

Werkstofftechnik

Aufgabensammlung

Lehrerband und Lösungen

Autor: Martin Kühl
Verlagslektorat: Dennis Erhard Kriwald
Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Nourney Vollmer GmbH & Co. KG,
Ostfildern

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

1. Auflage 2022

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

© 2022 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz und Layout: PER MEDIEN & MARKETING GmbH, 38102 Braunschweig
Umschlag: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Nourney Vollmer GmbH & Co. KG, Ostfildern
Umschlagfotos: Sauter Feinmechanik GmbH, 72555 Metzingen und © RHJ – stock.adobe.com
Druck: Plump Druck & Medien GmbH, 53619 Rheinbreitbach

Europa-Nr.: 50072 VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
ISBN 978-3-7585-5007-2 Düsseldorf, Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Vorwort

Die vorliegende Aufgabensammlung soll den/die Berufsschullehrer/-in im **Unterrichtsfach Werkstofftechnik** in den unterschiedlichen Schulformen wie **Fachoberschule, berufliches Gymnasium, Meisterkursen oder Fachschule für Technik sowie Ausbildungsberufen** mit Schwerpunkt Werkstofftechnik unterstützen. Dafür beinhaltet die Aufgabensammlung die üblichen verbindlichen Lerninhalte der gängigen Lehrpläne „Werkstofftechnik“ im Berufsfeld Metalltechnik.

Die Aufgabensammlung ist für einen **Unterrichtsumfang von 80 Stunden konzipiert und kann 80% des Unterrichtes abdecken**. Dieses entspricht dem zeitlichen Umfang des Faches Werkstofftechnik in vielen Schulformen und Bundesländern.

Hierbei ist nicht das Ziel, sämtliche Lerninhalte aus diesem Aufgabengebiet abzudecken, dafür sind die Lehrpläne, Schwerpunkte der einzelnen Schulen, Interessen der Unterrichtenden und die Zusammensetzung der Lernenden zu unterschiedlich. Jedoch kann die Aufgabensammlung sowohl die erfahrene Werkstofftechniklehrkraft durch die Zusammenstellung der Schaubilder und Gefügebilder unterstützen als auch Kollegen und Kolleginnen, die dieses Fach neu kurzfristig unterrichten, einen „roten Faden“ bieten.

Der **Lehrerband** beinhaltet neben den Lösungen der Aufgaben weitere ergänzende Aufgaben in Form von Kopiervorlagen, die auch individuell zusammengefügt zur Leistungsbemessung verwendet werden können. Die Aufgabensammlung ist so gestaltet, dass die Aufgaben im Aufgabenheft bearbeitet werden können. Der Lehrende hat dadurch die Möglichkeit, die Mitarbeit der Lernenden durch Überprüfung des Aufgabenheftes zu beurteilen und Feedback zu geben. Durch das Bearbeiten der Aufgaben sind die bearbeiteten Unterrichtsinhalte transparent. Dies erleichtert die Bewertung des Lernfortschrittes.

Die Aufgaben sind so strukturiert, dass, wenn inhaltlich möglich, **viele Diagramme, Bilder oder Skizzen** erstellt werden sollen. Der Lernende soll dadurch zum eigenständigen Lösen der Aufgaben angeregt werden.

Der Aufbau der Aufgaben ist so konzipiert, dass je nach Lerngruppe die fachliche Tiefe durch das begleitende Fachbuch bestimmt werden kann. Dieses kann der einzelne Pädagoge im Rahmen seiner Unterrichtsplanung individuell festlegen. Das vorliegende Aufgabenbuch ist eine Ergänzung zu folgenden Werken des Verlags Europa-Lehrmittel:

- Werkstofftechnik Maschinenbau
- Werkstofftechnik für Metallbauberufe
- Fachkunde Metall
- Tabellenbuch Metall

Auf komplexe Lernsituationen und Aufgaben wurde verzichtet, da diese meistens schwer zu übernehmen sind und es sinnvoll ist, diese individuell auszuarbeiten. Die Aufgabensammlung Werkstofftechnik bietet keinen fertigen Werkstofftechnikunterricht, sondern ist eine ergänzende Aufgabensammlung. Diese fokussiert sich auf die Grundlagen. In Schulformen, die auf einer Erstausbildung aufbauen, wie der Technikerschule oder Meisterkurse, kann eine zügige Bearbeitung des Arbeitsheftes helfen, eine einheitliche Lernausgangslage für vertiefende Thematiken zu generieren.

Die Aufgaben haben sich in verschiedenen Schulformen im Unterricht bewährt. Das vorliegende Buch ist von einem Berufsschullehrer für Kollegen und Kolleginnen erstellt worden als praktische Hilfestellung für den alltäglichen Unterricht.

Der Autor bedankt sich ausdrücklich für die Bereitstellung von Bildern und Zeichnungen aus dem Lehrbuch „**Werkstofftechnik für Metallbauberufe**“ von Herrn Dr. Eckhard Ignatowitz.

Ich wünsche den Kolleginnen und Kollegen viel Freude bei der Umsetzung im Unterricht.

Der Autor und der Verlag sind allen Nutzern der „Werkstofftechnik Aufgabensammlung“ für kritische Hinweise und Verbesserungsvorschläge an lektorat@europa-lehrmittel.de dankbar.

Martin Kühl

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1 Grundlagen der Werkstofftechnik	4
Kapitel 2 Grundlagen der Metallkunde	10
Kapitel 3 Zustandsdiagramme	14
Kapitel 4 Metallographie	25
Kapitel 5 Eisen-Kohlenstoff-Zustandsschaubild	28
Kapitel 6 Wärmebehandlung von Stählen	34
Kapitel 7 Werkstoffprüfung	45
Kapitel 8 Korrosion	58
Kapitel 9 Stahlherstellung	64
Kapitel 10 Kunststoffe	70
Hinweise zum Einsatz im Unterricht	73
Kopiervorlage 1-1	74
Kopiervorlage 1-2	75
Kopiervorlage 2-1	76
Kopiervorlage 3-1	77
Kopiervorlage 3-2	78
Kopiervorlage 3-3	79
Kopiervorlage 4-1	80
Kopiervorlage 5-1	81
Kopiervorlage 5-2	82
Kopiervorlage 6-1	83
Kopiervorlage 6-2	84
Kopiervorlage 6-3	85
Kopiervorlage 6-4	86
Kopiervorlage 6-5	87
Kopiervorlage 7-1	88
Kopiervorlage 7-2	89
Kopiervorlage 7-3	90
Kopiervorlage 8-1	91
Kopiervorlage 8-2	92
Kopiervorlage 9-1	93
Kopiervorlage 9-2	94
Kopiervorlage 9-3	95
Kopiervorlage 10-1	96
Kopiervorlage 10-2	97
Lösungen	98

Kapitel 1 Grundlagen der Werkstofftechnik

1.1 Geben Sie für die folgenden Werkstoffe die Werte an.

Die Werte finden Sie im Tabellenbuch Metall Verlag Europa-Lehrmittel:

Werkstoff	Dichte in kg/dm ³	Spezifischen Widerstand bei 20 °C in Ω · mm ² /m	Metall (ja/nein)
Stahl, legiert	7,9	0,7	Ja
Glas (Quarzglas)	2,4 ... 2,7	10 ¹⁸	Nein
Kupfer	8,96	0,0179	Ja
Polystyrol	1,05	10 ¹⁰	Nein
Titan	4,5	0,42	Ja
Magnesium	1,74	0,044	Ja
Gips	2,3	–	Nein
Aluminium	2,7	0,028	Ja
Beton	1,8 ... 2,2	–	Nein
Gusseisen	7,25	0,6 ... 1,6	Ja
Porzellan	2,3 ... 2,5	10 ¹²	Nein
Holz (lufttrocken)	0,20 ... 0,72	–	Nein
Gold	19,3	0,022	Ja

Tabelle 1: Werkstoff-Kennwerte

1.2 Erstellen Sie ein Säulendiagramm. Das Diagramm soll die Dichte der einzelnen Werkstoffe aus Tabelle 1 absteigend darstellen.

