

Jens Freudenberger und Martin Heilmaier

Materialkunde der Nichteisenmetalle und -legierungen



Inhaltsverzeichnis

[Cover](#)

[Vorwort zu Materialkunde der Nichteisenmetalle und -
legierungen](#)

[Über die Autoren](#)

[Einordnung der Metalle](#)

[1 Aluminium und Aluminiumlegierungen](#)

[1.1 Darstellung von Aluminium](#)

[1.2 Physikalische Eigenschaften von Aluminium](#)

[1.3 Legierungssysteme des Aluminiums](#)

[1.4 Aluminiumknetlegierungen](#)

[1.5 Aluminiumgusslegierungen](#)

[1.6 Festigkeitseigenschaften von
Aluminiumlegierungen bei erhöhter/tiefer
Temperatur](#)

[1.7 Werkstoffverhalten von Aluminiumlegierungen
unter wechselnder Beanspruchung](#)

[2 Titan und Titanlegierungen](#)

[2.1 Darstellung von Titan](#)

[2.2 Physikalische Eigenschaften von Titan](#)

[2.3 Titanlegierungen](#)

[3 Magnesium und Magnesiumlegierungen](#)

[3.1 Darstellung von Magnesium](#)

[3.2 Physikalische Eigenschaften](#)

[3.3 Klassifikation von Magnesiumlegierungen](#)

[4 Nickel und Nickellegierungen](#)

[4.1 Darstellung von Nickel](#)

[4.2 Physikalische Eigenschaften von Nickel](#)

[4.3 Nickellegierungen](#)

[4.4 Nickel als Basis weichmagnetischer Werkstoffe](#)

[5 Kupfer und Kupferlegierungen](#)

[5.1 Darstellung von Kupfer](#)

[5.2 Einteilung der Kupfersorten](#)

[5.3 Physikalische Eigenschaften](#)

[5.4 Mechanische Eigenschaften](#)

[5.5 Legierungssysteme des Kupfers](#)

[6 Silber und Silberlegierungen](#)

[6.1 Darstellung von Silber](#)

[6.2 Physikalische Eigenschaften von Silber](#)

[6.3 Mechanische Eigenschaften](#)

[6.4 Legierungssysteme auf Silberbasis](#)

[7 Gold und Goldlegierungen](#)

[7.1 Darstellung von Gold](#)

[7.2 Physikalische Eigenschaften von Gold](#)

[7.3 Mechanische Eigenschaften von
Goldlegierungen](#)

[7.4 Legierungssysteme des Goldes](#)

[7.5 Kontaktwerkstoffe auf Goldbasis](#)

[8 Platinmetalle und ihre Legierungen](#)

[8.1 Darstellung der Platinmetalle](#)

[8.2 Physikalische Eigenschaften der Platinmetalle](#)

[8.3 Mechanische Eigenschaften](#)

[8.4 Elektrische Eigenschaften](#)

[8.5 Thermoelektrische Kennwerte](#)

[9 Refraktärmetalle und ihre Legierungen](#)

[9.1 Darstellung der Refraktärmetalle](#)

[9.2 Pulvermetallurgie der Refraktärmetalle](#)

[9.3 Ausgewählte physikalische und chemische Eigenschaften der Refraktärmetalle](#)

[9.4 Molybdän und Molybdänlegierungen](#)

[9.5 Oxidationsbeständige Molybdänlegierungen](#)

[9.6 Wolfram und Wolframlegierungen](#)

[9.7 Tantal und Tantallegierungen](#)

[Stichwortverzeichnis](#)

[Endbenutzer-Lizenzvereinbarung](#)

Tabellenverzeichnis

Einordnung der Metalle

[Tab. 1 Gehalte der Metalle in der Erdkruste sowie die wichtigsten Mineralien, di...](#)

[Tab. 2 Grundlegende Werkstoffeigenschaften, die die Werkstoffauswahl bestimmen k...](#)

[Tab. 3 Zur hierarchischen Organisation von Werkstoffdaten.](#)

[Tab. 4 Stärke der Bindungen.](#)

[Tab. 5 Zustandsbezeichnungen von Aluminiumlegierungen im kaltverformten oder aus...](#)

Kapitel 1

[Tab. 1.1 Ausgewählte Kennwerte des Aluminiums. Nach: A.M. Russell und K.L. Lee. ...](#)

[Tab. 1.2 Bedeutung der Eigenschaftender Aluminiumlegierungen für die verschieden...](#)

[Tab. 1.3 Herausragende positive und negative Eigenschaften von Aluminium und sei...](#)

[Tab. 1.4 Eigenschaften von Aluminium und ausgewählten Aluminiumlegierungen \(Rein...](#)

[Tab. 1.5 Elektrische Kennwerte ausgewählter Metalle.](#)

[Tab. 1.6 Legierungsgruppen der Aluminiumknetlegierungen. x steht stellvertretend...](#)

[Tab. 1.7 Legierungsgruppen der Aluminiumgusslegierungen. x steht stellvertretend...](#)

[Tab. 1.8 Eigenschaftender Aluminiumlegierung AA6061 in ausgewählten Zuständen. N...](#)

[Tab. 1.9 Mechanische Eigenschaften verschiedener Gruppen von Aluminiumlegierunge...](#)

[Tab. 1.10 Eigenschaften ausgewählter Aluminiumlegierungen bei tiefen Temperature...](#)

Kapitel 2

[Tab. 2.1 Ausgewählte Kennwerte des Titans. Nach: A.M. Russell und K.L. Lee. Stru...](#)

[Tab. 2.2 Herausragende positive und negative Eigenschaften von Titan und seinen ...](#)

[Tab. 2.3 Gegenüberstellung der Eigenschaften von \$\alpha\$ - und \$\beta\$ -Titan.](#)

[Tab. 2.4 Maximale Löslichkeit von Wasserstoff in ausgewählten Metallen. Daten au...](#)

[Tab. 2.5 Güteklassen von Titan mit den jeweilig maximalen Verunreinigungskonzent...](#)

[Tab. 2.6 Typische Gehalte an \$\alpha\$ - und \$\beta\$ -stabilisierenden Elementen in Titanlegieru...](#)

[Tab. 2.7 Legierungselemente in Titanlegierungen und ihre wesentliche \(positive\)...](#)

[Tab. 2.8 Einfluss der Gefügemerkmale auf ausgewählte Eigenschaften von Titanlegi...](#)

