Diagramms mit Dauerfestigkeit!
- Tragen Sie die Namen der nach Lebensdauer gestaffelten 3 Bereiche ein!

4. Aufgabe

Zur Ermittlung des Dauerschwingverhaltens von Ventildedern aus SiCr werden diese in entsprechenden Versuchsanordnungen Dauerschwingbeanspruchungen ausgesetzt. Dabei beträgt die Mittelspannung stets $\sigma_m = -650$ MPa; Ober- (σ_o) und Unterspannung (σ_u) werden variiert.

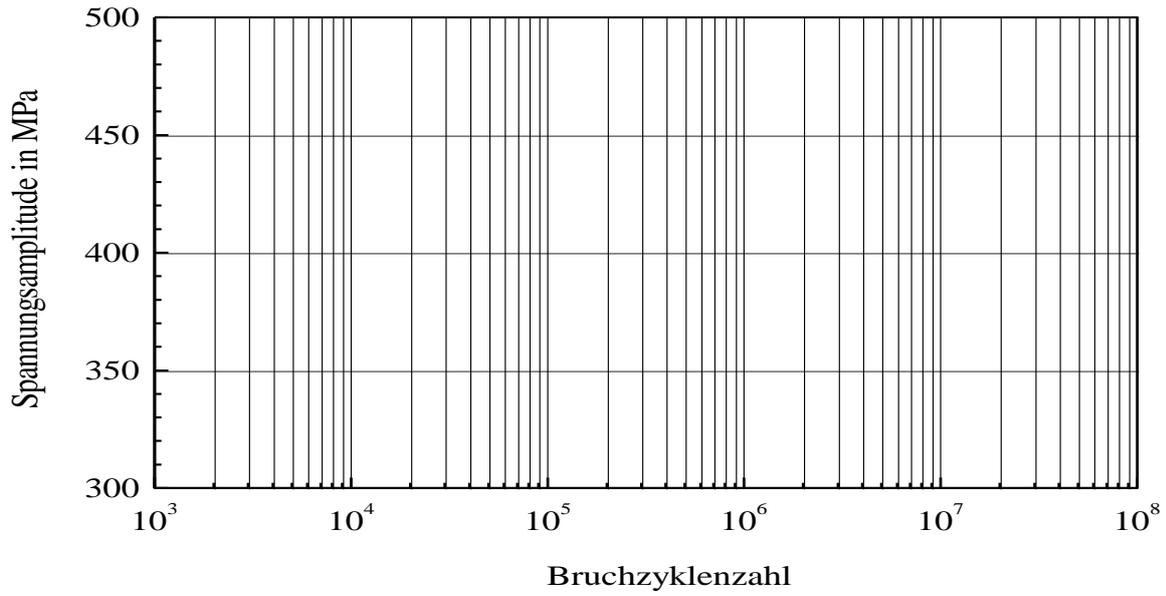
In folgender Tabelle ist für die jeweilige Ober- und Unterspannung die Anzahl der Zyklen bis zum Bruch (N_f) der Ventildeder angegeben. Tragen Sie in die Tabelle die fehlenden Werte für die Spannungsamplitude σ_a und das Spannungsverhältnis R ein!

	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7
σ_o [MPa]	-350	-320	-300	-270	-250	-220	-200
σ_u [MPa]	-950	-980	-1000	-1030	-1050	-1050	-1100
N_f	$>7 \times 10^7^*$	$>7 \times 10^7^*$	$1,01 \times 10^7$	$1,5 \times 10^6$	$3,02 \times 10^5$	$3,2 \times 10^4$	$9,12 \times 10^3$
σ_a [MPa]							
R							

*Versuch wurde nach 7×10^7 Zyklen abgebrochen. Proben werden als Durchläufer bezeichnet.

