

Übungsaufgaben aus dem Gebiet
"Werkstoffkunde"

1. Aufgabe:

Gegeben sind in einem kubischen Kristallsystem (Gitterkonstante $a = 1 \text{ \AA} = 10^{-10}\text{m}$)
Netzebenenscharen mit folgenden Millerschen Indizes

(1 0 0)

(2 3 0)

(4 2 1)

Berechnen Sie die Achsabschnitte einer Ebene je Netzebenenschar und skizzieren Sie je eine Ebene. Geben Sie für jede Ebenenschar den Abstand zweier benachbarter Ebenen an. Zeichnen Sie einige aufeinanderfolgende Ebenen der Schar (2 3 0).

2. Aufgabe:

Geben Sie die Richtungen an, die in einer kubischen Elementarzelle durch folgende Punkte festgelegt sind:

- a) Ursprung und flächenzentrierende Atome.
- b) Ursprung und raumzentrierendes Atom.

3. Aufgabe:

- a) Geben Sie für das kfz und krz Gitter die dichtest gepackten Ebenen und Richtungen an.
- b) Bestimmen Sie die Packungsdichte (= Raumerfüllung) der krz bzw. kfz Elementarzelle.

Übungsaufgaben aus dem Gebiet
"Werkstoffkunde"

4. Aufgabe:

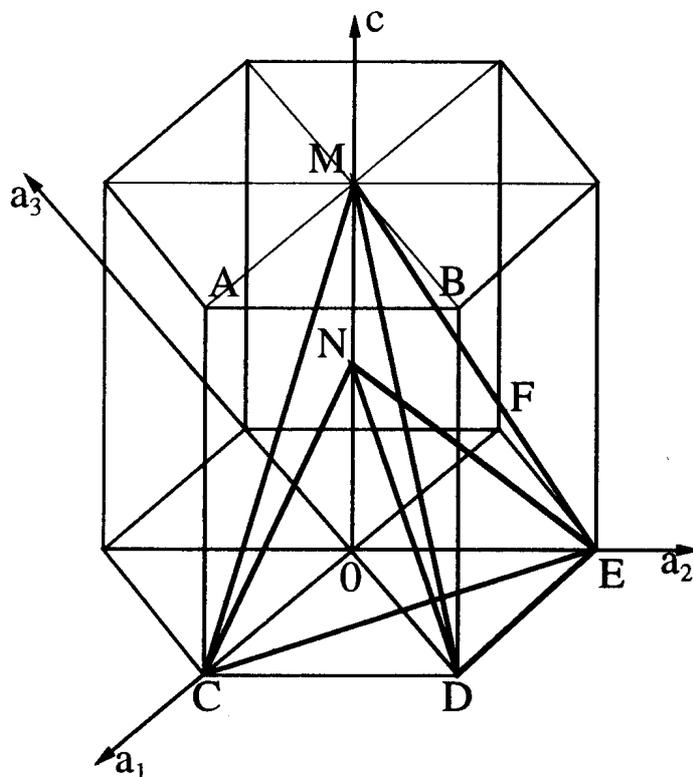
Indizieren Sie die folgenden Richtungen und Netzebenen im hexagonalen System (mit 4 Indizes):

a) Richtungen:

OC, MA, NE, OF, CA, DM

b) Ebenen:

Basisebene, CDM, CDN, DEM, ABCD, DEN.

5. Aufgabe:

Der E-Modul E , die 0,2%-Dehngrenze ($R_{p0,2}$) sowie der Koeffizient der thermischen Ausdehnung α haben für polykristallines Nickel die folgenden Werte:

$$E = 210 \cdot 10^3 \text{ MPa}, \quad R_{p0,2} = 70 \text{ MPa}, \quad \alpha = 13 \cdot 10^{-6}/\text{K}$$

Ein Stab aus diesem Material mit planparallelen Stirnflächen ist zwischen zwei absolut starren, senkrechten Seitenwänden spielfrei eingepaßt.

Der Ni-Stab wurde um 200 K erwärmt. Wird sich der Stab dabei elastisch oder plastisch verformen?

Was wird geschehen, wenn sich der Stab wieder abgekühlt hat?

Übungsaufgaben aus dem Gebiet
"Werkstoffkunde"

6. Aufgabe:

- a) Zeichnen Sie maßstäblich ein Zustandsdiagramm für ein binäres System mit den Komponenten A und B nach folgenden Angaben:

Schmelzpunkt Komponente A: 200 °C

Schmelzpunkt Komponente B: 800 °C

Peritektikale: 500 °C

Peritektischer Punkt: 60% A

Die Peritektikale erstreckt sich von 80% A bis 70% B

Bei 0 °C sind 20% B in A und 10% A in B löslich.

Zeichenmaßstab: 100 °C = 1 cm

10% A oder B = 1 cm

Alle Konzentrationsangaben in Gew.-%.

Phasengrenzlinien sind als Geraden zu zeichnen.

- b) Beschriften Sie die Zustandsfelder.
- c) Zeichnen Sie die Abkühlkurve einer Legierung 1 mit 70% A und einer Legierung 2 mit 10% A. Geben Sie stichpunktartig an, welche Vorgänge in den einzelnen Abschnitten der Abkühlung der Legierung 1 mit 70% A ablaufen.
- d) Geben Sie für 100 g der Legierung mit 70% A allgemein und quantitativ (Mengen, Zusammensetzung) die Reaktion an, die während der Abkühlung aus dem schmelzflüssigen Zustand bei der peritektischen Temperatur abläuft. Nennen Sie und geben Sie in allgemeiner Form (Formel) das Gesetz an, das Sie zur Berechnung benutzen.
- e) Geben Sie für 600 g Legierung mit 60% B quantitativ Mengen und Zusammensetzung der bei 250 °C im Gleichgewicht stehenden Phasen an.
- f) Skizzieren Sie das bei Raumtemperatur zu erwartende Schlifffbild der Legierung 1.

Übungsaufgaben aus dem Gebiet
"Werkstoffkunde"

7. Aufgabe:

- a) Zeichnen und beschriften Sie das Zustandsdiagramm, dessen Komponenten reines A und die intermetallische Verbindung A_2B_3 sind. Im flüssigen Zustand liegt vollständige gegenseitige Löslichkeit vor. Im festen Zustand ist teilweise Löslichkeit von A_2B_3 in A gegeben, A ist in A_2B_3 nicht löslich.

Phasengrenzlinien sind als Geraden zu zeichnen.

Zeichenmaßstab: 1 cm = 100 °C

15 mm = 10% A_2B_3

Es soll sein:

Atomgewicht: A_B : $2A_A$

Schmelzpunkt A_2B_3 : 1050 °C

Schmelzpunkt A: 900 °C

eutektische Temperatur: 450 °C

Löslichkeit von A_2B_3 in A: 0% bei 0 °C;

maximal 30% bei 450 °C

Eutektikum: Gesamtanteil A: 55%

- b) Zeichnen Sie die Abkühlkurve einer Legierung mit einem Gesamtanteil A von 40% und ordnen Sie die Abkühlkurve dem Zustandsdiagramm zu.
- c) Wenden Sie das Hebelgesetz bei den Temperaturen 550 °C und 300 °C auf 1000 g der Legierung an, die bei $T = 0$ °C im Gleichgewicht 80% A_2B_3 enthält. Geben Sie nicht nur die Mengen, sondern auch die Zusammensetzungen der Phasen an, die jeweils im Gleichgewicht stehen.
- d) In welchem Konzentrationsbereich des binären Systems A- A_2B_3 sind aushärtbare Legierungen zu erwarten? Kennzeichnen Sie den Bereich im Zustandsdiagramm.
- e) Welche Aushärtungsbehandlung (Temperaturangaben!) ist für diese aushärtbaren Legierungen erforderlich?

Übungsaufgaben aus dem Gebiet
"Werkstoffkunde"

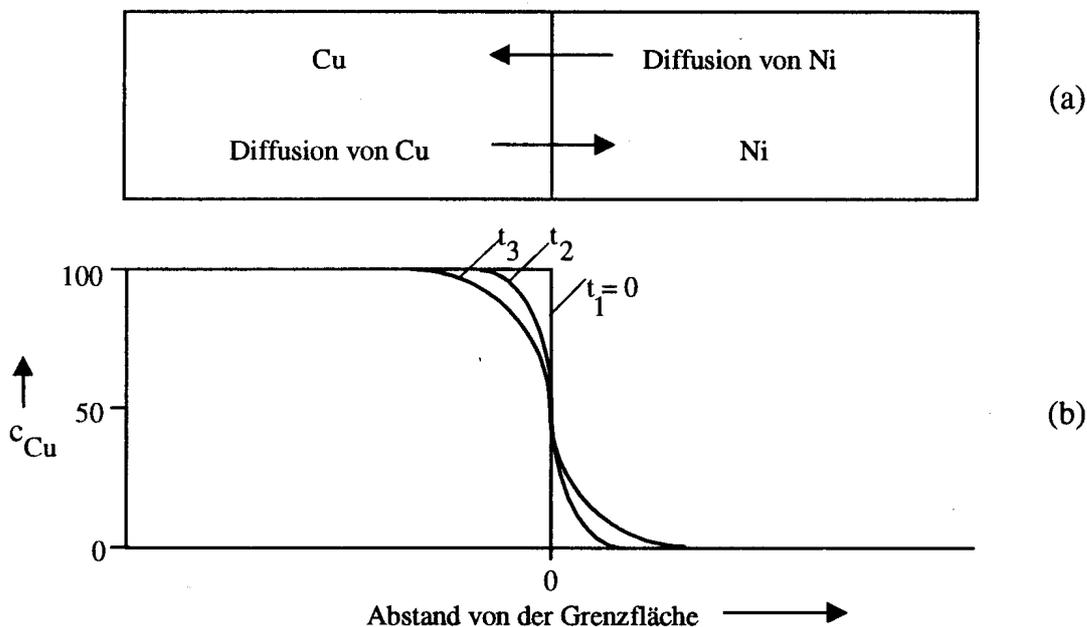
8. Aufgabe:

Der Diffusionskoeffizient D für die Volumendiffusion eines Stoffes B in einen Stoff A kann aus der mittleren Verschiebung \bar{x} abgeschätzt werden, denn es gilt:

$$\bar{x} \approx \sqrt{2Dt}.$$

\bar{x} gibt die mittlere Verschiebung aller diffundierten Atome nach der Zeit t an und ist ungefähr mit der mittleren Eindringtiefe eines Stoffes B in den Stoff A nach der Zeit t identisch.