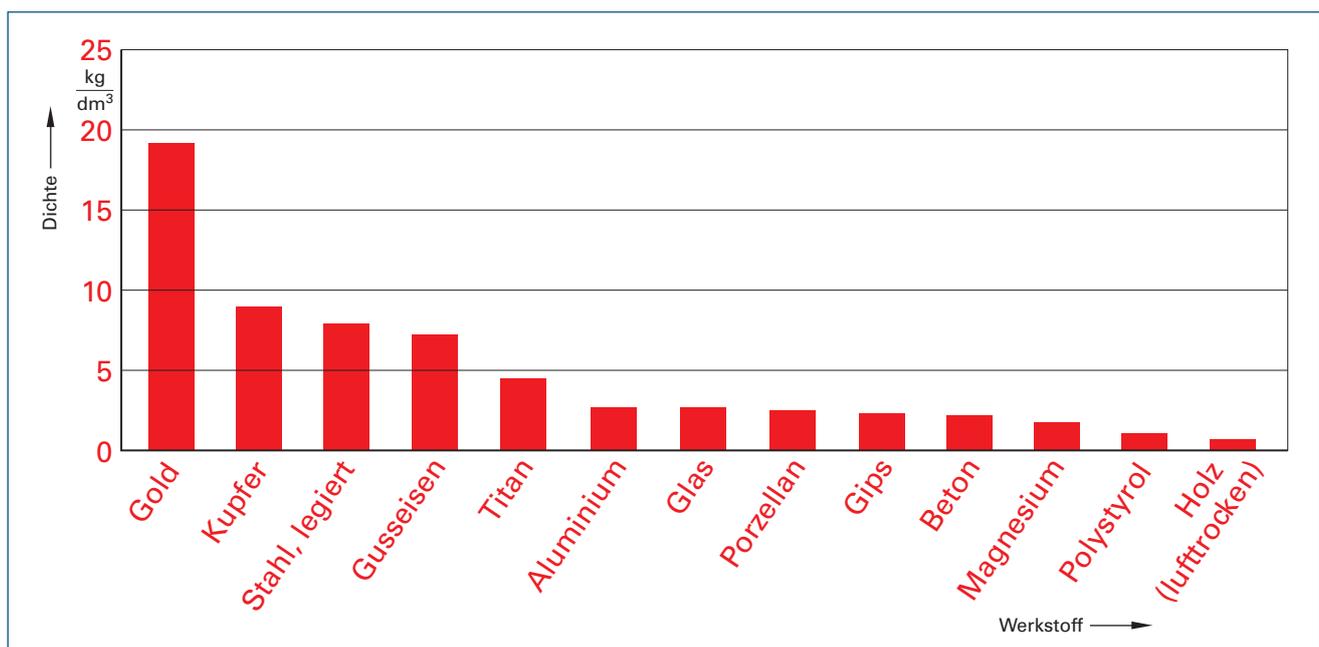


Diagramm 1: Säulendiagramm Werkstoffdichte

- 1.3** Ordnen sie die Werkstoffe aus Tabelle 1 (Seite 4) den folgenden Werkstoffgruppen zu. Geben Sie für die einzelnen Werkstoffe typische Anwendungen an, die Ihnen spontan einfallen.

Eisenwerkstoffe	
Stähle	Anwendungen
Stahl, legiert	Maschinenbau Motoren
Eisen-Gusswerkstoffe	Anwendungen
Gusseisen	Gehäuse

Nichteisen-Metalle	
Schwermetalle	Anwendungen
Kupfer	Stromleitungen
Gold	Schmuckindustrie
Leichtmetalle Dichte < 5 kg/m ³	Anwendungen
Titan	Maschinenbau Leichtbau
Magnesium	Maschinenbau Leichtbau
Aluminium	Maschinenbau, Verpackungsindustrie

Nicht-Metalle	
Naturstoffe	Anwendungen
Holz	Baustoff
Gips	Baustoff
Künstliche Werkstoffe	Anwendungen
Glas	Fensterglas
Polystyrol	Verpackungen
Beton	Baustoff
Porzellan	Geschirr

- 1.4** Listen Sie die chemischen Elemente in Tabelle 1 (Seite 4) auf und geben Sie das Kurzzeichen und die Ordnungszahl an.

Elemente	Kurzzeichen	Ordnungszahl
Kupfer	Cu	29
Titan	Ti	22
Magnesium	Mg	12
Aluminium	Al	13
Gold	Au	79

1.5 Vergleichen Sie folgende Aussagen mit den Werten in Tabelle 1 (Seite 4) und kommentieren Sie diese.

a) Alle Metalle können gut elektrischen Strom leiten. Sie haben einen geringen Widerstand.

Richtig. Die elektrische Leitfähigkeit gehört zu den typischen metallischen Eigenschaften.

b) Nichtmetalle sind immer leichter als Metalle.

Falsch. Diese Aussage ist so nicht richtig. Magnesium ist beispielsweise leichter als Beton.

c) Metalle unterscheiden sich sehr stark in der Dichte.

Richtig. Bei den in Tabelle 1 (Seite 4) angegeben Metallen ist Gold 11-mal schwerer als Magnesium.

d) Porzellan kann gut als Isolator eingesetzt werden.

Richtig. Porzellan hat einen hohen spezifischen Widerstand und wird zur Isolation von Hochspannungsleitungen eingesetzt.

e) Metallische Werkstoffe sind immer Elemente.

Falsch. Werkstoffe sind im allgemeinen Legierungen, die aus mehreren Stoffen bestehen.

1.6 Aufgabe Werkstoffauswahl

Die KinderradGut GmbH hat ein traditionelles Laufrad (Easy-RunFirst) im Angebot. Der Rahmen des Rades wird aktuell aus St185 gefertigt und hat eine Masse von 6,5 kg. Die Marketingabteilung hat festgestellt, dass neben den klassischen Kinderlaufrädern mit Stahlrohrrahmen, die seit Jahren erfolgreich vertrieben werden, die Einführung einer Leichtbauvariante aus Aluminium überprüft werden soll. Es gab mehrere Kundenanfragen nach leichteren Kinderlaufrädern. Eine Kundenbefragung hat ebenfalls ergeben, dass die Laufräder als zu schwer empfunden werden.

Die Vorgabe ist, dass die aktuelle Konstruktion nicht geändert werden soll. Lediglich der z.Zt. verwendete Werkstoff für den Stahlrohrrahmen soll durch eine Aluminiumlegierung ersetzt werden.

Zur Fertigung des Rahmens muss dieser umgeformt, geschweißt und spanend bearbeitet werden.



