

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>1 Einleitung und Grundbegriffe</b> .....	15
1.1 Lernziele .....	15
1.2 Bedeutung der Werkstoffkunde .....	15
1.2.1 Werkstoffe und Produktfunktionalität .....	16
1.2.2 Werkstoffe und Produktqualität .....	16
1.2.3 Werkstoffe und Produktlebensdauer .....	17
1.2.4 Werkstoffe und Kosten .....	17
1.2.4.1 Werkstoffe und Herstellkosten .....	17
1.2.4.2 Werkstoffe und Betriebskosten .....	17
1.2.4.3 Werkstoffe und Entsorgungskosten .....	19
1.2.5 Werkstoff, Fertigung und Konstruktion .....	19
1.2.5.1 Werkstoff und Fertigung .....	20
1.2.5.2 Fertigung und Konstruktion .....	20
1.2.5.3 Werkstoff und Konstruktion .....	20
1.2.5.4 Simultaneous Engineering .....	21
1.3 Grundbegriffe .....	22
1.3.1 Leitfragen .....	22
1.3.2 Elastische Verformung .....	22
1.3.3 Plastische Verformung .....	23
1.3.4 Zähigkeit und Sprödigkeit .....	24
1.4 Aufgaben zur Selbstüberprüfung .....	25
1.4.1 Aufgaben .....	25
1.4.2 Musterlösungen .....	26
<b>2 Aufbau von Werkstoffen</b> .....	29
2.1 Lernziele .....	29
2.2 Atombau und Periodensystem .....	29
2.2.1 Leitfragen .....	30
2.2.2 Atombau .....	30
2.2.2.1 Chemische Elemente .....	31
2.2.2.2 Die Elektronenhülle .....	32
2.2.3 Periodensystem der Elemente .....	34
2.3 Bindungen .....	35
2.3.1 Leitfragen .....	35
2.3.2 Übersicht über die Bindungsarten .....	36
2.3.3 Ionenbindung .....	37
2.3.4 Kovalente Bindung .....	38
2.3.5 Metallische Bindung .....	39
2.3.6 Sekundäre Bindungen .....	40
2.3.7 Bindungspotential und Bindungskräfte .....	41
2.4 Gitterstrukturen .....	44
2.4.1 Leitfragen .....	44
2.4.2 Überblick über Gitterstrukturen .....	45
2.4.3 Das krz-Gitter .....	46
2.4.4 Das hdp-Gitter .....	48

## Inhaltsverzeichnis

2.4.5	Das kfz-Gitter.....	48
2.4.6	Gleitsysteme.....	49
2.4.7	Kristallgitter und Werkstoffeigenschaften.....	51
2.4.7.1	Isotropie und Anisotropie.....	51
2.4.7.2	Umformbarkeit.....	53
2.4.7.3	Allotropie.....	53
2.5	Gitterbaufehler.....	54
2.5.1	Leitfragen.....	54
2.5.2	Übersicht über Gitterbaufehler.....	54
2.5.3	Punktdefekte.....	56
2.5.4	Versetzungen.....	58
2.5.5	Korngrenzen.....	59
2.5.6	Volumendefekte.....	59
2.5.7	Gitterbaufehler und Werkstoffeigenschaften.....	60
2.6	Entstehung von Gefügestrukturen.....	61
2.6.1	Leitfragen.....	62
2.6.2	Der Kristallisationsvorgang.....	63
2.6.3	Diffusion.....	64
2.6.4	Phasendiagramme.....	67
2.6.4.1	Unlöslichkeit im festen und flüssigen Zustand.....	69
2.6.4.2	Vollständige Löslichkeit im festen Zustand.....	69
2.6.4.3	Eutektische Systeme.....	72
2.6.4.4	Ausscheidungshärtung.....	76
2.6.4.5	Weitere Phasendiagramme.....	77
2.6.4.6	Das Hebelgesetz.....	78
2.7	Aufgaben zur Selbstüberprüfung.....	80
2.7.1	Aufgaben.....	80
2.7.2	Musterlösungen.....	84
<b>3</b>	<b>Mechanische Werkstoffeigenschaften.....</b>	<b>91</b>
3.1	Lernziele.....	91
3.2	Dehnung und Spannung.....	91
3.3	Belastungsarten.....	94
3.3.1	Leitfragen.....	94
3.3.2	Einführung.....	95
3.3.3	Zugbelastung.....	96
3.3.4	Druckbelastung.....	97
3.3.5	Schub- oder Scherbelastung.....	97
3.3.6	Zusammenhang Zug, Druck und Schub.....	98
3.4	Mechanische Werkstoffkennwerte.....	102
3.4.1	Der Zugversuch.....	102
3.4.1.1	Leitfragen.....	102
3.4.1.2	Versuchsdurchführung und -auswertung.....	102
3.4.2	Druck und Schubkennwerte.....	110
3.4.3	Risszähigkeit.....	111
3.4.3.1	Leitfragen.....	112
3.4.3.2	Risszähigkeit.....	112
3.4.4	Werkstoffermüdung.....	116
3.4.4.1	Leitfragen.....	116
3.4.4.2	Wöhlerkurven.....	116
3.4.4.3	Mechanismen der Materialermüdung.....	121

