

---

## 2 Metallische Werkstoffe

---

### 2.1 Metallkunde

#### 2.1.1 Vorkommen

- 1 Nennen Sie häufige technische Anforderungen an metallische Werkstoffe.
- 2 Nennen Sie technische Faktoren, die den Preis eines Metalles bestimmen.
- 3 Welche beiden Metalle sind am häufigsten in der Erdkruste anzutreffen?

#### 2.1.2 Metallbindung

- 1 Welcher Unterschied besteht zwischen den Elektronenhüllen der Metall- und Nichtmetallatome?
- 2 Warum streben Metallatome eine Bindung an?
- 3 Wie verhalten sich die Valenzelektronen im Metallverband?
- 4 Welche Kräfte wirken im Metallverband?
- 5 Wodurch kommt die Metallbindung zustande?
- 6 Was bedeutet der Begriff Elektronegativität?
- 7 Können Elemente mit großer Elektronegativitätsdifferenz metallische Bindung eingehen?
- 8 Was versteht man unter dem Begriff *Bindungsenergie*?
- 9 Was bedeutet ein steiler Verlauf der Kraft-Abstandskurve zwischen zwei benachbarten Atomen für Elastizitätsmodul, Schmelztemperatur und Wärmeausdehnungskoeffizient eines Metalls?

### 2.1.3 Metalleigenschaften

- 1 Wie hängen Schmelztemperatur und Wärmeausdehnungskoeffizient eines Metalls zusammen?
- 2 Metalle werden aufgrund ihrer chemischen Beständigkeit in zwei Gruppen eingeteilt. Nennen Sie diese und je zwei Metalle als Beispiel.
- 3 Metalle werden aufgrund ihrer Dichte in zwei Gruppen eingeteilt. Nennen Sie diese und je zwei Metalle als Beispiel.
- 4 Metalle werden aufgrund ihrer Schmelztemperatur in drei Gruppen eingeteilt. Nennen Sie diese und je zwei Metalle als Beispiel.
- 5 Wie verhält sich die elektrische Leitfähigkeit eines Metalles bei steigender Temperatur (Begründung)?

### 2.1.4 Die Kristallstrukturen der Metalle (Idealkristalle)

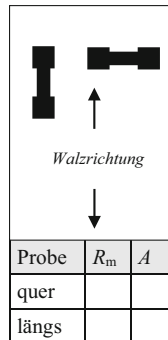
- 1 Was verstehen Sie unter dem Begriff Kristallgitter?
- 2 Welche wichtigen mechanischen Eigenschaften der Metalle hängen vom *Kristallgittertyp* ab?
- 3 Nennen Sie die drei wichtigsten Kristallgittertypen der Metalle.
- 4 Für die hexagonal dichteste Packung sind die folgenden Fragen zu beantworten bzw. Aufgaben zu lösen:
  - a) Woran erkennen Sie, ob in einem Kristallgitter die dichteste Kugelpackung vorliegt?
  - b) Wie viele Nachbarn mit gleichem, kürzestem Abstand besitzt jedes beliebige Atom in einem hexagonalen Kristallgitter?
  - c) Welche Schichten liegen beim hexagonalen Kristallgitter übereinander?
  - d) Skizzieren Sie eine Elementarzelle des hexagonalen Kristallgitters.
  - e) Nennen Sie zwei Metalle, die hexagonal kristallisieren.
- 5 Was verstehen Sie unter dem Begriff Koordinationszahl?
- 6 Was verstehen Sie unter dem Begriff Elementarzelle eines Kristallgitters?
- 7 Was verstehen Sie unter dem Begriff Gitterkonstante eines Kristallgitters?
- 8 Für das *kubisch-flächenzentrierte* Kristallgitter sind die folgenden Fragen zu beantworten bzw. Aufgaben zu lösen:
  - a) Was haben das kubisch-flächenzentrierte und das hexagonale Kristallgitter gemeinsam?
  - b) Wodurch unterscheiden sich das kubisch-flächenzentrierte und das hexagonale Kristallgitter voneinander?
  - c) Skizzieren Sie eine Elementarzelle des kubisch-flächenzentrierten Kristallgitters.
  - d) Nennen Sie zwei Metalle, die kubisch-flächenzentriert kristallisieren.
- 9 Berechnen Sie die Packungsdichte des kubisch-flächenzentrierten Gitters.

