

---

# Inhaltverzeichnis

<b>1 Grundlagen der Metall- und Legierungskunde</b> .....	1
Hans-Jürgen Bargel und Günter Schulze	
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 .....	5
1.1.4 Einkristall, Vielkristall .....	11
1.2 Eigenschaften der Metalle .....	13
1.2.1 Elektrische und thermische Eigenschaften .....	13
1.2.2 Mechanische Eigenschaften .....	16
1.3 Phasenumwandlungen .....	23
1.3.1 Primärkristallisation bei reinen Metallen .....	23
1.3.2 Primärkristallisation bei Legierungen .....	25
1.3.3 Einfluss der Korngrenzen .....	28
1.3.4 Umwandlungen im festen Zustand .....	28
1.3.5 Martensitbildung .....	29
1.4 Thermisch aktivierte Vorgänge .....	32
1.4.1 Diffusion .....	33
1.4.2 Kristallerholung und Rekristallisation .....	36
1.4.3 Kriechen und Spannungsrelaxation .....	40
1.5 Grundlagen der Legierungsbildung .....	41
1.5.1 Mischkristalle .....	42
1.5.2 Intermediäre Kristalle .....	43
1.6 Zustandsschaubilder .....	44
1.6.1 Grundlagen, Begriffe, Definitionen .....	44
1.6.2 Phasengesetz .....	45
1.6.3 Aufstellen der Zustandsschaubilder .....	46
1.6.4 Zustandsschaubilder von Zweistofflegierungen .....	48
1.6.5 Zustandsschaubilder mit intermediären Phasen .....	55
1.6.6 Zustandsschaubilder mit Umwandlungen im festen Zustand .....	57
1.6.7 Nichtgleichgewichtszustände .....	58
1.7 Eigenschaften technischer Legierungen – Anwendungen der Zustandsschaubilder .....	60
1.7.1 Eigenschaften von Legierungen aus Kristallgemengen .....	61

1.7.2	Eigenschaften von Legierungen aus Mischkristallen .....	61
1.7.3	Eigenschaften von Legierungen mit Umwandlungen im festen Zustand .....	63
1.8	Korrosion .....	66
1.8.1	Elektrochemische Grundlagen .....	68
1.8.2	Korrosionsformen .....	73
1.8.3	Korrosionsarten .....	74
1.8.4	Korrosionsverhalten der Werkstoffe .....	76
1.8.5	Korrosionsschutz .....	77
1.8.6	Korrosionsprüfungen .....	78
1.9	Fragen und Aufgaben zu Kap. 1 .....	79
	Literatur .....	80
<b>2</b>	<b>Einwirkung von Herstellung und Weiterverarbeitung auf die Eigenschaften von Metallen .....</b>	<b>81</b>
	Hans-Jürgen Bargel und Günter Schulze	
2.1	Metallgewinnung, Verhüttung .....	81
2.1.1	Erze, Anreicherungsverfahren .....	81
2.1.2	Verhüttung, Reduktion .....	82
2.1.3	Raffination .....	82
2.1.4	Nichtmetallische Verunreinigungen .....	83
2.1.5	Gase im Metall .....	84
2.2	Schmelzen und Erstarren .....	85
2.2.1	Ausgewählte Erstarrungsvorgänge .....	85
2.2.2	Seigerungen .....	87
2.2.3	Lunker .....	88
2.2.4	Einfluss des Gießverfahrens .....	89
2.3	Umformen .....	91
2.3.1	Warmformgebung .....	91
2.3.2	Kaltformgebung .....	94
2.4	Sintern (Pulvermetallurgie) .....	95
2.4.1	Pulverherstellung, Sintervorgang .....	96
2.4.2	Möglichkeiten und Eigenschaften von Sinterwerkstoffen .....	97
2.5	Schweißen .....	97
2.5.1	Thermische Wirkung .....	98
2.5.2	Schweißspannungen .....	99
2.5.3	Aufbau und Eigenschaften der thermisch beeinflussten Bereiche .....	101
2.5.4	Werkstoffbedingte Besonderheiten und Schwierigkeiten beim Schweißen .....	103
2.6	Werkstoffbedingte Probleme beim Löten .....	107
2.7	Wärmebehandlung .....	111
2.7.1	Ziel der Wärmebehandlung .....	111
2.7.2	Temperaturführung .....	111
2.7.3	Glühbehandlungen (gleichgewichtsnahen Zustände) ..	112
2.7.4	Härten .....	114