Betrachten wir nun die Diffusion von Cu in Ni und umgekehrt, wie es die schematische Versuchsanordnung wiedergibt:



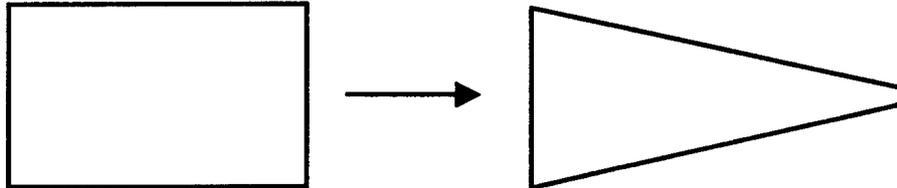
In Bild (b) ist der Konzentrationsverlauf nach verschiedenen Diffusionszeiten $t_1 < t_2 < t_3$ angegeben.

- Berechnen Sie die mittlere Eindringtiefe für den Fall, daß ein Cu- und ein Ni-Zylinder mit glatt polierten Stirnflächen miteinander in Kontakt gebracht und unter Vakuum bei 1313 K 10 min geglüht werden. Die benötigten Daten sind: Konstante $D_0 \approx 2,3 \text{ cm}^2/\text{s}$ und Aktivierungsenergie des Diffusionsprozesses $H_D \approx 252 \text{ kJ/mol}$.
- Wie lange müßte man warten, bis die gleiche mittlere Eindringtiefe bei Zimmertemperatur (298 K) erreicht würde?
- Aus Aufgabe a) ist der D -Wert bei 1313 K bekannt. Berechnen Sie noch den D -Wert bei 1173 und 1073 K und tragen Sie die drei D -Werte in ein $1/T - \ln D$ -Diagramm ein.
- Bestimmen Sie aus dem Diagramm die Aktivierungsenergie H_D .

Übungsaufgaben aus dem Gebiet
"Werkstoffkunde"

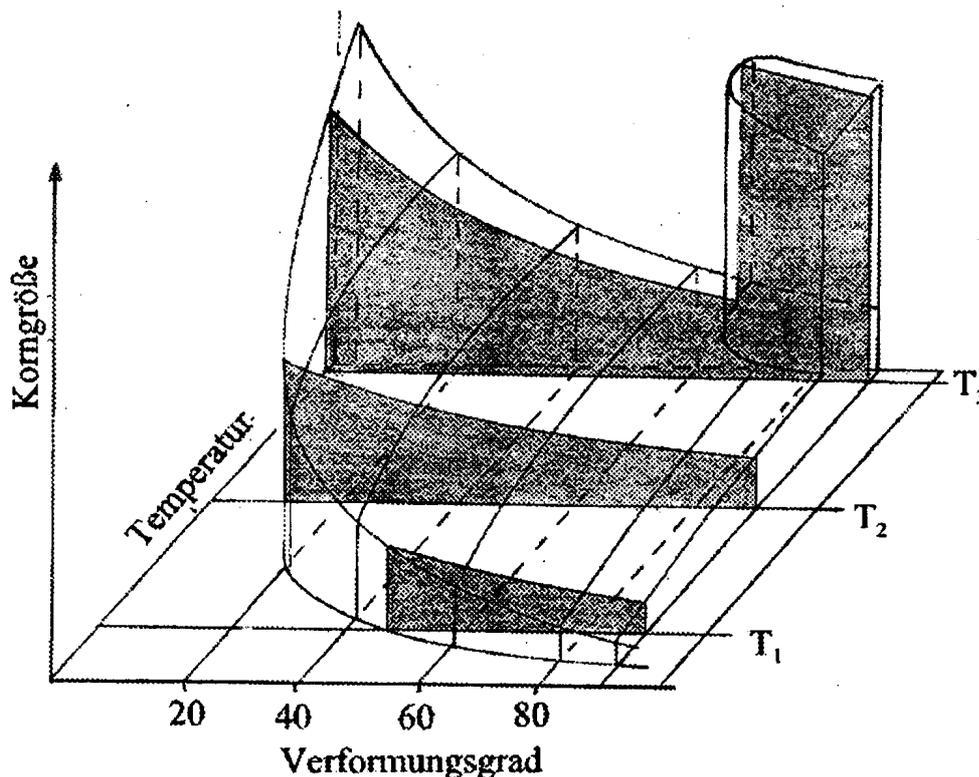
9. Aufgabe:

Ein quaderförmiges Halbzeug aus grobkörnigem Reinaluminium mit einer mittleren Korngröße von 5 mm wird zu einem Keil kaltverformt.



An der Keilspitze beträgt der Verformungsgrad 90 % und am Fuß 0%. Anschließend muß das Teil rekristallisierend gegläht werden.

- Beschreiben Sie die Unterschiede im Gefüge die sich durch die Verformung ergeben.
- Welche der drei im Rekristallisationsdiagramm angegebenen Temperaturen schlagen Sie als Rekristallisationstemperatur vor? Begründen Sie Ihre Aussage.
- Skizzieren Sie die Gefüge die sich nach einer Rekristallisation bei den Temperaturen T_1 , T_2 und T_3 ergeben.
- Nennen Sie die treibenden Kräfte der primären und der sekundären Rekristallisation.
- Welcher Unterschied besteht zwischen Erholung und Rekristallisation



Übungsaufgaben aus dem Gebiet
"Werkstoffkunde"

10. Aufgabe:

An einen zylindrischen stabförmigen Einkristall aus Al wird axial eine Zugspannung σ angelegt. Die Stabachse sei die [100] - Richtung.

- a) Skizzieren Sie die Lage der Gleitsysteme an Hand einer Elementarzelle.
- b) Wie groß ist die Schubspannung im Hauptgleitsystem?
- c) Wie groß ist die Schubspannung in den übrigen Gleitsystemen?

11. Aufgabe:

- a) Bei einem Zugversuch mit einem Stahlstab rechteckigen Querschnittes wurden bei den einzelnen Belastungsstufen folgende Werte für die Zunahme der Dehnungsmeßlänge gemessen:

Tabelle 1:

F [kN]	3,2	6,4	9,6	12,8	16,0	19,2	22,4	25,6	28,8	32,0	33,6	32,0
Δl [μm]	3,8	7,4	11,4	15,2	19	24	32,8	46,5	108	205	270	310

Die Meßlänge des Dehnungsmeßgerätes betrug 20 mm. Der Zugstab hatte eine Querschnitt von $5 \cdot 16 \text{ mm}^2$.

Man zeichne das durch die obigen Meßergebnisse festgelegte Spannungs-Dehnungs-Diagramm und bestimme den E-Modul, die 0,2% Dehngrenze, $R_{p0,2}$ die technische Elastizitätsgrenze $R_{p0,01}$ und die Zugfestigkeit R_m .

Zur Bestimmung der Bruchdehnung A_5 waren vor dem Versuch auf dem Probestab Meßmarken von jeweils 5 mm Abstand angebracht. Die dadurch festgelegte Meßlänge hatte nach dem Versuch (Aneinanderlegen der beiden Bruchstücke) eine Länge von 62,6 mm. Wie groß ist die Bruchdehnung A_5 ?

Übungsaufgaben aus dem Gebiet
"Werkstoffkunde"

12. Aufgabe:

Gegeben ist das isothermische und das kontinuierliche ZTU-Diagramme eines Stahles.

- a) Worin liegt der Unterschied zwischen einem isothermischen und einem kontinuierlichen ZTU-Diagramm?
- b) Wann beginnt im isothermischen ZTU-Schaubild die Zeitählung?
- c) Zeichnen Sie in das isothermische ZTU-Schaubild den Zeit-Temperatur-Verlauf für die schnellste Umwandlung in Ferrit und Perlit ein.
- d) Welchen Einfluß hat eine um 50°C höhere Temperaturführung bei der Behandlung?
- e) Welche Gefüge mit Mengenangabe in Prozent erhält man bei kontinuierlicher Abkühlung entsprechend der eingezeichneten Abkühlungskurven 1 bis 4? Welche Härtewerte werden erreicht?

Blatt 9

Übungsaufgaben aus dem Gebiet
"Werkstoffkunde"

Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubild
(isothermisch)

Chemische Zusammensetzung in %	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	Ta/Nb
	0,19	0,38	1,12	0,037	0,036	0,28	0,98	0,27	0,79	Spuren

Austenitisierungstemperatur 870°C
(Haltezeit 5 min) aufgeheizt in 1 min

A Bereich des Austenits
 F Bereich der Ferritbildung
 P Bereich der Perlitbildung
 Zw Bereich der Zwischenstufen-Gefügebildung
 M Bereich der Martensitbildung
 ○ Härtewerte in HRC bzw. in HRb
 40; 60 Gefügeanteile in %

Austenitisierungstemperatur 1050°C
(Haltezeit 8 min) aufgeheizt in 3 min

A Bereich des Austenits
 F Bereich der Ferritbildung
 P Bereich der Perlitbildung
 Zw Bereich der Zwischenstufen-Gefügebildung
 M Bereich der Martensitbildung
 ○ Härtewerte in HRC bzw. HRb
 1, 3... Gefügebestandteile in %

Übungsaufgaben aus dem Gebiet
"Werkstoffkunde"

13. Aufgabe:

Mischkristalle zeigen verglichen mit Reinmetallen veränderte mechanische Eigenschaften.

- a) Zeigen Sie diese Tatsache anhand von Spannungs-Dehnungs-Diagrammen.
- b) Zeigen Sie anhand einer Skizze wie die Streck- bzw. Dehngrenze von der Konzentration der Fremdatome, in einem System mit lückenloser Mischkristallbildung, abhängt.
- c) Nach welchen Modellen können diese Veränderungen beschrieben werden? Erläutern Sie diese Modelle.

14. Aufgabe:

Proben aus einer kalt- und warmaushärtbaren Aluminiumlegierung werden nach dem Lösungsglühen abgeschreckt und bei $T_1 = \text{Raumtemperatur}$ und den erhöhten Temperaturen T_2 und T_3 , $T_2 < T_3$, ausgelagert.

- a) Welcher Verlauf der Härteisothermen ist zu erwarten? (Diagramm!)
- b) Worauf ist der Härteverlauf zurückzuführen? (Kurze Erklärung, evtl. Skizze)
- c) Nach welchen Modellen kann man die Härteänderungen beschreiben und für welche Gefügestände treffen die Modelle zu?
(Skizze, stichpunktartige Erläuterung)
- d) Nennen Sie eine typische kaltaushärtende Al-Legierung. Beschreiben Sie die Mechanismen die zur Härtesteigerung führen.

15 Aufgabe:

- a) Nennen Sie die Hauptlegierungselemente gebräuchlicher Aluminium-Legierungen.
- b) Wodurch unterscheiden sich Al-Gußlegierungen von Al-Knetlegierungen? Nennen Sie Beispiele für beide Legierungstypen.
- c) Welche qualitative Zusammensetzung haben aushärtbare und nicht aushärtbare Al-Legierungen?
- d) Welchen E-Modul haben Al-Legierungen? Welche Werte erreichen die Zugfestigkeit?