[Tab. 2.9 Mechanische Kennwerte von TiAl5Sn2,5 im Zustand weich und geringfügig k...](#)

[Tab. 2.10 Mechanische Kennwerte ausgewählter Titanlegierungen. Nach: M. Peters u...](#)

[Tab. 2.11 Herausragende positive und negative Eigenschaften von \$\beta\$ -Titanlegierung...](#)

[Tab. 2.12 Variationsbreite der mechanischen Kennwerte in \(\$\alpha\$ + \$\beta\$ \)-Titanlegierung...](#)

[Tab. 2.13 Mechanische Eigenschaften ausgewählter, relevanter Titanlegierungen. D...](#)

[Tab. 2.14 Qualitativer Vergleich der Eigenschaften von Titanlegierungen. Nach: M...](#)

[Tab. 2.15 Mechanische Eigenschaften ausgewählter Titanlegierungen bei Raumtemper...](#)

Kapitel 3

[Tab. 3.1 Ausgewählte Kennwerte des Magnesiums. Nach: A.M. Russell und K.L. Lee. ...](#)

[Tab. 3.2 Herausragende positive und negative Eigenschaften von Magnesium und sei...](#)

[Tab. 3.3 Standardpotenzial \(\$E^\circ\$ \) ausgewählter Elemente. Nach: Wikipedia, 2017. UR...](#)

[Tab. 3.4 Die wahrscheinlichen Gleitsysteme des hexagonalen Kristallgitters. Nach...](#)

[Tab. 3.5 Mögliche Zwillingsysteme der hexagonal dichtest gepackten Kristallstru...](#)

[Tab. 3.6 Zusammensetzung der Werkstoffe, deren Dämpfungsverhalten in Abb. 3.16 g...](#)

[Tab. 3.7 Magnesiumlegierungen werden anhand folgender Kurzzeichen in Bezug auf i...](#)

[Tab. 3.8 Kennzeichnung, Zusammensetzung und Eigenschaften ausgewählter Magnesium...](#)

[Tab. 3.9 Wirkung von Legierungselementen in Magnesiumlegierungen.](#)

[Tab. 3.10 Maximale Löslichkeit \$x_m\$, Änderung der Streckgrenze \$\Delta R_{p02}/R_{p02}\$ und Diff...](#)

[Tab. 3.11 Mechanische Kennwerte ausgewählter Magnesiumlegierungen.](#)

[Tab. 3.12 Mechanische Kennwerte von AZ91 im Gusszustand, abgegossen mit verschie...](#)

[Tab. 3.13 Mechanische Kennwerte von Mg-Li-Legierungen.](#)

Kapitel 4

[Tab. 4.1 Ausgewählte Kennwerte des Nickels. Nach: A.M. Russell und K.L. Lee. Str...](#)

[Tab. 4.2 Elektrochemische Spannungsreihe ausgewählter Nichteisenmetalle.](#)

[Tab. 4.3 Herausragende positive und negative Eigenschaften von Nickel und seinen...](#)

[Tab. 4.4 Maximale Löslichkeit \$x\$ von Legierungselementen in Nickel.](#)

[Tab. 4.5 Mechanische Kennwerte von Nickel und Monel.](#)

[Tab. 4.6 Goldschmidt-Radien ausgewählter Elemente.](#)

[Tab. 4.7 Mechanische Kennwerte von Nichrome bei RT und 1000 °C.](#)

[Tab. 4.8 Eigenschaften verschiedener Inconel-Legierungen.](#)

[Tab. 4.9 Elastizitätsmodul von Nickel.](#)

Kapitel 5

[Tab. 5.1 Ausgewählte Kennwerte des Kupfers. Nach: A.M. Russell und K.L. Lee. Str...](#)

[Tab. 5.2 Herausragende positive und negative Eigenschaften von Kupfer und seinen...](#)

[Tab. 5.3 Übersicht über die Erscheinungsformen von nicht optimal gepoltem Kupfer...](#)

[Tab. 5.4 Bedingungen bei der Elektrolyse von Kupfer.](#)

[Tab. 5.5 Kupfersorten nach DIN 1787. Nach: Deutsches Kupferinstitut. Kupfer, 198...](#)

[Tab. 5.6 Wichtige Beimengungen in Kupferlegierungen und ihre positive Wirkung au...](#)

[Tab. 5.7 Formgebungsvermögen mittels Umformung und spanender Bearbeitung einiger...](#)

[Tab. 5.8 Die wichtigsten Messingsorten im Überblick.](#)

[Tab. 5.9 Wichtungsparemeter für die Bestimmung der Kupferäquivalente in mehrkompo...](#)

[Tab. 5.10 Überblick über die häufig verwendeten Zusätze zu Messingen und ihre Au...](#)

[Tab. 5.11 Korrosionsangriff von Atmosphärien auf verschiedene Legierungen; ang...](#)

[Tab. 5.12 Typische Einsatzgebiete von Zinnbronzen.](#)

[Tab. 5.13 Technologische Kennwerte von Kupfer-Zinn-Federbändern. Nach Deutsches ...](#)

[Tab. 5.14 Mischkristallverfestigung in CuAg7Zr0,05.](#)

[Tab. 5.15 Ausscheidungsverfestigung in CuAg7Zr0,05.](#)

[Tab. 5.16 Verfestigung durch Kornfeinung in CuAg7Zr0,05.](#)

[Tab. 5.17 Umformverfestigung in CuAg7Zr0,05.](#)

Kapitel 6

[Tab. 6.1 Ausgewählte Kennwerte des Silbers. Nach: A.M. Russell und K.L. Lee. Str...](#)

[Tab. 6.2 Herausragende positive und negative Eigenschaften von Silber.](#)

[Tab. 6.3 Rekristallisationstemperatur von Silber \(in °C\) für verschiedene voraus...](#)

[Tab. 6.4 Mechanische Eigenschaften von Silber bei hohen Temperaturen. Nach: W. M...](#)

[Tab. 6.5 Zugfestigkeit von binären Silberlegierungen. Nach: W. Martienssen und H...](#)

[Tab. 6.6 Eigenschaften von Silber-Nickel-Kohlenstoff-Legierungen. Nach: W. Marti...](#)

[Tab. 6.7 Eigenschaften von Silberverbundwerkstoffen. Nach: W. Martienssen und H....](#)

[Tab. 6.8 Eigenschaften von ternären Lotlegierungen aus dem System Ag-Cu-Zn im Ve...](#)