Bild 1: Kinderlaufrad

a) Listen Sie die benötigten Werkstoffeigenschaften des gesuchten Aluminiumwerkstoffes auf.

Dehngrenze > 185 N/mm ²	schweißbar
umformbar	spanend bearbeitbar

- b) Informieren Sie sich im Tabellenbuch Metall über die Aluminium-Werkstoffserien. Wählen Sie geeignete Serie aus und begründen Sie Ihre Entscheidung.

Die Serien 6000 und 7000 sind geeignet, da die Anforderungen erfüllt werden, wobei die 7000er Serie nur bedingt schweißbar ist. Aluminiumlegierungen dieser Serien werden für Fahrradrahmen verwendet. Werkstoff 7005/ 7020/ 6061/ 6066 alle T6, nur 7020 im Tabellenbuch.

- c) Machen Sie mithilfe des Tabellenbuches Metall einen Vorschlag für einen Werkstoff und begründen Sie ihre Auswahl.

7020, 7022, 7075, 6082, 6060 alle T6. Die Werkstoffauswahl würde in der betrieblichen Praxis so erfolgen, dass man mit dem Werkstoffhersteller gemeinsam einen geeigneten Werkstoff auswählen würde. Grundsätzlich wird aber Stahl durch Aluminium in diesem Einsatzgebiet aufgrund der geringen Dichte substituiert.

- d) Berechnen Sie die potenzielle Gewichtseinsparung.

Das Gewicht des Rahmens würde sich von 6,5 kg auf 2,2 kg reduzieren.

Das entspricht 66%. $\frac{2,7 \text{ kg/dm}^3}{7,9 \text{ kg/dm}^3} \cdot 6,5 \text{ kg} = 2,2 \text{ kg}$

1.7 Bezeichnungssystem der Stähle

- a) Erläutern Sie den Kurznamen und geben Sie falls möglich die chemische Zusammensetzung an.

Kurzname	Erläuterung und chemische Zusammensetzung
S355	Stahl für Stahlbau- und Maschinenbau: Streckgrenze R_e 355 N/mm ²
C60	Unlegierter Vergütungsstahl: 0,6% Kohlenstoff
E295	Stahl für Maschinenbau: Streckgrenze R_e 295 N/mm ²
24CrNi4	Legierter Einsatzstahl: 0,24% Kohlenstoff und 1% Chrom
40CrMnNiMo8-6-4	Legierter Kaltarbeitsstahl: 0,4% Kohlenstoff, 2% Chrom, 1,5% Mangan, 1% Nickel und geringe Mengen Molybdän
X10CrNi18-8	Hochlegierter Stahl: 0,1% Kohlenstoff, 18% Chrom und 8% Nickel
36SMn14	Automatenstahl: 0,36% Kohlenstoff und 0,14% Schwefel
X3CrTi17	Hochlegierter Stahl: 0,03% Kohlenstoff, 17% Chrom und geringe Mengen Titan

b) Geben Sie den Kurznamen zu dem angegebenen Kriterium an.

Kriterium	Kurzname
Stahl für Stahlbau, Streckgrenze R_e für Erzeugnisse < 16 mm 275 N/mm ²	S275
Unlegierter Vergütungsstahl Kohlenstoffgehalt 0,45%	C45
Legierter Einsatzstahl mit 0,18% Kohlenstoff und 1,25% Nickel und 1% Chrom	18NiCr5-4
Legierter Vergütungsstahl mit 0,34% Kohlenstoff, 1,5% Chrom und geringe Mengen Nickel und Molybdän	34CrNiMo6
Legierter Einsatzstahl mit 0,28% Kohlenstoff und 1% Chrom	28Cr4
Hochlegierter Stahl mit 0,05% Kohlenstoff, 18% Chrom und 10% Nickel	X5CrNi18-10
Hochlegierter Stahl mit 0,01% Kohlenstoff, 25% Nickel, 20% Chrom, 5% Molybdän und geringen Mengen Kupfer	X1NiCrMoCu25-20-5

1.8 Bezeichnung Gusseisen und Nichteisenmetalle

a) Erläutern sie den Kurznamen und geben Sie falls möglich die chemische Zusammensetzung an.

Kurzname	Erläuterung und chemische Zusammensetzung
GJS-400-18	Gusseisen mit Kugelgrafit mit einer Mindestzugfestigkeit R_m 400 N/mm ² Bruchdehnung von 18%
GJL-200	Gusseisen mit Lamellengrafit mit einer Mindestzugfestigkeit R_m 200 N/mm ²
GE200	Stahlguss für allgemeine Anwendungen $R_{p0,2\%} = 200$ N/mm ²
AC-ALSi12	Aluminiumgusslegierung mit 12% Silicium
AW-ALMn1Cu	Aluminiumknetlegierung mit 1% Mangan und geringen Mengen Kupfer
CuZn38Pb2	Kupferlegierung mit 38% Zink und 2% Blei
MgAl3Zn	Magnesiumlegierung mit 3% Aluminium und geringen Mengen Zink
MCMgAl4Si	Magnesiumgusslegierung mit 4% Aluminium und geringen Mengen Silicium

b) Geben sie den Kurznamen zu dem angegeben Kriterium an.

Kriterium	Kurzname
Gusseisen mit Kugelgrafit mit einer Zugfestigkeit $R_m = 500$ N/mm ² und einer Bruchdehnung von 7%	GJS-500-7
Gusseisen mit Lamellengrafit mit einer Mindestzugfestigkeit $R_m = 150$ N/mm ²	GJL-150
Stahlguss für allgemeine Anwendungen $R_{p0,2\%} = 350$ N/mm ²	GE350
Aluminiumknetlegierung mit 4% Kuper und geringen Mengen Blei und Magnesium	AW-AICu4PbMg
Magnesiumlegierung mit 2% Mangan	MgMn2
Aluminium-Gusslegierung mit 5% Magnesium	AC-ALMg5
Magnesium-Gusslegierung mit 9% Aluminium und 1% Zink	MCMgAl9Zn1

1.9 Fragen zur Wiederholung

Es können mehrere Antworten richtig sein. Kreuzen Sie die richtigen Antworten an.

1.9.1

- a) Werkstoffkennwerte für Naturstoffe sind immer exakt. Wertebereiche kommen in der Natur nicht vor.
- b) Beton ist doppelt so schwer wie Stahl.
- c) Porzellan ist viel leichter als Stahl.
- d) Aluminium ist etwas schwerer als Porzellan.

1.9.2 Stahl ...

- a) hat einen höheren spezifischen Widerstand als Aluminium.
- b) ist schwerer als Kupfer.
- c) ist ein Metall.
- d) hat die gleiche Dichte wie Gusseisen.

1.9.3

- a) Eine Unterteilung der Werkstoffe in unterschiedliche Gruppen ist in der Technik unüblich.
- b) Eine Unterteilung der Werkstoffe in Metalle und Nicht-Metalle ist in der Technik gebräuchlich.
- c) Kunststoffe und Beton sind künstliche Werkstoffe.
- d) Aluminium und Magnesium sind Schwermetalle.