- 10 Für das *kubisch-raumzentrierte* Kristallgitter sind die folgenden Fragen zu beantworten bzw. Aufgaben zu lösen:
  - a) Erläutern Sie den Aufbau des kubisch-raumzentrierten Kristallgitters.
  - b) Welche Koordinationszahl liegt beim kubisch-raumzentrierten Kristallgitter vor?
  - c) Welche Folgerung kann man aus der Koordinationszahl auf die Dichte der Kugelpackung ziehen?
  - d) Skizzieren Sie eine Elementarzelle des kubisch-raumzentrierten Kristallgitters.
- 11 Berechnen Sie die Packungsdichte des kubisch-raumzentrierten Gitters.
- 12 Welche Packungsdichte hat die hexagonal dichteste Packung (Begründung)?
- 13 Wie heißt der Gegensatz von kristallin? Wie können Metalle diesen Zustand annehmen?
- 14 Wie wirkt sich die Periodizität der Atomanordnung bei einem Bruch auf das Aussehen der Bruchfläche aus?
- 15 Nennen Sie zwei Metalle mit verschiedenen Kristallgittern bei verschiedenen Temperaturen.
- 16 Zwei verschiedene Atomsorten können gemeinsame ideale Kristallgitter bilden. Nennen Sie die Möglichkeiten.
- 17 Nennen Sie die wichtigsten Eigenschaften intermetallischer Phasen.
- 18 a) Berechnen Sie aus der Gitterkonstante, wie viele Atome sich in einem Aluminiumwürfel der Kantenlänge 1 cm befinden ( $a_{\text{Al}} = 0,405 \text{ nm}$ ).  
b) Welches Volumen nimmt dann 1 mol Aluminium ein?
- 19 Berechnen Sie aus Dichte und relativer Atommasse des Eisens seine Gitterkonstante unter der Voraussetzung, dass das Eisen gitterfehlerfrei ist.

### 2.1.5 Entstehung des Gefüges

- 1 Was versteht man unter Gefüge?
- 2 Wie wird das Gefüge von Metallen sichtbar gemacht?
- 3 Bei welchen Verfahren entstehen Primärgefüge, wobei Sekundärgefüge?
- 4 Damit eine Schmelze kristallisiert, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein, nennen Sie diese.
- 5 Was verstehen Sie unter
  - a) arteigenen,
  - b) artfremden Kristallkeimen?
- 6 Durch welche Maßnahmen kann bei der Erstarrung ein feinkörniges Gefüge entstehen (a, b)?
- 7 Welche Ursache hat die Kristallisationswärme?
- 8 Was bedeutet Unterkühlung einer Schmelze?
- 9 Was verstehen Sie unter Anisotropie? Geben Sie je ein Beispiel für isotropes und anisotropes Verhalten eines beliebigen Werkstoffes?

- 10 Was verstehen Sie unter Textur, welche Folge hat sie auf die Eigenschaften eines Werkstoffes?
- 11 Welcher Unterschied besteht zwischen Faserstruktur und Textur?
- 12 a) Wodurch entsteht im Stahl eine Schmiedefaser?  
 b) Welche Auswirkungen hat die Schmiedefaser auf Eigenschaften von Proben, die nach Skizze aus einem gewalzten Blech entnommen wurden?  
 Beurteilen Sie Zugfestigkeit  $R_m$  und Bruchdehnung  $A$  (Verformbarkeit beim Ziehen) beider Proben mit höher oder niedriger.