[Tab. 6.9 Eigenschaften von binären Ag-Cu-Legierungen im Vergleich mit denen von S...](#)

[Tab. 6.10 Mechanische Kennwerte verschiedener Silberlegierungen für ausgewählte ...](#)

Kapitel 7

[Tab. 7.1 Ausgewählte Kennwerte des Goldes. Nach: A.M. Russell und K.L. Lee. Stru...](#)

[Tab. 7.2 Herausragende positive und negative Eigenschaften von Gold.](#)

[Tab. 7.3 Spezifikation der Goldsorten. Nach: W. Martienssen und H. Warlimont, Hr...](#)

[Tab. 7.4 Gegenüberstellung des Feingehaltes von Goldlegierungen in der Maßeinheit...](#)

[Tab. 7.5 Anstieg des spezifischen elektrischen Widerstands von Gold aufgrund des...](#)

[Tab. 7.6 Rekristallisationstemperatur Trekr von Feingold verschiedener Reinheit....](#)

[Tab. 7.7 Mechanische Eigenschaften von Feingold \(4N\) bei hohen Temperaturen. Nac...](#)

[Tab. 7.8 Mechanische Eigenschaften von typischen Goldbonddrähten. A: Mittlere Zu...](#)

[Tab. 7.9 Zugfestigkeit von binären Goldlegierungen im rekristallisierten Zustand...](#)

[Tab. 7.10 Metallische Radien ausgewählter Elemente. Nach: M. Winter, 2018. URL: ...](#)

Kapitel 8

Tab. 8.1 Ausgewählte Kennwerte der Platinmetalle.
Nach: A.M. Russell und K.L. Le...

Tab. 8.2 Konzentration der Platinmetalle in der
Erdkruste sowie die daraus abgel...

Tab. 8.3 Fördermengen der Hauptförderländer von
Platinmetallen.

Tab. 8.4 Maximale Aufnahmekapazität von H (AKH
max) in den Platinmetallen. Nach:...

Tab. 8.6 Rekristallisationstemperaturen der
Platinmetalle. Zum Vergleich: Trekr(...

Tab. 8.5 Mechanische Eigenschaften der
Platinmetalle. Nach: A.M. Russell und K.L...

Tab. 8.7 Metallischer Radius ausgewählter
Elemente.

Tab. 8.8 Seebeck-Koeffizienten ausgewählter
Metalle, sogenannte thermoelektrisch...

Kapitel 9

Tab. 9.1 Ausgewählte Kennwerte der
Refraktärmetalle. Nach: A.M. Russell und K.L....

Tab. 9.2 Korrosionsverhalten der Refraktärmetalle
(bzw. ihrer Legierungen) im Ve...

Tab. 9.3 Häufigkeit der Refraktärmetalle in der
Erdkruste und weltweite Förderme...

Tab. 9.4 Schmelz- (TS) und
Rekristallisationstemperaturen (Trekr) der
Refraktärm...

Tab. 9.5 Atomradien ausgewählter Atome.

Tab. 9.6 Linearer thermischer
Ausdehnungskoeffizient bei Raumtemperatur von
eini...

[Tab. 9.7 Zugspannung im Quarzglas in der Nähe der Durchführungen. Die Werte gelt...](#)

[Tab. 9.8 Herausragende positive und negative Eigenschaften von Molybdän.](#)

[Tab. 9.9 Rekristallisationstemperatur ausgewählter refraktärmetallbasierter Legi...](#)

[Tab. 9.10 Herausragende positive und negative Eigenschaften von Wolfram.](#)

[Tab. 9.11 Elektronenaustrittsarbeit WEA in eV verschiedener Elektrodenwerkstoffe...](#)

Illustrationsverzeichnis

Einordnung der Metalle

[Abb. 1 Relative Wichtigkeit der Werkstoffe im Verlauf der Menschheitsgeschichte....](#)

[Abb. 2 Periodensystem der Elemente: Nichtmetalle, Metalloide, Leichtmetalle mit ...](#)

[Abb. 3 Preise der wichtigsten Nichteisenmetalle und von Roheisen \(Stand April 20...](#)

[Abb. 4 Was so alles schief gehen kann, wenn der Werkstoff ungeeignet ist...](#)

[Abb. 5 Gegenüberstellung von Elastizitätsmodul und Dichte in einem Eigenschaftss...](#)

[Abb. 6 Ausschnitt aus Abb. 5, das vollständige Diagramm befindet sich auf Seite ...](#)

[Abb. 7 Gegenüberstellung von Festigkeit \(Streckgrenze bei Metallen und Polymeren...](#)

Kapitel 1

[Abb. 1.1 Hauptanwendungsgebiete des Aluminiums für das Jahr 2015 in Deutschland....](#)

[Abb. 1.2 Weltweite Verteilung von Bauxitabbaugebieten und Hauptförderländer. Die...](#)

[Abb. 1.3 Bauxit. Fundort: Recou bei Carnoules, Frankreich; Mineralogische Samml...](#)

[Abb. 1.4 Phasendiagramm zwischen Kryolith und Aluminiumoxid.](#)

[Abb. 1.5 Schematische Darstellung einer Zelle für die Elektrolyse von Aluminium....](#)

[Abb. 1.6 Weltjahresproduktion von Aluminium. Nach: U.S. Geological Survey, 2015....](#)

[Abb. 1.7 Löslichkeit von Wasserstoff in Aluminium, gemessen unter einem Druck vo...](#)

[Abb. 1.8 Dichte von Aluminium in Abhängigkeit von der Temperatur. Nach: C. Kamme...](#)

[Abb. 1.9 Verlauf des spezifischen elektrischen Widerstands von Aluminium in Abh...](#)

[Abb. 1.10 Einfluss von Legierungselementen auf a\) den spezifischen elektrischen ...](#)

[Abb. 1.11 Aluminiumlegierungen basieren im Wesentlichen auf fünf Hauptlegierungs...](#)

[Abb. 1.12 Phasendiagramm von Al-Cu. Nach: The Landolt-Börnstein Database. URL: ht...](#)

[Abb. 1.13 Gefüge von binären AluminiumKupfer-Legierungen.](#)

[Abb. 1.14 Aluminiumreiche Seite des Al-Cu-Phasendiagramms. Während der Erstarrun...](#)

[Abb. 1.15 Konzentrationsprofil während der Erstarrung von x0 \(s. Abb. 1.14\).](#)

[Abb. 1.16 Temperaturprofil während der Nichtgleichgewichtserstarrung von x0 mit ...](#)