Übungsaufgaben aus dem Gebiet
"Werkstoffkunde"

16. Aufgabe:

- a) Welche Systeme zur Kennzeichnung von Legierungen kennen Sie?
- b) Was bedeuten folgende Werkstoffbezeichnungen
- | | | | |
|----|------------------|-----|--------------|
| 1. | AlZnMgCu 0,5 | 8. | 7075 T 7351 |
| 2. | Ck 15 | 9. | 3.1354 |
| 3. | St 70 | 10. | AlCuMg 2 |
| 4. | GD-ALSi7Cu 3 | 11. | MA 6000 |
| 5. | X 50 CrMnNi 22 9 | 12. | 800 H |
| 6. | 39 CrMoV 13 9 | 13. | Nimonic 80 A |
| 7. | V 2 A | | |

17. Aufgabe:

- a) Leiten Sie die Beziehung für den kritischen Volumenanteil V_C und den zur Erzielung einer Verstärkung notwendigen Volumenanteil V_{\min} für einen Verbundwerkstoff mit Endlosfasern her.
- b) Wie hoch ist V_C und V_{\min} für einen Verbundwerkstoff bestehend aus einer AlCuMg 1 Legierung ($\sigma_B = 380 \text{ Mpa}$, $\sigma_{0,2} = 230 \text{ MPa}$) mit SiC-Fasern ($\sigma_B = 2700 \text{ MPa}$, $E = 187 \text{ GPa}$, $d = 150 \text{ }\mu\text{m}$)?

~~Lösung Aufgabenteil~~

allgemein:

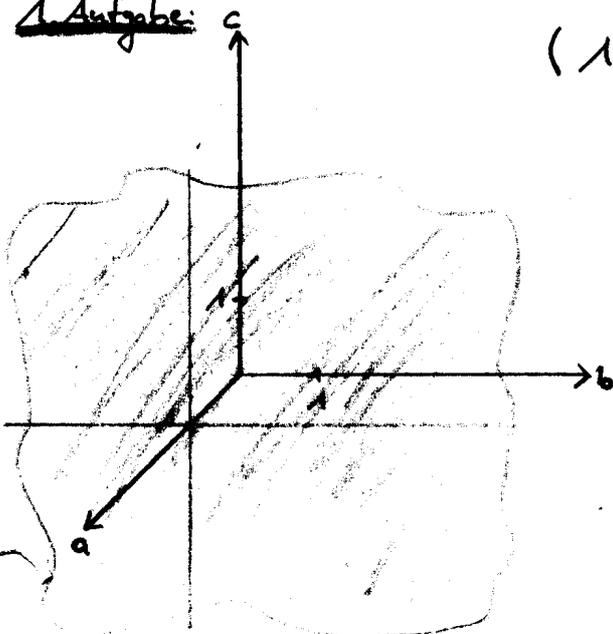
$(h k l)$	Ebene
$[h k l]$	Richtung
$\{h k l\}$	Ebenenschar
$\langle h k l \rangle$	Richtungen gleichen Typs

$$d_{(hkl)} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

1. Aufgabe:

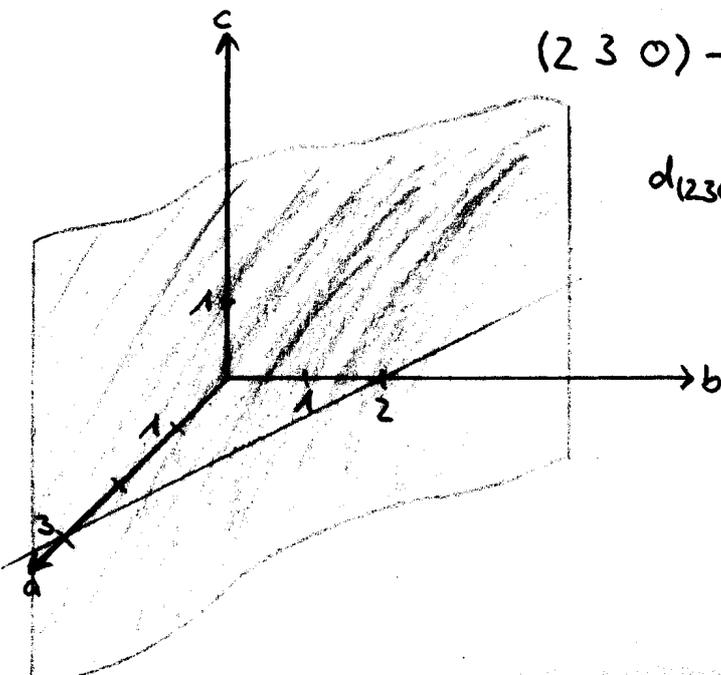
$$(100) \rightarrow 1, \infty, \infty$$

$$d_{(100)} = \frac{10^{-10} \text{ m}}{\sqrt{1^2 + 0^2 + 0^2}} = 10^{-10} \text{ m}$$



$$(230) \rightarrow \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \infty \rightarrow \frac{3}{6}, \frac{2}{6}, \infty \rightarrow 3, 2, \infty$$

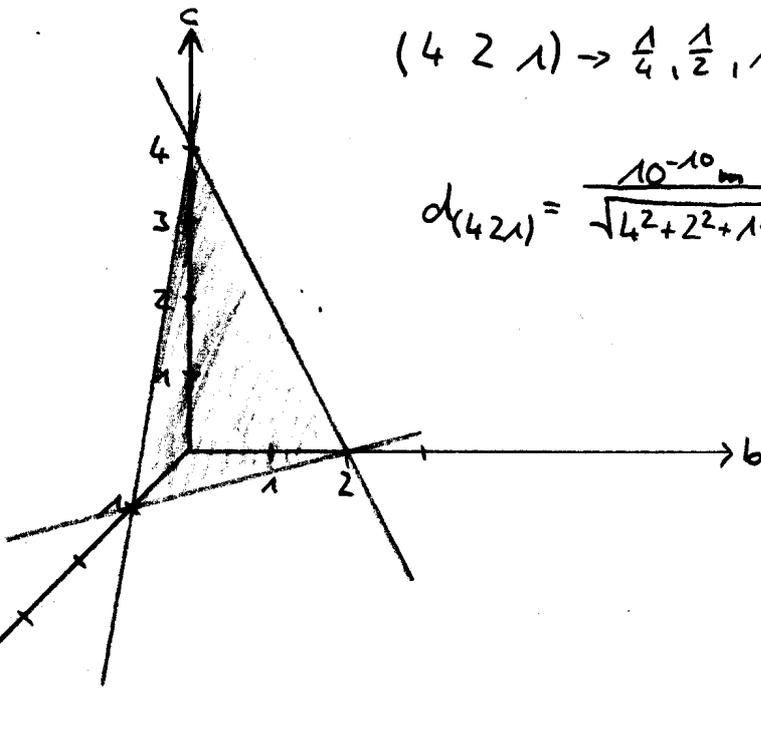
$$d_{(230)} = \frac{10^{-10} \text{ m}}{\sqrt{2^2 + 3^2 + 0^2}} = \frac{1}{\sqrt{13}} \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

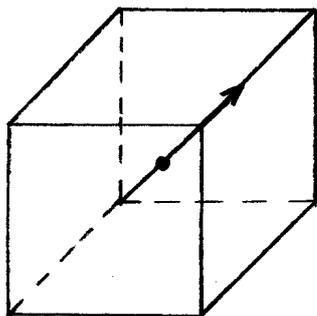


21.11.2000

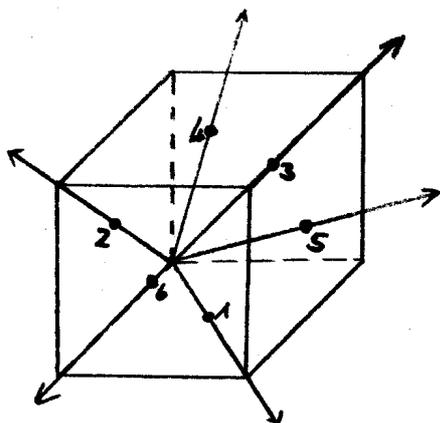
$$(4 \ 2 \ 1) \rightarrow \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, 1 \rightarrow \frac{1}{4}, \frac{2}{4}, \frac{4}{4} \rightarrow 1, 2, 4$$

$$d_{(421)} = \frac{10^{-10} \text{ m}}{\sqrt{4^2 + 2^2 + 1^2}} = \frac{1}{\sqrt{21}} \cdot 10^{-10} \text{ m}$$



2. Aufgabe:

kubisch-raumzentriert:

Ursprung $0,0,0$ r2-Atom $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$ → Richtung $[1,1,1]$ (bei Richtungen keine Kehrwertbildung!)

kubisch-flächenzentriert:

- | | | |
|---|-----------|---------------------------|
| 1 | $[1,1,0]$ | } $\langle 1,1,0 \rangle$ |
| 2 | $[1,0,1]$ | |
| 3 | $[0,1,1]$ | |
| 4 | $[1,1,2]$ | } $\langle 2,1,1 \rangle$ |
| 5 | $[1,2,1]$ | |
| 6 | $[2,1,1]$ | |

3. Aufgabe:

a) krz ⇒ dichtest gepackte Richtung $\langle 1,1,0 \rangle$
 dichtest gepackte Ebene $(1,1,1)$

krz ⇒ dichtest gepackte Richtung $\langle 1,1,1 \rangle$
 dichtest gepackte Ebene $(1,0,1)$