## 2.2 Struktur und Verformung der Realkristalle

### 2.2.1 Kristallfehler

- 1 Welche Arten von Kristallbaufehlern sind Ihnen bekannt? Ordnen Sie diese nach ihrer Dimension.
- 2 Erläutern Sie die Ursache für das Entstehen von Gitterfehlern.
- 3 Erläutern Sie die *beiden* Ursachen für das Auftreten von Fremdatomen innerhalb der Kristalle.
- 4 Wie wird die elektrische Leitfähigkeit eines Metalles durch Fremdatome oder Versetzungen beeinflusst?
- 5 Welchen Einfluss haben Versetzungen auf die Verformbarkeit von Metallen?
- 6 Fremdatome können auf zwei Arten im Kristallgitter eingebaut werden. Beschreiben Sie beide Arten.
- 7 Welche Unterschiede weist ein Einlagerungs-MK gegenüber einem Austausch-MK auf (Vergleich nach u. a. Kriterien)?

| Kriterium            | Austausch-MK | Einlagerungs-MK |
|----------------------|--------------|-----------------|
| Atom-Ø               | .....        | .....           |
| Atomart              | .....        | .....           |
| LE-Standort          | .....        | .....           |
| Löslichkeit          | .....        | .....           |
| Einfluss der LE auf: | .....        | .....           |
| Gitterstörung        | .....        | .....           |
| Härte                | .....        | .....           |
| Verformbarkeit       | .....        | .....           |

### 2.2.2 Verformung der Realkristalle und Veränderung der Eigenschaften

- 1 Jede größere Verformung lässt sich in zwei Anteilen messen. Wie heißen die beiden Anteile, wie lassen sie sich durch Messung unterscheiden?
- 2 Im spannungslosen Zustand haben zwei Atome im Raumgitter den Abstand  $l_0$ , anziehende und abstoßende Kräfte sind dann im Gleichgewicht.
  - a) Was geschieht, wenn durch äußere Kräfte der Abstand  $l_0$  vergrößert wird?
  - b) Welche Forderung ergibt sich aus a) für die Verformung?
  - c) Welche Gleitrichtungen ergeben sich aus Forderung b) für eine dichtest gepackte Gitterebene?
- 3 Was verstehen Sie unter
  - a) Gleitwiderstand,
  - b) Trennwiderstand?
  - c) Welches ist der größere Widerstand?
- 4 Was bedeutet Translation in einem idealen Kristallgitter? Hat Translation technisch eine Bedeutung?
- 5 Was verstehen Sie unter Gleitebenen und Gleitmöglichkeiten
  - a) allgemein,
  - b) im kubisch-flächenzentrierten,
  - c) im kubisch-raumzentrierten,
  - d) im hexagonalen Raumgitter, mit Bezug auf die Elementarzellen?
- 6 Beurteilen Sie die Kaltverformbarkeit der Kristallgitter krz, kfz und hdP mit sehr hoch, hoch und gering.
- 7 Wie muss eine Zugkraft an einem Kristall angreifen, damit er so leicht wie möglich verformt wird?
- 8 Welcher Unterschied besteht zwischen
  - a) Translation und
  - b) Zwillingsbildung (Skizze)?
- 9 Wodurch lassen sich Zwillingsbildungen im Schliiffbild erkennen?

- 10 Neben metallischen Werkstoffen mit einfachen Raumgittern existieren auch solche, deren Elementarzellen komplizierter gebaut sind und aus einer größeren Anzahl von Atomen bestehen. Welche Eigenschaftskombination folgern Sie daraus (Begründung)?
- 11 Was ist die Besonderheit der elastischen Verformung?