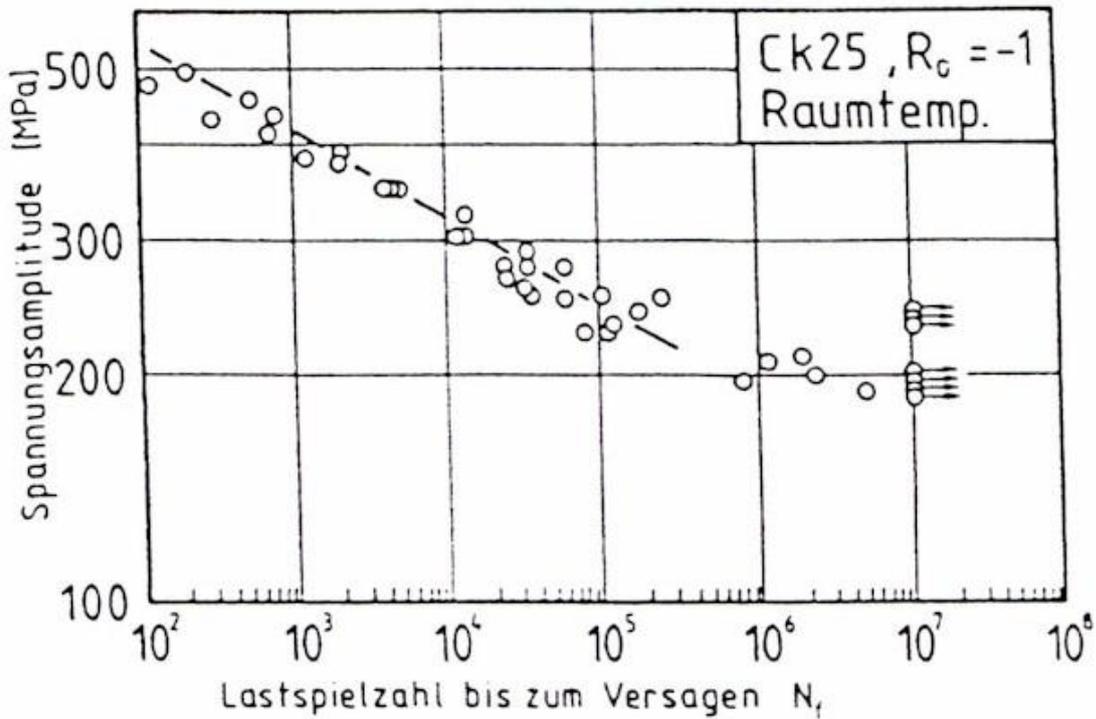
In welchem der drei möglichen Belastungsbereiche liegt die obige Ventildeder-Dauerschwinguntersuchung?

Zeichnen Sie anhand obiger Ergebnisse das Wöhler-Diagramm für die Ventildedern aus SiCr!



5. Aufgabe

Schätzen Sie aus dem Wöhler-Diagramm die Zeit bis zum Bruch einer mit $\Delta F = 9 \text{ kN}$ bei $f = 0,1 \text{ Hz}$ auf symmetrischen Zug/Druck beanspruchten Probe mit 15 mm^2 Querschnitt ab!



4. Übung: Schwerpunkt Bruchmechanik

1. Aufgabe

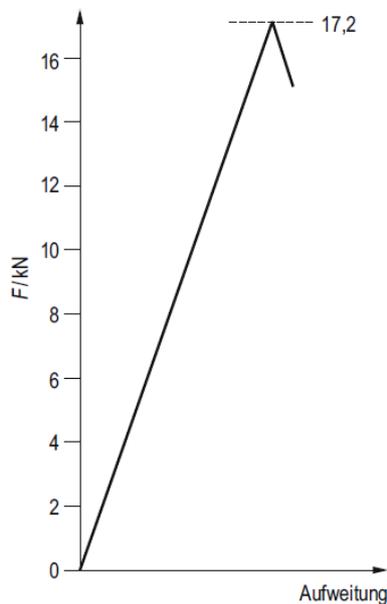
Wie wirkt sich die Anwesenheit von Kerben auf die Spannungsverteilung im Werkstoff aus?

2. Aufgabe

Die Abbildung zeigt eine Kraft-Rissaufweitungskurve, wie sie in einem K_{Ic} -Versuch an einem Vergütungsstahl 55Cr3 gemessen wurde. Beantworten Sie folgende Frage:

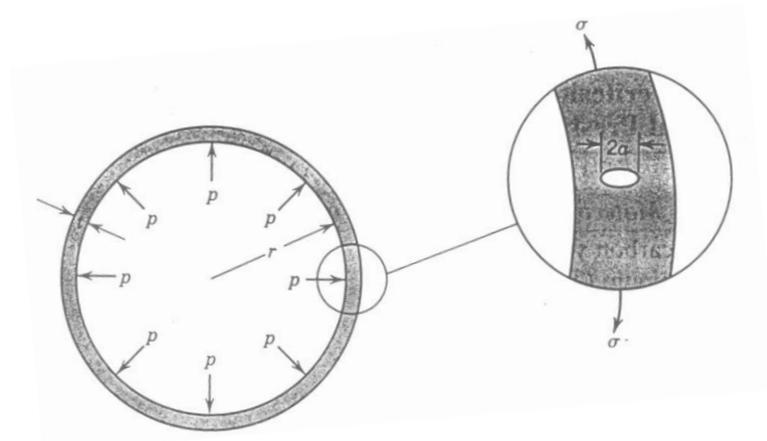
Was versteht man unter der Bruchzähigkeit eines Werkstoffes?

Geben Sie die Gleichung für die Spannungsintensität K an und erläutern Sie deren Bedeutung.



3. Aufgabe

Gegeben ist ein dünnwandiger kugelförmiger Tank mit dem Radius r , der Dicke t und einem angenommenen Riss der Länge $2a$; es herrscht der Druck p :



Für die Auswahl einer geeigneten Legierung sollen bruchmechanische Berechnungen angestellt werden.

1. Eine Möglichkeit der Auslegung fordert, dass sich das Material vor einer kritischen Rissausbreitung sichtbar dehnt bzw. verformt. Bei einer entsprechenden Sichtprüfung des Behälters kann dann schnell der Behälterdruck gesenkt werden, bevor das Material völlig versagt. Für diese Auslegung muss ein Werkstoff also eine große kritische Risslänge a_c besitzen. Ordnen Sie unter diesem Aspekt den unten angegebenen Werkstoffen eine Reihenfolge zu, angefangen beim Werkstoff mit der größten kritischen Risslänge.

2. Eine andere Art der Auslegung im Behälterbau erfolgt nach dem leak(age)before-fracture-Prinzip. Dabei ist stabiles Risswachstum mit Risslängen bis zur Kesseldicke gefordert. Der Behälter wird also undicht (er "leckt"), ohne dass es schon zum völligen Versagen kommt. Geben Sie auch für dieses Kriterium eine Reihenfolge der aufgeführten metallischen Werkstoffe an. Die Umfangsspannung für den skizzierten Kessel ergibt sich zu

$$\sigma = \frac{pr}{2t}$$

Gehen Sie von der Annahme eines ebenen Spannungszustands aus.

	Werkstoff- bezeichnung	Bruchzähigkeit K_{IC} [MPa $m^{0,5}$]	Festigkeit [MPa]	Reihenfolge Auslegung 1	Reihenfolge Auslegung 2
Al- Leg.	Al-4,4Cu-1,5Mg	44	345		
	Al-5,6Zn-2,5Mg-1,6Cu	24	495		
Stahl	Gusseisen (duktil)	45,3	552		
	17-7 PH	76,9	1435		
	G-X 40CrNi 27 4	87,4	1420		
	C 75	54	260		
Titan- Leg.	Ti-6Al-4V	44-66	910		
	Ti-6Al-6V-2Sn	33-55	1085		

5. Übung: Schwerpunkt Atomare Bindung / Metalle

1. Aufgabe

Nennen Sie die vier Werkstoffgruppen und geben Sie dafür je mindestens ein Beispiel und eine charakteristische Eigenschaft an!

2. Aufgabe

Beschreiben Sie die wesentlichen Merkmale der vier Bindungstypen.

3. Aufgabe

Bestimmen Sie die Packungsdichte einer

- Kubisch-primitiven Elementarzelle
- Kubisch-raumzentrierten Elementarzelle
- Kubisch-flächenzentrierten Elementarzelle

4. Aufgabe

Bestimmen Sie zeichnerisch die Koordinationszahlen von kfz- und hdp-Elementarzellen.

Wie unterscheiden sich die Stapelfolgen im kfz- und im hdp-Gitter?

5. Aufgabe

Wo sind die Unterschiede zwischen einem amorphen und einem kristallinen Zustand?

6. Aufgabe

Was versteht man unter der Koordinationszahl K ? Skizzieren Sie die Kristallgitter für $K = 4, 6, 8, 12$.

7. Aufgabe

Was versteht man unter den folgenden Begriffen:

- a) Kristallstruktur,
- b) Glasstruktur,
- c) Elementarzelle,
- d) Kristallsystem?