1.9.4

- a) Alle Werkstoffe sind Elemente.
- b) Jede Werkstoffgruppe hat seine feste Anwendung. Eine Substitution einer Werkstoffgruppe durch eine andere kann nicht erfolgen.
- c) Bei der Auswahl eines Werkstoffes ist es wichtig die Anforderungen an diesen zu kennen.
- d) Ein leichter Werkstoff ist immer besser als ein schwerer.

1.9.5

- a) Aluminiumwerkstoffe werden in Guss- und Presswerkstoffe unterschieden.
- b) Aluminiumwerkstoffe werden in Guss- und Knetlegierungen unterschieden.
- c) Die Legierung AlMg3 enthält 3% Aluminium.
- d) Die Legierung AlCuMg1 enthält 1% Magnesium.

1.9.6

- a) Die Kennzeichnung von Stahl kann auf Grund der technischen Eigenschaften oder der chemischen Zusammensetzung erfolgen.
- b) C60 ist ein hochlegierter Stahl.
- c) Auch bei hochlegierten Stählen wird die Kennzahl für Kohlenstoff durch 100 dividiert.
- d) S275 enthält 2,75% Schwefel.

1.9.7

- a) Naturstoffe werden als technische Werkstoffe und Baustoffe eingesetzt.
- b) Gusseisen ist ein Naturstoff, da er rostet.
- c) Metalle können Elemente sein.
- d) Porzellan wird als Isolator eingesetzt.

1.9.8 Der Werkstoff X6Cr17 ...

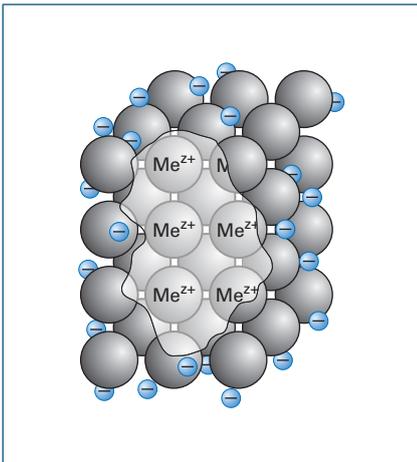
- a) ist ein Metall.
- b) ist ein hochlegierter Stahl.
- c) enthält 6% Kohlenstoff und 17% Chrom.
- d) ist genauso schwer wie Gold.

Kapitel 2 Grundlagen der Metallkunde

2.1 Nennen Sie drei charakteristische Eigenschaften von Metallen:

- elektrische Leitfähigkeit
- gute plastische Verformbarkeit
- metallischer Glanz

2.2 Erklären Sie die metallische Bindung.



Die Metallbindung besteht aus positiv geladenen

Metallrümpfen Me^{Z+} und delokalisierten freibeweglichen Elektroden (Elektronengas).

- Me^{Z+} = Metall-Ionen
- \ominus = frei bewegliche Elektronen

Bild 1: Metallbindung

2.3 Kennzeichnen Sie die Metalle, Halogene und Edelgase im Periodensystem der Elemente

1 H Wasserstoff																	2 He Helium
3 Li Lithium	4 Be Beryllium											5 B Bor	6 C Kohlenstoff	7 N Stickstoff	8 O Sauerstoff	9 F Fluor	10 Ne Neon
11 Na Natrium	12 Mg Magnesium											13 Al Aluminium	14 Si Silicium	15 P Phosphor	16 S Schwefel	17 Cl Chlor	18 Ar Argon
19 K Kalium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titan	23 V Vanadium	24 Cr Chrom	25 Mn Mangan	26 Fe Eisen	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Kupfer	30 Zn Zink	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsen	34 Se Selen	35 Br Brom	36 Kr Krypton
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirkon	41 Nb Niob	42 Mo Molybdän	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Silber	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Zinn	51 Sb Antimon	52 Te Tellur	53 I Iod	54 Xe Xenon
55 Cs Caesium	56 Ba Barium	57 La Lanthan	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantal	74 W Wolfram	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platin	79 Au Gold	80 Hg Quecksilber	81 Tl Thallium	82 Pb Blei	83 Bi Bismut	84 Po Polonium	85 At Astat	86 Rn Radon

Metalle
 Halogene
 Edelgase

Bild 2: Periodensystem der Elemente gekürzt

2.4 Vergleichen Sie folgende Aussagen mit dem Periodensystem der Elemente und kommentieren Sie diese.

a) Die meisten Elemente sind Metalle.

Ja, die Aussage ist richtig, ca. 80 % der Elemente sind Metalle.

b) Metalle gibt es in allen Hauptgruppen und Perioden.

Nein, in der Hauptgruppe 7 Halogene und 8 Edelgase gibt es keine Metalle.

Des Weiteren gibt es in der 1. Periode keine Metalle.

c) Alle Elemente der Nebengruppen sind Metalle. **Richtig.**

d) Listen Sie aus den Faktoren für Legierungsanteile die Nichtmetalle auf. Kennzeichnen Sie diese im Periodensystem und geben Sie den jeweiligen Faktor an.

C, N, P, S = Faktor immer 100. Nichtmetalle haben in kleinen Mengen einen großen Einfluss auf das Gefüge.

e) Eisen ist das Element 26 und hat seinen Platz im Periodensystem der Elemente in der 4 Periode und in der 8 Nebengruppe. Listen Sie die Elemente auf die direkt neben Eisen in der 4 Periode aufgeführt sind und geben Sie den jeweiligen Faktor für Legierungselemente an.

Cr, Mn, Co, Ni jeweils 4

2.5 Das Bild unten zeigt drei unterschiedliche Kristallgitterstrukturen von Metallen. Beschriften Sie diese und geben Sie die typischen Eigenschaften an.

Kugelmodell-Darstellung	Strichmodell-Darstellung	Beschreibung und Eigenschaften
	<p>Atommittelpunkte</p>	<p>Kubisch-raumzentriertes Gitter Würfel mit identischer Kantenlänge. In der Würfelmitte befindet sich ein zusätzliches Atom. Das Gitter ist nicht dicht gepackt. Mittlere plastische Verformbarkeit.</p>
		<p>Kubisch-flächenzentriertes Gitter Würfel mit identischen Kantenlängen. In der Mitte der Seitenflächen befindet sich ein zusätzliches Atom. Dichte Kugelpackung. Das Gitter ist sehr gut plastisch verformbar.</p>
		<p>Hexagonal Gitter hex oder hdp je nach Werk. Ein sechseckiges Prisma mit je einem Atom in der Mitte der Grundfläche und drei Atomen innerhalb des Prismas. Beschränkte plastische Verformbarkeit.</p>

Bild 1: Kugelmodell

2.6 Geben Sie bitte zu den entsprechenden Gittertypen Beispiele für Werkstoffe an.

Gittertyp	Kubisch flächen-, raumzentriert (kfz)	Kubisch raumzentriert (krz)	Hexagonal (hex)
Beispiele	γ -Fe, Au, Al, Cu, Ir, Ni, Pt, Ag, Rh, Pb	α -Fe, Cr, Ta, W	Zn, Mg, Os, Cd

2.7 Vergleichen Sie die Bruchdehnung von ferritischem (krz-Gitter) und austenitischen (kfz-Gitter) Stählen vgl. Tabellenbuch-Metall.

