

## Inhaltsverzeichnis

**Vorwort für die 11. Auflage** *xiii*

**Autorenverzeichnis** *xv*

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Zustände des festen Körpers</b>	<b>5</b>
2.1	Kristalliner Zustand	7
2.1.1	Raumgitter und Kristallsysteme	7
2.1.2	Bravais-Gitter und Kristallstruktur	9
2.1.3	Analytische Beschreibung des Raumgitters	13
2.1.4	Polkugel und stereographische Projektion	17
2.1.5	Bindung im Festkörper	20
2.1.5.1	Aufbau und Energieniveaus der Atomhülle	23
2.1.5.2	Ionenbindung	29
2.1.5.3	Kovalente Bindung (Atombindung)	31
2.1.5.4	Metallbindung	33
2.1.5.5	Nebervalenzbindung	34
2.1.5.6	Mischbindung	35
2.1.6	Koordination	36
2.1.7	Elementstrukturen	39
2.1.7.1	Kubisch raumzentrierte Metalle (Wolfram-Strukturtyp)	41
2.1.7.2	Kubisch flächenzentrierte Metalle (Kupfer-Strukturtyp)	41
2.1.7.3	Hexagonal dichtest gepackte (hdp) Metalle (Magnesium-Strukturtyp)	43
2.1.7.4	Kubisch flächenzentrierter Diamant-Strukturtyp	43
2.1.8	Legierungsstrukturen	44
2.1.8.1	Austauschmischkristalle	45
2.1.8.2	Überstrukturen	46
2.1.8.3	Einlagerungsmischkristalle	48
2.1.8.4	Intermetallische Phasen	48
2.1.9	Ionenstrukturen	52
2.1.10	Molekülstrukturen	58
2.1.10.1	Atombindung in Polymeren	58
2.1.10.2	Zwischenmolekulare Wechselwirkungen in Polymeren	60

2.1.10.3	Aufbauprinzip und Infrastruktur von Makromolekülen	60
2.1.10.3.1	Konstitution von Makromolekülen	63
2.1.10.3.2	Konfiguration von Makromolekülen	64
2.1.10.3.3	Konformation von Makromolekülen	65
2.1.10.4	Kristallstruktur von Polymeren	68
2.1.10.5	Modifizierung von Polymeren	74
2.1.11	Realstruktur	78
2.1.11.1	Nulldimensionale Gitterstörungen	79
2.1.11.2	Eindimensionale Gitterstörungen	82
2.1.11.3	Zweidimensionale Gitterstörungen	90
2.1.11.3.1	Stapelfehler	90
2.1.11.3.2	Antiphasengrenzen	92
2.1.11.3.3	Grenzflächen	92
2.1.11.3.4	Grenzflächen in nanokristallinen Materialien	99
2.1.11.4	Dreidimensionale Gitterstörungen und Defektwechselwirkungen	102
2.2	Zustand unterkühlter Schmelzen und Glaszustand	104
2.2.1	Charakteristik des Zustandes unterkühlter Schmelzen und des Glaszustandes	104
2.2.2	Strukturmodelle silicatischer Gläser	105
2.2.3	Struktur amorpher Polymere	109
2.2.4	Strukturmodelle amorpher Metalle	111
2.2.4.1	Strukturmodelle von schnellerstarrten amorphen Metallen	111
2.2.4.2	Strukturmodelle von metallischen Nanogläsern	112
<b>3</b>	<b>Übergänge in den festen Zustand</b>	<b>121</b>
3.1	Übergang vom flüssigen in den kristallinen Zustand	125
3.1.1	Keimbildung und -wachstum bei Metall- und Ionenkristallen	126
3.1.1.1	Erstarrung von Schmelzen	132
3.1.1.2	Kristallisation aus Lösungsmitteln	136
3.1.1.3	Kristallisation von unterkühlten Glasschmelzen (Entglasung)	140
3.1.2	Kristallisation von Polymeren	142
3.1.2.1	Einfluss der Molekülstruktur auf die Kristallisation	142
3.1.2.2	Keimbildung und Kristallwachstum	143
3.1.3	Abscheidung aus kolloidalen Lösungen	146
3.2	Übergang in den Zustand der unterkühlten Schmelze und in den Glaszustand	149
3.2.1	Änderung der Viskosität bei der amorphen Erstarrung	154
3.2.2	Phasentrennung im Zustand der unterkühlten Schmelze	155
3.2.3	Amorphe Erstarrung von Metallen und Legierungen	158
3.3	Übergang aus dem gasförmigen in den kristallinen Zustand	161
<b>4</b>	<b>Phasenumwandlungen im festen Zustand</b>	<b>167</b>
4.1	Umwandlungen mit Änderung der Struktur	171
4.1.1	Allotrope Umwandlungen des SiO <sub>2</sub>	171