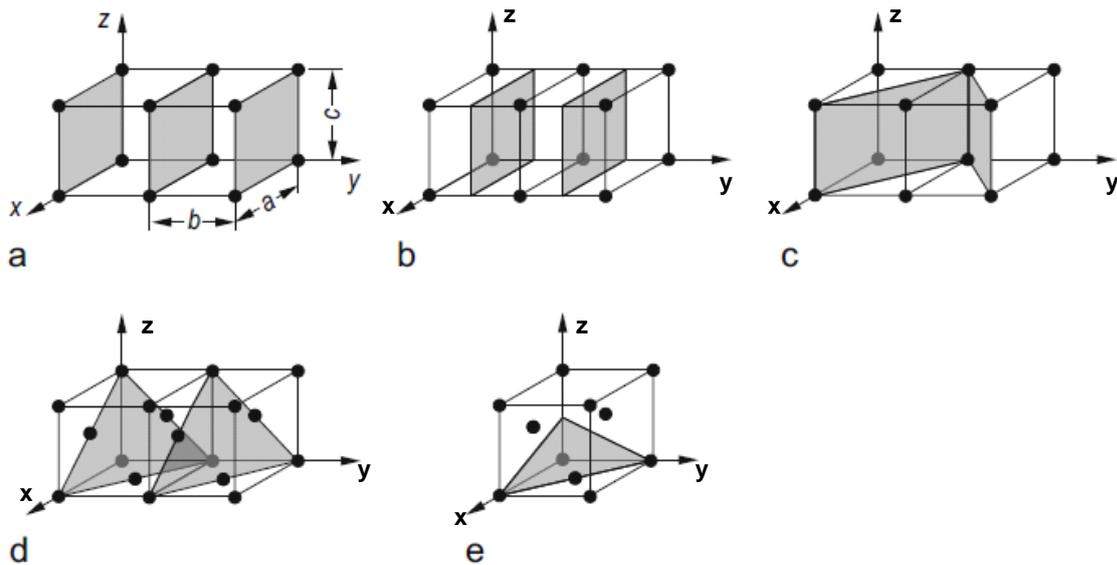
6. Übung: Schwerpunkt Millersche Indizes / Gitterbaufehler

1. Aufgabe

Wieso ist es notwendig, Kristallkoordinaten einzuführen?

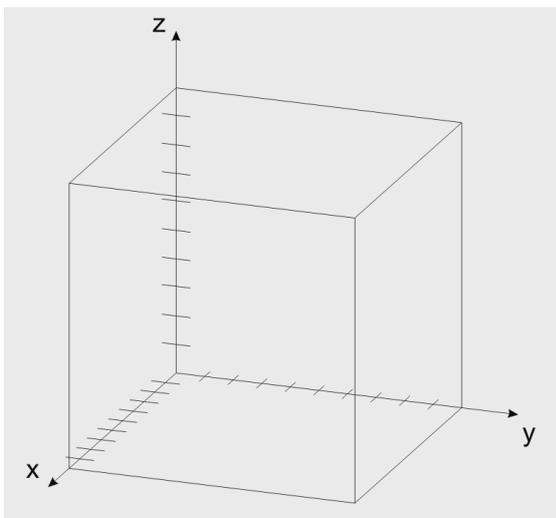
2. Aufgabe

Geben Sie die Millerschen Indizes (hkl) der in der Abbildung schraffiert eingezeichneten Kristallebenen an!



3. Aufgabe

Zeichnen Sie in die gegebene Elementarzelle eine (221)-Ebene.



4. Aufgabe

Nennen Sie mindestens je ein Beispiel für 0-, 1-, und 2-dimensionale Baufehler!

7. Übung: Schwerpunkt Versetzungen

1. Aufgabe

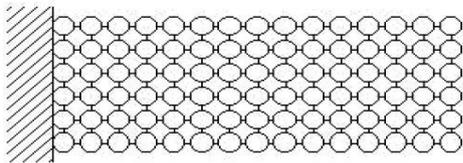
Was unterscheidet die elastische von der plastischen Verformung?

2. Aufgabe

Erklären Sie diesen Unterschied anhand von Zeichnungen.

Gegeben ist ein Balken der vereinfacht aus Atomlagen besteht. Wie ändert sich die Lage der Atomlagen zueinander bei einer elastischen und plastischen Verformung jeweils vor, während und nach Aufbringung einer Last?

Grundzustand



3. Aufgabe

Was ist die Voraussetzung für plastische Verformung?

