

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 10. Auflage V

1	Einleitung	1
2	Zustände des festen Körpers	5
2.1	Kristalliner Zustand	7
2.1.1	Raumgitter und Kristallsysteme	8
2.1.2	Bravais-Gitter und Kristallstruktur	9
2.1.3	Analytische Beschreibung des Raumgitters	12
2.1.4	Polkugel und stereographische Projektion	18
2.1.5	Bindung im Festkörper	21
2.1.5.1	Aufbau und Energieniveaus der Atomhülle	25
2.1.5.2	Ionenbindung	30
2.1.5.3	Kovalente Bindung (Atombindung)	32
2.1.5.4	Metallbindung	34
2.1.5.5	Nebenvalenzbindung	35
2.1.5.6	Mischbindung	37
2.1.6	Koordination	38
2.1.7	Elementstrukturen	40
2.1.7.1	Krz Struktur (Wolfram-Typ)	40
2.1.7.2	Kfz Struktur (Kupfer-Typ)	42
2.1.7.3	Hexagonal dichteste Struktur (Magnesium-Typ)	43
2.1.8	Legierungsstrukturen	43
2.1.8.1	Austauschmischkristalle	44
2.1.8.2	Überstrukturen	45
2.1.8.3	Einlagerungsmischkristalle	46
2.1.8.4	Intermetallische Phasen	47
2.1.9	Ionenstrukturen	51
2.1.10	Molekülstrukturen	57
2.1.10.1	Atombindung in Polymeren	57
2.1.10.2	Zwischenmolekulare Wechselwirkungen in Polymeren	59
2.1.10.3	Aufbauprinzip und Infrastruktur von Makromolekülen	61

2.1.10.3.1	Konstitution von Makromolekülen	61
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	79
2.1.11.1	Nulldimensionale Gitterstörungen	79
2.1.11.2	Eindimensionale Gitterstörungen	82
2.1.11.3	Zweidimensionale Gitterstörungen	92
2.1.11.3.1	Stapelfehler	92
2.1.11.3.2	Antiphasengrenzen	94
2.1.11.3.3	Grenzflächen	94
2.1.11.3.4	Grenzflächen in nanokristallinen Materialien	101
2.1.11.4	Dreidimensionale Gitterstörungen und Defektwechselwirkungen	104
2.2	Zustand unterkühlter Schmelzen und Glaszustand	107
2.2.1	Charakteristik des Zustandes unterkühlter Schmelzen und des Glaszustandes	107
2.2.2	Strukturmodelle silikatischer Gläser	108
2.2.3	Struktur amorpher Polymere	113
2.2.4	Strukturmodelle amorpher Metalle	115
	Literaturhinweise	116
3	Übergänge in den festen Zustand	119
3.1	Übergang vom flüssigen in den kristallinen Zustand	123
3.1.1	Keimbildung und -wachstum bei Metall- und Ionenkristallen	125
3.1.1.1	Erstarrung von Schmelzen	131
3.1.1.2	Kristallisation aus Lösungsmitteln	134
3.1.1.3	Kristallisation von unterkühlten Glasschmelzen (Entglasung)	139
3.1.2	Kristallisation von Polymeren	140
3.1.2.1	Einfluss der Molekülstruktur auf die Kristallisation	141
3.1.2.2	Keimbildung und Kristallwachstum	141
3.1.3	Abscheidung aus kolloidalen Lösungen	146
3.2	Übergang in den Zustand der unterkühlten Schmelze und in den Glaszustand	148
3.2.1	Änderung der Viskosität bei der amorphen Erstarrung	153
3.2.2	Phasentrennung im Zustand der unterkühlten Schmelze	155
3.2.3	Amorphe Erstarrung von Metallen und Legierungen	157
3.3	Übergang aus dem gasförmigen in den kristallinen Zustand	161
	Literaturhinweise	165
4	Phasenumwandlungen im festen Zustand	167
4.1	Umwandlungen mit Änderung der Struktur	171
4.1.1	Allotrope Umwandlungen des SiO_2	171
4.1.2	Die γ - α -Umwandlung des Eisens	175
4.1.3	Martensitische Umwandlungen	176