Ferritische Stähle (krz)	Bruchrechnung %	Austenitische Stähle (kfz)	Bruchdehnung %
X6Cr17	20	X2CrNi19-11	45 %
X6CrMo17-1	18	X6CrNiTi18-10	40 %
X2CrMoTi18-2	20	X2CrNiMoN17-13-5	35 %–40 %

Austenitische Stähle 35–45 % Bruchdehnung,

Ferritische Stähle 18–20 % Bruchdehnung

2.8 Realer kristalliner Aufbau

Bild 1 zeigt die Gitterbaufehler im Kristallgitter. Erklären Sie die Begriffe Leerstelle, Fremdatom, Versetzung und Zwischengitteratom mit eigenen Worten.

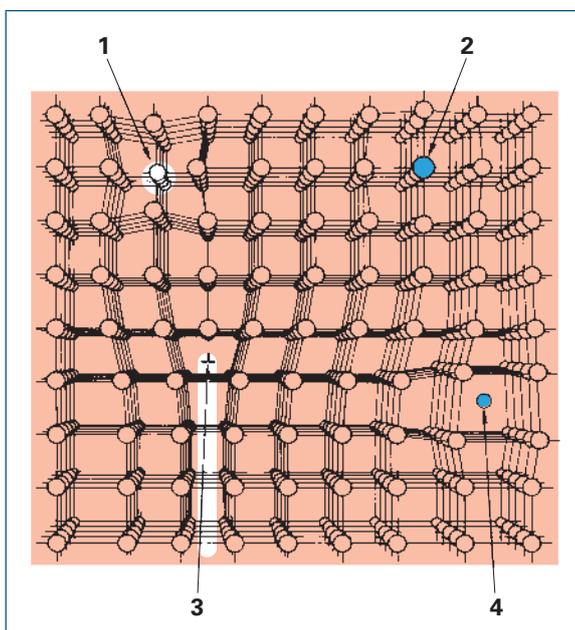


Bild 1: Gitterbaufehler im Kristallgitter

- 1 – Leerstelle. Der Gitterplatz ist nicht besetzt.
- 2 – Fremdatom. Auf einem Gitterplatz befindet sich ein Atom eines anderen Elements.
- 3 – Versetzungen. Diese sind linienförmige Baufehler.
- 4 – Zwischengitteratom. Fremdatome befinden sich zwischen den Gitterplätzen.

2.9 Fragen zur Wiederholung

Es können mehrere Antworten richtig sein. Kreuzen Sie die richtigen Antworten an.

2.9.1

- a) Metalle kristallisieren alle in gleichen Gitterstrukturen.
- b) Alle Metalle sind elektrische Leiter.
- c) Alle Metalle können plastisch verformt werden.
- d) Alle Elemente der 7. Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente sind Metalle.

2.9.2 Ein Werkstoff mit einem kfz Gitter ...

- a) ist spröde und schwer verformbar.
- b) könnte Gold sein.
- c) ist sehr gut verformbar.
- d) könnte Chrom sein.

2.9.3 Die metallische Bindung ...

- a) besteht aus Atombindungen.
- b) enthält Wasserstoffbrückenbindungen.
- c) besteht aus positiven Metallionen und freibeweglichen Elektronen.
- d) steht für Texturen.

2.9.4

- a) In realen Kristallen gibt es Gitterbaufehler.
- b) 20% der bekannten Elemente sind Metalle.
- c) Alle Elemente der Nebengruppen sind Halogene.
- d) Fremdatome im Metallgitter sind Gitterbaufehler.

2.9.5

- a) Alle Werkstoffe sind Elemente.
- b) Alle Elemente sind Werkstoffe.
- c) Metalle können Werkstoffe sein.
- d) Aus der Position im Periodensystem der Elemente kann ableiten werden, ob ein Element als Werkstoff geeignet ist.

2.9.6 Ein Werkstoff mit einem krz Gitter ...

- a) ist schwer verformbar.
- b) könnte Magnesium sein.
- c) ist sehr gut verformbar.
- d) besitzt in der Würfelmitte ein zusätzliches Atom.

2.9.7 In einem realen Kristallgitter ist ein Fremdatom ...

- a) ein nicht besetzter Gitterplatz.
- b) ein Atom des gleichen Elementes auf einem Gitterplatz.
- c) ein Atom eines anderen Elementes auf einem Gitterplatz.
- d) ein linienförmiger Baufehler.

2.9.8 Eisen ...

- a) ist das Element mit der Ordnungszahl 26.
- b) besitzt den lateinischen Namen „Ferrit“. Deshalb hat Eisen das Element Kurzzeichen Fe.
- c) kann in zwei Gittertypen vorliegen.
- d) ist eine Legierung.

Kapitel 3 Zustandsdiagramme

3.1 Erläutern Sie die Begriffe:

a) Phase:

Eine Phase ist eine einheitliche Substanz hinsichtlich der atomaren Zusammensetzung und Atomordnung und besitzt gleiche chemische, physikalische und kristallographische Eigenschaften.

b) Haltepunkt:

Bei einem Haltepunkt bleibt die Temperatur trotz konstanter Wärmezufuhr- oder Wärmeabfuhr konstant.

c) Knickpunkt:

Bei Knickpunkten flacht die Kurve trotz konstanter Wärmezufuhr- oder Wärmeabfuhr ab.

d) Legierung:

Legierungen sind Werkstoffe mit metallischen Eigenschaften, wobei die Mischung der Stoffe gezielt erfolgt. Eine Legierung kann aus mehreren Metallen oder Metallen und Nichtmetallen bestehen.

3.2 Beantworten Sie die folgenden Fragen oder nehmen Sie Stellung zu den Aussagen. Erläutern Sie Ihre Antworten.

a) Sie trinken einen Eskimoflip (Glas Wasser mit Eiswürfeln). Wie viel Phasen haben Sie im Glas?

Es sind zwei Phasen vorhanden. Wasser als Feststoff und Wasser in seiner flüssigen Phase. Das Wasser ist chemisch gleich, aber die physikalischen Eigenschaften unterscheiden sich.

b) Elemente haben keine Knickpunkte.

Ja, bei gleichmäßiger Energiezufuhr oder Energieabfuhr gibt es im Zeit-Temperatur-Diagramme von Elementen keine Knickpunkte.

c) Ein Verbundwerkstoff aus Glas und Kunststoff ist eine Legierung.

Nein, der Verbundwerkstoff hat keine metallischen Eigenschaften und kein Bestandteil ist ein Metall.