4.1.2	Die $\gamma$ - $\alpha$ -Umwandlung des Eisens	174
4.1.3	Martensitische Umwandlungen	175
4.1.4	Massivumwandlung	178
4.1.5	Umwandlungsbesonderheiten bei Polymeren	178
4.2	Umwandlungen mit Änderung der Konzentration	180
4.3	Umwandlungen mit Änderung der Konzentration und der Struktur	183
4.3.1	Ausscheidungsumwandlung	184
4.3.2	Eutektoider Zerfall	185
4.4	Ordnungsumwandlungen	187
4.5	Nichtkonventionelle Phasenbildung	189
4.5.1	Metastabile Phasenbildung in dünnen Schichten	191
4.5.2	Mechanisches Legieren von Pulvern	194
<b>5</b>	<b>Zustandsdiagramme</b>	<b>197</b>
5.1	Thermodynamische Grundlagen	197
5.2	Experimentelle Methoden zur Aufstellung von Zustandsdiagrammen	205
5.3	Grundtypen der Zustandsdiagramme von Zweistoffsystemen	211
5.3.1	Zustandsdiagramm eines Systems mit vollständiger Mischbarkeit der Komponenten im festen und flüssigen Zustand	211
5.3.2	Zustandsdiagramm eines Systems mit vollständiger Mischbarkeit der Komponenten im flüssigen und vollständiger Unmischbarkeit im festen Zustand	213
5.3.3	Zustandsdiagramm von Systemen mit vollständiger Mischbarkeit der Komponenten im flüssigen und teilweiser Mischbarkeit im festen Zustand	215
5.3.4	Zustandsdiagramme von Systemen mit intermetallischen Phasen	218
5.3.5	Weitere Umwandlungen im festen Zustand	219
5.4	Einführung in Mehrstoffsysteme	220
5.5	Realdiagramme	224
5.5.1	Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	225
5.5.2	Zustandsdiagramm des Systems Kupfer-Zinn	228
5.5.3	Zustandsdiagramm des Systems $\text{SiO}_2 - \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	230
5.5.4	Zustandsdiagramme von Polymermischungen	231
5.6	Ungleichgewichtsdiagramme	233
5.6.1	Ausbildung von Ungleichgewichtsgefügen	233
5.6.2	Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagramme	236
5.6.3	Zeit-Temperatur-Auflösungs-Diagramme	239
5.6.4	ZTR-Diagramme bei Kopplung von Umwandlungs- und Umformvorgängen	241
<b>6</b>	<b>Gefüge der Werkstoffe</b>	<b>247</b>
6.1	Gefüge	248
6.2	Oberfläche	252
6.3	Herstellung der Schlifffläche	257