---

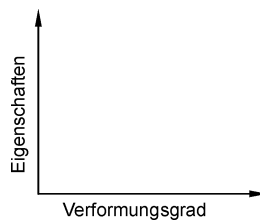
## 2.3 Verfestigungsmechanismen

- 1 Wie wird die Versetzungsbewegung durch die Gitterfehler beeinflusst?
- 2 Nennen Sie für jede Dimension einen besonders verfestigenden Gitterfehler und die zugehörige Bezeichnung der Verfestigungsart.
- 3 Außer der Versetzungsbewegung gibt es noch einen weiteren Mechanismus der Kaltverformung. Wie heißt er, und in welchen Legierungen kann er auftreten?
- 4 Welche Eigenschaften außer den mechanischen werden noch durch eine Kaltverformung beeinflusst?
- 5 Nennen Sie Werkstoffe, die die Mischkristallverfestigung gezielt ausnutzen.
- 6 Nennen Sie Gründe, einen Werkstoff durch Kaltverformung gezielt zu verfestigen.
- 7 In welcher Werkstoffgruppe wird Feinkornverfestigung gezielt genutzt (Begründung)?
- 8 Nennen Sie Werkstoffe, die gezielt durch Teilchen verfestigt werden.
- 9 Nennen Sie für jede der vier Verfestigungsarten ein Beispiel aus der Praxis.
- 10 Welcher Nutzen ergibt sich durch die Festigkeitssteigerung eines Werkstoffes?
- 11 Die Belastungsgrenze eines Bauteiles ist bereits dann überschritten, wenn eine erste plastische Verformung erfolgt ist. Wodurch ist sie charakterisiert (Betrachtung des Mikrobereiches)?
- 12 Welche Eigenschaft des Kristallgitters muss geändert werden, um die Festigkeit zu steigern?
- 13 Es gibt vier Möglichkeiten, die Festigkeit eines Kristalls zu erhöhen.
  - a) Welche sind es?
  - b) Wie ist bei den meisten Möglichkeiten der Verlauf der Zähigkeit?
  - c) Welche der vier Möglichkeiten reagiert am wenigsten empfindlich auf Wärmebehandlungen (Begründung)?
- 14 Wie wird bei Baustählen eine hohe Festigkeit bei besonderer Schweißbarkeit und hoher Zähigkeit erreicht?

### 2.3.2 Kaltverfestigung (Verformungsverfestigung)

- 1 Erläutern Sie den Begriff Kaltverfestigung mit Hilfe der Änderung von wichtigen mechanischen Eigenschaften der Metalle.

- 2 a) Welcher Unterschied besteht zwischen der Kaltumformung eines Einkristalls und der eines vielkristallinen Werkstoffes?  
b) Wie wirken sich Gitterfehler auf den Gleit- und Trennwiderstand im Kristall aus?
- 3 a) Wie ist der Verformungsgrad einer Zugprobe definiert?  
b) Ein Blech von 1,5 mm Dicke wird kalt auf 0,3 mm abgewalzt. Wie groß ist der Verformungsgrad?  
c) Ein Blech von 0,2 mm Dicke besitzt einen Verformungsgrad von 60 %. Wie groß war die Ausgangsdicke?
- 4 Tragen Sie in das Achsenkreuz schematisch den Verlauf der beiden wesentlichen mechanischen Eigenschaften ein, die sich mit steigendem Verformungsgrad ändern (Kurve, Name, Formelzeichen).



- 5 Erläutern Sie den Hauptgrund für die Kaltverfestigung.
- 6 Wie erklären Sie sich die Erscheinung, dass kaltverformtes Kupfer eine niedrigere elektrische Leitfähigkeit besitzt als weiches?
- 7 Welche Bedeutung hat die H-Zahl in der Bezeichnung von Halbzeug aus Aluminium wie z. B. H12 oder H18?
- 8 Nennen Sie technische Anwendungen der Kaltverfestigung.