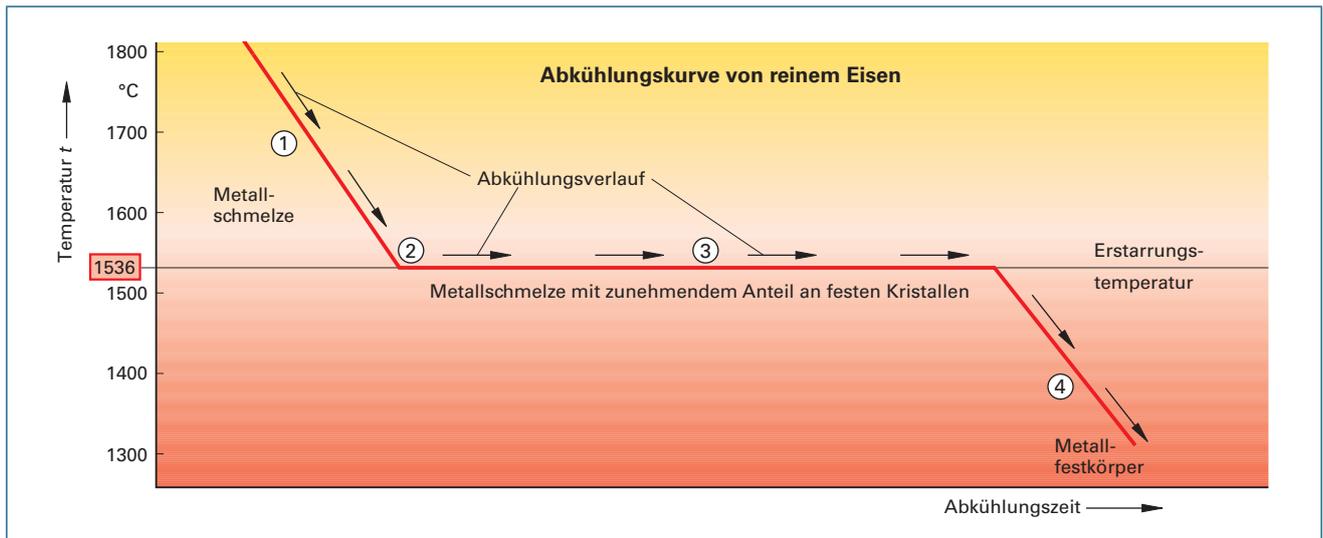


Bild 1: Abkühlungskurve von reinem Eisen

d) Beschreiben Sie die Vorgänge im atomaren Bereich bei der Abkühlung von Metallschmelzen.

Metallschmelze

In der Metallschmelze bewegen sich die Metallatome frei und regellos durcheinander.

Beginn der Kristallbildung

Es bilden sich Kristallisationskeime, an denen das Kristallwachstum beginnt.

Fortschreitende Kristallbildung

Von den Kristallisationskeimen ausgehend gliedern sich immer mehr Metallatome aus der Restschmelze den Kristallen an.

Vollständige Erstarrung

Die Schmelze ist vollständig erstarrt. Das Gefüge hat sich gebildet.

e) Berechnen Sie die Schmelzwärme, die nötig ist um 100 g unlegierten Stahl zu schmelzen.

$Q = q \cdot m$, $q = 250 \text{ kJ/kg}$ (Formel und Werte im Tabellenbuch Metall)

$Q = 205 \text{ kJ/kg} \cdot 0,1 \text{ kg} = 20,5 \text{ kJ}$

3.3 Es wurde von drei unterschiedlichen Schmelzen abgekühlt. Während der Abkühlung wurde die Temperatur gemessen.

Die Temperatur und Zeit wurden entsprechend in den Tabellen 3.3.1, 3.3.3 und 3.3.5 dokumentiert. Erstellen Sie die jeweiligen Abkühlkurven als Zeit-Temperatur-Diagramm. Tragen Sie in das Diagramm die Phasen, Haltepunkte und Knickpunkte ein.

3.3.1 Abkühlungskurve eines reinen Metalls

Temp. in °C	Zeit	Δt min	Beobachtung
703	10:00	0	flüssig
695	10:05	5	flüssig
680	10:10	10	flüssig
670	10:14	14	flüssig
665	10:18	18	flüssig
662	10:20	20	flüssig
661	10:22	22	flüssig
660	10.24	24	Beginn der Erstarrung
659	10:26	26	flüssig + fest
659	10:30	30	flüssig + fest
659	10:40	40	flüssig + fest
659	10:50	50	flüssig + fest
659	11:00	60	flüssig + fest
657	11:05	65	Vollständige Erstarrung
650	11:10	70	fest
635	11:20	80	fest

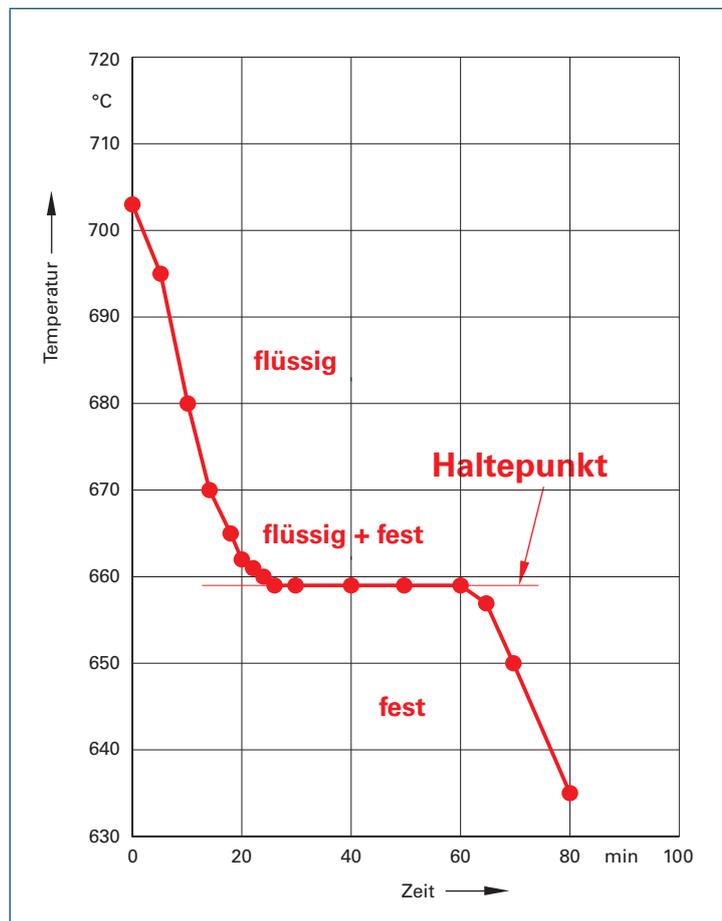


Bild 1: Diagramm

a) Geben Sie den Schmelzpunkt des Metalls an.

659 °C

b) Um welches Metall handelt es sich?

Aluminium, da Aluminium eine Schmelztemperatur von 659 °C hat.

3.3.2 Abkühlkurve einer Kupfer-Nickellegierung

Temp. in °C	Zeit	Δt min	Beobachtung
1550	11:20	0	flüssig
1470	11:23	3	flüssig
1400	11:28	8	flüssig
1350	11:32	12	Beginn der Erstarrung
1330	11:40	20	teigig
1310	11:50	30	teigig
1290	12:00	40	teigig
1270	12:10	50	teigig
1250	12:20	60	teigig
1230	12:30	70	teigig
1220	12:35	75	Vollständige Erstarrung
1160	12:40	80	fest
1090	12:50	90	fest
1045	13:00	100	fest
980	13:10	110	fest
920	13:20	120	fest