4.1.4	Massivumwandlung	178
4.1.5	Umwandlungsbesonderheiten bei Polymeren	179
4.2	Umwandlungen mit Änderung der Konzentration	180
4.3	Umwandlungen mit Änderung der Konzentration und der Struktur	184
4.3.1	Ausscheidungsumwandlung	184
4.3.2	Eutektoider Zerfall	186
4.4	Ordnungsumwandlungen	188
4.5	Nichtkonventionelle Phasenbildung	191
4.5.1	Metastabile Phasenbildung in dünnen Schichten	192
4.5.2	Mechanisches Legieren von Pulvern	195
	Literaturhinweise	198
5	Zustandsdiagramme	199
5.1	Thermodynamische Grundlagen	199
5.2	Experimentelle Methoden zur Aufstellung von Zustandsdiagrammen	207
5.3	Grundtypen der Zustandsdiagramme von Zweistoffsystemen	213
5.3.1	Zustandsdiagramm eines Systems mit vollständiger Mischbarkeit der Komponenten im festen und flüssigen Zustand	213
5.3.2	Zustandsdiagramm eines Systems mit vollständiger Mischbarkeit der Komponenten im flüssigen und vollständiger Unmischbarkeit im festen Zustand	215
5.3.3	Zustandsdiagramm von Systemen mit vollständiger Mischbarkeit der Komponenten im flüssigen und teilweiser Mischbarkeit im festen Zustand	218
5.3.4	Zustandsdiagramme von Systemen mit intermetallischen Phasen	221
5.3.5	Weitere Umwandlungen im festen Zustand	222
5.4	Einführung in Mehrstoffsysteme	223
5.5	Realdiagramme	227
5.5.1	Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	227
5.5.2	Zustandsdiagramm des Systems Kupfer-Zinn	231
5.5.3	Zustandsdiagramm des Systems SiO_2 – $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	233
5.5.4	Zustandsdiagramme von Polymermischungen	234
5.6	Ungleichgewichtsdiagramme	236
5.6.1	Ausbildung von Ungleichgewichtsgefügen	236
5.6.2	Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagramme	240
5.6.3	Zeit-Temperatur-Auflösungs-Diagramme	243
5.6.4	ZTR-Diagramme bei Kopplung von Umwandlungs- und Umformvorgängen	244
	Literaturhinweise	248
6	Gefüge der Werkstoffe	249
6.1	Gefüge	250
6.2	Oberfläche	254

X | **Inhaltsverzeichnis**

6.3	Herstellung der Schlifffläche	259
6.4	Entwicklung des Gefüges	262
6.4.1	Ätzen in Lösungen	263
6.4.2	Gefügeentwicklung bei hohen Temperaturen	269
6.4.3	Entwicklung des Gefüges durch Ionenätzen	271
6.5	Sichtbarmachen des Gefüges	272
6.5.1	Lichtmikroskopische Gefügebetrachtung	272
6.5.2	Gefügebetrachtung mithilfe des akustischen Reflexionsrastermikroskopes	275
6.5.3	Elektronenmikroskopische Gefügebetrachtung	275
6.5.4	Untersuchung mit der Elektronenstrahlmikrosonde (ESMA)	276
6.6	Quantitative Gefügeanalyse	278
6.6.1	Flächenanalyse	279
6.6.2	Linearanalyse	280
6.6.3	Charakterisierung der Form und Orientierung der Gefügebestandteile	282
6.6.4	Punktanalyse	284
6.7	Gefüge-Eigenschafts-Beziehungen	284
6.7.1	Einphasige Gefüge	287
6.7.2	Mehrphasige Gefüge	288
	Literaturhinweise	295
7	Thermisch aktivierte Vorgänge	297
7.1	Diffusion	299
7.1.1	Platzwechselmechanismen	301
7.1.2	Diffusionsgesetze	306
7.1.3	Bildung von Diffusionsschichten	310
7.1.4	Diffusionsgesteuerte Vorgänge	312
7.1.4.1	Diffusionskriechen	312
7.1.4.2	Versetzungskriechen	313
7.1.4.3	Sintern	315
7.2	Kristallerholung und Rekristallisation	319
7.2.1	Kristallerholung	319
7.2.2	Rekristallisation	321
7.2.3	Kornwachstum	326
7.2.4	Rekristallisationstexturen	333
	Literaturhinweise	333
8	Korrosion	335
8.1	Korrosion der Metalle in wässrigen Medien	341
8.1.1	Grundlagen der elektrochemischen Korrosion	342
8.1.1.1	Elektrochemische Spannungsreihe und Korrosionsvorgänge	345
8.1.1.2	Geschwindigkeit elektrochemischer Reaktionen	349
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	Spannungsrißkorrosion	369
8.1.8	Schwingungsrißkorrosion	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	Spannungsrißkorrosion von Polymeren	380
8.4	Korrosion in Schmelzen	381
8.4.1	Korrosion von Metallen in durch Ablagerungen gebildeten Schmelzen	382
8.4.2	Korrosion feuerfester Baustoffe in Schmelzen	384
8.5	Korrosion der Metalle in heißen Gasen	385
8.5.1	Oxidation (Zundern) von Eisen	386
8.5.2	Oxidation von Legierungen	389
8.5.3	Schädigung von Stahl durch Druckwasserstoff	390
8.5.4	Aufkohlung und Metal Dusting	390
8.6	Korrosion feuerfester Werkstoffe in heißen Gasen	391
8.7	Korrosionsschutz	392
8.7.1	Passiver Korrosionsschutz	393
8.7.2	Aktiver Korrosionsschutz	394
	Literaturhinweise	395
9	Mechanische Erscheinungen	397
9.1	Reversible Verformung	398
9.1.1	Linearelastische Verformung	399
9.1.2	Energie- und entropieelastische Verformung	401
9.1.3	Anelastische Verformung	402
9.1.4	Pseudoelastische Verformung	403
9.2	Plastische Verformung	404
9.2.1	Geometrie der plastischen Verformung von Einkristallen	405
9.2.2	Mechanismus der plastischen Verformung	408
9.2.2.1	Theoretische Festigkeit	408
9.2.2.2	Entstehen und Wechselwirkung von Versetzungen	410
9.2.2.3	Wechselwirkung zwischen Versetzungen und Fremdatomen	412
9.2.2.4	Wechselwirkung zwischen Versetzungen und Teilchen	414
9.2.3	Plastische Verformung polykristalliner Werkstoffe (Vielkristallplastizität)	418
9.2.3.1	Spannungs-Dehnungs-Diagramm	418
9.2.3.2	Orientierungseinfluss	419
9.2.3.3	Korngrenzeinfluss	420
9.2.3.4	Streckgrenzenerscheinung	422

