

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen der Metall- und Legierungskunde	1
Hans-Jürgen Bargel	
1.1 Aufbau kristalliner Stoffe	1
1.1.1 Bindungsformen anorganischer Stoffe	1
1.1.2 Gitteraufbau des Idealkristalls	2
1.1.3 Realkristalle, Gitterbaufehler, Energie von Fehlstellen	6
1.1.4 Einkristall, Vielkristall	12
1.2 Eigenschaften der Metalle	15
1.2.1 Physikalische Eigenschaften	15
1.2.2 Mechanische Eigenschaften	18
1.3 Phasenumwandlungen	28
1.3.1 Primärkristallisation bei reinen Metallen	28
1.3.2 Primärkristallisation bei Legierungen	32
1.3.3 Einfluss der Korngrenzen	33
1.3.4 Umwandlungen im festen Zustand	34
1.3.5 Martensitbildung	35
1.4 Thermisch aktivierte Vorgänge	37
1.4.1 Diffusion	38
1.4.2 Kristallerholung und Rekristallisation	40
1.4.3 Kriechen und Spannungsrelaxation	44
1.5 Grundlagen der Legierungsbildung	46
1.5.1 Begriffe, Definitionen	46
1.5.2 Phasengesetz	47
1.5.3 Mischkristalle	48
1.5.4 Intermediäre Kristalle	50
1.5.5 Zustandsschaubilder	51

1.6	Zustandsschaubilder von Zweistofflegierungen	54
1.6.1	Vollkommene Unlöslichkeit im flüssigen und festen Zustand	54
1.6.2	Vollkommene Löslichkeit im flüssigen und festen Zustand	54
1.6.3	Vollkommene Löslichkeit im flüssigen Zustand, vollkommene Unlöslichkeit im festen Zustand	56
1.6.4	Vollkommene Löslichkeit im flüssigen Zustand, begrenzte Löslichkeit im festen Zustand	58
1.6.5	Zustandsschaubilder mit intermediären Phasen	63
1.6.6	Zustandsschaubilder mit Umwandlungen im festen Zustand	64
1.6.7	Nichtgleichgewichtszustände	65
1.7	Eigenschaften technischer Legierungen – Anwendungen der Zustandsschaubilder	68
1.7.1	Eigenschaften von Legierungen aus Kristallgemengen	68
1.7.2	Eigenschaften von Legierungen aus Mischkristallen	69
1.7.3	Eigenschaften von Legierungen mit Umwandlungen im festen Zustand	70
1.8	Korrosion	74
1.8.1	Elektrochemische Grundlagen	75
1.8.2	Korrosionsformen	80
1.8.3	Korrosionsarten	81
1.8.4	Korrosionsverhalten der Werkstoffe	84
1.8.5	Korrosionsschutz	86
1.8.6	Korrosionsprüfungen	87
1.9	Fragen und Aufgaben zu Kap. 1	88
	References	89
2	Einwirkung von Herstellung und Weiterverarbeitung auf die Eigenschaften von Metallen	91
	Hans-Jürgen Bargel und Günter Schulze	
2.1	Metallgewinnung, Verhüttung	91
2.1.1	Erze, Anreicherungsverfahren	91
2.1.2	Verhüttung, Reduktion	92
2.1.3	Raffination	93
2.1.4	Nichtmetallische Verunreinigungen	93
2.1.5	Gase im Metall	94
2.2	Schmelzen und Erstarren	95
2.2.1	Primärkristallisation in Gusskonstruktionen	95
2.2.2	Kristallisation in Schweißverbindungen	96
2.2.3	Gerichtete Erstarrung	97
2.2.4	Seigerungen	97
2.2.5	Lunker	98
2.2.6	Einfluss des Gießverfahrens	99
2.3	Umformen	101