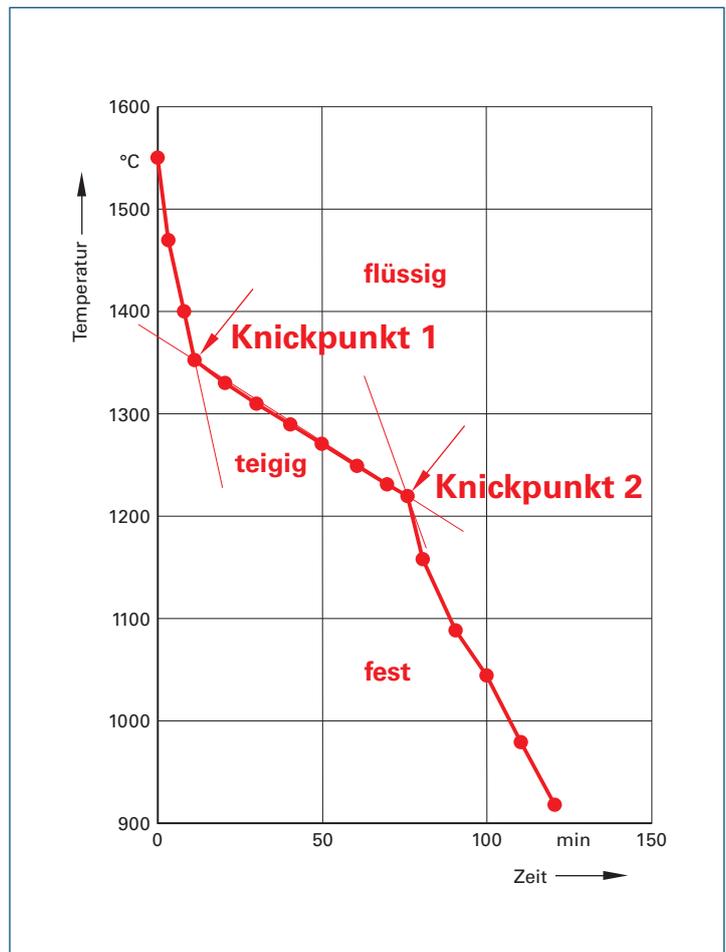


Bild 1: Diagramm

a) Geben Sie die Temperatur der jeweiligen Knickpunkte an. Beschreiben Sie was an diesen Punkten geschieht.

Knickpunkt 1 ca. 1350 °C und Knickpunkt 2 ca. 1220 °C.

Die Legierung beginnt bei 1350 °C zu erstarren. Es bilden sich Mischkristalle.

Im Laufe der Erstarrung wachsen die Keime bis die gesamte Schmelze bei 1220 °C erstarrt ist.

b) Wie viel Grad beträgt der Erstarrungsbereich?

ca. 130 °C

c) Bewerten Sie die Aussage. Ein Metall, dass beim Phasenwechsel fest-flüssig keinen Haltepunkt hat, ist kein Element, sondern eine Legierung.

Richtig, reine Elemente haben immer einen Haltepunkt. Legierungen können aber auch Haltepunkte haben.

3.3.3 Abkühlkurve Bismut-Cadmium-Legierung

Temp. in °C	Zeit	Δt min	Beobachtung
390	9:10	0	Schmelze
320	9:15	5	Schmelze
260	9:20	10	Schmelze
215	9:25	15	Beginn der Erstarrung
195	9:30	20	teigig
180	9:35	25	teigig
168	9:40	30	teigig
150	9:50	40	teigig
144	9:55	45	teigig
144	10:00	50	teigig
144	10:25	75	teigig
144	10:40	90	Ende der Erstarrung
135	10:45	95	fest
110	10:55	105	fest
80	11:05	115	fest
40	11:25	125	fest

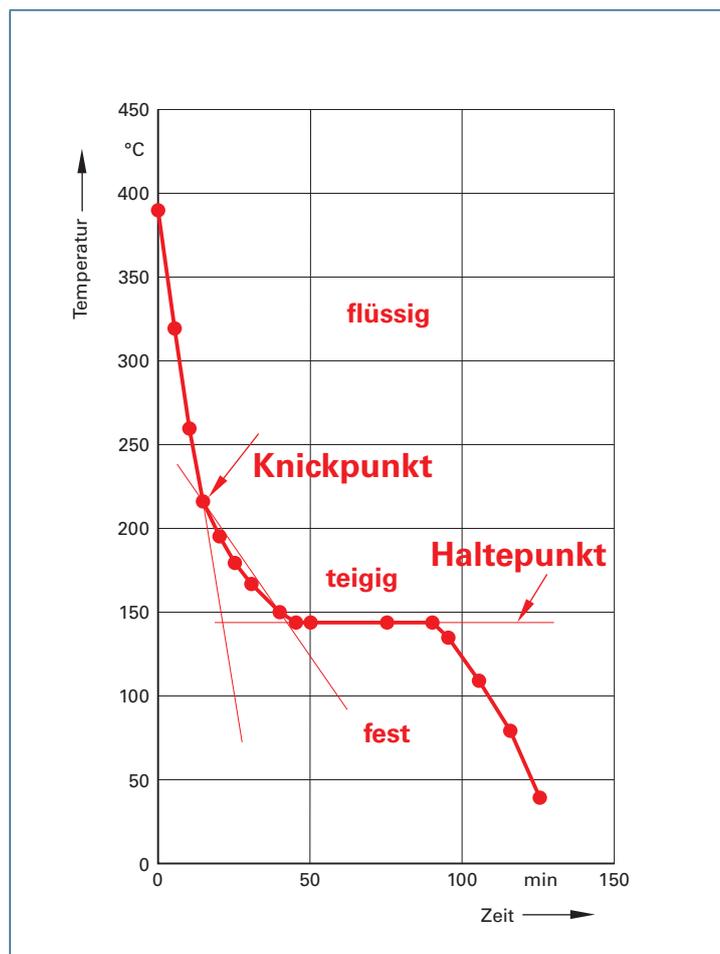


Bild 1: Diagramm

a) Geben Sie die Temperatur des Knickpunktes und des Haltepunktes an. Beschreiben Sie was an diesen Punkten geschieht.

Knickpunkt ca. 215 °C und Haltepunkt ca. 144 °C.

Die Legierung beginnt bei 215 °C zu erstarren. Es bilden sich Mischkristalle, im Laufe der Erstarrung wachsen die Keime und die Temperatur sinkt bis 144 °C. Bei 144 °C erstarrt die restliche Schmelze, ohne weiter abzukühlen. Nach der vollständigen Erstarrung sinkt die Temperatur weiter.

3.4 Zustandsdiagramme

3.4.1 Erklären Sie folgende Begriffe:

a) Liquiduslinie:

Die Liquiduslinie grenzt eine flüssige Phase gegen Phasen mit Stoffen in anderen Aggregatzuständen ab. Oberhalb der Liquiduslinie sind die Stoffe flüssig. Liquidus (lat.) = flüssig

b) Soliduslinie:

Die Soliduslinie grenzt feste Phasen gegenüber Phasen in anderen Aggregatzuständen ab. Unterhalb der Soliduslinie sind die Stoffe fest. Solidus (lat.) = fest

c) Mischkristall:

In Mischkristallen sind andere Elemente gelöst. Ein Mischkristall ist eine Phase, es ist ein homogenes Gefüge.

3.4.2 Erstellen Sie aus den Abkühlkurven verschiedener Cu-Ni-Legierungen ein Zustandsschaubild.

Beschriften Sie das Schaubild mit Liquiduslinie, Schmelze, Mischkristall, Soliduslinie sowie Schmelze und Mischkristall.