Fortsetzung Aufgabe 3:

$$\text{Kfz: } n=4 \frac{A_4}{E_2}$$

$$V_{A_4} = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \quad ; \quad r = \frac{a\sqrt{2}}{4}$$

$$\rho = \frac{n \cdot V_{A_4}}{a^3} = \frac{4 \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot \left(\frac{a\sqrt{2}}{4}\right)^3}{a^3} = \frac{\pi}{3\sqrt{2}}$$

$$= 0,74 = \underline{74\%}$$

$$\text{Kfz: } n=2$$

$$r = \frac{a\sqrt{3}}{4}$$

$$\rho = \frac{2 \cdot \frac{4}{3} \pi \left(\frac{a\sqrt{3}}{4}\right)^3}{a^3} = \frac{\pi\sqrt{3}}{8}$$

$$= 0,68 = \underline{68\%}$$

Aufgabe 4:

a) hexagonal $(h \ k \ i \ 1) \Rightarrow h+k+i=0 \Leftrightarrow h+k=i$

$$OC \rightarrow 1 \ \bar{1} \ \bar{1} \ 0$$

$$[2 \ 1 \ \bar{1} \ 0]$$

$$MA [2 \ \bar{1} \ \bar{1} \ 0]$$

$$NE [2 \ 1 \ 1 \ 0]$$

$$CA [0 \ 0 \ 0 \ 1]$$

$$DM [\bar{1} \ \bar{1} \ 2 \ 2]$$

b) Basis:

$$CDM \ 1, \infty, -1, 1 \ ; \ DEN \ \infty, 1, -1, \frac{1}{2}$$

$$(1 \ 0 \ \bar{1} \ 1) \quad (0 \ 1 \ \bar{1} \ 2)$$

$$CDM \ 1, \infty, -1, \frac{1}{2}$$

$$(1 \ 0 \ \bar{1} \ 2)$$

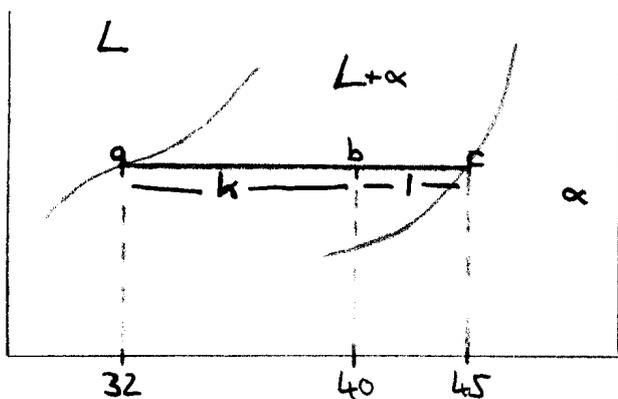
$$DEM \ \infty, 1, -1, 1$$

$$(0 \ 1 \ \bar{1} \ 1)$$

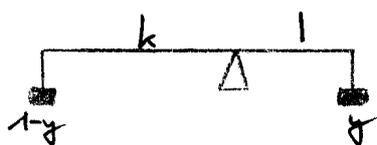
$$ABCD \ 1, \infty, -1, \infty$$

Das Hebelgesetz

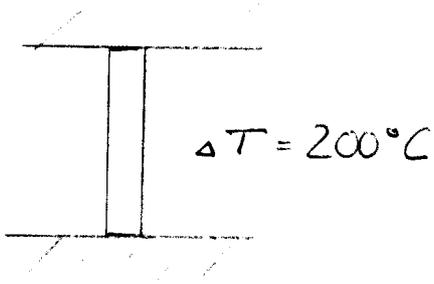
angewandt bei Bestimmung und Beschreibung von Legierungen



gewicht in % Nickel (in der Legierung)



$$\frac{k}{l} = \frac{y}{1-y} = \frac{\% Ni \text{ in } Leg}{\% Ni \text{ in } l} = \frac{61,5}{38,5}$$

5. Aufgabe:

thermische Ausdehnung: $l = l_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$

Dehnung: $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$

Hook'sches Gesetz: $\sigma = E \cdot \epsilon$

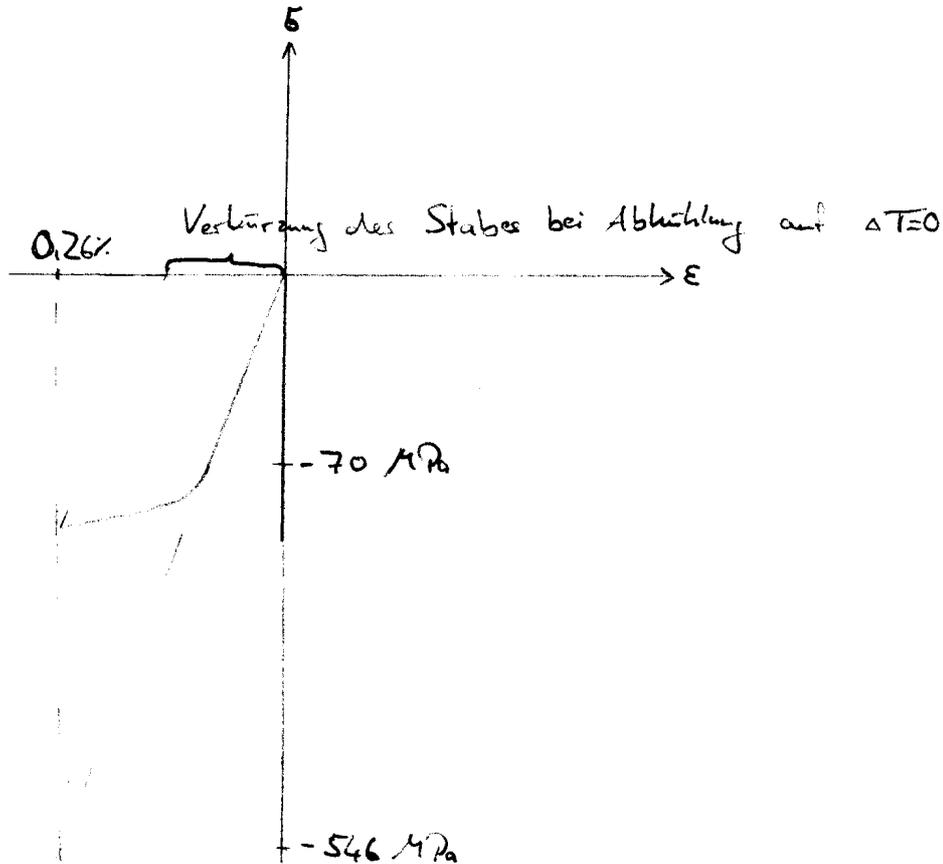
$$\epsilon = \frac{l_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) - l_0}{l_0} = \alpha \cdot \Delta T$$

$$\epsilon = \Delta T \cdot \alpha = 200 \text{ K} \cdot 13 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1} = 2,6 \cdot 10^{-3} = 0,26\%$$

(Gesamtdelhnung: plastisch & elastisch)

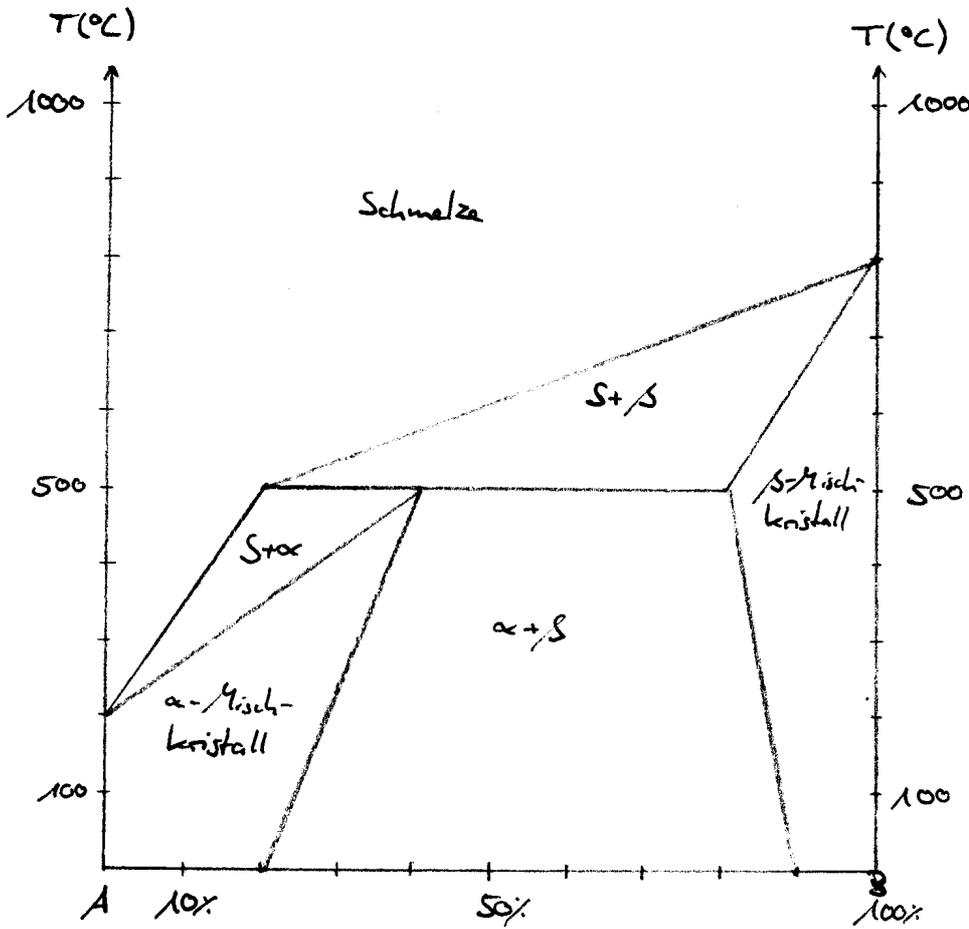
$$\sigma = E \cdot \epsilon = 2,6 \cdot 10^{-3} \cdot 210 \cdot 10^3 \text{ MPa} = 546 \text{ MPa} > R_{p0,2} = 70 \text{ MPa}$$

=> plastische Verformung



6. Aufgabe:

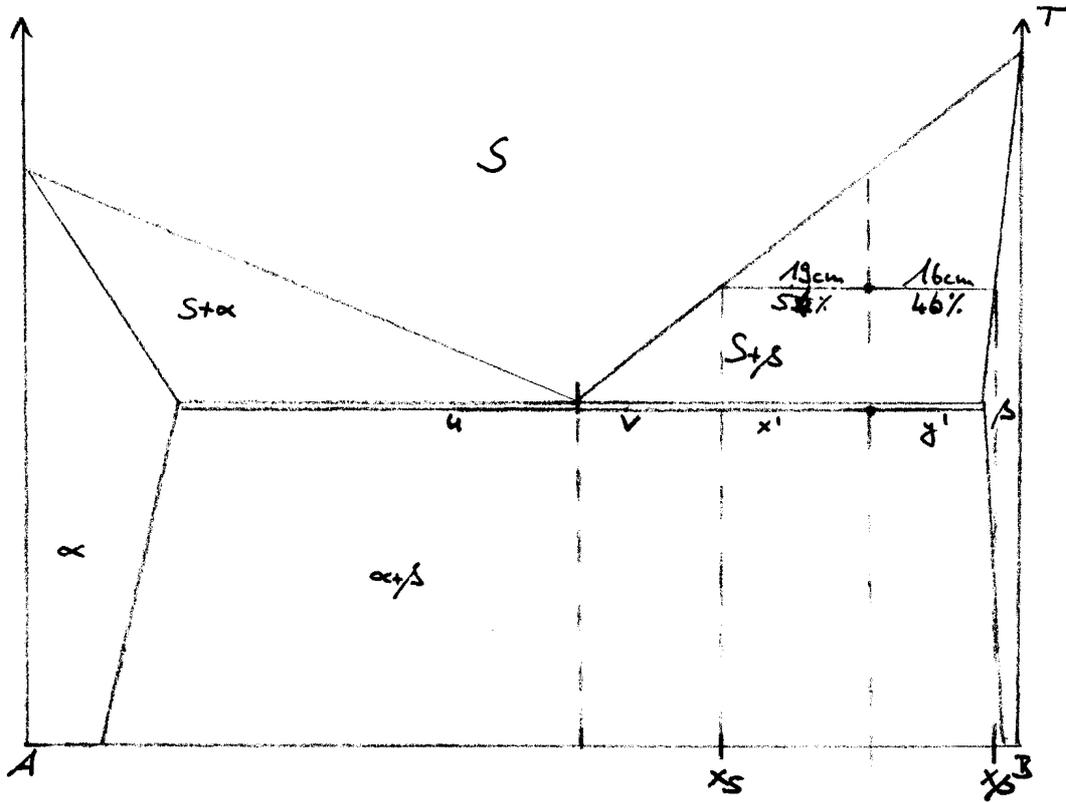
a) Kipp'sche Phasengleichung $P + F = K + 1$
 $(3 + 0) = (2 + 1)$



