



Anhang

A



A

A	Anhang	
A.1	Begriffe	417
A.2	Fachzeitschriften	440

A

A.1 Begriffe aus Werkstoffwissenschaft und -technik

A.1

1. Aktivierungsenergie (activation energy)

Energie, die notwendig ist, einen Prozess auszulösen. Die Aktivierungsenergie für Diffusion wird gebraucht für Platzwechsel der Atome. Sie wird durch thermische Energie (Temperatur) aufgebracht. Die Aktivierungsenergie für Diffusion ist größer für substituierte (z.B. Fe mit Ni legiert) als für interstitielle (eingelagerte) Atome (z.B. Kohlenstoff in Fe). Die Aktivierungsenergie für Keimbildung nimmt ab mit zunehmender Unterkühlung und folglich mit abnehmendem kritischen Keimdurchmesser. Vorgänge wie Kristallerholung und Kriechen sind durch die Aktivierungsenergie für Selbstdiffusion bestimmt. Diese ist etwa proportional zur Schmelztemperatur (in K).

2. Alterung (ageing)

Diffusionsabhängige Prozesse. Zeitabhängige Änderung der Eigenschaften (Härte, Sprödigkeit, magnetische Hysterese). Reckalterung: Nach plastischer Verformung von Baustählen kommt es zur Erhöhung der Streckgrenze durch Diffusion von C-Atomen zu Versetzungen.

3. Anisotropie (anisotropy)

Anisotropie ist die Richtungsabhängigkeit von makroskopischen Eigenschaften, die von der Kristallstruktur (in Vielkristallen bei Textur) oder vom Gefüge (orientierte, stabförmige Teilchen, Faserverstärkung) stammen kann. Gefügeanisotropie: Kristallanisotropie verschwindet bei regelloser Verteilung der Kristallite. Makroskopische Gefügeanisotropie setzt Vorzugsorientierungen der Kristallite (Textur) oder zweiter Phasen (Schlackenzeilen, orientierte Fasern) voraus.

4. Anlassen (tempering)

Wiedererwärmen eines abgeschreckten Stahls mit martensitischem Gefüge. Es bilden sich Ausscheidungen von Karbiden. Streckgrenze und Härte nehmen ab, Bruchdehnung und Bruchzähigkeit nehmen zu.

5. **Aushärtung (age hardening, precipitation hardening)**
Erhöhung von Härte und Streckgrenze durch Ausscheidung fein dispergierter Phasen. Maßnahmen: Lösungsglühen, Abschrecken, Anlassen. Voraussetzung: abnehmende Löslichkeit der gelösten Atome mit sinkender Temperatur.
6. **Bainit (bainite)**
Auch Zwischenstufengefüge (nach E. C. Bain, U.S. Steel Corp.). Festkörperreaktion im Temperaturbereich zwischen Perlit (Eutektoid) und Martensit im Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubild von Stählen und Guss-eisen.
7. **Beton (concrete)**
Ein durch Verkleben mit Hilfe von Zement ($3\text{CaO} - \text{SiO}_2$) entstehender Werkstoff. Verklebt werden natürliche keramische Stoffe (Sand, Schotter) mit hydraulischem (d.h. mit H_2O reagierendem) oder polymerem Zement.
8. **Bimetall (bimetal)**
Bandförmiger Verbund aus zwei Metallen mit möglichst verschiedenen thermischen Ausdehnungskoeffizienten. Eine Temperaturänderung führt zur Verkrümmung. Anwendung für Temperaturregler oder Temperatursensoren.
9. **Biopolymere (bio-polymers)**
Kettenmoleküle, die pflanzlichen (Cellulose, Stärke) oder tierischen Ursprungs (Wolle, Seide) sind. In der Biosynthese werden CO_2 und H_2O mittels Sonnenenergie zu Glukose verbunden, aus der Stärkekettens polymerisiert werden. Diese Polymere sind biologisch (Bakterien, Pilze) abbaubar und der Werkstoffkreislauf ist geschlossen. Auch einige künstliche Polymere sind biologisch abbaubar.
10. **Bronze (bronze)**
→ Kupferlegierungen
11. **Bruchdehnung (elongation at rupture)**
Bleibende Dehnung nach Beendigung des Zugversuches. Sie setzt sich zusammen aus Gleichmaßdehnung und Einschnürungsdehnung. Letztere tritt bei plastischer Instabilität durch mangelnde Verfestigungsfähigkeit auf.

12. Bruchmechanismen (fracture mechanisms)

Die Trennung von Probenhälften kann ohne plastische Verformung (spröde) oder durch plastisches Abgleiten (Scherbruch, Einschnürungsbruch) erfolgen. Häufig geht dem Bruch plastische Verformung und Verfestigung voran (Bruchzähigkeit). Anisotropie: bevorzugte Spaltbarkeit bestimmter Kristallebenen. Interkristalline Sprödigkeit: Bruch längs Korngrenzen.

13. Bruchmechanik (fracture mechanics)

Analyse der Ausbreitung von Rissen in Proben mit vorgegebenem scharfen Anriss der Länge a , Beanspruchung $K = \sigma\sqrt{\pi a}$: Spannungsintensität.

14. Burgersvektor (Burgers vector)

Vektor, der geeignet ist, die Verzerrung infolge einer Versetzung im Kristallgitter zu kennzeichnen, z.B. $\underline{b} = a/2 \langle 111 \rangle$ für das krz Gitter. Vektoren, die nicht Gittervektoren sind, können zu unvollständigen Versetzungen und Stapelfehlern eines Kristalls führen: z.B. $a/6 \langle 112 \rangle$ für das kfz Gitter.

15. Curietemperatur (Curie temperature)

Temperatur des Übergangs von paramagnetisch zu ferromagnetisch. Bei $T < T_C$: magnetische Ordnung und Bildung einer Domänenstruktur (Weißsche Bezirke). Entsprechend verhalten sich die keramischen Ferroelektrika. Unterhalb von T_C entsteht ein spontanes elektrisches Feld und eine Domänenstruktur.

16. Cermet (cermet)

Ein Verbundwerkstoff bestehend aus metallischer Grundmasse und einer dispergierten keramischen Phase: z.B. $\text{Cu} + \text{Al}_2\text{O}_3$, oder $\text{Ag} + \text{SnO}_2$ für elektrische Kontakte.

17. Dämpfungsfähigkeit (damping capacity)

Durch innere Reibung (äußere Reibung siehe Tribologie) verursachte Energiedissipation bei Viskoelastizität, Plastizität durch Versetzungsbewegung, Diffusion, Entknäueln von Molekülen. Hochdämpfend sind graues Gusseisen, Polymere, Legierungen mit Formgedächtnis (martensitische Umwandlung).

18. Diamant (diamond)

Kristalline Phase des Kohlenstoffs mit kovalenter Bindung, tetraedrischer Koordination in kubischer Kristallstruktur. Diamant ist bei Umgebungsdruck metastabil. Diamant ist der Stoff mit der höchsten Härte und dem größten E -Modul. Verwendung in Schneidwerkzeugen.