2.8	Eigenspannungen .....	114
2.8.1	Eigenspannungen infolge Kaltverformung .....	115
2.8.2	Eigenspannungen infolge schneller Abkühlung ...	115
2.8.3	Nachweis und Abbau von Eigenspannungen .....	116
2.9	Fragen und Aufgaben zu Kapitel 2 .....	116
	Literatur .....	117
	Nützliche Links .....	117
<b>3</b>	<b>Werkstoffprüfung .....</b>	<b>119</b>
	Hans-Jürgen Bargel	
3.1	Statische Festigkeits- und Verformungskennwerte .....	119
3.1.1	Spannung-Verformung-Verlauf .....	119
3.1.2	Elastische Kennwerte .....	121
3.1.3	Kennwerte des Zugversuchs .....	123
3.1.4	Kennwerte des Druckversuchs .....	126
3.1.5	Biegeversuch und Verdrehversuch .....	127
3.1.6	Zeitstandversuch .....	128
3.1.7	Einflussfaktoren .....	129
3.2	Festigkeits- und Verformungskennwerte bei schwingender Beanspruchung .....	132
3.2.1	Definitionen .....	133
3.2.2	Prüfverfahren .....	136
3.2.3	Einflüsse auf die Schwingfestigkeit .....	136
3.2.4	Werkstoffverhalten bei schwingender Beanspruchung .....	140
3.3	Härtekennwerte .....	143
3.3.1	Begriffe .....	143
3.3.2	Statische Härteprüfverfahren .....	144
3.3.3	Dynamische Härteprüfverfahren .....	148
3.3.4	Einflüsse auf die Härtewerte .....	148
3.4	Kennwerte des Bruchverhaltens .....	149
3.4.1	Bruchformen .....	149
3.4.2	Bruchkriterien, Grundlagen der Bruchmechanik ..	152
3.4.3	Verfahren zur Prüfung des Zähigkeitsverhaltens ..	155
3.4.4	Einflüsse auf das Bruchverhalten .....	159
3.4.5	Anwendungsgrenzen von Bruchversuchen .....	161
3.5	Technologische Prüfverfahren .....	161
3.5.1	Prüfung der Umformeigenschaften .....	162
3.5.2	Prüfung der Gießeigenschaften .....	163
3.5.3	Weitere technologische Prüfungen .....	164
3.6	Zerstörungsfreie Prüfung .....	164
3.6.1	Kapillarverfahren .....	164
3.6.2	Magnetische und induktive Verfahren .....	165
3.6.3	Schallverfahren .....	166
3.6.4	Strahlenverfahren .....	167
3.7	Metallografische Untersuchungsverfahren .....	168
3.7.1	Makroskopische Verfahren .....	168
3.7.2	Mikroskopische Verfahren .....	168

3.8	Physikalische Analyseverfahren .....	171
3.8.1	Spektralanalyse .....	171
3.8.2	Röntgenfeinstrukturuntersuchung .....	171
3.9	Fragen und Aufgaben zu Kap. 3 .....	172
	Literatur .....	173
	Nützliche Links .....	173
<b>4</b>	<b>Eisenwerkstoffe</b> .....	<b>175</b>
	Günter Schulze und Hans-Jürgen Bargel	
4.1	Eisen-Kohlenstoff-Schaubild (EKS) .....	175
4.1.1	Metallkundliche Grundlagen .....	175
4.1.2	Phasenänderungen im Eisen-Kohlenstoff-Schaubild (EKS) .....	176
4.2	Einteilung der Eisenwerkstoffe .....	181
4.3	Stahlherstellung .....	181
4.3.1	Hochofenerzeugnisse .....	181
4.3.2	Erschmelzungsverfahren .....	182
4.3.3	Sekundärmetallurgie (Pfannenmetallurgie) .....	184
4.3.4	Weitere Verarbeitung von Stahl .....	185
4.4	Wirkung der Eisenbegleiter .....	188
4.4.1	Mangan .....	188
4.4.2	Silicium .....	189
4.4.3	Phosphor .....	189
4.4.4	Schwefel .....	189
4.4.5	Stickstoff .....	190
4.4.6	Wasserstoff .....	192
4.4.7	Sauerstoff .....	192
4.4.8	Nichtmetallische Einschlüsse .....	193
4.5	Wärmebehandlung der Stähle .....	194
4.5.1	Ziel der Wärmebehandlung .....	194
4.5.2	Glühbehandlungen von Stahl .....	194
4.5.3	Härten .....	198
4.5.4	Austenitumwandlung .....	204
4.5.5	Härteverfahren .....	211
4.5.6	Vergüten .....	216
4.5.7	Verfahren zum Härten oberflächennaher Schichten .....	220
4.5.8	Wärmebehandlungsfehler .....	227
4.6	Legierungselemente im Stahl .....	227
4.6.1	Einteilung und allgemeine Wirkung .....	228
4.6.2	Austenitumwandlung, Darstellung im ZTU-Schaubild .....	231
4.6.3	Härtbarkeit und Härteverhalten legierter Stähle ...	233
4.7	Normgerechte Bezeichnung der Eisenwerkstoffe .....	234
4.7.1	Benennung nach DIN EN 10027-1 .....	234
4.7.2	Kennzeichnung durch Werkstoffnummern (DIN EN 10027-2) .....	236
4.8	Stahlgruppen .....	236
4.8.1	Einteilung der Stähle .....	236