---

## 2.4 Vorgänge im Metallgitter bei höheren Temperaturen (Thermisch aktivierte Prozesse)

### 2.4.1 Allgemeines

- 1 Wie ist die Geschwindigkeit aller thermisch aktivierten Prozesse von der Temperatur abhängig (mit Erläuterung)?
- 2 Was versteht man unter dem Begriff Aktivierungsenergie?

### 2.4.2 Kristallerholung und Rekristallisation

- 1 Was verstehen Sie unter Kristallerholung?
- 2 a) Was bedeutet Rekristallisation?  
b) Unter welchen Voraussetzungen findet eine Rekristallisation statt?

- c) Wie hängt die Rekristallisationsgeschwindigkeit von der Temperatur ab (Begründung)?
- d) Was für eine technische Bedeutung hat die Antwort unter c)?
- 3 Die Korngröße eines Rekristallisationsgefüges ist beeinflussbar. Geben Sie Einflussgrößen und Richtung des Einflusses an.
- 4 Bei welcher Temperatur liegt ungefähr die Rekristallisationsschwelle eines Metalles?

### 2.4.3 Kornvergrößerung (-wachstum)

- 1 Wobei kann ein Kornwachstum eintreten?
- 2 Welche Gefüge sind besonders anfällig?
- 3 Welche Gefüge sind unempfindlich gegen das Kornwachstum?
- 4 Welcher Unterschied besteht zwischen fein- und grobkörnigem Gefüge
  - a) bei der Kaltumformung, z. B. beim Tiefziehen?
  - b) Welche mechanisch-thermische Eigenschaft wird durch Grobkorn besonders verringert?

### 2.4.4 Warmumformung

- 1 Was ist Warmumformung?
- 2 Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Rekristallisationsgeschwindigkeit und der Verformungsgeschwindigkeit beim Schmieden und Walzen (allgemein bei der Warmumformung)?
- 3 Was ist Superplastizität, unter welchen drei Bedingungen ist sie möglich?
- 4 Wie werden Kalt- und Warmumformung unterschieden, wo liegt die Grenze zwischen beiden?

### 2.4.5 Diffusion

- 1 Was verstehen Sie unter Diffusion in Metallen?
- 2 Welche Ursache hat die Diffusion?
- 3 Unter welchen Voraussetzungen kann eine Diffusion in Metallen stattfinden?
- 4 Wodurch wird die Diffusionsgeschwindigkeit beeinflusst?
- 5 In welche Richtung verläuft der Stofftransport?
- 6 Für Vorgänge im Metallgefüge hat die Diffusion eine große Bedeutung. Welche Vorgänge sind es bei
  - a) konstanter hoher Temperatur,
  - b) bei der *Abkühlung* von manchen Legierungen,
  - c) bei der *Erwärmung* dieser Legierungen?

- 7 Warum diffundiert C in Ferrit schneller als in Austenit?
- 8 Welches Element kann am schnellsten diffundieren (Begründung)?
- 9 Wie muss bei konstanter Temperatur die Glühzeit geändert werden, um beim Einsatzhärten eine doppelt so große Einhärtetiefe zu erreichen?

## 2.4.6 Werkstoffverhalten bei höheren Temperaturen unter Beanspruchung

- 1 Geben Sie die Ursachen für den sinkenden Verformungswiderstand der Metalle bei höheren Temperaturen an.
- 2 Beschreiben Sie das Kriechen und seine Ursachen.
- 3 Welche Maßnahmen erhöhen den Kriechwiderstand eines Stahlgefüges?
- 4 Was bedeuten die Festigkeitsangaben:
  - a)  $R_{m/100/700^\circ} = 60 \text{ N/mm}^2$ ,
  - b)  $R_{p1/10000/650^\circ} = 120 \text{ N/mm}^2$ ?