4. Aufgabe

Zeichnen Sie jeweils eine Elementarzelle des Typs krz und kfz und fügen sie eine Gleitebene und -richtung ein! Erklären Sie wie die Gleitmöglichkeiten zu Stande kommen.

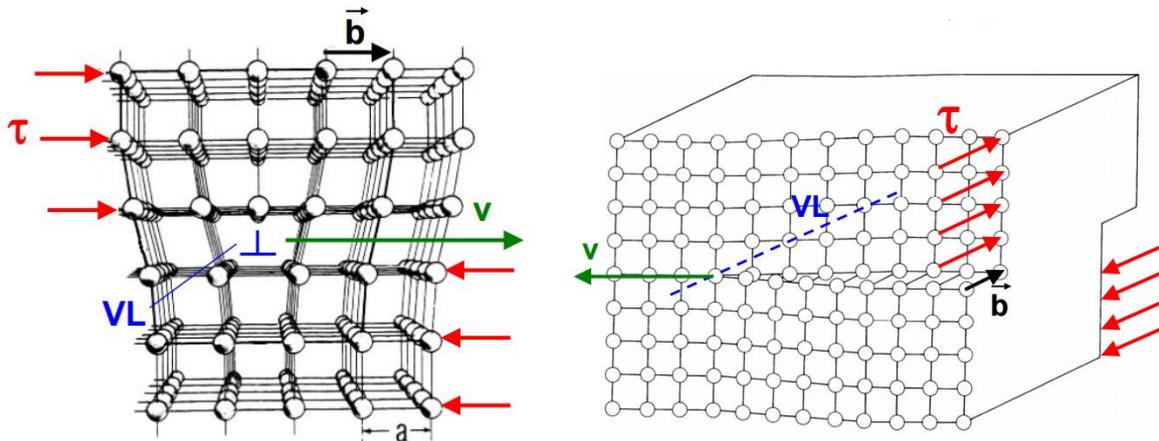
5. Aufgabe

Welche Grenzfälle von Versetzungen kennen Sie?

6. Aufgabe

Ordnen Sie die Grenzfälle den Bildern 1 und 2 zu und zeichnen Sie jeweils

- Den Burgersvektor \mathbf{b} ,
- die Richtung der Belastung,
- die Richtung der Versetzungswanderung (\mathbf{v}) ein



7. Aufgabe

Zeigen sie in einem einfachen Atomlagenmodell, wie eine Stufenversetzung durch ein Material wandert!

Welches Merkmal charakterisiert die beiden Grenzfälle eindeutig?

8. Aufgabe

Welche Möglichkeiten haben Sie, um die Versetzungsdichte zu beschreiben?

9. Aufgabe

Angenommen, in einem (würfelförmigen) Volumen sind statistisch verteilte (beliebig viele = N) gerade Linien (= Versetzungen), die alle parallel zu den Würfelkanten ($a \times a \times a$) verlaufen und damit immer an einer Oberfläche beginnen und enden. Wie hoch ist die Versetzungsdichte für dieses Volumen?

10. Aufgabe

Ein Metallwürfel der Kantenlänge $a = 10 \text{ mm}$ soll plastisch so geschert werden, dass die Oberseite um $s = 0,1 \text{ mm}$ gegenüber der Unterseite verschoben ist. Der Burgersvektor betrage $0,286 \text{ nm}$. Schätzen Sie die Anzahl der Versetzungen innerhalb des Würfels ab, die mindestens notwendig ist, um die Verformung zu ermöglichen! Nehmen Sie dazu an, dass es sich bei dem Würfel um einen kubisch primitiven Einkristall handelt, der parallel zu den Würfelkanten orientiert ist!

11. Aufgabe

Berechnen Sie die sich daraus ergebende Versetzungsdichte! Wie lang muss eine Versetzung sein, um den Würfel vollständig Abzuscheren?