3.4.4.4	Rissfortschrittskurven.....	123
3.4.4.5	Dauerfestigkeitsschaubilder nach SMITH .....	125
3.4.5	Härteprüfung .....	127
3.4.5.1	Leitfragen .....	128
3.4.5.2	Härteprüfung nach VICKERS.....	128
3.4.5.3	Härteprüfung nach BRINELL.....	129
3.4.5.4	Härteprüfung nach ROCKWELL.....	129
3.4.5.5	Allgemeine Betrachtungen zur Härte .....	130
3.4.6	Kerbschlagbiegeversuch .....	131
3.4.6.1	Leitfragen .....	131
3.4.6.2	Versuchsdurchführung und -auswertung.....	132
3.4.7	Temperatureinflüsse.....	134
3.4.7.1	Leitfragen .....	135
3.4.7.2	Spezifische Wärmekapazität .....	136
3.4.7.3	Spezifische Wärmeleitfähigkeit .....	136
3.4.7.4	Wärmeausdehnung .....	138
3.4.7.5	Festigkeit und Temperatur.....	140
3.4.7.6	Kriechen .....	141
3.4.8	Korrosion .....	142
3.4.8.1	Leitfragen .....	143
3.4.8.2	Chemische Korrosion.....	143
3.4.8.3	Elektrochemische Korrosion .....	143
3.4.8.4	Korrosionsarten .....	146
3.4.9	Reibung und Verschleiß.....	148
3.4.9.1	Leitfragen .....	148
3.4.9.2	Reibungs- und Verschleißkennwerte.....	148
3.4.9.3	Reibung und Verschleiß als Systemeigenschaften.....	150
3.5	Bedeutung der Werkstoffkennwerte .....	152
3.5.1	Leitfragen.....	153
3.5.2	Kennwert Fließgrenze.....	153
3.5.3	Kennwert Festigkeit.....	154
3.5.4	Kennwert E-Modul .....	154
3.5.5	Kennwert Bruchdehnung.....	154
3.5.6	Kennwert Risszähigkeit .....	155
3.5.7	Kennwert Dauer-/Zeitfestigkeit .....	155
3.5.8	Kennwert Härte.....	155
3.6	Ausblick: Weitere Werkstoffkennwerte und Prüfverfahren .....	156
3.7	Aufgaben zur Selbstüberprüfung .....	156
3.7.1	Aufgaben.....	156
3.7.2	Musterlösungen.....	162
<b>4</b>	<b>Eisenwerkstoffe .....</b>	<b>169</b>
4.1	Lernziele .....	169
4.2	Herstellung und Struktur von Eisenwerkstoffen.....	169
4.2.1	Leitfragen.....	169
4.2.2	Herstellung von Stahl und Gusseisen .....	170
4.2.3	Gitterstrukturen von Eisen .....	172
4.2.4	Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (EKD).....	174
4.2.4.1	Abkühlung eines untereutektoiden Stahls (C < 0,02%) .....	176
4.2.4.2	Abkühlung eines eutektoiden Stahls (C = 0,8%) .....	176