6.4	Entwicklung des Gefüges	260
6.4.1	Ätzen in Lösungen	261
6.4.2	Gefügeentwicklung bei hohen Temperaturen	267
6.4.3	Entwicklung des Gefüges durch Ionenätzen	269
6.5	Mikroskopische Gefügeuntersuchung	270
6.5.1	Lichtmikroskopische Gefügebetrachtung	270
6.5.2	Gefügebetrachtung mithilfe des akustischen Reflexionsrastermikroskops	273
6.5.3	Elektronenmikroskopische Gefügeuntersuchung	273
6.5.3.1	Gefügebetrachtung	273
6.5.3.2	Weiterführende Untersuchungsverfahren	275
6.6	Quantitative Gefügeanalyse	277
6.6.1	Punktanalyse	279
6.6.2	Linearanalyse	279
6.6.3	Flächenanalyse	282
6.6.4	Charakterisierung der Form und Orientierung von Gefügebestandteilen	283
6.7	Gefüge-Eigenschafts-Beziehungen	285
6.7.1	Einphasige Gefüge	287
6.7.2	Mehrphasige Gefüge	289
<b>7</b>	<b>Thermisch aktivierte Vorgänge</b>	<b>297</b>
7.1	Diffusion	299
7.1.1	Platzwechselmechanismen	301
7.1.2	Diffusionsgesetze	305
7.1.3	Bildung von Diffusionsschichten	309
7.1.4	Diffusionsgesteuerte Vorgänge	310
7.1.4.1	Diffusionskriechen	311
7.1.4.2	Versetzungskriechen	312
7.1.4.3	Sintern	313
7.1.5	Additive Fertigung	317
7.2	Kristallerholung und Rekristallisation	320
7.2.1	Kristallerholung	320
7.2.2	Rekristallisation	322
7.2.3	Kornwachstum	327
7.2.4	Rekristallisationstexturen	333
<b>8</b>	<b>Korrosion</b>	<b>335</b>
8.1	Korrosion der Metalle in wässrigen Medien	341
8.1.1	Grundlagen der elektrochemischen Korrosion	341
8.1.1.1	Elektrochemische Spannungsreihe und Korrosionsvorgänge	344
8.1.1.2	Geschwindigkeit elektrochemischer Reaktionen	348
8.1.2	Gleichförmige Korrosion	351
8.1.3	Passivität und Inhibition	355
8.1.4	Korrosionselemente	360

8.1.5	Lochkorrosion	364
8.1.6	Selektive und interkristalline Korrosion	367
8.1.7	Spannungsrissskorrosion	369
8.1.8	Schwingungsrissskorrosion	371
8.2	Korrosion anorganisch-nichtmetallischer Werkstoffe in wässrigen Medien	372
8.3	Korrosion von Polymeren in flüssigen Medien	375
8.3.1	Begrenzte und unbegrenzte Quellung	377
8.3.2	Schädigung durch chemische Reaktionen	379
8.3.3	Spannungsrissskorrosion von Polymeren	379
8.4	Korrosion in Schmelzen	380
8.4.1	Korrosion von Metallen in durch Ablagerungen gebildeten Schmelzen	381
8.4.2	Korrosion feuerfester Baustoffe in Schmelzen	383
8.5	Korrosion der Metalle in heißen Gasen	384
8.5.1	Oxidation (Zundern) von Eisen	385
8.5.2	Oxidation von Legierungen	387
8.5.3	Schädigung von Stahl durch Druckwasserstoff	388
8.5.4	Aufkohlung und Metal Dusting	389
8.6	Korrosion feuerfester Werkstoffe in heißen Gasen	389
8.7	Korrosionsschutz	390
8.7.1	Passiver Korrosionsschutz	391
8.7.2	Aktiver Korrosionsschutz	392
<b>9</b>	<b>Mechanische Erscheinungen</b>	<b>395</b>
9.1	Reversible Verformung	398
9.1.1	Linear-elastische Verformung	398
9.1.2	Energie- und entropieelastische Verformung	400
9.1.3	Elastische Nachwirkung	401
9.1.4	Pseudoelastische Verformung	402
9.2	Plastische Verformung	403
9.2.1	Geometrie der plastischen Verformung von Einkristallen	404
9.2.2	Mechanismus der plastischen Verformung	407
9.2.2.1	Theoretische Festigkeit	407
9.2.2.2	Entstehen und Wechselwirkung von Versetzungen	409
9.2.2.3	Wechselwirkung zwischen Versetzungen und Fremdatomen	412
9.2.2.4	Wechselwirkung zwischen Versetzungen und Teilchen	413
9.2.3	Plastische Verformung polykristalliner Werkstoffe (Vielkristallplastizität)	417
9.2.3.1	Spannungs-Dehnungs-Diagramm	417
9.2.3.2	Orientierungseinfluss	419
9.2.3.3	Korngrenzeneinfluss	419
9.2.3.4	Streckgrenzenerscheinung	422
9.2.3.5	Verformungsgefüge und Textur	423
9.2.4	Plastische Wechselverformung	425