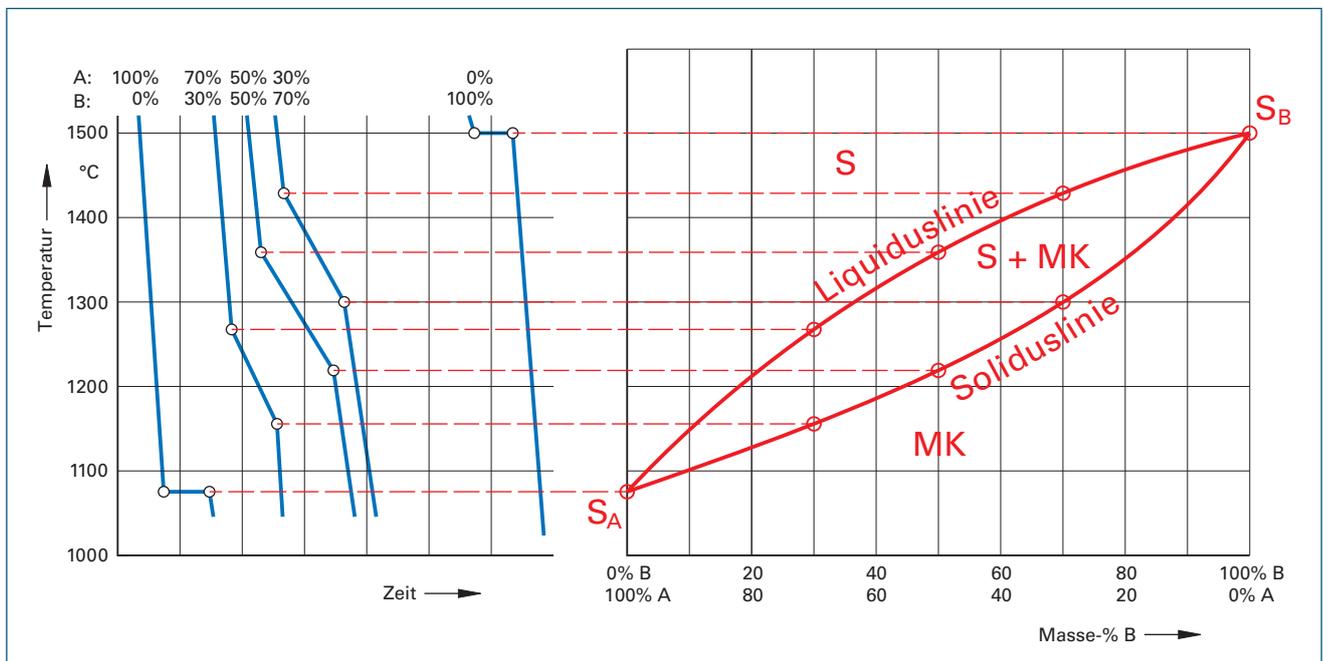


Bild 1: Abkühlungskurven und Zustandsschaubild des Legierungssystems Kupfer-Nickel

Das binäre Zustandsdiagramm Kupfer-Nickel ist ein typisches Zustandsdiagramm des Legierungssystems vollständige Löslichkeit im flüssigen und festem Zustand.

a) Geben Sie den Schmelzpunkt von Kupfer und Nickel an und kennzeichnen Sie diesen im Diagramm.

Schmelzpunkt Kupfer $S_A = 1083 \text{ °C}$ Schmelzpunkt Nickel $S_B = 1455 \text{ °C}$

b) Geben Sie den Erstarrungsbereich einer Legierung bestehend aus 20% Cu und 80% Ni an.

Von ca. 1450 °C bis 1350 °C .

c) Geben Sie die jeweiligen welche Phasen eine Legierung bestehend aus 70% Cu und 30% Ni an.

bei 1000 °C	Mischkristall 1 Phase
bei 1350 °C	Schmelze 1 Phase
bei 1200 °C	Schmelze und Mischkristall 2 Phasen

3.4.3

a) Bild 1 zeigt die Atomanordnung eines Austausch- oder Substitutionsmischkristalls bei vollständiger Löslichkeit. ① 100% A, 0% B und ② 70% A und 30% B. Zeichnen Sie unter ③ ein Kristall mit 50% A und 50% B und ④ mit 20% A und 80% B.

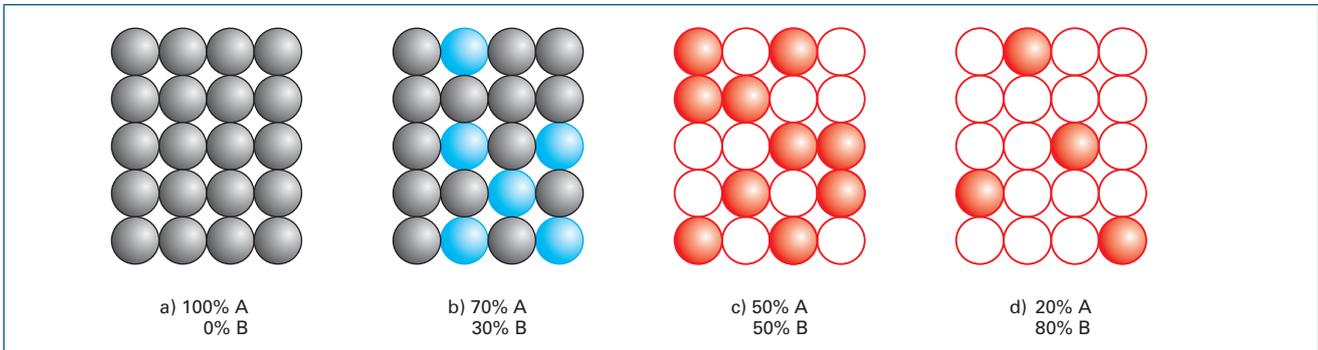
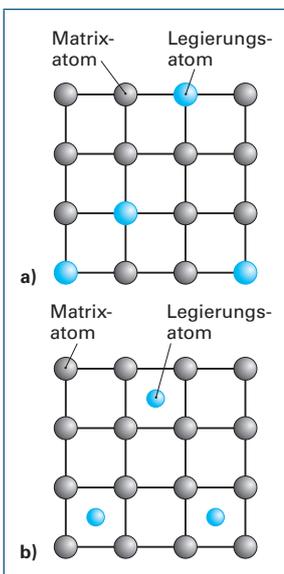


Bild 1: Atomanordnung Mischkristall, vollständige Löslichkeit

b) Bild 2 zeigt die Atomanordnung eines Austausch- oder Substitutionsmischkristall und Einlagerungsmischkristalls. Beschreiben Sie die Anordnung mit eigenen Worten.



Bei einem Substitutionsmischkristall werden Gitterplätze des Wirtsgitters durch Atome des Legierungselementes besetzt.

Bei einem Einlagerungsmischkristall befindet sich das Legierungselement auf freien Plätzen innerhalb des Wirtsgitters.

Bild 2: Atomanordnung Mischkristall, Substitution und Einlagerung

3.4.4 Erklären Sie folgende Begriffe:

a) Kristallgemisch:

Kristallgemische bestehen aus einer Mischung mehrerer unterschiedlicher Kristalle. Die einzelnen Kristallarten sind chemisch, physikalisch und kristallografisch unterschiedlich. Ein Kristallgemisch ist auch ein Phasengemisch.

b) Eutektikum:

Eutektikum bedeutet „gut gebaut“. Es sind Legierungen, die mit einem Haltepunkt aus der Schmelze in einen feingebauten lamellarem Gefüge erstarren. Es handelt sich um Kristallgemische.