4.2.4.3	Abkühlung eines Stahls mit C-Gehalt zwischen 0,02% und 0,8%.....	178
4.2.4.4	Abkühlung eines übereutektoiden Stahls (C > 0,8%).....	180
4.3	Wärmebehandlungsverfahren für Stähle.....	181
4.3.1	Leitfragen.....	181
4.3.2	Glühverfahren für Stähle.....	182
4.3.2.1	Normalglühen oder Normalisieren.....	183
4.3.2.2	Weichglühen.....	184
4.3.2.3	Grobkornglühen.....	184
4.3.2.4	Rekristallisationsglühen.....	185
4.3.2.5	Diffusionsglühen (Homogenisieren).....	185
4.3.2.6	Spannungsarmglühen.....	185
4.3.3	Härten und Vergüten von Stahl.....	186
4.3.3.1	Martensitische Härtung.....	186
4.3.3.2	Vergüten.....	189
4.3.3.3	Randschichthärtung.....	190
4.3.3.4	Einsatzhärtung.....	191
4.3.3.5	Nitrieren.....	191
4.3.4	Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubilder.....	192
4.4	Gebräuchliche Eisenwerkstoffe.....	193
4.4.1	Leitfragen.....	193
4.4.2	Stahlarten.....	194
4.4.2.1	Legierungselemente.....	194
4.4.2.2	Einteilung der Stähle nach DIN EN 10 020.....	196
4.4.2.3	Einteilung nach Einsatzgebiet.....	197
4.4.3	Gusseisentypen.....	200
4.4.4	Bezeichnung von Eisenwerkstoffen.....	202
4.4.4.1	Stahlkurznamen (EN 10 027-1).....	203
4.4.4.2	Kurznamen für Gusswerkstoffe (DIN EN 1560).....	205
4.4.4.3	Werkstoffnummern (DIN EN 10 027-2).....	205
4.5	Aufgaben zur Selbstüberprüfung.....	206
4.5.1	Aufgaben.....	206
4.5.2	Musterlösungen.....	209
<b>5</b>	<b>Nichteisenmetalle.....</b>	<b>213</b>
5.1	Lernziele.....	213
5.2	Übersicht.....	213
5.3	Leichtmetalle.....	213
5.3.1	Leitfragen.....	214
5.3.2	Aluminium.....	215
5.3.2.1	Reinaluminium.....	215
5.3.2.2	Naturharte Aluminiumlegierungen.....	216
5.3.2.3	Ausscheidungshärtbare Aluminiumlegierungen.....	217
5.3.2.4	Al-Gusslegierungen.....	219
5.3.2.5	Eloxieren.....	220
5.3.3	Magnesium.....	221
5.3.3.1	Reinmagnesium.....	221
5.3.3.2	Magnesiumlegierungen.....	222
5.3.4	Titan.....	223
5.3.4.1	Reintitan.....	223
5.3.4.2	α-Titan.....	224

5.3.4.3	β-Titan .....	224
5.3.4.4	α-β-Titan .....	224
5.3.5	Leichtbaueignung von Werkstoffen .....	225
5.4	Schwermetalle .....	229
5.4.1	Leitfragen .....	229
5.4.2	Kupfer und Kupferlegierungen .....	229
5.4.2.1	Reinkupfer .....	230
5.4.2.2	Messing .....	231
5.4.2.3	Bronze .....	233
5.4.3	Nickel und Nickellegierungen .....	233
5.4.3.1	Reinnickel .....	233
5.4.3.2	Hochwarmfeste Nickellegierungen .....	234
5.4.4	Hochschmelzende Metalle .....	234
5.4.5	Hartmetalle .....	235
5.5	Aufgaben zur Selbstüberprüfung .....	236
5.5.1	Aufgaben .....	236
5.5.2	Musterlösungen .....	239
<b>6</b>	<b>Keramische Werkstoffe .....</b>	<b>245</b>
6.1	Lernziele .....	245
6.2	Leitfragen .....	245
6.3	Besonderheiten keramischer Werkstoffe .....	245
6.4	Einsatzgebiete für Keramiken .....	248
6.5	Keramikverarbeitung (Sintern) .....	249
6.6	Hochleistungskeramiken .....	252
6.7	Übersicht: Keramische Werkstoffe .....	255
6.7.1	Silikatkeramik .....	256
6.7.2	Oxidkeramik .....	257
6.7.3	Nichtoxidkeramik .....	259
6.7.4	Hochleistungskeramiken im Vergleich .....	261
6.8	Konstruieren mit Keramik .....	261
6.9	Aufgaben zur Selbstüberprüfung .....	262
6.9.1	Aufgaben .....	262
6.9.2	Musterlösungen .....	263
<b>7</b>	<b>Kunststoffe .....</b>	<b>265</b>
7.1	Lernziele .....	265
7.2	Aufbau von Kunststoffen .....	265
7.2.1	Leitfragen .....	265
7.2.2	Monomere, Polymere .....	266
7.2.2.1	Additionspolymerisation als Kettenreaktion .....	269
7.2.2.2	Additionspolymerisation als Stufenreaktion .....	270
7.2.2.3	Kondensationspolymerisation .....	270
7.2.2.4	Einfluss der Monomerstruktur auf die Polymereigenschaften .....	271
7.2.3	Thermoplaste, Elastomere, Duromere .....	274
7.2.4	Morphologie .....	277
7.2.5	Zuschlagstoffe .....	280
7.3	Eigenschaften von Kunststoffen .....	281
7.3.1	Leitfragen .....	282
7.3.2	Thermische Eigenschaften .....	282
7.3.3	Zugversuch an Kunststoffen .....	285