2.3.1	Warmformgebung	102
2.3.2	Kaltformgebung	105
2.4	Pulvermetallurgie	106
2.4.1	Sintern	106
2.4.2	Additive Fertigung	109
2.5	Schweißen	109
2.5.1	Thermische Wirkung	110
2.5.2	Aufbau und Eigenschaften der thermisch beeinflussten Bereiche	111
2.5.3	Werkstoffbedingte Besonderheiten und Schwierigkeiten beim Schweißen	113
2.6	Löten	117
2.7	Wärmebehandlung	121
2.7.1	Ziel der Wärmebehandlung	121
2.7.2	Temperaturführung	121
2.7.3	Glühbehandlungen (gleichgewichtsnahe Zustände)	123
2.7.4	Härten	124
2.8	Eigenspannungen	125
2.8.1	Eigenspannungen infolge Kaltverformung	126
2.8.2	Eigenspannungen infolge schneller Abkühlung	127
2.8.3	Schweißeigenspannungen	127
2.8.4	Nachweis und Abbau von Eigenspannungen	128
2.9	Fragen und Aufgaben zu Kap. 2	128
	weiterführende Literatur	129
3	Werkstoffprüfung	131
	Hans-Jürgen Bargel	
3.1	Statische Festigkeits- und Verformungskennwerte	131
3.1.1	Spannung-Verformung-Verlauf	131
3.1.2	Elastische Kennwerte	134
3.1.3	Kennwerte des Zugversuchs	135
3.1.4	Kennwerte des Druckversuchs	138
3.1.5	Biegeversuch und Verdrehversuch	140
3.1.6	Zeitstandversuch	140
3.1.7	Einflussfaktoren	142
3.2	Festigkeits- und Verformungskennwerte bei schwingender Beanspruchung	145
3.2.1	Definitionen	146
3.2.2	Prüfverfahren	150
3.2.3	Einflüsse auf die Schwingfestigkeit	151
3.2.4	Werkstoffverhalten bei schwingender Beanspruchung	155
3.3	Härtekennwerte	159
3.3.1	Begriffe	159
3.3.2	Statische Härteprüfverfahren	159
3.3.3	Dynamische Härteprüfverfahren	163
3.3.4	Einflüsse auf die Härtewerte	164

3.4	Kennwerte des Bruchverhaltens	164
3.4.1	Bruchformen.	165
3.4.2	Bruchkriterien, Grundlagen der Bruchmechanik	168
3.4.3	Verfahren zur Prüfung des Zähigkeitsverhaltens	171
3.4.4	Einflüsse auf das Bruchverhalten	175
3.4.5	Anwendungsgrenzen von Bruchversuchen	177
3.5	Technologische Prüfverfahren	178
3.5.1	Prüfung der Umformeigenschaften	178
3.5.2	Prüfung der Gießeeigenschaften	180
3.5.3	Weitere technologische Prüfungen	180
3.6	Zerstörungsfreie Prüfung	180
3.6.1	Kapillarverfahren	181
3.6.2	Magnetische und induktive Verfahren	181
3.6.3	Schallverfahren.	182
3.6.4	Strahlenverfahren	183
3.7	Metallografische Untersuchungsverfahren.	184
3.7.1	Makroskopische Verfahren	184
3.7.2	Mikroskopische Verfahren	185
3.8	Physikalische Analyseverfahren	188
3.8.1	Spektralanalyse.	188
3.8.2	Röntgenfeinstrukturuntersuchung	188
3.9	Fragen und Aufgaben zu Kap. 3.	189
	weiterführende Literatur	190
4	Eisenwerkstoffe	191
	Hans-Jürgen Bargel	
4.1	Eisen-Kohlenstoff-Schaubild (EKS)	191
4.1.1	Metallkundliche Grundlagen	191
4.1.2	Phasenänderungen im Eisen-Kohlenstoff-Schaubild (EKS).	193
4.2	Einteilung der Eisenwerkstoffe	198
4.3	Stahlherstellung	198
4.3.1	Hochfenerzeugnisse	198
4.3.2	Erschmelzungsverfahren	199
4.3.3	Sekundärmetallurgie (Pfannenmetallurgie)	202
4.3.4	Weitere Verarbeitung von Stahl	202
4.4	Wirkung der Eisenbegleiter	205
4.4.1	Mangan	206
4.4.2	Silicium	206
4.4.3	Phosphor.	206
4.4.4	Schwefel.	207
4.4.5	Stickstoff	207
4.4.6	Wasserstoff	208
4.4.7	Sauerstoff	209
4.4.8	Nichtmetallische Einschlüsse.	209
4.5	Wärmebehandlung der Stähle	211
4.5.1	Austenitisieren	211
4.5.2	Umwandlungen bei Abkühlung	215