19. Dichte (density)

Auf das Volumen bezogene Eigenschaften:

Massendichte	ρ	gm^{-3}
Leerstelldichte	ρ_i	m^{-3}
Versetzungsdichte	ρ_V	m^{-2}
Korngrenzendichte*	ρ_{KG}	m^{-1}
Elektronendichte	ρ_e	m^{-3}
Energiedichte**	ρ	Jm^{-3}
Grenzflächendichte***	$\rho_{\alpha\beta}$	m^{-1}

* $\rho_{\text{KG}}^{-1} = \bar{S}_{\text{KG}}$ mittlerer Korndurchmesser,

** Triebkraft für Reaktionen,

*** $\rho_{\alpha\beta} = f_{\beta}/d_{\beta}$ Dispersionsgrad; f_{β} Volumenanteil, d_{β} Durchmesser der β -Teilchen.

20. Diffusion (diffusion)

Stofftransport im festen Zustand, bei dem einzelne Atome ihre Plätze wechseln. Im Gegensatz zu fluiden Phasen (in denen Konvektion möglich ist), ist hier Diffusion die einzige Möglichkeit zur Bildung von Mischphasen. Diffusion kann aber auch Entmischung, Kristallerholung und Rekristallisation ermöglichen. Die maßgebliche Materialeigenschaft ist der Diffusionskoeffizient D (in m^2s^{-1}).

21. Dreistoffsystem (ternary system)

Werkstoff bestehend aus drei Atomarten (Fe, Cr, Ni) oder Verbindungen (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO). Die chemische Zusammensetzung kann in einem gleichseitigen Dreieck dargestellt werden. Es können bis zu vier Phasen im Gleichgewicht auftreten (ternäres Eutektikum, niedrige Schmelztemperatur, Lote).

22. Duromer (thermosetting material, resin)

Polymerwerkstoff, dessen Kettenmoleküle eng vernetzt sind (= Kunstharz, z.B. Epoxidharz).

23. Einkristall (single crystal)

Bauteil oder Probe, die aus einem einzigen Kristall besteht. Beispiel: Gasturbinenschaufel aus Ni-Superlegierung, Si-Kristall für integrierten Schaltkreis.

24. **Einsatzhärten (carburizing)**

Wie Stahlhärtung, aber ein an sich nicht härtbarer Stahl wird in seiner Oberfläche durch Diffusion von C aufgekohlt, wodurch er im Oberflächenbereich härtbar wird: harte Schale, weicher Kern.

25. **Elastizität (elasticity)**

Formänderung, die bei Entlastung rückläufig (reversibel) ist. Energieelastizität durch Entfernen der Atome aus Gleichgewichtspositionen (Minimum der Energie), Entropieelastizität durch Entknäueln (niedrige Entropie) und Zurückknäueln (hohe Entropie) der Molekülketten des Gummis. Superelastizität durch reversible martensitische Phasenumwandlung. Viskoelastizität ist zeitabhängige (Diffusion) reversible Formänderung.

26. **Elektrischer Leiter (electric conductor)**

Gute Leiter sind Metalle mit nichtgeradzahlgiger Wertigkeit: Ag, Cu, Al, neuerdings auch einige Polymere (Polyazetylen). Isolatoren enthalten keine freien Elektronen (Polymere, Keramik). Halbleiter sind bei tiefen Temperaturen Isolatoren, sie werden bei höheren Temperaturen oder durch Zulegierung von Dotierungsatomen leitend. Supraleiter verlieren unterhalb der kritischen Temperatur T_c (Sprungtemperatur) den elektrischen Widerstand (Metalle, Legierungen, Oxide). Ionenkristalle zeigen mit zunehmender Temperatur zunehmende Leitfähigkeit durch diffusive Bewegung der Ionen.

27. **Elementarzelle (unit cell, elementary cell)**

Bestimmte Anzahl und Anordnung von Atomen, die in einem Koordinatensystem periodisch wiederholt einen Einkristall (begrenzt durch Oberfläche) oder Kristallit (begrenzt durch Korngrenzen) ergeben. Eine Kristallstruktur ergibt sich aus einem geeigneten Koordinatensystem mit den Einheitsvektoren \underline{a} , \underline{b} , \underline{c} , deren Beträge die Gitterkonstanten sind. In dieser Elementarzelle befinden sich auf den Positionen (Punktlagen) u , v , w eine bestimmte Anzahl n von Atomen. Beispiel: Für das krz Gitter gilt $n = 2$ mit Atomen auf den Positionen: 000 und $1/2 \ 1/2 \ 1/2$ sowie $a = b = c$ wie für alle kubischen Gitter. Der Ortsvektor zum Mittenatom (II) der Zelle lautet: $r_{II} = 1/2 \underline{a} + 1/2 \underline{b} + 1/2 \underline{c}$. Seine Länge ist $(a/2) \sqrt{3}$.

Manche keramischen und metallischen Verbindungen, insbesondere Polymerkristalle, enthalten sehr viele und verschiedene Atome in der Elementarzelle ihrer Kristallstrukturen.

28. Entropieelastizität (entropy elasticity)

Reversible Formänderung, die durch Strecken und Zurückknäueln (hohe Entropie) von Kettenmolekülen zustande kommt (= Gummielastizität, Elastomer).

29. Erholung (recovery)

Durch teilweises oder vollständiges Ausheilen von Gitterdefekten ändern sich die Eigenschaften des Werkstoffs: Ausheilen von Strahlenschädigung durch Annihilation von Punktfehlern; Abnahme von Kaltverfestigung und inneren Spannungen durch gegenseitiges Auslöschen und Umordnung von Versetzungen.

30. Erosion (erosion)

Abtragung einer Oberfläche durch Molekül- oder Teilchenstrahl, abhängig von Einfallswinkel, Geschwindigkeit, Masse und Form der einfallenden Teilchen.

31. Ermüdung (fatigue)

→ Wöhlerkurve

Schädigung eines Werkstoffs durch periodische Beanspruchung (mechanisch, thermisch). Bei mechanischer Beanspruchung ist Bildung von Rissen und deren langsames und kritisches Wachstum zu unterscheiden.

32. Erstarren (solidification)

Der Übergang aus dem flüssigen in den festen Zustand. Kann erfolgen durch Kristallisation (mit Volumensprung) oder durch das Einfrieren der Flüssigkeit, d.h. Glasbildung (ohne Volumensprung). Im letzten Fall nimmt die Viskosität mit abnehmender Temperatur so stark ab, dass sich die Flüssigkeit wie ein Festkörper verhält.

33. Eutektikum (eutectic)

Dreiphasengleichgewicht in einem Zweikomponentensystem, bei abnehmender Temperatur entstehen aus homogener Flüssigkeit f zwei neue Kristallarten α und β : $f \rightarrow \alpha + \beta$. Die eutektische Temperatur ist die niedrigstmögliche Schmelztemperatur eines flüssigen Atom- oder Molekülgemisches, dessen Komponenten im kristallinen Zustand nicht mischbar sind. *Eutektoide Reaktion*: Reaktion im kristallinen (festen) Zustand. Es entstehen aus einer homogenen Kristallphase beim Abkühlen zwei neue Kristallarten. Wichtigstes Beispiel: Perlitbildung im Stahl mit $\sim 0,8$ Masse-% C: $\gamma\text{-Fe(C)} \rightarrow \alpha\text{-Fe(C)} + \text{Fe}_3\text{C}$, aus kubisch flächenzentriertem γ -

Mischkristall entsteht kubisch raumzentriertes α -Fe (mit sehr wenig C in Lösung) und Fe_3C (Zementit).

34. Faserverbundwerkstoff (fibre composite)

Kombination aus Grundmasse (Polymer, Leichtmetall) und regellos verteilten oder orientierten Fasern zur Erhöhung von Elastizitätsmodul und Festigkeit.

35. Festigkeit (strength)

Widerstand eines Werkstoffs gegen plastische Verformung sowie gegen Bildung und Ausbreitung von Rissen unter mechanischer Beanspruchung, d.h. eine Kombination von Streckgrenze und Bruchzähigkeit.

Biegefestigkeit: Die Beanspruchung ist nicht homogen und wechselt von Zug zu Druck, der Bruch beginnt in der Oberfläche mit der höchsten Zugspannung.