[Abb. 1.17 Vorgehensweise bei der Ausscheidungshärtung: Die Legierung wird im Ber...](#)

[Abb. 1.18 Aluminiumreiche Seite des Al-Cu-Phasendiagramms mit Löslichkeitslinien...](#)

[Abb. 1.19 Schematische Darstellung der GP1-Zone anhand eines Schnittes durch die...](#)

[Abb. 1.20 Struktur der GP1-Zone. Cu-Atome sind farbig unterlegt.](#)

[Abb. 1.21 TEM-Hellfeldaufnahme von GP1 -Zonen in Al-Cu-Li-\(Mg\). Nach: Z. Gao, u...](#)

[Abb. 1.22 Struktur der GP2-Zone. Cu-Atome sind farbig unterlegt.](#)

[Abb. 1.23 TEM-Hellfeldaufnahme von GP2-Zonen in Al-Mg-Si. Nach: M.S. Silva, u.a....](#)

[Abb. 1.24 Struktur der \$\theta'\$ -Phase. Cu-Atome sind farbig unterlegt.](#)

[Abb. 1.25 Struktur der \$\text{Al}_2\text{Cu}\$ -Phase. Cu-Atome sind farbig unterlegt.](#)

[Abb. 1.26 Schematische Darstellung eines Teilchens, welches durch die Bewegung e...](#)

[Abb. 1.27 Härte als Funktion der Wärmebehandlungsdauer für zwei Temperaturen. Na...](#)

[Abb. 1.28 Phasendiagramm von Al-Si. Nach: The Landolt-Börnstein Database. URL: h...](#)

[Abb. 1.29 Phasendiagramm von Al-Mg. Nach: The Landolt-Börnstein Database. URL: h...](#)

[Abb. 1.30 Typische Erscheinung von Fließfiguren in 5000er-Aluminiumlegierungen, ...](#)

[Abb. 1.31 Mg-Si-Phasendiagramm. Nach: The Landolt-Börnstein Database. URL: <http://...>](#)

[Abb. 1.32 Projektion der Liquidusfläche im System Al-Si-Mg. Entgegen derin diese...](#)

[Abb. 1.33 Schematische Darstellung der Bildung von Ausscheidungen: a\) Ausschnitt...](#)

[Abb. 1.34 Guinier-Preston-Zonen und \$\beta'\$ -Mg₂Si-Ausscheidungen in AlMg_{0,62}Si_{0,37}. D...](#)

[Abb. 1.35 Mechanische Kennwerte einer AlSi₆Mg₂-Legierung in Abhängigkeit von T...](#)

[Abb. 1.36 Al-Zn-Phasendiagramm. Nach: The Landolt-Börnstein Database. URL: <http://...>](#)

[Abb. 1.37 Schmelzflächenprojektion im System Al-Mg-Zn. Diese Darstellung erfolgt ...](#)

[Abb. 1.38 Al-Li-Phasendiagramm. Nach: The Landolt-Börnstein Database. URL: <http://...>](#)

[Abb. 1.39 Gefüge einer Al-Li-Mg-Cu-Legierung, die bei 520°C für 30 min angelasse...](#)

[Abb. 1.40 Zugfestigkeit ausgewählter Aluminiumknetlegierungen im Vergleich. Nach...](#)

[Abb. 1.41 Festigkeit und Charakteristika der Klassen von Aluminiumknetlegierunge...](#)

[Abb. 1.42 Anwendungsbereich der Gießverfahren in Bezug auf die Legierungszusamme...](#)

[Abb. 1.43 Gefüge von AlSi₇ im Gusszustand. Neben einigen primär erstarrten Al-Ge...](#)

[Abb. 1.44 Gefüge von AlSi₁₃ im Gusszustand. Deutlich ist das hier hell abgebilde...](#)

[Abb. 1.45 Gefüge von AlSi20 im Gusszustand.](#)

[Abb. 1.46 Gefüge von Al-Si9Cu3 im Gusszustand \(unveredelt\).](#)

[Abb. 1.47 Gefüge von veredeltem AlSi9Cu3 im Gusszustand. Im Vergleich zu Abb. 1....](#)

[Abb. 1.48 Ausschnitt aus dem Al-Mg-Phasendiagramm. Nach: The Landolt-Börnstein D...](#)

[Abb. 1.49 a\) Zugfestigkeit bei 20°C nach einer Wärmebehandlung und b\) Zugfestigk...](#)

[Abb. 1.50 Mechanische Kennwerte der Gusslegierungen AlMg5 und AlMg5Si. Nach: C. ...](#)

[Abb. 1.51 Schematische Darstellung von a\) Dehnung und b\) Dehnrate während eines ...](#)

[Abb. 1.52 a\) Kriechverhalten von AlMg3 sowie b\) die Spannungsabhängigkeit der mi...](#)

[Abb. 1.53 Kriechverhalten von AlMg5. Zur Orientierung ist die in-situ gemessene ...](#)

[Abb. 1.54 a\) Zugfestigkeit, Streckgrenze und b\) Bruchdehnung von Aluminium \(AA11...](#)

[Abb. 1.55 Zugfestigkeit und Streckgrenze ausgewählter ausgehärteter Aluminiumkne...](#)

[Abb. 1.56 a\) Überlebenswahrscheinlichkeit und b\) daraus abgeleitet die Dauerschw...](#)

[Abb. 1.57 Typischer Verlauf der Wöhler-Kurven bei zyklischer Biegewechselbeanspruc...](#)

[Abb. 1.58 Dauerfestigkeit einer kaltumgeformten AlMg4-Legierung \(5086\) bei versc...](#)

Kapitel 2

[Abb. 2.1 Hauptanwendungsgebiete des Titans, lediglich 4 % entfallen auf titanba...](#)

[Abb. 2.2 Ilmenit. Fundort: Champion Mine, Kalifornien, USA; Mineralogische Samml...](#)

[Abb. 2.3 Rutilkristalle auf pegmatitischer Gangart. Fundort: Kargerö, Norwegen; ...](#)

[Abb. 2.4 Beim Titanerztagebau werden Sande mit Schwimmbaggern durchsiebt, North ...](#)

[Abb. 2.5 Weltweite Verteilung der Titangewinnung und Hauptförderländer. Die Zahl...](#)

[Abb. 2.6 Titanschwamm.](#)

[Abb. 2.7 Schematische Darstellung der Prozesskammer des van Arkel-de Boer-Verfah...](#)

