

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Überblick.....</b>	<b>1</b>
1.1 Was ist ein Werkstoff?.....	1
1.2 Werkstoffkunde .....	2
1.3 Geschichte und Zukunft.....	4
<b>2 Atomarer Aufbau kristalliner Stoffe .....</b>	<b>7</b>
2.1 Atomaufbau .....	7
2.2 Die chemischen Elemente.....	8
2.2.1 Eigenschaften metallischer Elemente.....	9
2.2.2 Einteilung und Übersicht.....	9
2.2.3 Leichtmetalle .....	10
2.2.4 Schwermetalle .....	10
2.2.5 Bindungen zwischen Atomen.....	11
2.3 Anordnung der Atome im festen Körper .....	13
2.3.1 Kristallstrukturen.....	13
2.3.2 Modifikationen – Allotropie (Polymorphie).....	18
2.3.3 Kristallographische Ebenen.....	19
2.4 Reale kristalline Festkörper .....	23
2.4.1 Nulldimensionale Gitterstörungen.....	24
2.4.2 Eindimensionale Fehler.....	25
2.4.3 Zweidimensionale Fehler .....	29
2.4.4 Dreidimensionale Fehler .....	31
Fragen zu Kapitel 2.....	32
<b>3 Legierungsbildung.....</b>	<b>33</b>
3.1 Grundbegriffe .....	33
3.1.1 Substitutionsmischkristall .....	34
3.1.2 Einlagerungsmischkristall .....	35
3.2 Zustandsdiagramme von Zweistoffsystemen.....	35
3.2.1 Vollkommene Unlöslichkeit im flüssigen und im festen Zustand.....	36
3.2.2 Vollkommene Löslichkeit im flüssigen und im festen Zustand .....	37
3.2.3 Vollkommene Löslichkeit im flüssigen und vollkommene Un- löslichkeit im festen Zustand.....	39
3.2.4. Vollkommene Löslichkeit im flüssigen und teilweise Löslichkeit im festen Zustand .....	42
3.2.5 Peritektisches System .....	44
3.2.6 Verbindungsbildung .....	45
3.3 Zustandsdiagramme von Dreistoffsystemen .....	47
3.4 Reale Zustandsdiagramme .....	50

3.5 Gefügeänderungen im festen Zustand .....	51
3.5.1 Ausscheidungshärtung .....	51
3.5.2 Eutektische Umwandlung.....	53
Fragen zu Kapitel 3.....	54
<b>4 Thermisch aktivierte Vorgänge.....</b>	<b>55</b>
4.1 Allgemeines .....	55
4.2 Diffusion.....	56
4.3 Kristallerholung und Rekristallisation .....	60
4.3.1 Kristallerholung.....	60
4.3.2 Rekristallisation.....	61
4.3.3 Weiteres Kornwachstum nach Rekristallisation .....	65
4.4 Sintervorgänge.....	68
Fragen zu Kapitel 4.....	70
<b>5 Mechanische Eigenschaften.....</b>	<b>71</b>
5.1 Einleitung.....	71
5.2 Reversible Verformung .....	72
5.2.1 Elastische Verformung .....	72
5.2.2 Hyperelastisches Verhalten .....	79
5.2.3 Anelastische Verformung.....	79
5.3 Irreversible Verformung .....	80
5.3.1 Plastische Verformung .....	80
5.3.2 Verformungstexturen .....	90
5.3.3 Eigenspannungen .....	91
5.3.4 Viskose Verformung .....	93
5.3.5 Superplastizität .....	94
5.3.6 Kriechen .....	95
5.3.7 Relaxation .....	99
5.4 Schwingfestigkeitsuntersuchung .....	99
5.4.1 Grundlagen.....	99
5.4.2 Spannungskontrollierter Versuch (Wöhlerversuch) .....	102
5.4.3 Dehnungskontrollierter Versuch (Anrisskennlinie).....	103
5.4.4 Einflussgrößen auf die Dauerfestigkeit .....	106
5.5 Verfestigungsmechanismen .....	110
5.5.1 Kaltverfestigung.....	111
5.5.2 Mischkristallverfestigung.....	112
5.5.3 Ausscheidungshärtung .....	114
5.5.4 Verfestigung durch Kornverfeinerung .....	115
5.6 Bruchvorgänge und Bruchmechanik.....	115
5.6.1 Verformungsloser Bruch (Sprödbbruch, Spaltbruch).....	117
5.6.2 Verformungsbruch .....	121
5.6.3 Ermittlung des J-Integrals (Bauteilcharakteristik).....	123
5.6.4 Ermittlung der zähbruchmechanischen Werkstoffkennwerte.....	124
5.6.5 Zeitstand- bzw. Kriechbruch .....	126
5.6.6 Zeit- und Dauerbruch .....	128