9.2.5	Besondere Erscheinungen der Plastizität	426
9.2.5.1	Superplastizität	426
9.2.5.2	Umwandlungsplastizität	428
9.3	Viskose und viskoelastische Verformung	429
9.4	Kriechen	433
9.5	Bruch	435
9.5.1	Makroskopische und mikroskopische Bruchmerkmale	435
9.5.2	Rissbildung	437
9.5.3	Rissausbreitung	440
9.5.4	Bruchmechanik	443
9.5.4.1	Linearelastische Bruchmechanik	444
9.5.4.2	Fließbruchmechanik	446
9.6	Eigenspannungen	448
9.7	Festigkeitssteigerung und Schadenstoleranz	451
9.7.1	Kombinierte Mechanismen zur Festigkeitssteigerung metallischer Werkstoffe	451
9.7.2	Festigkeitssteigerung durch Druckeigenspannungen in der Randschicht	453
9.7.3	Festigkeitssteigerung durch Verstrecken und Vernetzen	454
9.7.4	Festigkeitssteigerung durch Faserverstärkung	456
9.7.5	Steigerung von Festigkeit und Bruchzähigkeit durch Energiedissipation	461
9.8	Härte und Verschleiß	462
<b>10</b>	<b>Physikalische Erscheinungen</b>	<b>467</b>
10.1	Elektrische Leitfähigkeit	467
10.1.1	Elektrische Leitfähigkeit in Metallen	479
10.1.2	Elektrische Leitfähigkeit in Halbleitern	484
10.1.2.1	Eigenhalbleitung	484
10.1.2.2	Störstellenhalbleitung	485
10.1.2.3	Sperrschichthalbleitung	488
10.2	Supraleitung	490
10.2.1	Supraleitung in Metallen und intermetallischen Verbindungen	490
10.2.2	Supraleitende Oxidkeramiken mit hoher Sprungtemperatur	496
10.2.3	Supraleitung in Boriden, Carbiden und Nitriden	499
10.2.4	Supraleitung in Eisenverbindungen	500
10.3	Thermoelektrizität	501
10.4	Wärmeleitfähigkeit	504
10.5	Dielektrizität	508
10.6	Magnetismus	512
10.6.1	Erscheinungsformen des Magnetismus	512
10.6.2	Technische Magnetisierung	517
10.6.3	Weichmagnetisches Verhalten	521
10.6.4	Hartmagnetisches Verhalten	525
10.6.5	Ferrimagnetisches Verhalten	528

10.7	Thermische Ausdehnung	530
10.8	Temperaturunabhängiges elastisches Verhalten	535
10.9	Dämpfung	537
10.10	Wechselwirkung zwischen Strahlung und Festkörpern	540
10.10.1	Wechselwirkung mit energiearmer Strahlung	542
10.10.2	Wechselwirkung mit energiereicher Strahlung	547
10.10.2.1	Elastische Streuung von ionisierenden Strahlen	547
10.10.2.2	Veränderungen in Festkörpern durch Strahlung	551
<b>11</b>	<b>Bioinspirierte Materialien</b>	<b>559</b>
11.1	Nucleinsäuren	560
11.1.1	Struktur der Nucleinsäuren	560
11.1.2	Anwendungen in der Nanotechnik	565
11.2	Proteine	570
11.2.1	Aufbau und Infrastruktur der Proteine	572
11.2.1.1	Aufbau der Proteine	572
11.2.2	Proteine der Zellmembran (Membranproteine)	578
11.2.2.1	Integrine	579
11.3	Bioengineering mit Proteinen für medizinischen Materialien	580
11.3.1	Tissue Engineering	581
11.3.2	Kollagen als Biomaterial	582
11.4	Bioinspirierte metallische Legierungen mit modifizierten Oberflächen	591
11.5	Kohlenhydrate	594
11.5.1	Strukturmodelle	594
11.5.2	Anwendungen in der Medizintechnik	595
	<b>Sachregister</b>	<b>599</b>