Peritektikum: $S + \beta \rightarrow \alpha$ \Rightarrow Bildungsgleichgewicht
 (Abkühlung)

Eutektikum: $S \rightarrow \alpha + \beta$ \Rightarrow Zerfallgleichgewicht
 (Abkühlung)

Anwendung des Hebelgesetzes:



1: S-Mischkristall: 15% A ; 85% B

Schmelze: 50% A ; 50% B

$$\frac{\beta}{\text{Schmelze}} = \frac{19 \text{ cm}}{16 \text{ cm}} \rightarrow m_{\beta} = \frac{19}{(16+19)} \cdot m_{\text{ges}}$$

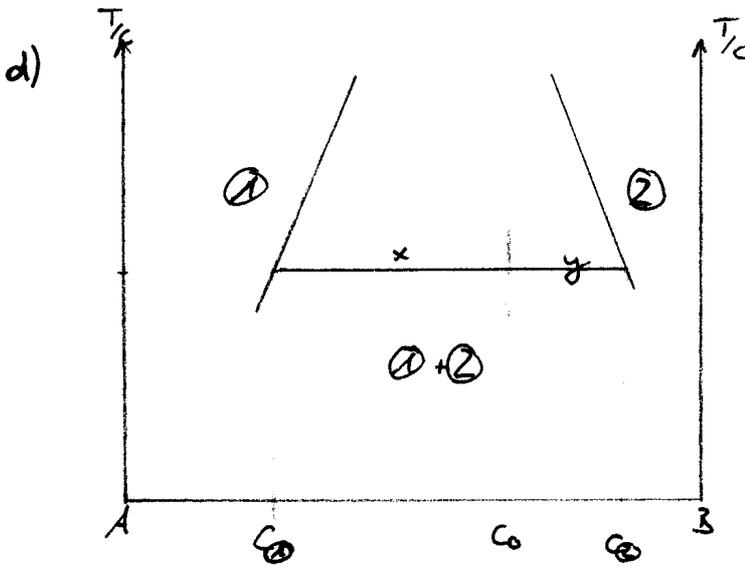
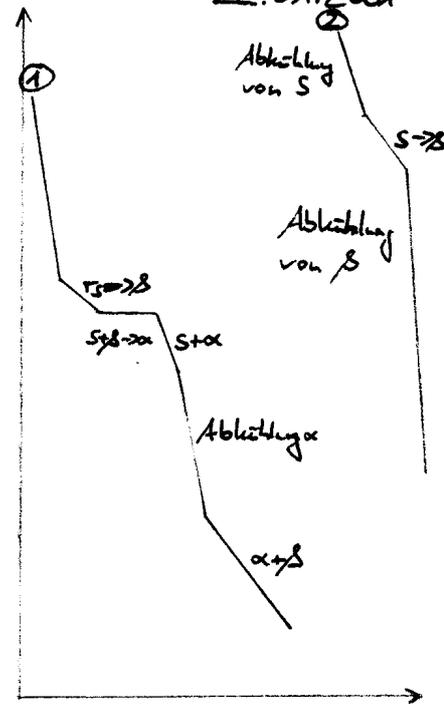
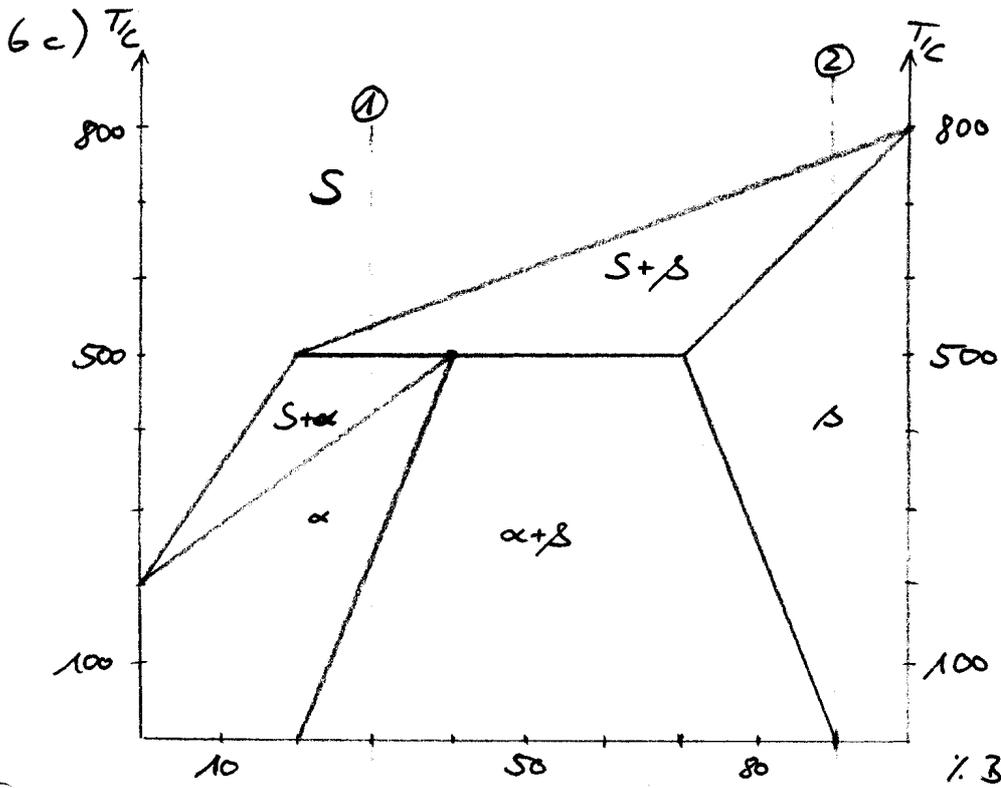
2: T_E-AT: $m_{\alpha} = \frac{y'}{x' + y'} \cdot m_{\text{ges}} = m_{\alpha \text{ at}}$

ΔT_E+ΔT: $m_{\beta} = \frac{y}{x+y} \cdot m_{\text{ges}}$; $m_{\alpha} = \frac{x}{x+y} \cdot m_{\text{ges}}$

$$T_{E \text{ max}} = \frac{v}{u+v} \cdot m_{\beta}$$

$$m_{\beta} = \frac{u}{u+v} \cdot m_{\beta}$$

$$m_{\beta} = \frac{x'}{x+y'} \cdot m_{\text{ges}} = m_{\beta \text{ prim}} + m_{\beta \text{ sek}}$$



Hebelgesetz: $\frac{m_{\textcircled{1}}}{m_{\textcircled{2}}} = \frac{C_2 - C_0}{C_0 - C_1} = \frac{y}{x}$

$m_{\textcircled{1}} = \frac{y}{x+y} \cdot m_{\text{ges}}$

$m_{\textcircled{2}} = \frac{x}{x+y} \cdot m_{\text{ges}}$

peritektischer Punkt: $S + \beta \rightarrow \alpha$

$T > 500^\circ\text{C}$: S: 80% A, 20% B

β : 30% A, 70% B

$T < 500^\circ\text{C}$: S: 80% A, 20% B

α : 60% A, 40% B

22.01.2001

Reaktionsbeginn:

$$m_S = \frac{4}{4+1} \cdot 100g = 80g \quad (64g A, 16g B)$$

$$m_B = \frac{1}{1+4} \cdot 100g = 20g \quad (6g A, 14g B)$$

Reaktionsende:

$$m_S = \frac{1}{1+1} \cdot 100g = 50g \quad (40g A, 10g B)$$

$$m_B = \frac{1}{1+1} \cdot 100g = 50g \quad (30g A, 20g B)$$

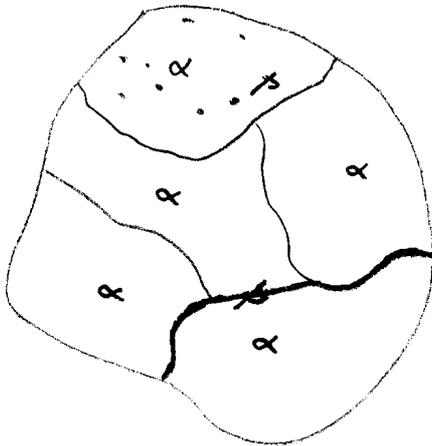
e) 250°C: α : 70% A , 30% B

β : 20% A , 80% B

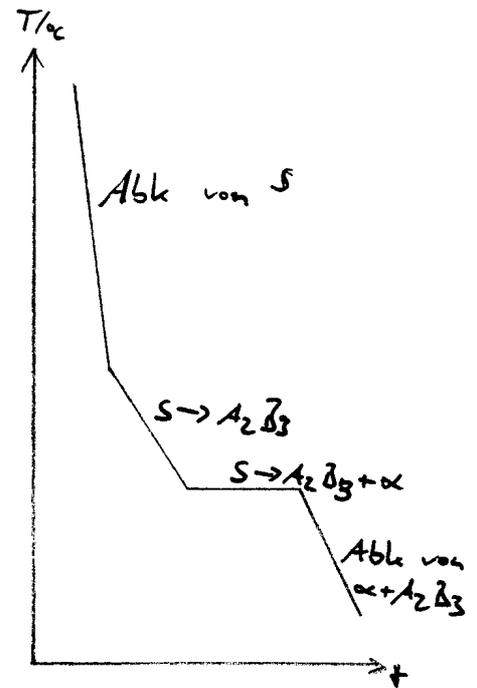
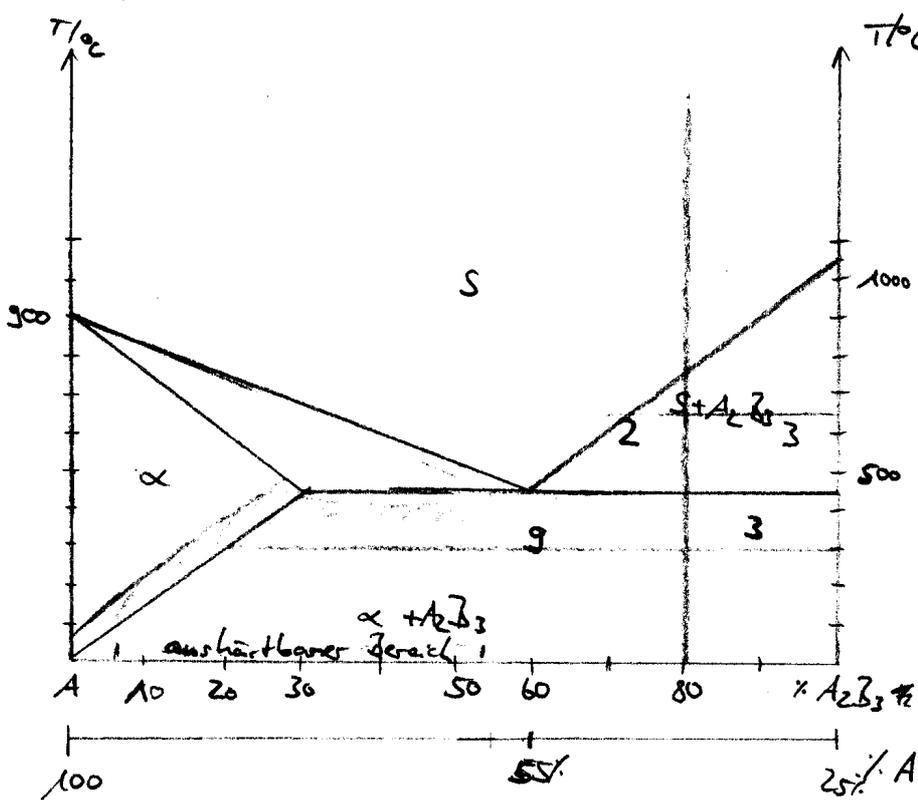
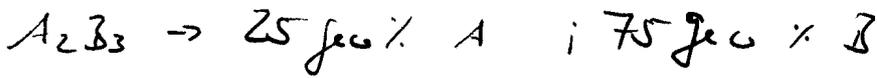
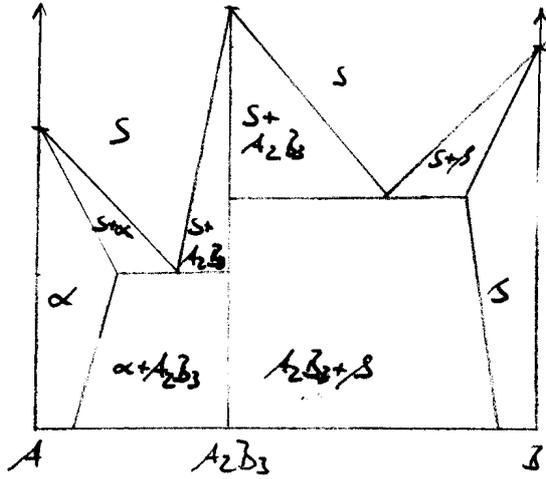
$$m_\alpha = \frac{2}{5} \cdot 600g = 240g$$

$$m_\beta = \frac{3}{5} \cdot 600g = 360g$$

f)



7. Aufgabe:



c) $1000g$ $80\% A_2B_3$ $20\% A$ \Rightarrow $60\% B$ $40\% A$

$T = 550^\circ C$: $m_S = \frac{3}{5} \cdot 1000g = 600g$ $\left\{ \begin{array}{l} 50\% A = 300g A \\ 50\% B = 300g B \end{array} \right.$

$m_{A_2B_3} = \frac{2}{5} \cdot 1000g = 400g$ $\left\{ \begin{array}{l} 25\% A = 100g A \\ 75\% B = 300g B \end{array} \right.$

$$T = 300^\circ \text{C} : m_{\text{ox}} = \frac{3}{12} \cdot 1000 \text{g} = 250 \text{g} \left\{ \begin{array}{l} 85\% \text{ A} = 212,5 \text{g A} \\ 15\% \text{ B} = 37,5 \text{g B} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} 29.01.2001 \\ 29.01.2001 \end{array}$$

$$m_{\text{A2B3}} = \frac{9}{12} \cdot 1000 \text{g} = 750 \text{g} \left\{ \begin{array}{l} 25\% \text{ A} = 187,5 \text{g A} \\ 75\% \text{ B} = 562,5 \text{g B} \end{array} \right.$$

8. Aufgabe:

a) $D = D_0 \cdot \exp\left\{\frac{H_D}{R \cdot T}\right\}$

$$D_{1313} = 2,3 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \cdot \exp\left\{-\frac{25 \cdot 2 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 1313 \text{K}}\right\} = 2,17 \cdot 10^{-10} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

$$\bar{x} = \sqrt{2Dt} = \sqrt{2 \cdot 2,17 \cdot 10^{-10} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \cdot 600 \text{s}} = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{cm} = 5,1 \mu\text{m}$$

bei 25°C : $D_{27} = 1,56 \cdot 10^{-4} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} ; t = \frac{\bar{x}^2}{2D} = 8,4 \cdot 10^{36} \text{s}$

$$= 1,4 \cdot 10^{35} \text{min}$$

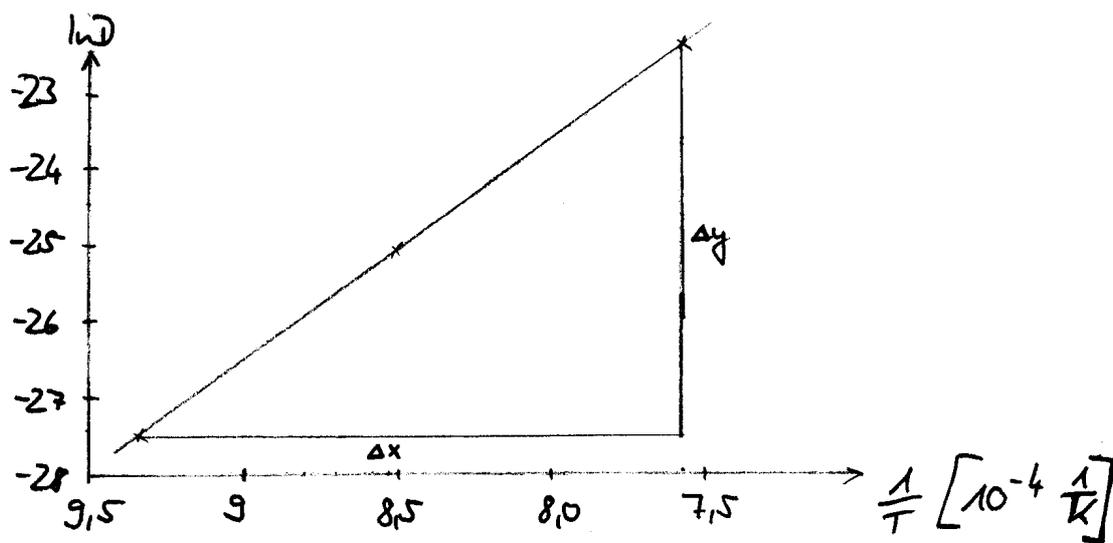
$$= 2,3 \cdot 10^{33} \text{h}$$

$$= 9,7 \cdot 10^{31} \text{d}$$

$$= 2,66 \cdot 10^{29} \text{a}$$

Aufgabe 8:

T	$\frac{1}{T}$	D	$\ln D$
1073 K	$9,32 \cdot 10^{-4}$	$1,24 \cdot 10^{-12}$	-27,42
1173 K	$8,53 \cdot 10^{-4}$	$1,38 \cdot 10^{-11}$	-25,01
1313 K	$7,62 \cdot 10^{-4}$	$2,17 \cdot 10^{-10}$	-22,25



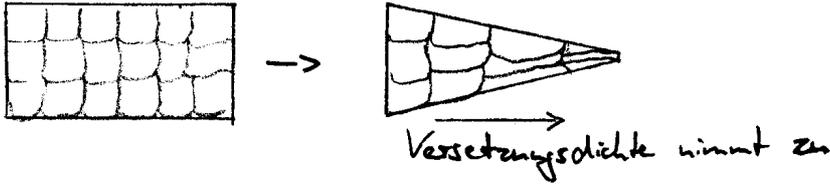
$$D = D_0 \cdot \exp \left[-\frac{H_D}{R \cdot T} \right]$$

$$\ln D = \ln D_0 - \frac{H_D}{R \cdot T} = \ln D_0 - \underbrace{\frac{H_D}{R}}_{\text{Steigung } m} \cdot \frac{1}{T}$$

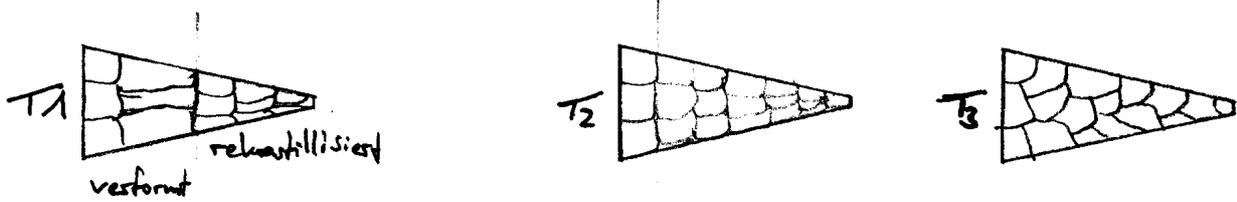
$$\rightarrow H_D = -m \cdot R$$

$$; m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{5}{-1,64 \cdot 10^{-4} \frac{1}{K}} = -30,488 K$$

$$H_D = -m \cdot R = 30,488 K \cdot 8,314 \frac{J}{\text{mol} \cdot K} = 253477 \frac{J}{\text{mol}}$$