5.7 Zerstörungsfreie Prüfung .....	131
Fragen zu Kapitel 5 .....	138
<b>6 Eisenwerkstoffe.....</b>	<b>139</b>
6.1 Gewinnung und Verarbeitung von Eisen .....	139
6.1.1 Erze und Erzaufbereitung .....	139
6.1.2 Roheisengewinnung .....	140
6.1.3 Roheisenweiterverarbeitung zu Stahl (Frischen).....	142
6.1.4 Verfahren der Nachbehandlung des Stahles .....	144
6.1.5 Elektro-Schlacke-Umschmelzverfahren (ESU).....	145
6.2 Eisen-Kohlenstoff-Legierungen.....	146
6.2.1 Eisen-Kohlenstoffdiagramm.....	146
6.2.2 Phasenbildungen.....	147
6.3 Legierungen .....	153
6.3.1 Stahl.....	153
6.3.2 Bezeichnungssysteme der Stähle.....	157
6.3.3 Einteilung und Verwendung von Stählen.....	160
6.4 Verfahren zur Eigenschaftsänderung .....	162
6.4.1 Glühen von Stahl .....	162
6.4.2 Härten und Vergüten von Stahl .....	165
6.4.3 Ausscheidungshärtung.....	189
6.5 Stähle für besondere Anforderungen .....	189
6.5.1 Stähle für den Kraftwerks- und Anlagenbau .....	189
6.5.2 Hochfeste Feinkornbaustähle (FK-Stähle) .....	190
6.5.3 Warmfeste legierte Stähle für Druckbehälter und Schmiedestücke .....	196
6.5.4 Hochfeste Stähle für den Automobilbau .....	198
6.6 Versprödungserscheinungen an Stählen .....	203
6.6.1 Diffusions- und Ausscheidungsvorgänge.....	204
6.7 Eisengusswerkstoffe .....	211
6.7.1 Einteilung .....	211
6.7.2 Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL).....	212
6.7.3 Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS) .....	214
6.7.4 Gusseisen mit Vermiculargraphit (GJV) .....	216
6.8 Werkstofftechnische Zusammenhänge beim Schweißen von Stählen .....	218
6.8.1 Bedeutung der Schweißtechnik .....	218
6.8.2 Werkstofftechnische Vorgänge beim Schmelzschweißen.....	219
6.8.3 Gefügeausbildung.....	219
6.8.4 Auswirkung auf das Festigkeitsverhalten.....	222
Fragen zu Kapitel 6.....	224
<b>7 Nichteisenmetalle.....</b>	<b>225</b>
7.1 Kupfer und Kupferlegierungen (Buntmetalle) .....	225
7.1.1 Kupfer .....	225
7.1.2 Kupferlegierungen.....	228
7.2 Aluminium und Aluminiumlegierungen.....	238
7.2.1 Aluminium .....	238

7.2.2 Legierungen.....	241
7.3 Titan und Titanlegierungen.....	250
7.3.1 Herstellung.....	250
7.3.2 Reines Titan .....	251
7.3.3 Titanlegierungen .....	252
7.4 Nickel und Nickellegierungen .....	256
7.4.1 Nickel .....	256
7.4.2 Nickellegierungen .....	257
7.5 Magnesium und Magnesiumlegierungen.....	269
7.5.1 Herstellung und Verarbeitung .....	269
7.5.2 Eigenschaften .....	270
7.5.3 Legierungen.....	270
Fragen zu Kapitel 7.....	273
<b>8 Kunststoffe .....</b>	<b>275</b>
8.1 Bezeichnung der Kunststoffe.....	276
8.2 Herstellung von Kunststoffen .....	277
8.2.1 Synthese .....	277
8.2.2 Technische Herstellung (Polymerisation) .....	280
8.2.3 Formgebung .....	281
8.2.4 Additive.....	283
8.3 Kunststoffgruppen .....	285
8.3.1 Thermoplaste.....	285
8.3.2 Elastomere.....	287
8.3.3 Duroplaste .....	288
8.4 Physikalische und mechanische Eigenschaften .....	290
8.4.1 Physikalische Eigenschaften .....	290
8.4.2 Mechanische Eigenschaften .....	291
8.5 Wichtige Kunststoffe mit Anwendungen.....	295
Fragen zu Kapitel 8.....	297
<b>9 Keramische Werkstoffe .....</b>	<b>299</b>
9.1 Herstellung, Struktur.....	300
9.1.1 Einteilung der keramischen Massen.....	300
9.1.2 Formgebung .....	301
9.1.3 Brennvorgang - Sintern - Reaktionssintern .....	301
9.1.4 Atomare Vorgänge beim Brennen.....	303
9.1.5 Gefügebau .....	303
9.2 Eigenschaften.....	304
9.2.1 Oxidkeramik.....	306
9.2.2 Nichtoxidkeramik.....	309
9.3 Wärmedämmschichten .....	314
Fragen zu Kapitel 9.....	315
<b>10 Verbundwerkstoffe.....</b>	<b>317</b>
10.1 Allgemeines .....	317
10.1.1 Verstärkungsstoffe und Füllstoffe .....	318