4.8.2	Baustähle .....	239
4.8.3	Härtbare Maschinenbaustähle .....	252
4.8.4	Warmfeste und hitzebeständige Stähle .....	260
4.8.5	Kaltzähe Stähle .....	264
4.8.6	Nichtrostende Stähle .....	266
4.8.7	Druckwasserstoffbeständige Stähle .....	278
4.8.8	Werkzeugstähle .....	279
4.9	Eisengusswerkstoffe .....	284
4.9.1	Begriff, Bedeutung, Einteilung .....	284
4.9.2	Stahlguss .....	286
4.9.3	Gusseisen – Übersicht .....	290
4.9.4	Hartguss .....	291
4.9.5	Graues Gusseisen .....	292
4.9.6	Temperguss .....	301
4.10	Fragen und Aufgaben zu Kap. 4 .....	305
	Literatur .....	306
	Nützliche Links .....	307
<b>5</b>	<b>Nichteisenmetalle</b> .....	<b>309</b>
	Hermann Hilbrans	
5.1	Normgerechte Bezeichnung der Nichteisenmetalle .....	309
5.1.1	Kurzzeichen .....	310
5.1.2	Werkstoffnummern .....	312
5.2	Kupfer und Kupferlegierungen .....	312
5.2.1	Kupferherstellung .....	313
5.2.2	Unlegiertes Kupfer .....	313
5.2.3	Niedriglegiertes Kupfer .....	316
5.2.4	Kupfer-Zink-Legierungen .....	317
5.2.5	Kupfer-Zink-Nickel-Legierungen .....	318
5.2.6	Kupfer-Zinn-Legierungen .....	319
5.2.7	Kupfer-Nickel-Werkstoffe mit besonderen elektrischen Eigenschaften .....	321
5.2.8	Korrosionsbeständige Kupfer-Nickel- Legierungen .....	322
5.3	Nickel und Nickellegierungen .....	323
5.3.1	Reinnickel .....	323
5.3.2	Legiertes Nickel .....	325
5.3.3	Nickel-Kupfer-Werkstoffe .....	325
5.3.4	Hochwarmfeste und hitzebeständige Nickellegierungen .....	326
5.3.5	Korrosionsbeständige Nickellegierungen .....	329
5.3.6	Nickelhaltige Magnetwerkstoffe .....	330
5.4	Aluminium und Aluminiumlegierungen .....	332
5.4.1	Unlegiertes Aluminium .....	333
5.4.2	Legierungssysteme des Aluminiums .....	334
5.4.3	Wärmebehandlung und Aushärten .....	336
5.4.4	Aluminium-Knetlegierungen .....	337
5.4.5	Aluminium-Gusslegierungen .....	338
5.4.6	Verarbeitung von Aluminiumlegierungen .....	339

5.5	Magnesium und Magnesiumlegierungen .....	340
5.5.1	Reinmagnesium .....	341
5.5.2	Magnesiumlegierungen .....	341
5.6	Titan und Titanlegierungen .....	343
5.6.1	Unlegiertes Titan .....	343
5.6.2	Titanlegierungen .....	344
5.7	Zirkonium und Reaktorwerkstoffe .....	346
5.8	Zinn und Zinnlegierungen .....	347
5.8.1	Reinzinn .....	347
5.8.2	Zinnlegierungen .....	348
5.9	Zink und Zinklegierungen .....	349
5.9.1	Unlegiertes und niedriglegiertes Zink .....	349
5.9.2	Zink-Überzüge .....	350
5.9.3	Zink-Druckguss .....	350
5.10	Blei und Bleilegierungen .....	351
5.10.1	Weichblei .....	352
5.10.2	Bleilegierungen .....	352
5.11	Recycling metallischer Werkstoffe .....	352
5.12	Fragen und Aufgaben zu Kap. 5 .....	354
	Literatur .....	355
<b>6</b>	<b>Anorganische nichtmetallische Werkstoffe.....</b>	<b>357</b>
	Karl-Heinz Hübner	
6.1	Einteilung, Definition, Bedeutung .....	357
6.2	Glas .....	359
6.3	Keramik .....	363
6.3.1	Tonkeramische Werkstoffe .....	364
6.3.2	Oxidkeramische Werkstoffe .....	367
6.3.3	Ferroelektrische keramische Werkstoffe .....	370
6.3.4	Magnetische keramische Werkstoffe .....	372
6.4	Kohlewerkstoffe .....	373
6.5	Nichtoxidische Hartstoffe .....	376
6.5.1	Nichtmetallische Hartstoffe .....	377
6.5.2	Hartstoffe mit metallischen Eigenschaften .....	378
6.6	Halbleiter .....	381
6.6.1	Einleitung .....	381
6.6.2	Bändermodell .....	382
6.6.3	Eigenleitung .....	383
6.6.4	Störstellenleitung .....	384
6.6.5	p-n-Übergang .....	386
6.6.6	Transistor .....	388
6.6.7	Hall-Generator .....	389
6.6.8	Fotoelektrische Bauelemente .....	390
6.7	Nanotechnologie und Nanomaterialien .....	392
6.8	Fragen und Aufgaben zu Kapitel 6 .....	394
	Literatur .....	395

