

Reinhold Laska  
Christian Felsch

# Werkstoffkunde für Ingenieure

3., verbesserte Auflage

Mit 230 Bildern



Friedr. Vieweg & Sohn    Braunschweig/Wiesbaden

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Übersicht über die Werkstoffe</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>2 Metallische Werkstoffe</b> . . . . .	<b>2</b>
2.1 Metalle im Periodensystem der Elemente . . . . .	3
2.2 Kennzeichnende Eigenschaften der Metalle . . . . .	4
<b>3 Grundlagen der Metallkunde und der Metallphysik</b> . . . . .	<b>6</b>
3.1 Erstarrung der metallischen Schmelzen . . . . .	6
3.1.1 Keimbildung und Kristallwachstum . . . . .	6
3.1.2 Kristallisation im Gußblock . . . . .	9
3.2 Kristallgitter . . . . .	10
3.3 Allotropie . . . . .	11
3.4 Millersche Indizes . . . . .	13
3.5 Anisotropie – Kornorientierung . . . . .	14
3.6 Gitterbaufehler . . . . .	15
3.7 Mechanische Eigenschaften . . . . .	18
3.8 Verfestigungsmechanismen . . . . .	24
3.9 Diffusion . . . . .	28
3.10 Legierungsbildung . . . . .	30
3.11 Zustandsdiagramme – Zweistoffsysteme . . . . .	31
3.12 Zweistoffdiagramm Fe-C . . . . .	38
3.13 Metallographische Untersuchungen . . . . .	44
3.14 Wärmebehandlungen von Stählen im Eisen-Kohlenstoff-Diagramm . . . . .	47
3.15 Martensitische Umwandlung . . . . .	51
3.16 Ausscheidungshärtung . . . . .	58
3.17 Alterung von Stählen – Sprödbbruch . . . . .	61
3.18 Plastisches Verhalten der Metalle . . . . .	68
3.18.1 Mechanismus der plastischen Formänderung . . . . .	68
3.18.2 Fließspannung und Fließkurve . . . . .	69
3.18.3 Whisker . . . . .	72
3.18.4 Erholung und Rekristallisation . . . . .	73
3.18.5 Warmumformung . . . . .	77
3.19 Ferromagnetismus . . . . .	79
3.20 Elektrische Leitfähigkeit . . . . .	82
3.21 Korrosion der Metalle . . . . .	85
<b>4 Metallkunde der Stähle</b> . . . . .	<b>89</b>
4.1 Übersicht über die Stähle . . . . .	89
4.2 Bemerkungen zur Metallurgie der Stähle . . . . .	90

4.3	Einfluß der Legierungselemente des Stahles	94
4.4	Rein- und Weicheisen	95
4.5	Stähle für Kaltumformzwecke	96
4.5.1	Unlegierte weiche Stähle	96
4.5.2	Höherfeste Bleche und Bänder	102
4.6	Allgemeine Baustähle	102
4.6.1	Grundlagen der unlegierten Baustähle	102
4.6.2	Feinkornbaustähle	103
4.6.3	Perlitreduzierte Stähle	104
4.6.4	Wetterfeste Baustähle	105
4.6.5	Bewehrungsstähle – Betonstahl	106
4.7	Weichmagnetische Silizium-Stähle	107
4.8	Chemisch beständige Stähle	110
4.8.1	Nichtrostende Stähle	110
4.8.2	Hitzebeständige Stähle	118
4.8.3	Stähle für die Kerntechnik	120
4.9	Edelbaustähle	121
4.9.1	Einsatzstähle	121
4.9.2	Vergütungsstähle	125
4.9.3	Stähle für die Oberflächenhärtung	130
4.9.4	Automatenstähle	130
4.9.5	Nitrierstähle	131
4.9.6	Verschleißfeste Stähle	133
4.9.7	Warmfeste Stähle	135
4.9.8	Druckwasserstoffbeständige Stähle	138
4.9.9	Kaltzähe Stähle (Tiefemperaturstähle)	139
4.9.10	Federstähle	140
4.9.11	Walzlagerstähle	142
4.9.12	Hochfeste Stähle	143
4.9.13	Nichtmagnetisierbare Stähle (Amagnetische Stähle)	143
4.10	Werkzeugstähle	144
4.10.1	Unlegierte Werkzeugstähle	145
4.10.2	Legierte Kaltarbeitsstähle	146
4.10.3	Warmarbeitsstähle	148
4.10.4	Schnellarbeitsstähle	150
4.11	Stahlguß – Stahlformguß	155
<b>5</b>	<b>Gußeisenwerkstoffe</b>	<b>156</b>
5.1	Gußeisen mit Lamellengraphit	157
5.2	Gußeisen mit Kugel- und Vermiculargraphit	160
5.3	Temperguß	162
5.3.1	Schwarzer Temperguß GTS	162
5.3.2	Weißer Temperguß GTW	164
5.4	Hartguß- und Schalenhartguß	165
5.5	Legiertes Gußeisen	166