8. Übung: Schwerpunkt Zustandsschaubilder

1. Aufgabe

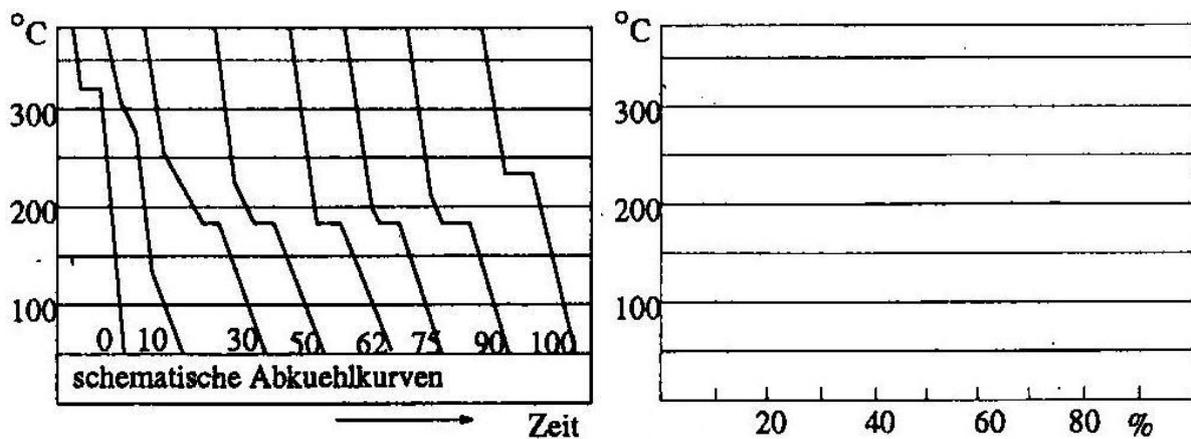
Definieren Sie die Begriffe: Phase, Komponente, Phasengemisch, Mischphase (Mischkristall), Zustandsgröße, Freiheitsgrad.

2. Aufgabe

Was lehrt das Gibbs'sche Phasengesetz hinsichtlich eines Dreiphasengleichgewichts in einem isobaren System aus zwei Komponenten?

3. Aufgabe

Wie erstellt man ein Zweiphasendiagramm?



4. Aufgabe

Wie kann man das Massenverhältnis zweier Phasen aus dem Zustandsdiagramm ermitteln?

5. Aufgabe

Berechnen Sie mit dem in Aufgabe 3 gezeichneten Diagramm die Konzentration von Schmelze und α -Mischkristall bei einer Konzentration von 30% B für 200°C.

9. Übung: Schwerpunkt Grundlagen der Wärmebehandlung

1. Aufgabe

Was ist Diffusion (sowohl in makroskopischer als auch in mikroskopischer Hinsicht)?

2. Aufgabe

Welche Bedeutung hat die Diffusion für technische Werkstoffe?

3. Aufgabe

Nennen Sie drei Diffusionsmechanismen, die in einem Festkörper ablaufen können und verdeutlichen Sie diese jeweils mit Hilfe einer Skizze!

4. Aufgabe

Nennen Sie die Fickschen Gesetze und beschreiben Sie deren Aussage in eigenen Worten!

5. Aufgabe

Gegeben sei ein Gussstück aus einer Cu-Ni Legierung mit Kornseigerungen (bei der Erstarrung entstandene Konzentrationsschwankungen).

Durchmesser der Seigerungszone: 10 μm , Diffusionskoeffizient: $5 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$ bei 850°C

- Wie lang ist die Glühzeit bei 850°C , um die Seigerungen zu beseitigen?
- Wie ändert sich diese Glühzeit, wenn der Durchmesser der Seigerungszone vor dem Glühen durch eine Kaltumformung halbiert wird?

Für den mittleren Diffusionsweg kann folgende Beziehung angenommen werden: $\bar{x} \approx \sqrt{D \cdot t}$

6. Aufgabe

Die lichtmikroskopische Untersuchung der aufgekohlten Schicht eines Stahles führt bei einer Temperatur von $T_1 = 850^\circ\text{C}$ und einer Glühdauer von $t_1 = 0,5 \text{ h}$ zu einer Einhärtetiefe von $x_1 = 0,18 \text{ mm}$.

Weiterhin sind folgende Daten bekannt:

$$D_{0,C \text{ in } \gamma\text{-Fe}} = 0,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s} \quad Q_{C \text{ in } \gamma\text{-Fe}} = 130 \text{ kJ/mol} \quad R = 8,314 \text{ J/mol K}$$

Die Tiefe der Einsatzhärte soll nun verdreifacht werden:

- a) Wie lange muss gegläht werden, wenn die Glühtemperatur gleich bleibt?
- b) Wie stark muss die Glühtemperatur angehoben werden, wenn die Glühdauer unverändert bleiben soll?