[Abb. 2.8 Titan, hochrein 99,995 %, hergestellt nach dem van Arkel-de Boer-Verfah...](#)

[Abb. 2.9 Kristallstruktur von Titan in der Tieftemperatur-modifikation \(hexagona...](#)

[Abb. 2.10 Kristallstruktur von Titan in der Hochtemperaturmodifikation \(oberhalb...](#)

[Abb. 2.11 Zur Verdeutlichung der geringen Gitterdehnung beim Übergang von \$\beta\$ - zu ...](#)

[Abb. 2.12 Ti-reiche Seite des O-Ti-Phasendiagramms. Die \$\alpha\$ - und \$\beta\$ -Bereiche des Ti...](#)

[Abb. 2.13 Einfluss von interstitiellen Verunreinigungen auf die mechanischen Eig...](#)

[Abb. 2.14 Schweißen von Titan ist nur unter Schutzgasatmosphäre möglich – die Hül...](#)

[Abb. 2.15 Klassifikation von Titanlegierungen anhand der Solvuslinie, die den \$\beta\$ -...](#)

[Abb. 2.16 Sn-Ti-Phasendiagramm. Die charakteristische Solvustemperatur ist farbi...](#)

[Abb. 2.17 Al-Ti-Phasendiagramm. Die charakteristische Solvustemperatur ist farbi...](#)

[Abb. 2.18 Ta-Ti-Phasendiagramm. Die charakteristische Solvustemperatur ist farbi...](#)

[Abb. 2.19 Cr-Ti-Phasendiagramm. Die charakteristische Solvustemperatur ist farbi...](#)

[Abb. 2.20 Wirkung der Legierungselemente in Titan als neutral, \$\alpha\$ - oder \$\beta\$ -stabili...](#)

[Abb. 2.21 Gefügeentwicklung von TiAl6V4 während der Abkühlung \(Hochtemperaturlic...](#)

[Abb. 2.22 Korbgeflechtgefüge von TiAl6V4. Nach: M. Peters und C. Leyens. Titan u...](#)

[Abb. 2.23 Gefüge von TiAl6V4 unter verschiedenen Prozessbedingungen. Die Abkühlu...](#)

[Abb. 2.24 Rekristallisationsgefüge von TiAl6V4. Nach: M. Peters und C. Leyens. T...](#)

[Abb. 2.25 Bimodales Rekristallisationsgefüge \(höhere Auflösung von Abb. 2.24c\). ...](#)

[Abb. 2.26 Widmannstätten-Struktur von \$\alpha\$ -Titan. Nach: George F. Vander Voort, Hrs...](#)

[Abb. 2.27 Kriechkurven von TiAl6Sn2,7Zr4Mo0,4Si0,45 \(TIMETAL 1100\) mit lamellare...](#)

[Abb. 2.28 Schematischer Temperatur-Konzentrationschnitt von Titanlegierungen mit...](#)

[Abb. 2.29 Gefügeformen der \$\beta\$ -Titanlegierungen TiV10Fe2Al3 \(2.29a-2.29e\) und TiV3...](#)

[Abb. 2.30 Für \$\beta\$ -Titanlegierungen mögliche Wärmebehandlungen: A.\) Lösungsglühung...](#)

[Abb. 2.31 Mechanische Kennwerte von TiV10Fe2Al3 mit verschiedenem Gehalt an \$\alpha\$ -Ph...](#)

[Abb. 2.32 Gefügeformen von TiAl6V4, entstanden durch unterschiedliche Abkühlbedi...](#)

[Abb. 2.33 Zusammenfassung der in Titanlegierungen auftretenden Phasen in Relatio...](#)

[Abb. 2.34 Rissausbreitungsverhalten in TiAl6V4 mit unterschiedlichen Gefügeformen...](#)

[Abb. 2.35 Al-Ti-Phasendiagramm. Die relevanten Phasenbereiche sind farbig hervor...](#)

[Abb. 2.36 Kristallstruktur der geordneten \(L10\) Y-TiAl-Phase.](#)

[Abb. 2.37 Werkstoffverhalten von Titanlegierungen bei hoher Temperatur. Nach: D....](#)

[Abb. 2.38 Ermüdungsverhalten von Reintitan \(Ti-grade 1\) unter Berücksichtigung v...](#)

[Abb. 2.39 Ermüdungseigenschaften von TiV10Fe2Al3 unter Betrachtung des \$\alpha\$ -Gehalte...](#)

[Abb. 2.40 Gefüge von TiV10Fe2Al3 mit verschiedenen Gehalten an \$\alpha\$ -Ausscheidungen....](#)

[Abb. 2.41 Ermüdungsverhalten von TiAl6V4 unter Berücksichtigung verschiedener Ein...](#)

[Abb. 2.42 Kriechverhalten von Reintitan \(Ti-grade 2\). Nach: H.J. Frost und M.F. ...](#)

[Abb. 2.43 Kriechverhalten von TiAl6V4 \(Ti-grade 5\). Nach: F. Breutinger. „Verfor...](#)

[Abb. 3.1 Hauptanwendungsfelder des Magnesiums. Nach: Alliance Magnesium, 2017. U...](#)

[Abb. 3.2 a\) Dolomit \(Fundort Traveisella, Piemont, Italien\) und b\) Magnesit \(Fun...](#)

[Abb. 3.3 Weltweite Verteilung von Magnesiumerzabbaugebieten und Hauptförderländer...](#)

[Abb. 3.4 Schematische Darstellung eines Chlorierungsreaktors zur Gewinnung von M...](#)

[Abb. 3.5 Schematische Darstellung einer Downs-Zelle zur Gewinnung von Magnesium....](#)

[Abb. 3.6 Phasendiagramme von \$MgCl_2\$ - \$CaCl_2\$, \$MgCl_2\$ - \$KCl\$ und \$MgCl_2\$ - \$NaCl\$. Entgegen der...](#)

[Abb. 3.7 Ferrosilizium.](#)

[Abb. 3.8 Schematische Darstellung eines Magnetherm-Reaktors. Nach: C. Kammer. Ma...](#)

[Abb. 3.9 Wichtige Ebenen der hexagonal dichtest gepackten Kristallstruktur; a\) b...](#)

[Abb. 3.10 Gefüge von Magnesium im weichgeglühten Zustand 3.10a mit polygoner Kor...](#)