<b>7 Kunststoffe</b> .....	397
Oswald Krüger	
7.1 Einteilung und Aufbau der Kunststoffe .....	397
7.1.1 Bezeichnungen, Begriffe .....	397
7.1.2 Eingruppierung der Kunststoffe .....	398
7.1.3 Vorprodukte, Formstoffe, Zusatzstoffe .....	399
7.1.4 Normung .....	401
7.2 Herstellung .....	402
7.2.1 Chemische Grundlagen .....	402
7.2.2 Polymerisation .....	409
7.2.3 Polykondensation .....	415
7.2.4 Polyaddition .....	420
7.3 Aufbau und strukturelle Einflüsse .....	422
7.3.1 Aufbauformen .....	422
7.3.2 Strukturelle Einflüsse .....	426
7.4 Kunststoffsorten .....	428
7.4.1 Thermoplaste .....	428
7.4.2 Thermoplastische Elastomere (TPE) .....	438
7.4.3 Elastomere .....	438
7.4.4 Duroplaste .....	439
7.5 Temperaturabhängige Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten .....	442
7.5.1 Thermische Zustands- und Übergangsbereiche ....	443
7.5.2 Temperaturabhängigkeit .....	445
7.5.3 Formgebungsmöglichkeiten .....	447
7.5.4 Verhalten im Gebrauchszustand .....	450
7.6 Modifizierung von Kunststoffen .....	451
7.6.1 Strukturveränderungen .....	451
7.6.2 Weichmachung .....	453
7.6.3 Additive .....	453
7.6.4 Füllstoffe .....	454
7.6.5 Verstärkungsstoffe .....	455
7.7 Gemeinsame Eigenschaften, charakteristische Merkmale .....	456
7.7.1 Äußere Merkmale .....	456
7.7.2 Chemische und physikalische Eigenschaften .....	457
7.7.3 Mechanische Eigenschaften .....	458
7.7.4 Elektrische Eigenschaften .....	462
7.8 Bestimmung von Kunststoffen .....	464
7.9 Kunststoffprüfung .....	467
7.9.1 Mechanische Eigenschaften .....	467
7.9.2 Mechanisch-thermisches Verhalten .....	476
7.9.3 Elektrische Eigenschaften .....	478
7.10 Kriterien zur Kunststoffauswahl .....	482
7.10.1 Allgemeine Anforderungen .....	482
7.10.2 Eigenschaftskennwerte .....	483
7.11 Fragen und Aufgaben zu Kap. 7 .....	484
Literatur .....	484

<b>8 Schadensanalyse</b> .....	485
Hans-Jürgen Bargel	
8.1 Methodik einer Schadensanalyse .....	487
8.1.1 Voruntersuchungsphase .....	487
8.1.2 Entscheidungsphase .....	488
8.1.3 Untersuchungsphase .....	488
8.1.4 Auswertungsphase .....	488
8.2 Schadensuntersuchungen .....	489
8.3 Verschleißschäden .....	489
8.3.1 Verschleißsystem .....	490
8.3.2 Verschleißarten .....	491
8.3.3 Verschleißmechanismen .....	491
8.3.4 Verschleißmerkmale .....	492
8.4 Korrosionsschäden .....	493
8.5 Wasserstoffversprödung .....	493
8.6 Fraktografie .....	496
8.7 Beispiele von Schadenfällen .....	498
8.7.1 Wasserschaden durch undichten Rohrentlüfter ....	498
8.7.2 Bruch eines Auslassventils .....	500
8.7.3 Bruch der Kurbelwelle eines Dieselmotors .....	501
8.7.4 Lochkorrosion in einem Wärmeübertrager .....	502
8.7.5 Bruch von Federringen infolge Wasserstoffversprödung .....	503
8.8 Fragen und Aufgaben zu Kap. 8 .....	504
Literatur .....	504
Nützliche Links .....	504
 <b>Lösungen zu den Übungsaufgaben</b> .....	 505
 <b>Sachverzeichnis</b> .....	 517