

Übung zur Vorlesung Materialwissenschaften

Prof. Peter Müller-Buschbaum, Lea Westphal, Ziyang Zhang, Doan Duy Ky Le

Übungsblatt 6

Besprechung am 04. Juni 2025

Aufgabe 1: Wasser

Abbildung 1 zeigt das einkomponenten Phasendiagramm von H_2O .

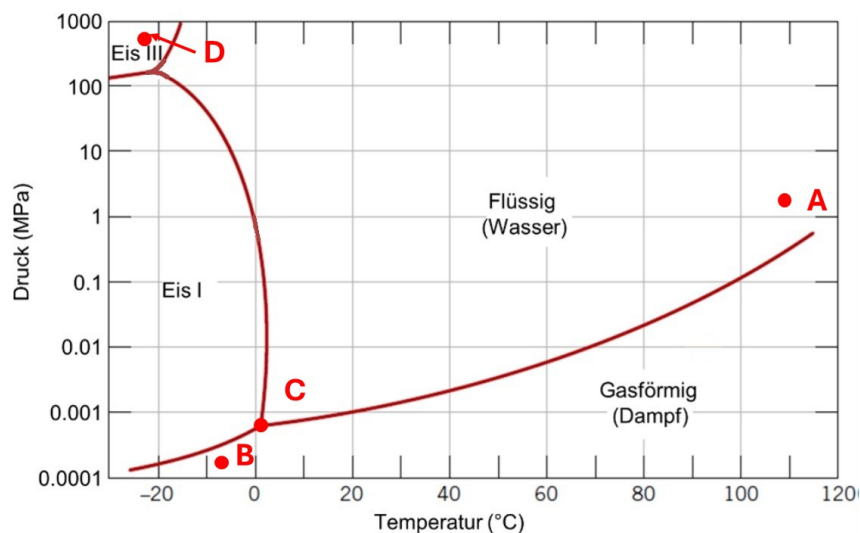


Abbildung 1: Ein-Komponenten-Phasendiagramm von H_2O

1. Bestimmen Sie mithilfe der Gibbs'schen Phasenregel die Anzahl der Freiheitsgrade F an den Punkten A bis D.
Erläutern Sie zudem, was die Anzahl der Freiheitsgrade physikalisch bedeutet.
2. Warum kann Wasser bis unter 0°C flüssig bleiben, obwohl es unter dem Gefrierpunkt liegt? Begründen Sie den physikalischen Mechanismus dahinter.
3. Berechnen Sie den kritischen Radius eines Eiskeims bei einer Unterkühlung von 10 K. Verwenden Sie folgende Werte:
 $\gamma = 0,033 \text{ J/m}^2$, $\Delta H_f = 3,3 \cdot 10^8 \text{ J/m}^3$, $T_m = 273,15 \text{ K}$
4. Erklären Sie den Unterschied zwischen homogener und heterogener Keimbildung beim Gefrieren von Wasser. Nennen Sie typische Beispiele aus der Natur oder Technik.
5. Wie beeinflussen Staubpartikel oder Verunreinigungen die Wahrscheinlichkeit der Eiskeimbildung in Wolken?

Aufgabe 2: Spinodale Entmischung einer binären Legierung

Eine binäre Legierung A–B wird aus dem einphasigen Zustand bei hoher Temperatur schnell in das Zweiphasengebiet unterhalb der kritischen Temperatur abgeschreckt. Die freie Enthalpie der Mischung ist durch die Funktion

$$G(c) = \Omega c(1 - c) + RT [c \ln c + (1 - c) \ln(1 - c)]$$

gegeben, wobei c die Konzentration der Komponente B, $\Omega > 0$ eine Wechselwirkungsenergie, R die Gaskonstante und T die Temperatur ist.

1. Erklären Sie den physikalischen Unterschied zwischen einem spinodalen und einem binodalen Zerfall.
2. Leiten Sie aus der gegebenen Funktion $G(c)$ die Bedingung für spinodale Instabilität ab.
3. Bei welchem Konzentrationsbereich im Intervall $c \in [0, 1]$ tritt spinodale Entmischung auf, wenn $T = 300 \text{ K}$, $\Omega = 2,5 \text{ kJ/mol}$, $R = 8,314 \text{ J/mol K}$?
4. Welche Morphologie erwarten Sie typischerweise bei spinodaler Entmischung? Nennen Sie Beispiele.