[Abb. 3.11 Hexagonal dicht gepackte Einheitszelle mit eingezeichnetem \$\{1012\}\$, \(10...](#)

[Abb. 3.12 Abhängigkeit der Verformungsmechanismen unter Zugbeanspruchung in hexa...](#)

[Abb. 3.13 Zwillingsysteme \(1. Art\) der hexagonalen Kristallstruktur; links: L...](#)

[Abb. 3.14 Zwillingsysteme \(2. Art\) der hexagonalen Kristallstruktur; links: L...](#)

[Abb. 3.15 Dichte von Magnesium in Abhängigkeit von der Temperatur. Nach: C. Kamm...](#)

[Abb. 3.16 Dämpfungsverhalten von reinem \(„cp“ = commercially pure = rein; 99,8m....](#)

[Abb. 3.17 Dämpfungsverhalten von ausgewählten Magnesiumlegierungen. Nach: C. Kam...](#)

[Abb. 3.18 Zur Werkstoffauswahl: Das Dämpfungsverhalten verschiedener Werkstofffa...](#)

[Abb. 3.19 Korrosionsrate von binären Magnesiumlegierungen in Abhängigkeit vom Leg...](#)

[Abb. 3.20 Zugfestigkeit von binären Magnesiumlegierungen in Abhängigkeit vom Leg...](#)

[Abb. 3.21 Ausgewählte binäre Phasendiagramme. In dieser Zusammenstellung liegt d...](#)

[Abb. 3.22 Ausschnitt aus dem Mg-Al-Phasendiagramm.](#)

[Abb. 3.23 Mechanische Kennwerte von sandgegossenen Mg-Al-Legierungen in Abhängig...](#)

[Abb. 3.24 Das Gefüge der AZ91-Legierung enthält vergleichsweise grobe \(Mg₁₇Al₁₂\)...](#)

[Abb. 3.25 Liquidusprojektion im System Mg-Al-Zn. Entgegen der sonst in diesem Bu...](#)

[Abb. 3.26 Gefüge der Legierung MgAl₂Zn im Gusszustand. Nach: H. Oettel und H. Sc...](#)

[Abb. 3.27 Mechanische Kennwerte ausgewählter Magnesiumlegierungen in Abhängigkei...](#)

[Abb. 3.28 Vergleich der Wöhler-Kurven ausgewählter Magnesium-und Aluminiumlegier...](#)

[Abb. 3.29 Li-Mg-Phasendiagramm. Nach: The Landolt-Börnstein Database. URL: http:...](#)

[Abb. 3.30 Dichte von Mg-Li-Legierungen in Abhängigkeit von der Konzentration. Na...](#)

[Abb. 3.31 Verhältnis der Gitterparameter c/a von Mg-Li-Legierungen in Abhängigke...](#)

Kapitel 4

[Abb. 4.1 Hauptanwendungsgebiete des Nickels. Lediglich 12% des Nickels werden zu...](#)

[Abb. 4.2 a\) Garnierit\(Fund-ort: Callenberg bei Glauchau, Deutschland\), b\) Nickel...](#)

[Abb. 4.3 Bergbaugebiet bei Kouaoua im Südosten Neukaledoniens. Aufgrund der geri...](#)

[Abb. 4.4 Weltweite Verteilung von Nickelminen und Hauptförderländer. Die Zahlenw...](#)

[Abb. 4.5 Schematische Darstellung der Prozesskammer beim Mond Verfahren.](#)

[Abb. 4.6 Reinstnickel, hergestellt nach dem Mond-Verfahren. Nach: Wikipedia, 201...](#)

[Abb. 4.7 Kubisch flächenzentrierte Kristallstruktur. \$a\(\text{Ni}\) = 0,3524 \text{ nm}\$.](#)

[Abb. 4.8 Löslichkeit von Wasserstoff in Aluminium, Nickel und Kupfer in Abhängig...](#)

[Abb. 4.9 Massenzunahme infolge von Oxidation von Nickel bei verschiedenen Temper...](#)

[Abb. 4.10 Ausschnitt aus dem Ni-S-Phasendiagramm. Nach: H.-J. Bargel und G. Schu...](#)

[Abb. 4.11 Auswirkungen der Legierungselemente in Nickel und Nickellegierungen. N...](#)

[Abb. 4.12 Festigkeitsausgewählter Nickellegierungen bei hoher Temperatur. Die Wer...](#)

[Abb. 4.13 Schmelztemperatur der Elemente.](#)

[Abb. 4.14 Kristallstruktur der Metalle im Periodensystem der Elemente: kubisch f...](#)

[Abb. 4.15 Diffusionsvermögen und Aktivierungsenergien für Volu-mendiffusion von ...](#)

[Abb. 4.16 Phasendiagrammvon Cr–Ni. Nach: The Landolt-Börnstein Database. URL: ht...](#)

[Abb. 4.17 Gefüge von Inconel 625. Sichtbar sind neben der Mischkristallmatrix we...](#)

[Abb. 4.18 Reißlänge als Maß für die spezifische Zeitstandfestigkeit \(1000 h\) ver...](#)

[Abb. 4.19 Zeitliche Entwicklung der maximal möglichen Einsatztemperatur von Nick...](#)

[Abb. 4.20 Schnitt durch eine Flugturbine: ■ Titanlegierungen11, ■ Aluminiumlegie...](#)

[Abb. 4.21 a\) Turbinenschaufeln mit verschiedenen Gefügen \(von links nach rechts:...](#)

[Abb. 4.22 Legierungselemente in Nickelbasissuperlegierungen: ■ Mischkristallhärt...](#)

[Abb. 4.23 Kristallstruktur der geordneten \(L12\) Y'-Ni3Al-Phase. Die Ni-Atome sin...](#)

[Abb. 4.24 Darstellung verschiedener Gefügemerkmale, wie sie in Nickelbasissuperl...](#)

[Abb. 4.25 Kriechkurven verschiedener Generationen von rheniumhaltigen Nickelbasi...](#)

[Abb. 4.26 Veränderung des Gitterparameters der Y-Matrix in Abhängigkeit vom Legi...](#)

[Abb. 4.27 Phasendiagramm von Al-Ni. Nach: The Landolt-Börnstein Database. URL: h...](#)

[Abb. 4.28 Gefügeentwicklung einer Nickelbasissuperlegierung zu verschiedenen Sta...](#)

[Abb. 4.29 Schematische Darstellung der Entwicklung der Morphologie der Ausscheid...](#)