Druckfestigkeit: Kritische Spannung, bei der ein Bruch durch einachsige Druckspannung ausgelöst wird. Entscheidend ist meist eine kritische Schubspannung (Beton, graues Gusseisen). In diesen Werkstoffen ist die Druckfestigkeit höher als die Zugfestigkeit. In Faserverbundwerkstoffen und Holz ist die Druckfestigkeit oft durch Trennung von Faser und Matrix (Spleißen) bestimmt und ist geringer als die Zugfestigkeit.

Reißfestigkeit: Auf den wahren Querschnitt beim Reißen bezogene Spannung. Sie ist im Falle einer plastischen Instabilität (Einschnürung) sehr viel höher als die Zugfestigkeit.

Schwingfestigkeit: Spannungsamplitude, bei welcher der Werkstoff eine bestimmte Anzahl von periodischen Lastwechseln (z.B. $N = 10^6$) ohne endgültigen Bruch erträgt. Teilvorgänge: Rissbildung, unterkritisches Risswachstum, (kritischer) Gewaltbruch.

Zeitstandfestigkeit: Vom Werkstoff ertragene konstante Spannung (Kraft), bei der nach bestimmter Zeit (z.B. $t = 100$ h) noch kein Bruch aufgetreten ist.

Zugfestigkeit: Maximale Belastbarkeit F_{\max} eines Zugstabs bezogen auf seinen Ausgangsquerschnitt A_0 .

36. Formgedächtnis (shape memory)

Die Eigenschaft eines Werkstoffs, sich an den unverformten Zustand zu erinnern. In Polymeren durch Rückknäulen oder Rückfalten gestreckter Moleküle. In Metallen als Folge kristallographischer Scherung bei diffusionsloser martensitischer Umwandlung. Verwandte Erscheinungen:

Pseudoelastizität oder *Superelastizität:* gummiähnliche reversible Formänderung.

Pseudoplastizität oder *Einwegeffekt*: scheinbare plastische Verformung geht bei Erwärmen zurück.

Zweiwegeffekt: Reversible Formänderung durch Erwärmen und Abkühlen.

37. **Fügetechnik (joining technology)**

Verfahren der Fertigungstechnik, bei dem zwei Teile unlösbar zusammengefügt werden: Schweißen, Löten, Kleben.

38. **Funktionswerkstoff (functional material)**

Werkstoff, dessen Aufgabe nicht vorwiegend darin besteht, Lasten zu tragen: elektrische, thermische Leiter, harte und weiche Magnete, Sensorwerkstoffe, Lichtleiter, thermische und elektrische Isolatoren, etc.

39. **Gitterbaufehler (lattice defects)**

Störungen im Raumgitter der Kristalle werden eingeteilt nach ihrer geometrischen Dimension D .

$D = 0$	Punkt	Leerstelle, Fremdatom
$D = 1$	Linie	Versetzung
$D = 2$	Fläche	Korn-, (Anti)Phasen-, Zwillingsgrenze, Stapelfehler
$D = 3$	Volumen	Ausscheidungsteilchen, Dispersoide, Poren

Diese Fehler bewirken in Wechselwirkung mit Gleitversetzungen mechanische Härtung, in Wechselwirkung mit Blochwänden magnetische Härtung (siehe Härtungsmechanismen).

40. **Glas (glass)**

Ungeordnete feste Phase, entsteht durch Einfrieren unterkühlter Flüssigkeiten. Gläser sind in Metallen (regellose dichteste Packung), Keramiken (regelloses Netzwerk) und Polymeren (verknäuelte Moleküle) bekannt. Sie gehören zu den amorphen Festkörpern, die auch beim Aufdampfen entstehen können.

41. **Gummi (rubber)**

Polymerwerkstoff bestehend aus verknäuelten, lose vernetzten Molekülketten, die im mittleren Temperaturbereich Entropieelastizität (siehe dort) zeigen.

42. **Gusseisen (cast iron)**

Legierungen von Eisen mit höherem C-Gehalt als Stähle, in der Nähe des Eutektikums (4,3 Gew.-%): γ -Fe + Graphit: graues Gusseisen, γ -Fe +

Fe_3C : weißes Gusseisen. Graphit kann globular (hohe Bruchzähigkeit) oder lamellar (hohe Schwingungsdämpfungsfähigkeit) sein. Weißes Gusseisen ist verschleißbeständig.

43. **Halbleiter (semi-conductor)**

Werkstoffgruppe zwischen Metall und Keramik (Isolator): Si, Ge, GaAs. Ladungsträger können durch thermische Aktivierung oder Lichtstrahlen freigesetzt werden. Durch Dotieren (Einbringen von geringen Mengen höher- (n-Leitung, z.B. Phosphor) oder niedrigwertiger (p-Leitung, z.B. Aluminium) Legierungselemente kann die Leitfähigkeit darüber hinaus beeinflusst werden.

44. **Halbzeug (semi-finished products)**

Zwischen Rohstoff und Bauteil (siehe Kreislauf) kann der Werkstoff als Halbzeug vorliegen, das meist von der werkstoffherzeugenden Industrie an Werkstoffanwender geliefert wird: Blech, Band, Rohr, Draht, Profilträger. Die Abmessungen des Halbzeugs sind oft genormt.

45. **Härte (hardness)**

Widerstand eines Werkstoffs gegen das Eindringen eines anderen, sehr viel härteren Körpers mit genormten Abmessungen:

Kugel: Brinell-Härte HBW, Pyramide: Vickers-Härte HV, Härtewert errechnet aus Kraft dividiert durch Oberfläche des Eindrucks,

Kegel: Rockwell-Härte HRC, Härtewert aus der Eindringtiefe.

Ritzhärte nach Mohs: Reihung der Stoffe nach gegenseitiger Ritzbarkeit (Mohssche Härteskala).

46. **Hartmetall (sintered hard metal)**

Auch: Sinterhartmetall. Pulvermetallurgisch hergestellter Werkstoff, bei dem in metallischer Grundmasse (Co) große Anteile (60-90 %) einer Hartphase (WC, TiC) eingebettet sind. Hartmetalle finden Anwendung in der Zerspanungs- und Bohrtechnik.

47. **Härtungsmechanismen (hardening mechanisms)**

Meist im übertragenen Sinne gebraucht für mikroskopische Ursachen und dazugehörige Verfahren zur Erhöhung von Streckgrenze, Verfestigungsfähigkeit, Zugfestigkeit: In Metallen beruhen die Härtungsmechanismen auf der Behinderung der Bewegung von Versetzungen. In Polymeren spielt Orientierung der Molekülketten eine wichtige Rolle.

Ausscheidungshärtung = Aushärtung. In Legierungen mit abnehmender Löslichkeit gelöster Atome mit sinkender Temperatur. Homogenisieren =

Glühen im homogenen Phasengebiet α und schnelles Abkühlen, so dass ein übersättigter Mischkristall $\alpha_{\text{üb}}$ entsteht.

Anlassen oder Altern = Erwärmen auf mittlere Temperatur, so dass nach Minuten bis Stunden feinst verteilte Ausscheidung β entsteht: $\alpha_{\text{üb}} \rightarrow \alpha + \beta$. Diese führt zu Härtung durch Behinderung der Bewegung von Versetzungen. Der Begriff Aushärtung wird auch gebraucht für das Festwerden von Duromeren durch Vernetzung der Moleküle.

Feinkornhärtung: Eine geringe Korngröße wird für alle Strukturwerkstoffe (außer den warmfesten) angestrebt, da sowohl Streckgrenze als auch Bruchzähigkeit mit $\bar{S}^{-1/2}$ ansteigt (\bar{S} mittlerer Korndurchmesser).