Aufgabe 3: Zeit-Temperatur-Umwandlungsdiagramm

Unten sehen Sie das Zeit-Temperatur-Umwandlungsdiagramm (ZTU-Diagramm) für eine Eisen-Kohlenstoff-Legierung mit 0,45 Ma.-% C. Die im Diagramm dargestellten Phasen sind Austenit (A), Ferrit (F), Perlit (P), Bainit (B) und Martensit (M).

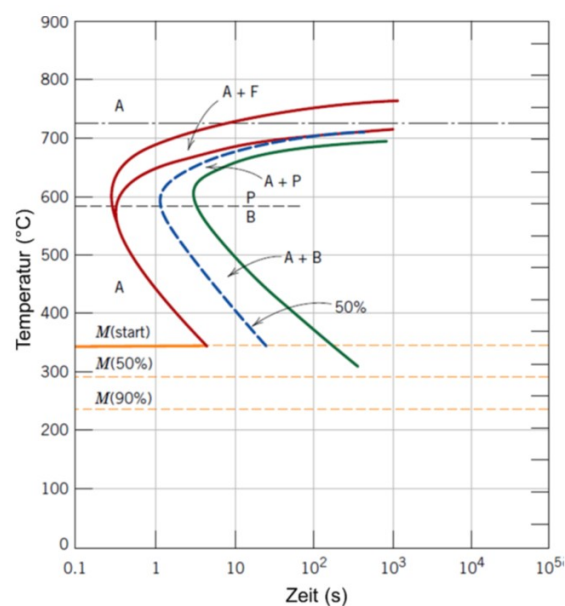


Abbildung 2: Zeit-Temperatur-Umwandlungsdiagramm (ZTU) einer Fe–C-Legierung mit 0,45 Ma.-% C.

1. Skizzieren Sie in Abbildung 2 jeweils einen geeigneten Zeit-Temperatur-Pfad, um die folgenden Mikrostrukturen gezielt zu erzeugen:
 - (a) 42 % proeutektoider Ferrit und 58 % Perlit
 - (b) 50 % Perlit und 50 % Bainit
 - (c) 100 % Martensit
 - (d) 50 % Martensit und 50 % Austenit
2. Begründen Sie bei jedem Fall kurz, warum Ihr gewählter Pfad zu der gewünschten Mikrostruktur führt. Gehen Sie dabei insbesondere auf kritische Temperaturen, Abkühlgeschwindigkeiten und das Durchschreiten (oder Nicht-Durchschreiten) der Umwandlungskurven im ZTU-Diagramm ein.

Aufgabe 4: MgO–Al₂O₃-System

Im System MgO–Al₂O₃ bildet sich die Spinellphase (MgAl₂O₄) über einen gewissen Bereich nichtstöchiometrischer Zusammensetzungen stabil aus. Diese Phase toleriert sowohl MgO- als auch Al₂O₃-Überschüsse durch Punktdefekte im Gitter.

1. Bei 2000 °C ist die Spinellphase bis zu einem Gehalt von 82 mol% (entspricht 92 Ma.-%) Al₂O₃ stabil.
Gegeben sei eine Mischung aus N stöchiometrischen Einheiten MgAl₂O₄.
Welcher Leerstellentyp entsteht bei diesem Al₂O₃-Überschuss, und wie groß ist der Anteil der entsprechenden Leerstellen (bezogen auf die Gesamtanzahl der Kationenplätze)?
2. Auf der MgO-reichen Seite liegt die maximale Nichtstöchiometrie bei 39 mol% (entspricht 62 Ma.-%) Al₂O₃.
Gegeben sei erneut eine Menge von N stöchiometrischen Einheiten.
Welcher Leerstellentyp entsteht in diesem Fall, und wie groß ist der Anteil der entsprechenden Leerstellen (bezogen auf die Anzahl der Sauerstoffplätze)?