7.3.4	Kriechen von Kunststoffen .....	289
7.3.5	Viskoelastizität .....	291
7.4	Gebräuchliche Kunststoffe .....	293
7.4.1	Leitfragen .....	293
7.4.2	Thermoplaste .....	294
7.4.2.1	Teilkristalline Thermoplaste .....	294
7.4.2.2	Amorphe Thermoplaste .....	296
7.4.3	Duromere .....	298
7.4.4	Elastomere .....	301
7.5	Kunststoffverarbeitung .....	303
7.5.1	Leitfragen .....	303
7.5.2	Extrusion .....	303
7.5.3	Thermoformen .....	305
7.5.4	Spritzguss .....	306
7.5.5	Übersicht: Weitere Verarbeitungsverfahren .....	308
7.6	Kunststoffrecycling .....	309
7.6.1	Leitfragen .....	310
7.6.2	Werkstoffliches Recycling .....	310
7.6.3	Rohstoffliches Recycling .....	311
7.6.4	Energetisches Recycling .....	313
7.6.5	Schlussfolgerungen .....	314
7.7	Aufgaben zur Selbstüberprüfung .....	314
7.7.1	Aufgaben .....	314
7.7.2	Musterlösungen .....	319
<b>8</b>	<b>Verbundwerkstoffe .....</b>	<b>325</b>
8.1	Lernziele .....	325
8.2	Leitfragen .....	325
8.3	Klassifizierung der Verbundwerkstoffe .....	326
8.4	Polymer-Verbundwerkstoffe .....	328
8.4.1	Beispiele für Polymer-Verbundwerkstoffe .....	328
8.4.2	Faserverstärkte Kunststoffe .....	330
8.4.2.1	Auswahl des Matrixmaterials .....	330
8.4.2.2	Verstärkungsform .....	331
8.4.2.3	Faserarten .....	335
8.4.2.4	Anisotropie .....	337
8.5	Aufgaben zur Selbstüberprüfung .....	339
8.5.1	Aufgaben .....	339
8.5.2	Musterlösungen .....	340
<b>9</b>	<b>Werkstoffauswahl .....</b>	<b>343</b>
9.1	Lernziele .....	343
9.2	Einleitung .....	343
9.3	Werkstoffspezifikationen .....	344
9.3.1	Vorgehensweise .....	344
9.3.2	Gebrauchseigenschaften .....	345
9.3.3	Ver- und Bearbeitungseigenschaften .....	347
9.3.4	Umweltverträglichkeit .....	348
9.4	Informationsquellen .....	349
9.5	Methoden der Entscheidungsfindung .....	351
9.5.1	Nutzwertanalyse .....	351

9.5.2	Performance-Indices .....	354
9.5.3	Wirtschaftlichkeitsvergleich .....	357
9.5.4	Ökobilanzen und ganzheitliche Bilanzen.....	360
9.6	Werkstoffgerechtes Konstruieren .....	362
<b>Anhang 1 Quantenmechanisches Atommodell und Periodensystem .....</b>		<b>365</b>
<b>Anhang 2 Miller'sche Indizes.....</b>		<b>369</b>
<b>Anhang 3 Schrauben- und gemischte Versetzungen.....</b>		<b>373</b>
<b>Anhang 4 Bezeichnungssysteme für Werkstoffe .....</b>		<b>375</b>
A4.1	Bezeichnung von Eisenwerkstoffen.....	375
A4.2	Bezeichnung von Nichteisenmetallen.....	380
A4.3	Bezeichnung von Polymerwerkstoffen .....	384
<b>Anhang 5 Werkstoffkennwerte .....</b>		<b>387</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>		<b>393</b>
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>		<b>395</b>