<b>6</b>	<b>Metallkunde der Nichteisenmetalle</b>	168
6.1	Kupfer und Kupferlegierungen	168
6.1.1	Reinkupfer und niedriglegiertes Kupfer	168
6.1.2	Kupfer-Zink-Legierungen (Messinge)	170
6.1.3	Kupfer-Zinn-Legierungen (Zinnbronzen)	172
6.1.4	Kupfer-Aluminium-Legierungen (Aluminiumbronzen)	173
6.1.5	Kupfer-Nickel-Legierungen	174
6.1.6	Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen	175
6.2	Nickel und Nickellegierungen	176
6.2.1	Reinnickel	176
6.2.2	Nickel-Kupfer-Legierungen	176
6.2.3	Nickel-Chrom-Eisen-Legierungen	177
6.2.4	Nickel-Molybdän-Legierungen	177
6.2.5	Hochwarmfeste Nickellegierungen (Superlegierungen)	178
6.2.6	Ni-Cr- und Ni-Cr-Fe-Heizleiterlegierungen	179
6.2.7	Ni-haltige magnetische Legierungen	180
6.2.8	Nickellegierungen mit besonderen physikalischen Eigenschaften	182
6.3	Kobalt und Kobaltlegierungen	182
6.3.1	Reines Kobalt	182
6.3.2	Kobaltlegierungen	183
6.4	Aluminium und Aluminiumlegierungen	184
6.4.1	Reinaluminium	184
6.4.2	Aluminiumlegierungen	186
6.5	Magnesium und Magnesiumlegierungen	189
6.6	Beryllium und Berylliumlegierungen	191
6.7	Titan und Titanlegierungen	191
6.7.1	Unlegiertes Titan	191
6.7.2	Titanlegierungen	194
6.8	Zirkonium und Zirkoniumlegierungen	196
6.8.1	Reinzirkonium	196
6.8.2	Zirkoniumlegierungen	197
6.9	Zink und Zinklegierungen	197
6.9.1	Reines Zink	197
6.9.2	Zinklegierungen	198
6.10	Blei und Bleilegierungen	199
6.10.1	Reinblei	199
6.10.2	Bleilegierungen	200
6.11	Zinn und Zinnlegierungen	200
6.11.1	Reinzinn	200
6.11.2	Zinnlegierungen	201
6.12	Hochschmelzende Metalle	202
6.13	Edelmetalle	205
6.14	Kontaktwerkstoffe	206
<b>7</b>	<b>Verbund- und Sinterwerkstoffe</b>	208
7.1	Verbundwerkstoffe	208
7.2	Sinterwerkstoffe	210

7.2.1	Sinterhartmetall . . . . .	210
7.2.2	Technische Keramik . . . . .	213
7.2.3	Dauermagnetwerkstoffe . . . . .	215
<b>8</b>	<b>Kunststoffe . . . . .</b>	<b>217</b>
8.1	Kunststoffe als Werkstoffe . . . . .	217
8.2	Kunststoffe, Entsorgung und Umwelt . . . . .	218
8.3	Morphologie der Kunststoffe . . . . .	218
8.3.1	Makromoleküle: Form und Anordnung . . . . .	218
8.3.2	Bindungskräfte zwischen und innerhalb von Makromolekülen . . . . .	221
8.4	Bildungsreaktionen und technische Ausführung . . . . .	222
8.4.1	Polymerisation . . . . .	223
8.4.1.1	Technische Ausführung der Polymerisation . . . . .	224
8.4.1.2	Methoden der Polymerisation . . . . .	225
8.4.2	Polykondensation . . . . .	226
8.4.3	Polyaddition . . . . .	227
8.5	Kunststoffsorten und Nomenklatur . . . . .	227
8.6	Thermische Zustandsformen . . . . .	228
8.6.1	Amorphe Thermoplaste . . . . .	230
8.6.2	Teilkristalline Thermoplaste . . . . .	231
8.6.3	Duroplaste . . . . .	232
8.6.4	Elastomere . . . . .	232
8.7	Formgebung und Bearbeitung der Kunststoffe . . . . .	233
8.7.1	Spritzgießen von Thermoplasten . . . . .	233
8.7.2	Extrudieren von Thermoplasten . . . . .	234
8.7.3	Kalandrieren von Thermoplasten . . . . .	235
8.7.4	Warmformen von Thermoplasten . . . . .	235
8.7.5	Formgebung von Duroplasten . . . . .	237
8.7.6	Bearbeitung von Kunststoffen . . . . .	238
8.8	Modifikation von Kunststoffen . . . . .	239
8.8.1	Copolymere und Polyblends (Legierungen) . . . . .	239
8.8.2	Weichmachung von Thermoplasten . . . . .	239
8.8.3	Füllen und Verstärken . . . . .	240
8.8.4	Schäumen von Kunststoffen . . . . .	240
8.8.5	Vernetzen von Thermoplasten . . . . .	241
8.8.6	Additive . . . . .	241
8.9	Polymerisate . . . . .	242
8.9.1	Polyethylen PE . . . . .	242
8.9.2	Polypropylen PP . . . . .	246
8.9.3	Polybuten PB . . . . .	247
8.9.4	Polyisobutylen PIB . . . . .	247
8.9.5	Polymethylenpenten PMP . . . . .	248
8.9.6	Polyvinylchlorid PVC . . . . .	248
8.9.6.1	PVC-hart (PVC-U und PVC-HI) . . . . .	249
8.9.6.2	PVC-weich (PVC-P) . . . . .	251
8.9.6.3	PVC-Schaumstoffe . . . . .	252
8.9.7	Styrol-Polymere . . . . .	252