Kaltverfestigung: Durch plastische Verformung bei niedrigen Temperaturen wird die Dichte unbeweglicher Versetzungen erhöht (z.B. Federstähle, Spannstähle).

Mischkristallhärtung: Durch gelöste Atome, die das Kristallgitter verspannen und so die Versetzungsbewegung erschweren (z.B. Al-Mg-, Cu-Zn-Legierungen).

48. Holz (wood)

Natürlicher Verbundwerkstoff bestehend aus Zelluloseeröhrchen verklebt durch Lignin. Dichte und Festigkeit hängt stark vom Porenvolumen ab. Orthorhombische Gefügeanisotropie, Spaltbarkeit, Abhängigkeit der Eigenschaften von Luftfeuchtigkeit.

49. Innere Spannung (internal stress)

Spannungen (und Deformationen), die auch im makroskopisch unbelasteten Werkstoff vorhanden sein können. Sie addieren sich örtlich zur äußeren mechanischen Beanspruchung, was zu unerwartetem Versagen führen kann. Innere Spannungen gibt es a) im atomaren Bereich (Umgebung eines Versetzungskerns, Eigenspannungen III. Art), b) im Gefüge (an Korngrenzen, zwischen Faser und Matrix im Verbundwerkstoff, intergranulare bzw. Interphasen-Eigenspannungen, Eigenspannungen II. Art) und c) makroskopisch im Bauteil (in der Umgebung von Schweißverbindungen, Eigenspannungen I. Art).

50. Integrierter Schaltkreis (integrated circuit)

Si-Einkristall mit Leiterbahnen (Au, Al), elektronischen Funktionen (p-n-Übergänge) und Isolatorschicht SiO_2 .

51. Invar (invar alloy)

Fe-Ni-Legierung mit minimalen thermischen Ausdehnungskoeffizienten bei Raumtemperatur. Ursache: Kompensation der thermischen Ausdehnung

durch Magnetostriktion. Verwendung: Präzisionsmessinstrumente, siehe auch thermische Ausdehnung.

52. **Isotropie (isotropy)**

Isotrop, d.h. ohne Vorzugsrichtung, sind Gläser, Vielkristalle mit regelloser Orientierungsverteilung der Körner oder Verbundwerkstoffe mit regelloser Verteilung der Fasern.

53. **Keimbildung (nucleation)**

Entstehung einer neuen Phase: Kristall aus Flüssigkeit, Kristall β aus übersättigtem Mischkristall $\alpha_{\text{üb}}$. Keimbildungswahrscheinlichkeit wächst bei zunehmender Unterkühlung, d.h. mit abnehmender kritischen Keimgröße. Es entsteht feinkörniges Gefüge.

54. **Keramik (ceramics)**

Im traditionellen Sprachgebrauch die aus Tonmineralien, nach Formen durch Brennen hergestellten, zumindest teilkristallinen Oxidwerkstoffe. Heute gilt die große Gruppe der vorwiegend kovalent (und mit gewissen Anteilen von Ionenbindung) gebundenen Werkstoffe als keramisch (C = Diamant, SiC, Si₃N₄, Al₂O₃ = Korund). Im weiteren Sinn gehören auch Beton (Hydrate) und die Halbleiter (Si, GaAs) zu dieser Werkstoffgruppe. Dabei spielt es keine Rolle, ob sie kristallin, teilkristallin oder amorph (glasartig) vorliegen.

55. **Kleben (glue, paste, cement)**

Fügetechnik, bei der gleiche oder verschiedene Werkstoffe mit Hilfe eines flüssigen Polymers (Klebstoff) verbunden werden. Kohäsion im Klebstoff entsteht durch Verdampfen eines Lösungsmittels (Plastomer) oder Vernetzung (Zwei-Komponenten-Kleber, Duromer). Die Bindung über die Oberflächen erfolgt durch starke Adhäsion.

56. **Konstitution (constitution, configuration)**

Lehre vom Aufbau der Legierungen im thermodynamischen Gleichgewicht, d.h. Minimum der freien Enthalpie. Homogenes Gleichgewicht: eine Phase, heterogenes Gleichgewicht: zwei oder mehr Phasen koexistieren.

57. **Korn, Korngröße (grain, grain size)**

Der einzelne Kristall eines Kristallhaufwerks wird als Kristallit oder Korn bezeichnet. Als Korngröße wird oft der mittlere Korndurchmesser bezeichnet. Ein anderes Maß ist die Anzahl der Körner pro Flächeneinheit (ASTM-Korngröße, American Society for Testing and Materials). Genauere

re Beschreibung als der Mittelwert ist durch Verteilungsfunktion der Korngröße möglich.

58. **Korngrenze (grain boundary)**

Grenze zwischen Kristalliten: Kleinwinkelkorngrenze $\alpha < 5^\circ$ aus Versetzungen aufgebaut, Großwinkelkorngrenze $\alpha > 5^\circ$, α Missorientierungswinkel. Zwillingskorngrenze = Spiegelebene zwischen Kristalliten definierter Orientierung.

59. **Korrosion (corrosion)**

Unbeabsichtigte Abtragung (Zerstörung) des Werkstoffs im Zusammenwirken mit den chemischen Bestandteilen der Umgebung. Der Mechanismus ist besonders wirksam, wenn die Abtragung stark lokalisiert, trans- oder interkristallin erfolgt (durch Kristalle hindurch oder entlang den Korngrenzen).

Lokalelement: Zwei Gefügebestandteile mit verschiedenem elektrochemischen Potential (Neigung zur Oxidation) bilden in feuchter Umgebung ein mikroskopisches elektrochemisches Element. Lokalelemente fördern lokalisiertes Abtragen der unedleren Komponente (z.B. Al-Cu-Legierungen).

Rost: Oxidationsprodukt auf der Oberfläche von Stahl und Eisen. Durch Oxidation von Eisen gemäß $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ oder $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ und Reduktion von H_2O bildet sich poröses Eisenhydroxid $\text{Fe}(\text{OH})_{2-3}$.

Zunder entsteht bei Oxidation von Eisen ohne die Mitwirkung von H_2O , also bei erhöhter Temperatur. Es entstehen die Phasen, die das Zustandsdiagramm Fe-O zeigt: FeO, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 . Gefährlich ist das schnelle Wachstum von FeO (Wüstit) oberhalb des Wüstitpunktes (570°C).

Passivierung: Bildung einer fest haftenden, dichten Oxidschicht, die weiteren chemischen Angriff verhindert (z.B. Al_2O_3 auf Al oder Cr_2O_3 auf chemisch beständigen Stählen). Zunderbeständigkeit hat gleiche Ursache.

Spannungsrissskorrosion: Korrosionsangriff der durch gleichzeitig einwirkende (innere oder äußere) Zuspaltung stark begünstigt wird.

60. **Kreislauf (cycle)**

Im Rahmen der Technik durchlaufen die Werkstoffe eine zeitliche Folge aus sechs Teilprozessen: 1. Rohstoffgewinnung \rightarrow 2. Werkstoffherstellung (evtl. bis zum Halbzeug) \rightarrow 3. Fertigung von Teilen und deren Montage \rightarrow 4. Gebrauch \rightarrow 5. Versagen \rightarrow 6. Wiederaufbereitung. Falls der Werkstoff wieder zum Rohstoff wird (z.B. durch Wiedereinschmelzen von Legierungen oder thermoplastischen Polymeren), schließt sich ein Kreislauf. Er bleibt geöffnet im Falle der Deponierung oder Dispergierung. Nach Ver-

brennen C-haltiger Stoffe kann der Kreislauf durch Biosynthese mit Hilfe von Sonnenenergie geschlossen werden.