10.1.2 Matrixwerkstoffe .....	319
10.2 Faserverstärkte Verbundwerkstoffe .....	319
10.2.1 Faserverstärkte Kunststoffe .....	322
10.2.2 Herstellung faserverstärkter Kunststoffe .....	323
10.2.3 Faserverstärkte Metalle (MMC, Metal Matrix Composite).....	326
10.2.4 Herstellung faserverstärkter Metalle .....	326
10.2.5 Faserverstärkte Keramik (CMC, Ceramic Matrix Composite).....	328
10.2.6 Herstellung keramischer Verbundwerkstoffe .....	328
10.3 Teilchenverbundwerkstoffe .....	330
10.3.1 Metallkeramik .....	330
10.4 Schichtverbundwerkstoffe .....	330
10.5 Beschichtungstechnik .....	332
10.5.1 Einleitung .....	332
10.5.2 Beschichtungsverfahren .....	332
10.5.3 Verhalten von Beschichtungen.....	336
Fragen zu Kapitel 10.....	337
<b>11 Physikalische Eigenschaften .....</b>	<b>339</b>
11.1 Dämpfung .....	339
11.2 Wärmeleitfähigkeit .....	340
11.3 Thermoelektrizität.....	341
11.4 Halbleiter .....	343
11.4.1 Gewinnung und Verarbeitung .....	344
11.4.2 Eigenschaften .....	345
11.5 Supraleitung.....	346
11.5.1 Supraleiter I. Art.....	346
11.5.2 Supraleiter II. Art .....	347
11.5.3 Supraleiter III. Art.....	347
Fragen zu Kapitel 11 .....	348
<b>12 Korrosion .....</b>	<b>349</b>
12.1 Definition der Korrosion.....	349
12.2 Korrosion metallischer Werkstoffe.....	352
12.2.1 Grundlagen zur Korrosion in wässrigen Medien.....	352
12.2.2 Korrosionsarten .....	356
12.2.3 Korrosionsschutz .....	369
12.3 Beispiele für die Korrosion nichtmetallischer Werkstoffe.....	376
12.3.1 Korrosion silikatechnischer Werkstoffe .....	376
12.3.2 Korrosion hochpolymerer Werkstoffe.....	377
Fragen zum Kapitel 12.....	378
<b>13 Recycling .....</b>	<b>379</b>
13.1 Recycling von Stahl .....	379
13.1.1 Einteilung und Klassifizierung von Stahlschrott .....	380
13.1.2 Aufbereitung.....	380
13.1.3 Wirtschaftliche Bedeutung .....	381
13.1.4 Nebenprodukte und Entfallstoffe.....	382

13.2 Recycling von Aluminium.....	382
13.2.1 Aufbereitung von Rückständen aus der Aluminiumindustrie.....	383
13.2.2 Recycling von Altschrotten.....	384
13.3 Recycling von Kupferwerkstoffen.....	386
13.3.1 Wirtschaftliche Bedeutung.....	386
13.3.2 Einteilung der Kupferschrotte .....	386
13.3.3 Aufbereitung .....	387
13.3.4 Nebenprodukte und Entfallstoffe .....	388
13.4 Recycling von Kunststoffen.....	389
Fragen zu Kapitel 13.....	392
<b>14 Tribologische Beanspruchung.....</b>	<b>393</b>
14.1 Problematik.....	393
14.2 Verschleißarten und Verschleißmechanismen .....	393
14.3 Beispiele tribologischer Systeme.....	396
14.3.1 Adhäsionsprozesse .....	396
14.3.2 Abrasionsprozesse.....	397
14.3.3 Ermüdungsprozesse.....	399
14.3.4 Schwingungsverschleiß.....	401
14.4 Werkstoffe für tribologisch beanspruchte Bauteile .....	403
Fragen zum Kapitel 14.....	404
<b>15 Kriterien zur Werkstoffauswahl.....</b>	<b>405</b>
15.1 Gründe für die Werkstoffauswahl.....	405
<b>16 Kriterien zur Schadensbewertung.....</b>	<b>407</b>
<b>17. Antworten zu den Verständnisfragen.....</b>	<b>409</b>
Antworten zu Kapitel 2:.....	409
Antworten zu Kapitel 3:.....	410
Antworten zu Kapitel 4.....	411
Antworten zu Kapitel 5.....	412
Antworten zu Kapitel 6.....	412
Antworten zu Kapitel 7.....	413
Antworten zu Kapitel 8.....	414
Antworten zu Kapitel 9.....	414
Antworten zu Kapitel 10.....	415
Antworten zu Kapitel 11.....	415
Antworten zu Kapitel 12.....	415
Antworten zu Kapitel 13.....	416
Antworten zu Kapitel 14.....	417
<b>18 Weiterführende Literatur.....</b>	<b>419</b>
<b>Konkordanz .....</b>	<b>425</b>