Gefüge nach Rekristallisation

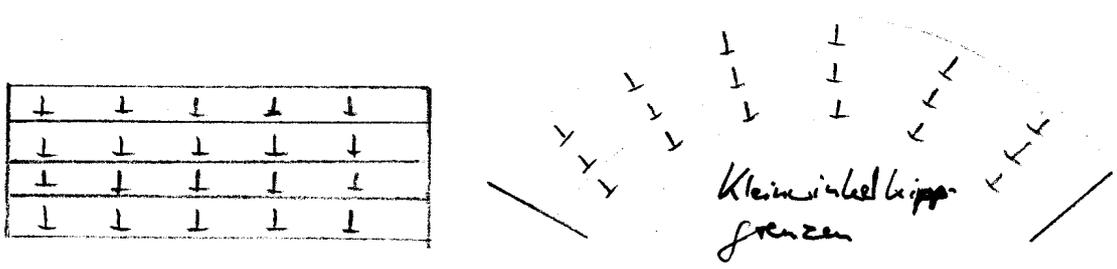


primäre Rekristallisation

Abbau der Verformungsenergie ; Versetzungsdichte ↓

sekundäre Rekristallisation

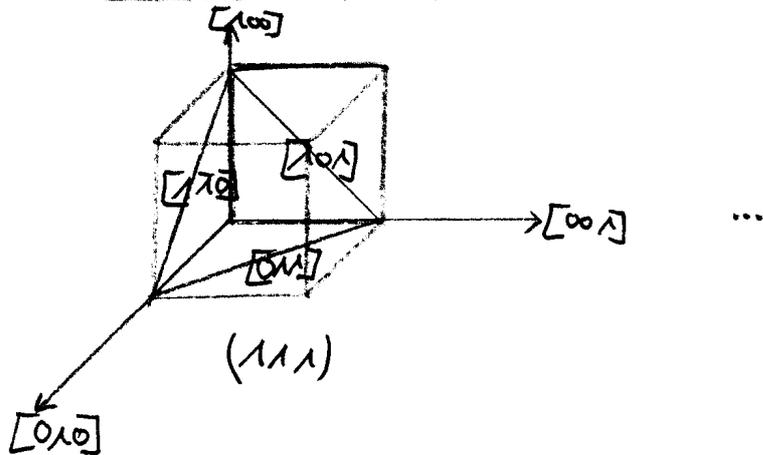
Abbau von Kongruenzen → Kornvergrößerung



Aufgabe 10

$$k_{fz} (fcc): (111) [110]$$

$$k_{fz} (bcc): (110) [111]$$

Schmid'sches Schubspannungsgesetz:

$$\tau = \sigma \cdot \sin \phi' \cdot \cos \lambda$$

ϕ' : \angle Gleitebene und Zugrichtung

λ : \angle Gleitrichtung und Zugrichtung

$$\tau = \sigma \cdot \cos \phi \cdot \cos \lambda$$

ϕ : \angle Gleitebenennormalvektor und Zugrichtung

Hauptgleitssysteme:

4 Ebenen: (111) ; $(11\bar{1})$; $(1\bar{1}1)$; $(1\bar{1}\bar{1})$

4 Richtungen: $[1\bar{1}0]$; $[10\bar{1}]$; $[\bar{1}10]$; $[\bar{1}01]$

$$\angle \varphi: \cos \varphi = \frac{\vec{a} \times \vec{b}}{|\vec{a}| \cdot |\vec{b}|}$$

$$\cos \phi = \frac{[111] \times [100]}{|[111]| \cdot |[100]|} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$\cos \lambda = \frac{[10\bar{1}] \cdot [100]}{|[10\bar{1}]| \cdot |[100]|} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\tau = \sigma \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot \sigma$$

übrig Gleitssysteme:

$$\cos \lambda = \frac{[100] \cdot [011]}{|[100]| \cdot |[011]|} = \frac{0}{\sqrt{2}} = 0$$

$$\tau = \sigma \cdot \cos \phi \cdot \cos \lambda = \sigma \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 0 = 0$$

$$A_s = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100\%$$

$$L_0 = 5 \cdot d_0 = 5,65 \cdot \sqrt{S_0} = 5,65 \cdot \sqrt{80 \text{ mm}^2} = 50 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{62,6 \text{ mm} - 50 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \cdot 100\% = 25,2\%$$

- a) isotherm: Umwandlung für konstante Temperatur (keine Abkühlkurve)
kontinuierlich: Umwandlung bei kontinuierlicher Abkühlung (konstante Abkühlgeschwindigkeit)

b) bei Einführen der Probe in das Salzbad (zum Abkühlen)

c) siehe Diagramm

d) keine Perlitbildung mehr

e) I 100% Martensit

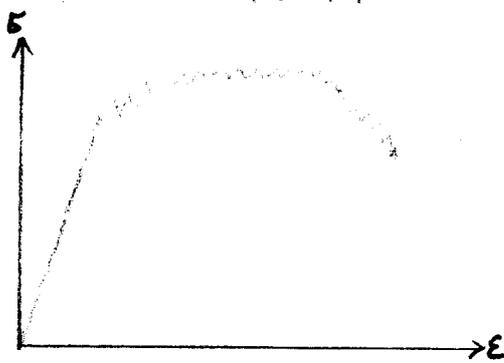
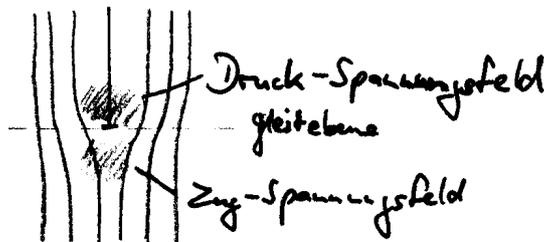
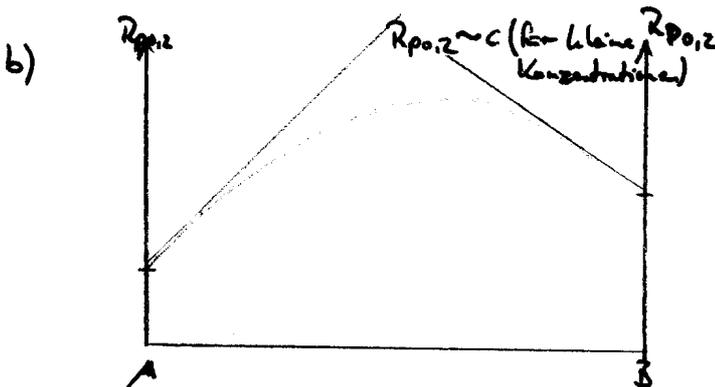
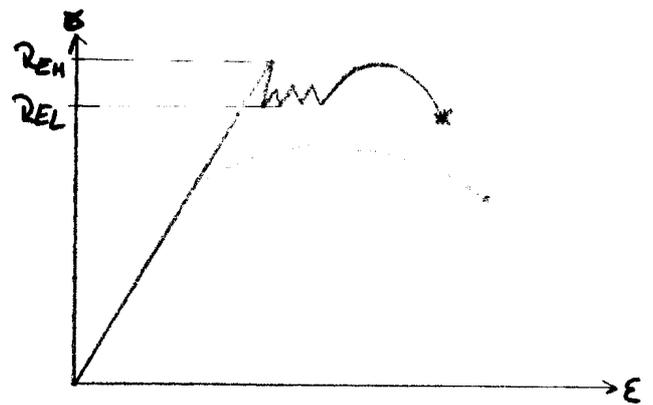
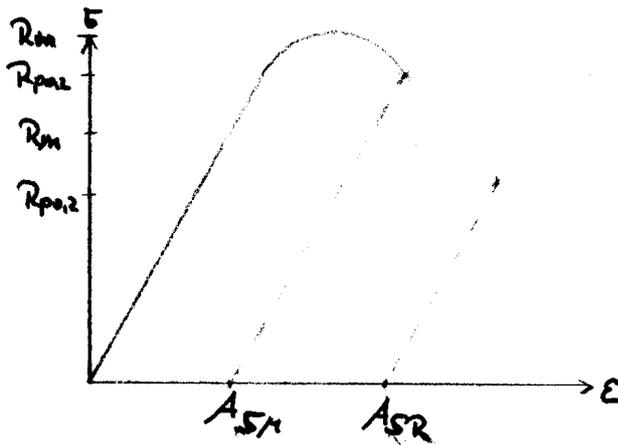
II 60% Bainit ; 40% Martensit

III 3% Ferrit ; 75% Bainit ; 23% Martensit

IV 70% Ferrit ; 15% Bainit ; 3% Perlit ; 12% Martensit

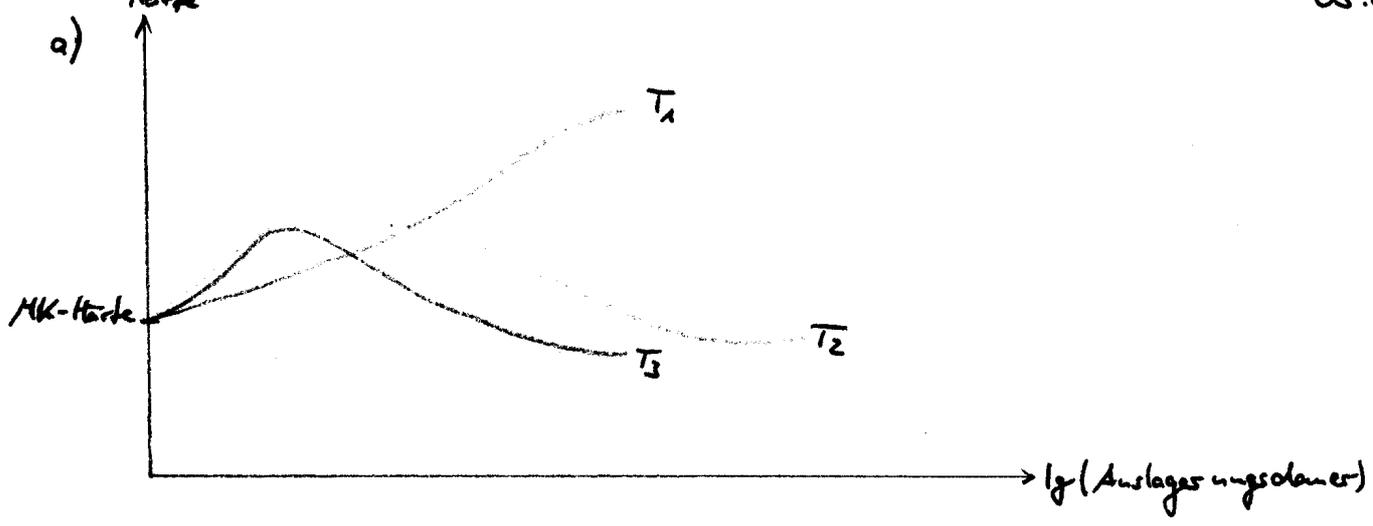
13)

Eigenschaft	Reinmetall	Mischkristall
E-Modul	$E \approx E$	
Dehn-/Streckgrenze	$R_{p0,2} < R_{p0,2}$	
Zugfestigkeit	$R_m < R_m$	
Zugdehnung	$A_5 > A_5$	