61. **Kriechen (creep)**

Zeitabhängige plastische Verformung bestimmt durch Selbstdiffusion, Klettern von Versetzungen. Kriechbeständigkeit durch hohe Schmelztemperatur, hohe Aktivierungsenergie für Diffusion, feine Dispersion von Teilchen (Stähle), hoher Volumenanteil kohärenter geordneter Phasen (Superlegierungen).

62. **Kristall (crystal)**

Wichtigste Phasenart, aus denen Werkstoffe aufgebaut sein können. Langreichweitig geordnete Struktur, Anordnung einer bestimmten Anzahl von Atomen, welche die Elementarzelle bilden, die sich in einem bestimmten Koordinatensystem bis an die Kristallgrenzen (Oberfläche, Korngrenze) fortsetzt. Die Koordinationszahl K gibt die Anzahl der nächsten Nachbarn und die Dichte der Packung an, kubische Kristallstruktur: orthogonal und gleiche Achsabstände. Beispiele:

kfz	kubisch flächenzentriert	$K = 12$	Al, γ -Fe
krz	kubisch raumzentriert	$K = 8$	W, α -Fe
kd	diamant kubisch	$K = 4$	Si, Ge

63. **Kupferlegierungen (copper alloys)**

Man unterscheidet je nach Kristallstruktur α - (kfz) und β - (krz) Legierungen. Je nach Legierungselement werden diese wiederum als Messing oder Bronzen bezeichnet.

Bronze: Legierung aus Cu und Sn, aber auch Be, Al, Si. β -Bronzen (krz): Gleitlagerlegierungen.

Messing: Legierung aus Cu mit Zn, α -Messing (kfz) < 30 Gew.-% Zn, gut verformbar. β -Messing (krz) < 50 Gew.-% Zn, hart und spröde.

Reinkupfer: Für elektrische und thermische Leiter muss sauerstofffreies Cu verwendet werden (> 99,99 Gew.-% Cu; OFHC-Cu = oxygen free high conductivity Kupfer).

64. **Metastabiles Gleichgewicht (metastable equilibrium)**

Thermodynamischer Gleichgewichtszustand, neben dem ein weiterer Zustand mit noch niedrigerer freier Energie existiert. Beispiel: α -Fe + Fe₃C - metastabil (Stahl); α -Fe + Graphit - stabil (graues Gusseisen).

65. Laser (laser)

Es handelt sich um kohärente Lichtstrahlen mit sehr hoher Energiedichte, die zum örtlichen Erwärmen des Werkstoffs in den festen, flüssigen oder gasförmigen Zustand geeignet sind. Im Unterschied zum Elektronenstrahl benötigt der Laser kein Vakuum zur Ausbreitung. Anwendungen in der Oberflächentechnik (Härten von Stahl, Verglasen von Oberflächen, Einschmelzen von Hartphasen), Trenntechnik (Schneiden, Bohren), Fügen (Schweißen mit minimaler Wärmeeinflusszone).

66. Leichtmetalle (light metals)

Legierungen mit einer Dichte $\rho < 6,0 \text{ gm}^{-3}$ auf der Grundlage von Mg, Al oder Ti. Eine geringe Dichte ist immer dann von Vorteil, wenn beschleunigte Massen auftreten (Flugzeug-, Fahrzeugbau). Die größte Bedeutung haben Al-Legierungen, deren Festigkeit durch Mischkristallhärtung (Al + Mg, Mn) oder Ausscheidungshärtung (Al + Cu, Mg; Al + Si, Mg; Al + Zn, Mg) erhöht wird. Magnesiumlegierungen werden meist als Gusslegierungen verwendet. Sie sind wegen ihrer hexagonalen Kristallstruktur weniger gut plastisch verformbar als Al-Legierungen. Durch Legieren mit Li kann die Dichte von Mg- und Al-Legierungen noch weiter verringert werden.

67. Löten (soldering, brazing)

Fügetechnik für Metalle und manche Keramiken, mit Hilfe von niedrigschmelzendem Lot, häufig von eutektischer Zusammensetzung: Sn-Pb, Al-Si. Hartlöten (z.B. von Stahl) mit nicht-eutektischen Cu- oder Ag-Legierungen.

68. Lokalelement (local element) → Korrosion**69. Magnete (magnets)**

Von diesen Stoffen wird eine hohe magnetische Sättigungsmagnetisierung B_S und eine hohe Curie-Temperatur T_C verlangt (Temperaturbeständigkeit des Ferromagnetismus). Darüber hinaus unterscheiden wir harte (hohe Koerzitivfeldstärke H_c , Remanenz B_r) und weiche Magnete (geringe Ummagnetisierungsverluste). Erstere sind alle Dauermagnete und magnetische Datenspeicher, letztere dienen als Spulenkern in Transformatoren und elektrischen Maschinen. Hartmagnete sind Fe-, Ni-, Co-haltige kristalline Legierungen, oft versehen mit Seltenen Erdmetallen (Fe-Nd-B-Legierungen) und Oxide (Ferrite). Weichmagnete sind reines Fe, FeSi-Mischkristalle und metallische Gläser.

70. Martensitische Umwandlung (martensitic transformation)

Diffusionslose strukturelle Phasenumwandlung durch Scherung des Kristallgitters, liefert Voraussetzung für Stahlhärtung ($\gamma\text{-Fe(C)} \rightarrow \alpha\text{-Fe(C)}$), Formgedächtnis und hohe Dämpfung ($\beta \rightarrow \alpha\text{-CuZnAl}$).

71. Messing (brass)

→ Kupferlegierungen

72. Metalle (metals)

Wichtigste Werkstoffgruppe, die gekennzeichnet ist durch freie Elektronen, die positiv geladene Atomrümpfe zusammenbinden (metallische Bindung). Folgen sind hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit, Kristallisation in dichten Kugelpackungen und deshalb gute plastische Verformbarkeit, aber auch Neigung zu elektrochemischer Korrosion. Übergangsmetalle besitzen nicht vollständig gefüllte Elektronenschalen und zeigen Anomalien, die technisch von Bedeutung sind: hohe Schmelztemperatur (W, Mo, Nb, V), Ferromagnetismus (Fe, Ni, Co, Sm, Nd).

73. Mikrostruktur (microstructure)

In diesem Begriff sind folgende Ebenen der Struktur enthalten, ausgehend vom makroskopischen Werkstoff (Probe, Halbzeug, Bauteil): Gefüge, Phase, Molekül (nur für Polymere), Atom, Elementarteilchen.

74. Oberfläche (surface)

Phasengrenze des Werkstoffs mit seiner Umgebung (Vakuum, Gas, Flüssigkeit). Die spezifische Oberflächenenergie bestimmt die Reaktionsfähigkeit der Oberfläche (Klebstoff vs. Gleitstoff). Das Versagen des Werkstoffs hat häufig seinen Ursprung in der Oberfläche: Korrosion, Verschleiß, Ermüdungsbruch. Eigenschaften der Oberfläche sind Glanz, Farbe, katalytische Wirksamkeit, Rauigkeit, Benetzbarkeit, Adhäsionsfähigkeit, Adsorptionsfähigkeit.

75. Passivierung (passivation)

Fähigkeit zur selbsttätigen Bildung einer Deckschicht in der Oberfläche, die weiteren Korrosionsangriff behindert oder verhindert: $\text{Al} + \text{Al}_2\text{O}_3$, siehe auch Korrosion.

76. Peritektikum (peritectic)

Dreiphasengleichgewicht, bei abnehmender Temperatur entsteht aus zwei Phasen $f + \alpha$ eine neue Phase gemäß der Reaktion $f + \alpha \rightarrow \beta$. Eine peritektische Reaktion im festen Zustand nennt man peritektische Reaktion.