[Abb. 4.30 Veränderung der Festigkeit in Abhängigkeit von der Partikelgröße.](#)

[Abb. 4.31 Transmissionselektronenmikroskopische Aufnahmen, die belegen, dass Ver...](#)

[Abb. 4.32 Wenn Versetzungen geordnete Teilchen schneiden, entsteht hinter den Ve...](#)

[Abb. 4.33 Veränderung des Gitterparameters der \$\gamma'\$ -Ausscheidungen in Abhängigkeit ...](#)

[Abb. 4.34 Gefüge einer polykristallinen Nickelbasissuperlegierung mit einer bidi...](#)

[Abb. 4.35 Gefüge einer Nickelbasissuperlegierung nach einer Lösungsglühung und a...](#)

[Abb. 4.36 Kriechverhalten von Nickelbasissuperlegierungen mit verschiedenen Volu...](#)

[Abb. 4.37 Minimale Kriechrate für Nickelbasissuperlegierungen mit verschiedenen ...](#)

[Abb. 4.38 Elektronenmikroskopische Abbildung von M₂₃C₆-Karbiden an einer Korngre...](#)

[Abb. 4.39 Bruchspannung verschiedener Hochtemperaturwerkstoffe in Abhängigkeit v...](#)

[Abb. 4.40 Gefügeform der \$\alpha\$ -Phase in Nickelbasissuperlegierungen. Nach: A.M. Russ...](#)

[Abb. 4.41 Die Bethe-Slater-Kurve präsentiert die Abhängigkeit des Austauschinteg...](#)

[Abb. 4.42 Hysteresekurve eines ferromagnetischen Werkstoffs.](#)

[Abb. 4.43 Übersicht über die gebräuchlichen Magnetwerkstoffe. Aufgetragen sind d...](#)

[Abb. 4.44 Verlauf von Sättigungspolarisation, Curie-Temperatur, Kristallanisotro...](#)

Kapitel 5

[Abb. 5.1 Hauptanwendungsgebiete des Kupfers für das Jahr 2017. Daten entnommen v...](#)

[Abb. 5.2 Gediegenes Kupfer, Fundort: Tsumeb, Namibia; Mineralogische Sammlung der...](#)

[Abb. 5.3 Die wichtigsten Erze und Mineralien des Kupfers. a\) Chalkopyrit, Fundort...](#)

[Abb. 5.4 Chuquicamata: die größte Kupfermine der Welt \(Foto von Hendrik Peusch, 1...](#)

[Abb. 5.5 Weltweite Verteilung von Kupferminen und Hauptförderländer. Die Zahlen w...](#)

[Abb. 5.6 Kupfergewinnung: vom Erz zum Reinkupfer. Nach: Deutsches Kupferinstitut...](#)

[Abb. 5.7 a\) Ausschnitt aus dem Cu-O-Phasendiagramm auf der kupferreichen Seite; ...](#)

[Abb. 5.8 Löslichkeit von Wasserstoff in Aluminium, Nickel und Kupfer in Abhängigk...](#)

[Abb. 5.9 Tiefe der wasserstoffkranken Zone von Kupfer mit einem Sauerstoffgehalt...](#)

[Abb. 5.10 Gefüge von Kupferlegierungen nach einer Wasserstoffbehandlung. Teilbil...](#)

[Abb. 5.11 Widerstandserhöhung in Kupferlegierungen in Abhängigkeit von der Konze...](#)

[Abb. 5.12 Elektrische Leitfähigkeit von zähgepoltem und mit Phosphor desoxidiert...](#)

[Abb. 5.13 Elektrische Leitfähigkeit \(\$\alpha\$ \) und elektrischer Widerstand \(\$b\$ \) von rein...](#)

[Abb. 5.14 Verfestigung von Cu-OFE durch Kaltumformung. Nach: Wie land-Werke AG. ...](#)

[Abb. 5.15 a\) Gefüge von des-oxidiertem Kupfer nach der Kaltumformung und b\) ansc...](#)

[Abb. 5.16 Entfestigung von Cu-OFE durch eine Wärmebehandlung bei der angegebenen...](#)

[Abb. 5.17 Einfluss von Teilchenradius der Ausscheidungen und deren Volumenanteil...](#)

[Abb. 5.18 Zugfestigkeit einiger niedriglegierter Kupfersorten in Abhängigkeit ih...](#)

[Abb. 5.19 Zugfestigkeit einiger ausscheidungshärtender Kupferlegierungen in Abhä...](#)

[Abb. 5.20 Elektrische Leitfähigkeit binärer Kupferlegierungen in Abhängigkeit vo...](#)

[Abb. 5.21 Cu-Zn-Phasendiagramm \(Messing\). Nach: The LandoltBörnstein Database. UR...](#)

[Abb. 5.22 Gefüge verschiedener Messinge. Nach: Wie land-Werke AG. Wieland-Kupfer...](#)

[Abb. 5.23 Ausschnitt aus dem Cu-Zn-Phasendiagramm und mechanische Kennwerte eini...](#)

[Abb. 5.24 Gefüge von CuZn37. Nach H. Oettel und H. Schumann, Hrsg. Metallografie...](#)

[Abb. 5.25 Bereiche für Warmumformung, Rekristallisation und Spannungsfreiglühen ...](#)

[Abb. 5.26 Primäre Löslichkeit von einigen Cu-Legierungen mit verschiedenen höher...](#)

[Abb. 5.27 Gefüge von CuZn40 ohne und mit Bleizusatz. Die \$\alpha\$ -Phase erscheint hell...](#)

[Abb. 5.28 Spanformen und -größen wie sie beim Drehen von Messingen entstehen \(Sc...](#)

[Abb. 5.29 Mechanische Kenndaten von CuZn37 in Abhängigkeit vom Grad der Formände...](#)

[Abb. 5.30 a\) Zugfestigkeit und b\) Bruchdehnung verschiedener binärer Messinge al...](#)

[Abb. 5.31 Temperaturabhängigkeit dermechanischen Kennwerte von CuZn31 Si1. Nach:...](#)

[Abb. 5.32 Temperaturabhängigkeit dermechanischen Kennwerte von CuZn40Mn2Fe1. Nac...](#)

[Abb. 5.33 Phasendiagrammvon Zinn-Bronze \(Cu–Sn\). Nach: The Landolt-Börnstein Dat...](#)

[Abb. 5.34 Nichtgleichgewichtsphasendiagramme von Cu-Sn in Abhängigkeit von den A...](#)