4.5.3	Glühbehandlungen von Stahl	226
4.5.4	Härten, Härteverfahren	230
4.5.5	Vergüten	237
4.5.6	Verfahren zum Härten von Randzonen	242
4.5.7	Wärmebehandlungsfehler	250
4.6	Legierungselemente im Stahl	251
4.6.1	Einteilung und allgemeine Wirkung	252
4.6.2	Einflüsse auf Prozesse	254
4.6.3	Einflüsse auf Gefüge und Eigenschaften	259
4.7	Festigkeit, Duktilität, Schweißbeignung	260
4.7.1	Methoden zum Erhöhen von Festigkeit und/oder Duktilität	260
4.7.2	Schweißbeignung von Stählen	265
4.8	Bezeichnungen von Stählen	272
4.8.1	Benennungen	272
4.8.2	Kurzzeichen nach DIN EN 10027-1	272
4.8.3	Werkstoffnummern nach DIN EN 10027-2	274
4.8.4	Zusatzsymbole	275
4.9	Stahlgruppen	276
4.9.1	Stähle für den allgemeinen Stahlbau nach DIN EN 10025	276
4.9.2	Stähle zum Kaltumformen	281
4.9.3	Leichtbaustähle	283
4.9.4	Maschinenbaustähle	288
4.9.5	Stähle mit bestimmten Eigenschaften für den Anlagenbau	299
4.9.6	Nichtrostende, korrosionsbeständige Stähle	304
4.9.7	Werkzeugstähle	315
4.10	Eisengusswerkstoffe	321
4.10.1	Begriff, Bedeutung, Einteilung	321
4.10.2	Stahlguss	322
4.10.3	Gusseisen – Übersicht	326
4.10.4	Hartguss	328
4.10.5	Graues Gusseisen	329
4.10.6	Temperguss	339
4.11	Fragen und Aufgaben zu Kap. 4	342
	Literatur	345
5	Nichteisenmetalle	347
	Silke Mücklich	
5.1	Einleitung	347
5.2	Kupfer und Kupferlegierungen	348
5.2.1	Kupferherstellung	350
5.2.2	Unlegiertes Kupfer	350
5.2.3	Niedriglegiertes Kupfer	352
5.2.4	Kupfer-Zink-Legierungen	353
5.2.5	Kupfer-Zink-Nickel-Legierungen	355

5.2.6	Kupfer-Zinn-Legierungen	356
5.2.7	Weitere Kupferlegierungen.....	358
5.3	Nickel und Nickellegierungen	361
5.3.1	Reinnickel.....	362
5.3.2	Nickellegierungen	363
5.3.3	Nickel-Kupfer-Legierungen	364
5.3.4	Hochwarmfeste und hitzebeständige Nickellegierungen	365
5.3.5	Korrosionsbeständige Nickellegierungen.....	368
5.3.6	Nickelhaltige Magnetwerkstoffe	368
5.4	Aluminium und Aluminiumlegierungen	371
5.4.1	Unlegiertes Aluminium	373
5.4.2	Legierungssysteme des Aluminiums	374
5.4.3	Wärmebehandlung und Aushärten	380
5.4.4	Anodische Oxidation von Aluminiumwerkstoffen	382
5.4.5	Fertigungstechnische Verarbeitung von Aluminiumlegierungen.....	383
5.5	Magnesium und Magnesiumlegierungen	384
5.5.1	Reinmagnesium	385
5.5.2	Magnesiumlegierungen	385
5.6	Titan und Titanlegierungen.....	387
5.6.1	Unlegiertes Titan	389
5.6.2	Titanlegierungen.....	390
5.7	Zirkonium und Reaktorwerkstoffe	392
5.8	Zinn und Zinnlegierungen	393
5.8.1	Reinzinn	393
5.8.2	Zinnlegierungen	394
5.9	Zink und Zinklegierungen	395
5.9.1	Unlegiertes und niedriglegiertes Zink	395
5.9.2	Zink-Überzüge	396
5.9.3	Zink-Druckguss	397
5.10	Blei und Bleilegierungen	397
5.10.1	Weichblei	398
5.10.2	Bleilegierungen	398
5.11	Recycling metallischer Werkstoffe.....	398
5.12	Fragen und Aufgaben zu Kap. 5.....	400
	Literatur.....	401
6	Anorganische nichtmetallische Werkstoffe.....	403
	Karl-Heinz Hübner	
6.1	Einteilung, Definition, Bedeutung	403
6.2	Glas.....	405
6.3	Keramik	409
6.3.1	Tonkeramische Werkstoffe	410
6.3.2	Oxidkeramische Werkstoffe	414
6.3.3	Ferroelektrische keramische Werkstoffe	416
6.3.4	Magnetische keramische Werkstoffe	418