77. Phase (phase)

Bereich konstanter Struktur, durch Phasengrenzen oder Oberflächen getrennt. Werkstoffe bestehen aus festen Phasen: Kristall, Quasikristall, Glas. Fluide Phasen: Flüssigkeit, Gas, Plasma sind keine Werkstoffe, oft jedoch Hilfsstoffe (Schmiermittel, Kühlmittel) oder Werkstofffehler (Poren).

78. Phasengrenze (phase boundary)

Grenze zwischen verschiedenen Phasen: Werkstoff / Umgebung = Oberfläche, im festen Zustand: kohärente, teilkohärente, inkohärente Phasengrenzen.

79. Phasenumwandlung (phase transformation)

Änderung der Phasenstruktur: Kristallisation der Flüssigkeit beim Abkühlen, martensitische Umwandlung bei der Stahlhärtung, Übergang paramagnetisch \rightarrow ferromagnetisch bei T_C .

80. Plastizität (plasticity, ductility)

Bleibende (nicht reversible) Verformung des Werkstoffs durch viskoses Fließen, Kristallplastizität, Orientierung von Polymermolekülen. Als Superplastizität wird in (feinkristallinen) Metallen ein Verhalten ähnlich dem Fließen viskoser Flüssigkeiten bezeichnet (Umformbarkeit durch Blasen). In Kristall-Flüssigkeitsgemischen findet Verformung in flüssiger Phase (Tonkeramik) oder nach Abscheren einer Gerüststruktur (Thixotropie) statt.

81. Polymer - auch Hochpolymer oder Kunststoff (polymer)

Werkstoffgruppen, deren Grundbausteine lange, kettenförmige Moleküle sind, die durch Polymerisation aus kleineren Molekülen (Mer) entstanden sind. Die drei Untergruppen sind:

Plastomer \equiv *Thermoplast*: unvernetzte Moleküle, schmelz- und plastisch verformbar, teilkristallin oder Glas.

Duromer \equiv *Kunstharz*: vernetzte Moleküle, folglich nur im unvernetzten Zustand verformbar. Höherer E -Modul und höhere Zugfestigkeit als Thermoplaste.

Elastomer \equiv *Gummi*: verknäuelte, leicht vernetzte Moleküle. Starke elastische Dehnfähigkeit. Zurückknäulen zur Maximierung der Entropie (Gummielastizität).

82. Reibung (friction)

\rightarrow Tribologie

83. Rekristallisation (recrystallization)

Thermisch aktivierte (Selbstdiffusion) Neubildung von Kristalliten in stark defekten Gefügen (meist hohe Versetzungsdichte durch Kaltverformung). Es entsteht ein neues Korngefüge (je höher die Verformung, desto geringer die Korngröße), oft verbunden mit einer Textur und Entfestigung (Weichglühen).

84. Rohstoff (raw material)

Natürliche Stoffe (Mineralien), die Atomarten enthalten, die zur Herstellung von Werkstoffen gebraucht werden. Für Metalle als Erze bezeichnet, für Polymere: Kohle, Erdöl, Erdgas, die auch Rohstoffe für die Energieerzeugung sind. Sekundärrohstoffe werden durch Aufbereitung gebrauchter Werkstoffe anstelle von Primärwerkstoffen dem Kreislauf zugeführt.

85. Schmelztemperatur (melting temperature)

Temperatur der Phasenumwandlung kristallin \rightarrow flüssig T_{kf} . Bei gleicher Bindungsart ist die Schmelzwärme etwa proportional T_{kf} und folglich die Schmelzentropie eine Konstante.

86. Schubspannung (shear stress)

In einer Fläche wirkende Spannung, die zur Scherung führt.

87. Schweißen (welding)

Fügetechnik mit Hilfe von gleichartigem oder ähnlichem, flüssigem Schweißzusatzwerkstoff. Neben erstarrter Struktur entsteht im festen Zustand eine Wärmeeinflusszone. Sie ist kritisch, falls innere Spannungen mit Versprödung zusammenkommt. Schweißen erfolgt ohne Zusatzwerkstoff beim Reib- oder Ultraschallschweißen. Schweißbar sind Metalle, thermoplastische Polymere, keramische Gläser.

88. Seigerung (segregation)

Meist unerwünschte Inhomogenität der chemischen Zusammensetzung im Werkstoff. Makroskopisch im Gussblock: Schwereseigerung - Atomart mit höherem Atomgewicht im unteren Teil des Blockes, normale Blockseigerung - zuerst erstarrte Schale ist reiner, flüssig gebliebenes Blockinneres enthält Legierungselemente, Verunreinigungen. Mikroskopische Seigerung: Anreicherung höherschmelzender Legierung im Inneren von Körnern oder zwischen tannenbaumförmigen Kristallisationszonen (Dendriten).

89. Sensorwerkstoffe (sensor materials)

Werkstoffe, die in der Lage sind, ein Signal in ein andersartiges, d.h. eine Werkstoffeigenschaft in eine andere umzuwandeln. Beispiele:
 mechanisch \rightarrow elektrisch: Dehnungsmessstreifen, Piezokeramik,
 thermisch \rightarrow mechanisch: Bimetall, Zweiweg-Formgedächtnis,
 optisch \rightarrow elektrisch: opto-elektronische Halbleiter (an Schnittstellen von Lichtleitern).

90. Spannung, mechanische (stress)

Auf den Querschnitt bezogene Kraft, $\text{Nm}^{-2} = \text{Pa}$, Angaben der Festigkeit meist in MPa, des E -Moduls in GPa, Zug + , Druck -.

91. Spannbeton (prestressed concrete)

Verbundwerkstoff, bei dem der Beton durch Stahlstäbe unter innere Druckspannung gesetzt wird, die sich der äußeren Zugbelastung überlagert und deren Wirkung verringert.

92. Spannungsrissskorrosion (stress corrosion cracking)

Gleichzeitige Beanspruchung durch Zugspannung und chemische Reaktion in der Oberfläche, die zu Rissbildung führt (z.B. gezogene Messinglegierungen und Ammoniak).

93. Stahl (steel)

Legierung von Eisen meist mit C. Andere Legierungselemente sind Cr (Korrosionsbeständigkeit), Mo (Warmfestigkeit), Si (Magnetisierung), V (Karbidgebung). Baustähle - Vergütungsstähle - Werkzeugstähle zeichnen sich durch steigenden C-Gehalt aus. 2 Gew.-% ist die Grenze zwischen den Stählen und Gusseisen.

Stahlhärtung: Auch Umwandlungshärtung. Austenitisieren = Erwärmen in den Temperaturbereich der homogenen fkt γ -Phase (Austenit). Schnell-abkühlen, so dass diffusionslose martensitische Umwandlung $\gamma \rightarrow \alpha_M$ eintritt. Dieser Zustand ist in Werkzeugstählen hart und spröde. Durch Wiedererwärmen auf mittlere Temperaturen (250 - 600 °C) scheiden sich Karbide aus und die Bruchzähigkeit steigt an (Anlassen, Vergüten).

94. Streckgrenze (yield strength)

Spannung, bei der nach Entlastung ein bestimmter Betrag an plastischer Verformung zurück bleibt (z.B. $\varepsilon_{pl} = 0,2\%$). Baustähle zeigen ausgeprägte (diskontinuierliche) Streckgrenze: plastische Verformung beginnt bei überhöhter (oberer) Streckgrenze und setzt sich auf niedrigerem Niveau fort, bis nach $\varepsilon_{pl} \sim 2-5\%$ Verfestigung einsetzt. Für einen spröden

Werkstoff gilt: Streckgrenze = Zugfestigkeit, $R_p = R_m$ und Bruchdehnung $\varepsilon_B = 0$. Das Streckgrenzenverhältnis R_p / R_m ist klein bei großer Verfestigungsfähigkeit des Werkstoffs.