[Abb. 5.35 Gefüge von CuSn6 in verschiedenen Zuständen; a\) homogener \$\alpha\$ -Mischkrist...](#)

[Abb. 5.36 Gefüge verschiedener Cu-Sn-Legierungen. Die CuSn10-Legierung im Gusszu...](#)

[Abb. 5.37 Mechanische Eigenschaftenvon Kupfer-Zinn-Knetlegierungen in Abhängigke...](#)

[Abb. 5.38 Mechanische Eigenschaften von weichgeglühten Kupfer-Zinn-Knetlegierung...](#)

[Abb. 5.39 Ausschnitte aus den Nichtgleichgewichtsphasendiagrammen von Cu-Sn](#)

[in A...](#)

[Abb. 5.40 Mechanische Eigenschaften von Kupfer-Zinn-Gusslegierungen in Abhängigk...](#)

[Abb. 5.41 Zugfestigkeit von ternären, kokillengegossenen Cu-Sn-Zn-Legierungen in...](#)

[Abb. 5.42 Einfluss von Nickel auf die mechanischen Eigenschaften von CuSn7Zn4Pb7...](#)

[Abb. 5.43 Zugfestigkeit von Cu-Sn-Pb-Gusslegierungen in Abhängigkeit von der Zus...](#)

[Abb. 5.44 Ausschnitt aus dem Al-Cu-Phasendiagramm. Nach: The Landolt-Börnstein D...](#)

[Abb. 5.45 Festigkeit und Dehnung von verschiedenen prozessierten Cu-Al-Legierungen...](#)

[Abb. 5.46 Elektrische Leitfähigkeit von Cu-Al-Legierungen in Abhängigkeit von de...](#)

[Abb. 5.47 Kavitationsbeständigkeit verschiedener Werkstoffe im Vergleich. Die We...](#)

[Abb. 5.48 a\) Phasendiagramm von Cu-Ni sowie b\) spezifischer Widerstand und desse...](#)

[Abb. 5.49 Entfestigungstemperatur binärer Kupfermischkristalle als Funktion des ...](#)

[Abb. 5.50 Cu-Ag-Phasendiagramm. Nach:The Landolt-Börnstein Database. URL: http:/...](#)

[Abb. 5.51 Gefügeformender in \(Cu,Ag\)-Mischkristallen auftretenden Ausscheidungen...](#)

[Abb. 5.52 Gefüge von elektro-deponierten Kupferschichten mit hoher Zwillingsdich...](#)

[Abb. 5.53 Spannungs-Deh-nungs-Kurven von Kupfereinkristallen, aufgenommen bei ve...](#)

[Abb. 5.54 Gefüge von Kupfer, gezogen bei Raumtemperatur \(\$\alpha\$ \) und unter kryogenen ...](#)

[Abb. 5.55 Zugfestigkeit von bei Raumtemperatur und unter kryogenen Bedingungen g...](#)

[Abb. 5.56 Cu-Te-Phasendiagramm. Nach: The Landolt-Börnstein Database. URL: \[http:...\]\(http://...\)](#)

[Abb. 5.57 Einfluss von thermischen und mechanischen Behandlungen auf das Gefüge ...](#)

[Abb. 5.58 Cu-Pb-Phasendiagramm. Nach: The Landolt-Börnstein Database. URL: \[http:...\]\(http://...\)](#)

[Abb. 5.59 Gefügeformen von CuPb25. Nach: H. Cui, u. a. „Microstructure evolution...](#)

[Abb. 5.60 Kupfer-Zirkonium-Phasendiagramm. Nach The Landolt-Börnstein Database. ...](#)

[Abb. 5.61 Härte von Cu, Cu-Cr und Cu-Zr in Abhängigkeit von der Temperatur einer...](#)

[Abb. 5.62 Kriechdehnung von verschiedenen Cu-Zr und Cu-Cr-Zr-Legierungen. Nach: ...](#)

[Abb. 5.63 Ausschnitt auf der kupferreichen Seite des Be-Cu-Phasendiagramms. Nach...](#)

[Abb. 5.64 Gefügeformeln von CuBe2 nach dem Homogenisieren bei 820°C/1 h nach ver...](#)

[Abb. 5.65 Verlauf von mechanischen und elektrischen Kennwerten von CuBe2 während...](#)

Kapitel 6

[Abb. 6.1 Hauptanwendungsbereiche des Silbers und seiner Legierungen. Nach: The w...](#)

[Abb. 6.2 Weltweite Verteilung von Silberminen und Hauptförderländer. Die Zahlenw...](#)

[Abb. 6.3 Gediegenes Silber; Mineralogische Sammlung der TU Bergakademie Freiberg...](#)

[Abb. 6.4 Die wichtigsten Erze und Mineralien des Silbers; Mineralogische Sammlung...](#)

[Abb. 6.5 Silbermünze Britannia, die der Legierung ihren Namen gab.](#)

[Abb. 6.6 Reflexionsvermögen der Metalle in Bereich des sichtbaren Lichts \(Aussch...](#)

[Abb. 6.7 Reflexionsvermögen der Metalle in Abhängigkeit von der Wellenlänge der ...](#)

[Abb. 6.8 Einfluss von Legierungsatomen auf den spezifischen elektrischen Widerst...](#)

[Abb. 6.9 Spezifischer elektrischer Widerstand von Silber nahezu im gesamten Temp...](#)

[Abb. 6.10 Gefüge von gegossenem Feinsilber mit groben Körnern. Nach: H. Oettel u...](#)

[Abb. 6.11 Rekristallisationstemperatur binärer Silberlegierungen in Abhängigkeit...](#)

[Abb. 6.12 Veränderung der mechanischen Kennwerte von Silber \(99,95%\) bei Raumtem...](#)

[Abb. 6.13 Zugfestigkeit und Streckgrenze verschiedener Silberlegierungen. Nach: ...](#)

[Abb. 6.14 Härteverlauf von feinkörnigem Silber und oxiddispersionsverfestigter \(...\)](#)

[Abb. 6.15 Silber-Nickel-Phasendiagramm. Nach: The Landolt-Börnstein Database. UR...](#)

[Abb. 6.16 Gefüge von rekristallisiertem Feinsilber \(\$\alpha\$ \) und rekristallisiertem Fe...](#)

[Abb. 6.17 Veränderung der mechanischen Kennwerte von Feinkornsilber \(\$\text{AgNi}_{0,15}\$ \) b...](#)