---

## 2.5 Legierungen (Zweistofflegierungen)

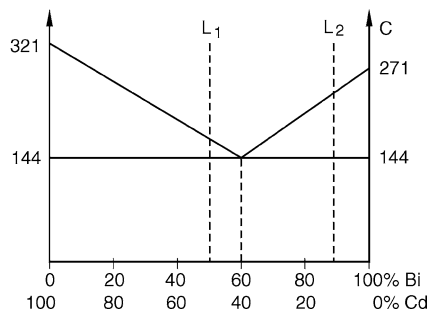
### 2.5.1 Begriffe

- 1 Warum verwendet man als Strukturwerkstoffe in der Technik nur sehr selten reine Metalle? Nennen Sie einen wesentlichen Grund.
- 2 Warum werden als Strukturwerkstoffe in der Technik vor allem Legierungen verwendet?
- 3 Wie können Legierungselemente (LE) die Eigenschaften des Eisens verändern? Geben Sie dazu für drei LE Beispiele aus der Praxis.
- 4 Was versteht man unter den *Komponenten* einer Legierung?
- 5 Wie unterscheiden sich Legierungen von chemischen Verbindungen?
- 6 Was ist eine Legierung? Nennen Sie zwei Beispiele von Legierungen aus der Praxis.
- 7 Bei Legierungen zwischen Metall und Nichtmetall entstehen häufig chemische Verbindungen, die keinen metallischen Charakter mehr haben. Geben Sie die Ursache an.
- 8 Welche chemischen Verbindungen (Gruppennamen) treten häufig in Legierungen als Verunreinigungen auf?
- 9 Was verstehen Sie unter *Phasen* einer Legierung?
- 10 Wodurch ist ein Phasenübergang gekennzeichnet? Nennen Sie Beispiele.
- 11 Nennen Sie Anzahl, Namen der Komponenten und Phasen von
  - a) AlMg<sub>3</sub>,
  - b) Baustahl.

- 12 Welche Unterschiede sind aus den Abkühlungskurven von Reinmetall, Legierung und amorphen Stoff zu erkennen?
- 13 a) Wie können sich die Komponenten eines Stoffgemenges hinsichtlich ihrer Löslichkeit im flüssigen Zustand verhalten (zwei Möglichkeiten, Alltagsbeispiele)?  
b) Zu welchem der drei Fälle gehören die meisten Werkstoffe des Maschinenbaus (Begründung)?
- 14 Nennen Sie zwei einfache Arten von Zustandsdiagrammen und geben Sie jeweils ein Beispiel.
- 15 Welche Bedingungen müssen die Komponenten erfüllen, damit sie ein System mit vollständiger Löslichkeit im festen und flüssigen Zustand aufbauen?
- 16 Welche Bedingungen müssen die Komponenten erfüllen, damit sie ein eutektisches System aufbauen können?
- 17 Zweistoff-Legierungen können nur in zwei Arten vorliegen. Nennen Sie diese Arten, geben Sie die Anzahl der Phasen an, die nach dem System an.
- 18 Was verstehen Sie unter *löslich im festen Zustand*?
- 19 Was verstehen Sie unter *teilweise löslich im festen Zustand*?

## 2.5.2 Zustandsdiagramme, Allgemeines

Die folgenden Fragen beziehen sich auf Erstarrungsvorgänge der Legierung  $L_1$  des nachstehend abgebildeten **vereinfachten** eutektischen Systems Bi-Cd. Im System Bi-Cd ist die Vereinfachung zulässig, da die Randlöslichkeiten von Cd und Bi ineinander für die Praxis vernachlässigbar klein sind.



- 1 Wodurch ist der Erstarrungsbeginn grundsätzlich gekennzeichnet?
- 2 a) Welche Phase scheidet mit Beginn der Erstarrung aus?  
b) Wie verändert sich die Zusammensetzung der Schmelze bei sinkender Temperatur (Begründung)?

Aufgabensammlung Werkstoffkunde

Fragen - Antworten

Weißbach, W.; Dahms, M.

2016, XVI, 204 S. 62 Abb.,

ISBN: 978-3-658-14474-6