95. **Strukturwerkstoff (structural material)**

Werkstoff, der vorwiegend mechanisch beansprucht werden soll: hohe Zug-, Schwing-, Zeitstandfestigkeit, Bruchzähigkeit. Sekundärtugenden: geringe Dichte, Korrosionsbeständigkeit.

96. **Superlegierung (superalloy)**

Hochwärmefeste Legierung auf der Grundlage von Ni (oder Co), die im Mischkristall einen hohen Volumenanteil (bis 90 %) einer intermetallischen Verbindung vom Typ Ni_3Al im kohärenten Dispersionsgefüge enthält. Obere Verwendungstemperatur (Gasturbine) 1050 °C.

97. **Supraleiter (superconductor)**

Stoffe, die unterhalb einer kritischen Temperatur T_c (Sprungtemperatur) elektrischen Strom ohne Widerstand leiten können. Die zweite wichtige Eigenschaft ist die Stromtragfähigkeit (harte SL), da das durch Leitung erzeugte Magnetfeld im Inneren des Werkstoffs die Supraleitung zerstört. Supraleiter sind nichtferromagnetische Metalle und Legierungen (z.B. Nb + Ti, $T_c = 20$ K). In den letzten Jahren sind keramische Supraleiter mit sehr hohen Sprungtemperaturen entdeckt worden.

98. **Systemeigenschaft (systems property)**

Eine Systemeigenschaft ist der Reibungskoeffizient μ eines tribologischen Systems. Er setzt sich zusammen aus den Eigenschaften der Oberflächen der Gleitpartner und der Umgebung (z.B. des Schmiermittels), μ kann nicht für einen bestimmten Werkstoff, z.B. für Stahl angegeben werden, ohne alle weiteren Systembedingungen zu nennen. Weitere Beispiele: Spannungsrisskorrosion, Bimetallverhalten.

99. **Textur (texture)**

In Vielkristallen bevorzugte Orientierung bestimmter Kristallflächen und -richtungen in einem Bezugssystem (Blechtextur in Walzrichtung, Fasertextur in Drahtachse), Ursache von Anisotropie. Texturlose Vielkristalle und Gläser sind isotrop.

100. **Thermische Ausdehnung (thermal expansion)**

Ausdehnungskoeffizient $\alpha = d\varepsilon/dT$ ist bei vielen Werkstoffen umgekehrt proportional der Schmelztemperatur T_{kf} in K). Anomalien durch Pha-

senumwandlungen, Auflösen, Ausscheiden von Atomen, Wasseraufnahme, -abgabe (Polymere). Durch Magnetostriktion entsteht der INVAR-Effekt: $\alpha = 0$ in einem Temperaturbereich nahe T_C (Curie-Temperatur).

Thermische Leiter: In Metallen sind thermische und elektrische Leitfähigkeit zueinander proportional. Beide nehmen mit zunehmender Temperatur ab (freie Elektronen). In Isolatoren erfolgt die Wärmeleitung durch Gitterschwingungen (Phononen) oder Bewegung von Ionen. Die thermische Leitfähigkeit nimmt mit der Temperatur zu.

101. **Thermoplast (thermoplastic)**

Polymerwerkstoff, der aus unvernetzten Kettenmolekülen besteht. Bei erhöhter Temperatur Plastizität durch viskoses Fließen, bei Raumtemperatur fester Zustand, Festigkeitssteigerung oft durch teilweise Kristallisation.

102. **Thermische Stabilität (thermal stability)**

Unterhalb eines Temperaturbereiches $T < 1/3 T_{kf}$, laufen thermisch aktivierte Prozesse, wie Alterung, Kriechen, Kristallerholung, Teilchenvergrößerung sehr langsam ab. Der Werkstoff verändert sich in technisch relevanten Zeiten nicht mehr durch Diffusionsprozesse.

103. **Tiefziehfähigkeit (deep drawing ability)**

Komplexe fertigungstechnische Eigenschaft. Der Tiefziehprozess wird nachgeahmt durch Kugeleindruck in Blech (Erichsen) oder Näpfchenziehversuch. Gemessen wird Tiefung (Tiefe des Eindrucks bis zum Bruch). Außerdem wird beurteilt: Zipfelbildung durch Textur und Apfelsinenschalenbildung = Rauigkeit durch große Körner.

104. **Tribologie (tribology)**

Lehre von der Wechselwirkung aufeinander gleitender Oberflächen (Körper/Gegenkörper). Das tribologische System umfasst außerdem das umgebende Gas (trockene Reibung) und/oder ein Schmiermittel. Die (äußere) Reibung ist der Mechanismus der Dissipation von Bewegungsenergie. Der Reibungskoeffizient ist eine typische Systemeigenschaft. Die Reibungskraft hängt auch von der Oberflächenmorphologie ab. Ursachen der Reibungskraft sind Adhäsion, elastische, plastische Verformung, tribo-chemische Reaktionen. Die Oberflächenhärte beeinflusst den Anteil der Oberflächen, die in Berührung sind. Die Folge der Reibungskraft kann Verschleiß sein, d.h. es hängt von Systembedingungen ab, welcher Anteil der Reibungsenergie für die Materialabtragung wirksam wird. Verschleißbeanspruchungen können adhäsiv, abrasiv oder erosiv sein. Die Abtragungsmechanis-

men umfassen spröden Bruch, Ermüdungsbruch, duktilen Abtrag bis zum Abtrag einzelner Atome (Ionenerosion).

In geschmierten Systemen sollte keine Berührung zwischen den Werkstoffen und folglich keine Adhäsion auftreten. Die Energiedissipation erfolgt primär durch innere Reibung des viskos fließenden Schmierstoffes. Feste Schmierstoffe sind Schicht- oder Faserkristalle mit sehr schwacher Bindung in einer Richtung (Graphit, Molybdändisulfid) oder in zwei Richtungen (PTFE = Teflon).

105. Verbundwerkstoffe (composites)

Vierte Werkstoffgruppe, die aus Bestandteilen der drei Grundgruppen aufgebaut werden, um verbesserte Eigenschaften zu erzielen. Beispiele sind Al_2O_3 -faserverstärkte Leichtmetalle, Schichtverbunde aus keramischen und polymeren Gläsern (Sicherheitsglas), beschichtete Werkstoffe.

106. Verfestigung (work hardening)

Erhöhung der Streckgrenze durch plastische Verformung von Metallen (also durch Erhöhung der Versetzungsdichte). In thermoplastischen Polymeren kann Verfestigung durch Gleiten und Orientierung von Molekülen auftreten.

107. Versagen (failure)

Das Ende des Gebrauchs eines Werkstoffs (im Bauteil) durch verschiedenartige Beanspruchung: mechanisch \rightarrow Bruch, thermisch \rightarrow Schmelzen, chemisch \rightarrow Korrosion, chemisch + mechanisch \rightarrow Spannungsrisskorrosion, tribologisch \rightarrow Verschleiß.

108. Versetzung (dislocation)

Linienförmiger Kristallbaufehler, gekennzeichnet durch Linienelement und Burgersvektor. Versetzungen ermöglichen Kristallplastizität, führen zu Verfestigung und können die Keimbildung von Ausscheidungen und die Neubildung von Körnern bei der Rekristallisation stark beeinflussen.

109. Verschleiß (wear)

\rightarrow Tribologie

110. Verzundern (scaling)

Oxidation der Oberfläche des Werkstoffs ohne Mitwirkung von wässrigen Elektrolyten, deshalb bei erhöhter Temperatur. Bei fest anhaftenden Oxidschichten ist die Verzunderung kontrolliert von der Diffusion durch die

Zunderschicht. Zunderbeständigkeit durch wenig fehlgeordnete, „dichte“ Schichten, wie Passivierung.