9.2.3.5	Verformungsgefüge und Textur	424
9.2.4	Plastische Wechselverformung	425
9.2.5	Besondere Erscheinungen der Plastizität	427
9.2.5.1	Superplastizität	427
9.2.5.2	Umwandlungsplastizität	429
9.3	Viskose und viskoelastische Verformung	430
9.4	Kriechen	433
9.5	Bruch	435
9.5.1	Makroskopische und mikroskopische Bruchmerkmale	436
9.5.2	Rissbildung	437
9.5.3	Rissausbreitung	441
9.5.4	Bruchmechanik	444
9.5.4.1	Linearelastische Bruchmechanik	444
9.5.4.2	Fließbruchmechanik	447
9.6	Eigenspannungen	449
9.7	Festigkeitssteigerung und Schadenstoleranz	452
9.7.1	Kombinierte Mechanismen zur Festigkeitssteigerung metallischer Werkstoffe	452
9.7.2	Festigkeitssteigerung durch Druckeigenspannungen in der Randschicht	454
9.7.3	Festigkeitssteigerung durch Verstrecken und Vernetzen	455
9.7.4	Festigkeitssteigerung durch Faserverstärkung	457
9.7.5	Steigerung von Festigkeit und Bruchzähigkeit durch Energiedissipation	462
9.8	Härte und Verschleiß	464
	Literaturhinweise	467
10	Physikalische Erscheinungen	469
10.1	Elektrische Leitfähigkeit	469
10.1.1	Elektrische Leitfähigkeit in Metallen	481
10.1.2	Elektrische Leitfähigkeit in Halbleitern	486
10.1.2.1	Eigenhalbleitung	487
10.1.2.2	Störstellenhalbleitung	487
10.1.2.3	Sperrsichthalbleitung	490
10.2	Supraleitung	492
10.2.1	Supraleitung in Metallen und intermetallischen Verbindungen	492
10.2.2	Supraleitende Oxidkeramiken mit hoher Sprungtemperatur	498
10.2.3	Supraleitung in Boriden, Carbiden und Nitriden	502
10.2.4	Supraleitung in Eisenverbindungen	503
10.3	Thermoelektrizität	504
10.4	Wärmeleitfähigkeit	507
10.5	Dielektrizität	510
10.6	Magnetismus	515
10.6.1	Erscheinungsformen des Magnetismus	515
10.6.2	Technische Magnétisierung	520

10.6.3	Weichmagnetisches Verhalten	525
10.6.4	Hartmagnetisches Verhalten	529
10.6.5	Ferrimagnetisches Verhalten	531
10.7	Thermische Ausdehnung	533
10.8	Temperaturunabhängiges elastisches Verhalten	539
10.9	Dämpfung	541
10.10	Wechselwirkung zwischen Strahlung und Festkörpern	545
10.10.1	Wechselwirkung mit energieärmer Strahlung	547
10.10.2	Wechselwirkung mit energiereicher Strahlung	551
10.10.2.1	Elastische Streuung von ionisierenden Strahlen	552
10.10.2.2	Veränderungen in Festkörpern durch Strahlung	556
	Literaturhinweise	562
	Register	565