8.9.7.1	Polystyrol PS	252
8.9.7.2	Modifikationen des PS (SB, SAN, ABS, ASA)	253
8.9.7.3	Styrolschaumstoffe PS-E	255
8.9.8	Fluor-Polymere	256
8.9.8.1	Polytetrafluorethylen PTFE	256
8.9.8.2	Andere fluorhaltige Polymere	258
8.9.9	Acryl-Polymere	259
8.9.9.1	Acrylester	259
8.9.9.2	Polyacrylnitril PAN	260
8.9.9.3	Polymethylmethacrylat PMMA	260
8.9.10	Polyoxymethylen POM (Polyazetal)	262
8.10	Polykondensate	263
8.10.1	Phenolformaldehyd PF (Phenoplast)	263
8.10.2	Aminoplaste	265
8.10.2.1	Harnstoffharz UF	265
8.10.2.2	Melaminharz MF	267
8.10.3	Polyester	267
8.10.3.1	Polyterephthalate PET, PBT	267
8.10.3.2	Ungesättigte Polyester UP	269
8.10.4	Polyamide PA	272
8.10.5	Polycarbonate PC	275
8.10.6	Polyphenylenoxid PPO	277
8.10.7	Polyetheretherketon PEEK	278
8.10.8	Schwefelhaltige Polymere PPS, PES, PSU	278
8.10.9	Polyimide PI	280
8.10.10	Silikone SI (Polysiloxane)	282
8.11	Polyaddukte	283
8.11.1	Epoxidharz EP	283
8.11.2	Polyurethane PUR	286
8.12	Zusammenfassung der Eigenschaften und spezielle Werkstoffprüfung	290
8.12.1	Dichte	290
8.12.2	Mechanische Festigkeit	290
8.12.2.1	Kurzzeitprüfungen	290
8.12.2.2	Langzeitverhalten	291
8.12.2.3	Einfluß der Temperatur	292
8.12.3	Thermische Eigenschaften	293
8.12.4	Elektrische Eigenschaften	294
8.12.5	Beständigkeit und Gasdurchlässigkeit	296
8.12.6	Bestimmung der Kunststoffart	298
<b>9</b>	<b>Naturstoffe</b>	<b>299</b>
9.1	Holz	299
9.2	Papier	302
9.3	Abgewandelte Naturstoffe	304
9.3.1	Zellulose-Derivate	304
9.3.1.1	Hydrat-Zellulose = Regenerierte Zellulose	304
9.3.1.2	Zellulose-Ester	305
9.3.2	Casein-Derivat Kunsthorn CS	306

---

<b>10 Elastomere</b> . . . . .	307
10.1 Naturgummi NR . . . . .	307
10.2 Synthese gummi . . . . .	308
10.2.1 Polyisopren IR . . . . .	308
10.2.2 Butadien-Kautschuke BR, SBR, NBR . . . . .	309
10.2.3 Ethylen-Propylen-Kautschuk EPM/EPDM . . . . .	310
10.2.4 Chloropren-Kautschuk CR . . . . .	310
<b>Literatur</b> . . . . .	311
<b>Sachwortverzeichnis</b> . . . . .	314