111. **Werkstoffgruppen (groups of materials)**

Man unterscheidet drei große Gruppen von Werkstoffen aufgrund von chemischer Bindung und Aufbau der Grundbausteine: Metalle, Keramik und Polymere. Als vierte große Gruppe kommen die Verbundwerkstoffe hinzu.

112. **Wöhlerkurve (S-N-curve)**

Auch $\sigma_a - N$ -Diagramme genannt, dienen zur Bestimmung der Schwingfestigkeit. Die Amplitude einer zyklischen Belastung σ_a wird aufgetragen gegen die Anzahl der Lastwechsel N , bei der die Probe bricht. Als Schwingfestigkeit wird der Wert von σ_a angegeben bei der nach einer bestimmten Zahl von Lastwechseln ($N = 10^7$) Bruch auftritt, z.B. $\sigma_{a,10^7} = 50$ MPa. Die Wöhlerkurve charakterisiert das gesamte Ermüdungsverhalten: zyklische Verfestigung, Rissbildung, stabiles und instabiles Risswachstum.

113. **Zähigkeit (toughness, viscosity)**

Hat sehr verschiedene Bedeutungen:

Zähflüssigkeit η in Pa·s: Hoher Wert bedeutet geringe Fließfähigkeit einer Flüssigkeit.

Bruchzähigkeit K_{IC} in $\text{Pa m}^{1/2}$: Widerstand gegen Ausbreitung eines vorgegebenen scharfen Anrisses unter der Bedingung ebener Dehnung.

Kerbschlagzähigkeit A_V in J: Energie, die zur Trennung einer Probe mit definierten Abmessungen und Kerb in einem Pendelschlagwerk benötigt wird.

114. **Zeitstandversuch (creep test)**

Experimentelle Untersuchung (meist bei hoher Temperatur) des Kriechverhaltens bei konstanter Last (technisch) oder Spannung (physikalisch). Bestimmt werden Zeitdehngrenze, Zeitstandfestigkeit und deren Temperaturabhängigkeit.

115. **Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubild (time temperature transformation diagram)**

Zur Darstellung der Kinetik des Umwandlungsverhaltens von Werkstoffen (insbesondere der Stähle) bei verschiedenen Abkühlungsgeschwindigkeiten (kontinuierlich) oder nach schnellen Abkühlen von der Ausgangstemperatur (Austenitisierung, Homogenisierung) auf eine niedrige konstant gehaltene Temperatur (isotherm).

116. Zement (cement)

Allgemein: Klebstoff, speziell: hydraulischer Zement, der bei der Herstellung von Beton, Sand und Wackersteine miteinander verklebt. Bei diesem Vorgang verbindet sich der Zement (z.B. Portlandzement oder Vulkanasche) mit Wasser zu einem Hydrat. Organische Klebstoffe binden durch Vernetzen von Polymermolekülen und Reaktionen mit den Oberflächen.

117. Zustandsdiagramm (equilibrium phase diagram)

Graphische Darstellung der Temperaturabhängigkeit von meist heterogenen Gleichgewichten, abhängig von der chemischen Zusammensetzung, manchmal vom Druck. Es handelt sich um stabile thermodynamische Gleichgewichte, z.B. α -Fe + Graphit (graues Gusseisen), oder bei Reaktionen im festen Zustand oft um metastabile Gleichgewichte, z.B. α -Fe + Fe_3C (Stahl).

118. Zwillingsbildung (twinning)

Weitere Möglichkeiten zur plastischen Verformung von Kristallen neben dem Abgleiten von Gitterebenen mit Hilfe von Versetzungen. Es bildet sich ein zur Zwillingssebene spiegelbildlich orientierter neuer Kristall. Zwillingsbildung wird begünstigt durch tiefe Temperaturen, hohe Verformungsgeschwindigkeiten und niedrige Stapelfehlerenergie. Beim Stahl besteht ein Zusammenhang zwischen Zwillingsbildung und der Versprödung (Abfall der Kerbschlagzähigkeit) bei tiefer Temperatur.

A.2 A.2 Regelmäßig erscheinende Fachzeitschriften

Hier sind die wichtigsten regelmäßig erscheinenden Fachzeitschriften zusammengestellt, die werkstoffwissenschaftliche Themen und deren Randgebiete behandeln.

Hinter den einzelnen Titeln ist jeweils in Klammern vermerkt, wo die inhaltlichen Schwerpunkte der Zeitschriften liegen. Dabei bedeuten:

WW	→	Werkstoffwissenschaft (Grundlagen)
WT	→	Werkstofftechnik (Anwendung)
WP	→	Werkstoffprüfung
RG	→	Randgebiete

1. Acta Materialia (WW)
2. Advanced Materials and Processes (WW, WT)
3. Aluminium (WT)
4. Applied Physics (WW)
5. Applied Physics Letters (WW)
6. Applied Surface Science (WW)
7. Composites Science and Technology (WT)
8. Corrosion (WT, WP)
9. Der Bauingenieur (RG)
10. Engineering Failure Analysis (WW, WP)
11. Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures (WW, WP)
12. Fortschritte der Physik (WW)
13. Glass and Ceramics (WW, WT)
14. Heat Treatment of Metals (WW, WT)
15. Holz als Roh- und Werkstoff (WT, RG)
16. Holzforschung und Holzverwertung (WW, WT, RG)
17. HTM - Härtereitechnische Mitteilungen (WT)
18. International Journal of Fracture (WT)
19. International Journal of Materials Research (WW, WT)
20. International Journal of Polymeric Materials (WW)
21. International Journal of Powder Metallurgy (WW, WT)
22. Journal of Applied Physics (WW)
23. Journal of Biomedical Materials Research (WW, RG)
24. Journal of Composite Materials (WW, WT)
25. Journal of Elastomers and Plastics (WW, WT)
26. Journal of Engineering Materials and Technology (WW, WT)
27. Journal of Light Metals (WW, WT)

28. Journal of Magnetism and Magnetic Materials (WW, RG)
29. Journal of Materials Research (WW)
30. Journal of Materials Science (WW)
31. Journal of Materials Science Letters (WW)
32. Journal of Polymer Engineering (WW, WT)
33. Journal of the American Ceramic Society (WW, WT)
34. Journal of the European Ceramic Society (WW, WT)
35. Journal of Tribology (WW, RG)
36. Keramische Zeitschrift (WW, WT)
37. Kunststoffe im Automobilbau (WT)
38. Kunststoffe, deutsche Ausgabe (WW, WT)
39. Materialprüfung (WP)
40. Materials and corrosion (WW)
41. Materials Letters (WW)
42. Materials Research Bulletin (WW)
43. Materials Science and Engineering A, B, C, R (WW, WT)
44. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (WW, WT)
45. Metal Science and Heat Treatment (WW, WT)
46. Metall (WW, WT)
47. Metallurgia (WW)
48. Metallurgical and Materials Transactions A, B (WW)
49. Physica Status Solidi A, B (WW)
50. Physikalische Blätter (RG)
51. Plastics Engineering (WT)
52. Powder Metallurgy Quarterly (WT)
53. Praktische Metallographie (WW, WP)
54. Progress in Materials Science (WW)
55. Progress in Polymer Science (WW)
56. Science of Materials (WW)
57. Scripta Materialia (WW)
58. Stahl und Eisen (WW, WT)
59. Steel research (WW, WT)
60. Technische Kunststoffe (WT)
61. Tribology International (WW)
62. Wear (WW, WT)
63. Werkstattechnik (WT, RG)
64. Wood and Fiber (WW, RG)
65. Wood Science and Technology (WW, WT)