6.4	Kohlewerkstoffe	420
6.5	Nichtoxidische Hartstoffe	423
6.5.1	Nichtmetallische Hartstoffe	424
6.5.2	Hartstoffe mit metallischen Eigenschaften	425
6.6	Halbleiter	428
6.6.1	Einleitung	428
6.6.2	Bändermodell	430
6.6.3	Eigenleitung	431
6.6.4	Störstellenleitung	431
6.6.5	p-n-Übergang	434
6.6.6	Transistor	436
6.6.7	Hall-Generator	437
6.6.8	Fotoelektrische Bauelemente	437
6.7	Nanotechnologie und Nanomaterialien	441
6.8	Fragen und Aufgaben zu Kap. 6.	442
	Literatur	443
7	Kunststoffe	445
	Oswald Krüger	
7.1	Einteilung und Aufbau der Kunststoffe	445
7.1.1	Bezeichnungen, Begriffe	445
7.1.2	Eingruppierung der Kunststoffe	446
7.1.3	Vorprodukte, Formstoffe, Zusatzstoffe	447
7.1.4	Normung	449
7.2	Herstellung	451
7.2.1	Chemische Grundlagen	451
7.2.2	Polymerisation	458
7.2.3	Polykondensation	465
7.2.4	Polyaddition	470
7.3	Aufbau und strukturelle Einflüsse	472
7.3.1	Aufbauformen	473
7.3.2	Strukturelle Einflüsse	477
7.4	Kunststoffsorten	479
7.4.1	Thermoplaste	479
7.4.2	Thermoplastische Elastomere (TPE)	492
7.4.3	Elastomere	493
7.4.4	Duroplaste	493
7.5	Temperaturabhängige Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten	498
7.5.1	Thermische Zustands- und Übergangsbereiche	498
7.5.2	Temperaturabhängigkeit	500
7.5.3	Formgebungsmöglichkeiten	502
7.5.4	Verhalten im Gebrauchszustand	505
7.6	Modifizierung von Kunststoffen	507
7.6.1	Strukturveränderungen	507
7.6.2	Weichmachung	508
7.6.3	Additive	509
7.6.4	Füllstoffe	510

7.6.5	Verstärkungsstoffe	510
7.7	Gemeinsame Eigenschaften, charakteristische Merkmale	511
7.7.1	Äußere Merkmale	512
7.7.2	Chemische und physikalische Eigenschaften	512
7.7.3	Mechanische Eigenschaften	514
7.7.4	Elektrische Eigenschaften	518
7.8	Bestimmung von Kunststoffen	520
7.9	Kunststoffprüfung	523
7.9.1	Mechanische Eigenschaften	523
7.9.2	Mechanisch-thermisches Verhalten	532
7.9.3	Elektrische Eigenschaften	535
7.10	Kriterien zur Kunststoffsauwahl	538
7.10.1	Allgemeine Anforderungen	538
7.10.2	Eigenschaftskennwerte	539
7.11	Fragen und Aufgaben zu Kap. 7	539
	Literatur	540
8	Schadensanalyse	541
	Hans-Jürgen Bargel	
8.1	Methodik einer Schadensanalyse	543
8.1.1	Voruntersuchungsphase	543
8.1.2	Entscheidungsphase	544
8.1.3	Untersuchungsphase	544
8.1.4	Auswertungsphase	545
8.2	Schadensuntersuchungen	545
8.3	Verschleißschäden	546
8.3.1	Verschleißsystem	546
8.3.2	Verschleißarten	547
8.3.3	Verschleißmechanismen	548
8.3.4	Verschleißmerkmale	549
8.4	Korrosionsschäden	549
8.5	Wasserstoffversprödung	550
8.6	Fraktografie	552
8.7	Beispiele von Schadenfällen	555
8.7.1	Wasserschaden durch undichten Rohrentlüfter	555
8.7.2	Bruch eines Auslassventils	556
8.7.3	Bruch der Kurbelwelle eines Dieselmotors	558
8.7.4	Lochkorrosion in einem Wärmeübertrager	559
8.7.5	Bruch von Federringen infolge Wasserstoffversprödung	560
8.8	Fragen und Aufgaben zu Kap. 8	560
	Weiterführende Literatur	561
	Lösungen zu den Übungsaufgaben	563
	Stichwortverzeichnis	575