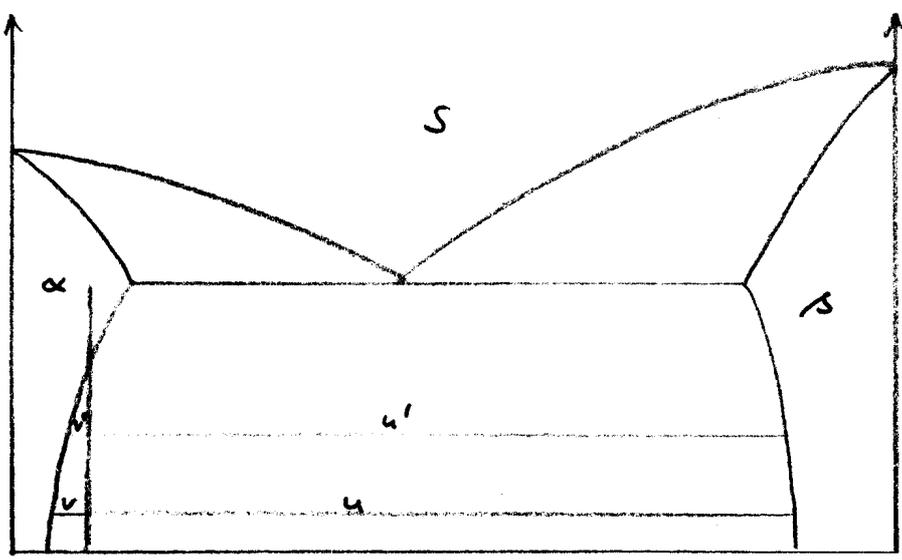


→ gezeichnetes Fließen
↳ Diffusionsgeschwindigkeit
≈ Versetzungsgeschwindigkeit

157)



b)

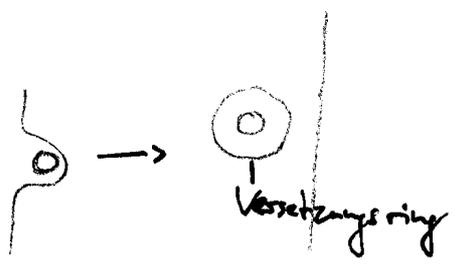


14

c) 1. Schneiden (\leftrightarrow Umgehen)

\hookrightarrow hinterlässt Versetzungen um 1 Burgersvektor (Super-versetzungen "Paarversetzungen" können diese Versetzung nicht auf-losern)

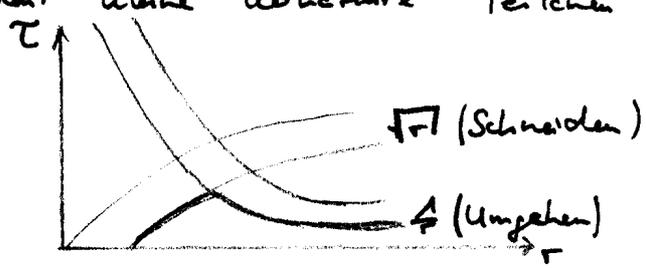
2. Umgehen



Die Versetzung links löst nach dem Umgehen einen Versetzungerring um das inkohärente (bzw. große kohärente) Teilchen, so daß das nächste Umgehen schwerer wird (Härtesteigerung).

Umgehen: inkohärente Teilchen, große kohärente Teilchen

Schneiden: kleine kohärente Teilchen



Streckgrenzzunahme mit der Temperatur:

- Orowan (inkohärent): gering
- kohärent: groß

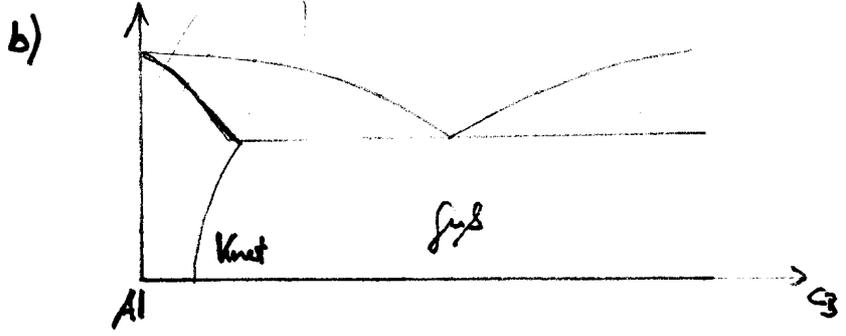
ideale Teilchen zum Härten: kleine inkohärente Teilchen \rightarrow Oxide

d) AlCu (kaltverhärtende Al-Legierung)

\hookrightarrow übersättigter MK (entmischt sich bei RT) \rightarrow in GP-Zonen (Härtezunahme)

Bsp. 2024 AlCu in der Luftfahrt

a) Cu, Mg, Mn, Si, Zn, Li



Knet: Al Mg Si 1
 Al Mg₃ ~~Si~~ ~~Si~~
 Al Mg Zn Mg 1

f_{yd}: Al Si 12
 Al Si 7
 Al Si 9
 Al Si 12 Cu Mg Ni

c) aushärtbare Al-Legierungen:

- Al-Cu
- Al-Mg-Cu
- Al-Mg-Si
- Al-Mg-Zn (Cu)

nicht aushärtbare Al-Legierungen:

- Al-Si
- Al-Mn
- Al-Mg

d) E-Modul von Al-Legierungen: 70 GPa

- reines Al 100-200 MPa
- nicht aushärtbare Al-Leg. 380 MPa
- Gußlegierungen ~ 440 MPa
- aushärtbare Al-Leg. ~ 600 MPa

a) Systeme zur Kennzeichnung von Legierungen:

- Werkstoffhandbuch der deutschen Luftfahrt
- DIN-Normen zu einzelnen Werkstoffen
- DIN-1700 Kurzzeichen für Metalle und Legierungen
- DIN 17007 Werkstoffnummern
- ISO 209 Aluminiumlegierungen (DIN 1725)
- EURO-Norm 27-74 (DIN 17006)
- AA Registration Record (USA)
- GOST: UdSSR-Normbezeichnungen
- BS: British Standards
- Mil-Hdzk-SF

- b) • AlZnMgCu 0,5: 1. Al-Leg. mit 3,8-6,1% Zn; 2,1-3,8% Mg; 0,5% Cu
- Cl 15: 2. Eisenstahl mit 0,15% C (k: P < 0,035%; S < 0,035%)
- St 70: 3. Baustahl (Mindestzugfestigkeit 690 MPa)
- G0-AlSi7Cu3: 4. Al-Dreilegung mit 7% Si und 3% Cu
- X50CrMnN: 229: 5. hochlegierter Stahl mit 0,5% C, 22% Cr, 9% Mn, und N: (~4%)
- 39 CrMoV 139: 6. niedriglegierter Stahl mit 0,39% C, $\frac{13}{4}$ % Cr, $\frac{9}{10}$ % Mo und V
- V 2 A: 7. Firmenbezeichnung von Krupp X 12 CrNi 188 (0,12% C, 18% Cr, 8% Ni)
- 7075 T 7351: 8. AlZnMgCu 1,5 Al-Leg. mit 5,1-6,1% Zn, 2,1-2,3% Mg, 1,2-2% Cu
T 7351 \rightarrow dann noch Beschreibung Temperaturbehandlung (T73)
- 3. 1354: 9. AlCuMgZn/L: Al-Legierung (Unet) mit 3,8-4,3% Cu, 1,2-1,8% Mg, 0,3-0,9% Mn
geliefert in gewalzten Platten (L2)

- AICu Mg 2: 10. siehe 9) keine geschaltete Platten (LkStNr 3.1355)
- MA 6000: 11. mech. legierte Ni-Basis-Leg. mit 15% Cr, 4,5% Al, 2,5% Ti, 4% Cu, 2% Mo, 2% Ta und 1,1% ZrO₂
- 800 H: 12. austenitischer Stahl X10 NiCrAlTi 3220 mit 0,1% C; 32% Ni; 20% Cr, 0,31% Ti; 0,34% Al
- Nimonic 80A: 13. NiCr 20 TiAl → Ni-Basislegierungen mit 20% Cr, 2% Ti, 1% Al

A17)

$$a) \quad \begin{aligned} \sigma_c &= \sigma_f V_f + \sigma_m' \cdot (1 - V_f) \\ \sigma &= \sigma_m (1 - V_f) \end{aligned}$$

V_{min} : $\sigma_c = \sigma_m (1 - V_f)$

$$\sigma_f V_f + \sigma_m' \cdot (1 - V_f) = \sigma_m (1 - V_f)$$

$$\sigma_f V_f + \sigma_m' - \sigma_m' \cdot V_f = \sigma_m - \sigma_m V_f$$

$$\sigma_m \cdot \sigma_m' = V_f (\sigma_f + \sigma_m - \sigma_m')$$

$$V_f = V_{min} = \frac{\sigma_m - \sigma_m'}{\sigma_f + \sigma_m - \sigma_m'}$$

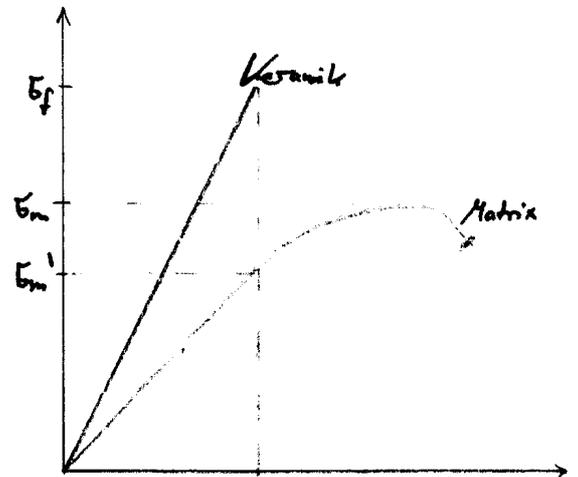
V_c : $\sigma_c = \sigma_m$

$$\sigma_m = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m' (1 - V_f)$$

$$\sigma_m = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m' - \sigma_m' V_f$$

$$\sigma_m - \sigma_m' = V_f (\sigma_f - \sigma_m')$$

$$V_c = V_f = \frac{\sigma_m - \sigma_m'}{\sigma_f - \sigma_m'}$$



b) $V_{min} = \frac{(380 - 230) \text{ MPa}}{(2700 + 380 - 230) \text{ MPa}} = 5,26\%$

$$V_c = \frac{(380 - 230) \text{ MPa}}{(2700 - 230) \text{ MPa}} = 6,07\%$$