

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Werkstoffe und ihre Bedeutung</b>	<b>1</b>
1.1	Der Begriff Werkstoff	1
1.2	Umgang mit Werkstoffen	1
1.3	Werkstoffe und Wirtschaft	2
1.3.1	Werkstoffkreislauf	3
1.3.2	Wie viele Werkstoffe werden produziert?	3
1.3.3	Verfügbarkeit von Werkstoffen	4
1.3.4	Was kosten Werkstoffe?	4
1.3.5	Wie werden Werkstoffe bezeichnet?	5
1.3.6	In welcher Form werden Werkstoffe angeboten?	6
1.4	Werkstoffe und Umwelt	6
1.4.1	Anforderungen an Werkstoffe	6
1.4.2	Recycling von Werkstoffen	6
1.4.3	Ökobilanzen	7
1.5	Auswahl von Werkstoffen	7
1.5.1	Eigenschaftsprofil	8
1.5.2	Performance Indices P.I.	9
1.6	Werkstoffeinsatz am Beispiel eines Stirnradschneckengetriebes	9
1.6.1	Was ist ein Stirnradschneckengetriebe?	10
1.6.2	Auswahl der Werkstoffe für die Schneckenstufe	11
1.6.3	Werkstoffe für Bauteile des Stirnradschneckengetriebes	12
	Weiterführende Literatur	14
<b>2</b>	<b>Einteilung und strukturelle Betrachtung von Werkstoffen</b>	<b>15</b>
2.1	Was sind Stoffe?	15
2.1.1	Einteilung von Stoffen	15
2.1.2	Wann wird ein Stoff zum Werkstoff?	16
2.2	Werkstoffe und ihre Einteilung	16
2.2.1	Einteilung von Werkstoffen nach ihrer Art	16
2.2.2	Einteilung der Werkstoffe nach Dichte	18
2.2.3	Einteilung von Werkstoffen nach weiteren Kriterien	18

2.3	Betrachtung der Zusammensetzung und der Struktur von Werkstoffen . . .	20
2.3.1	Zusammensetzung von Werkstoffen . . . . .	20
2.3.2	Strukturebenen . . . . .	21
2.4	Feinstruktur von Werkstoffen . . . . .	23
2.4.1	Zusammenhalt der Feinstruktur . . . . .	23
2.4.2	Ordnungszustand der Feinstruktur . . . . .	25
2.5	Zusammenhang Technologie/Struktur/Eigenschaften . . . . .	27
	Weiterführende Literatur . . . . .	28
<b>3</b>	<b>Eigenschaften von Werkstoffen und ihre Ermittlung . . . . .</b>	<b>29</b>
3.1	Physikalische Eigenschaften . . . . .	29
3.2	Mechanische Eigenschaften . . . . .	29
3.2.1	Was ist mechanische Beanspruchung? . . . . .	29
3.2.2	Eigenspannungen . . . . .	30
3.2.3	Kerbwirkung . . . . .	31
3.2.4	Verhalten von Werkstoffen bei Zugbelastung . . . . .	31
3.2.5	Steifigkeit . . . . .	32
3.2.6	Festigkeit und Härte . . . . .	32
3.2.7	Verformbarkeit und Zähigkeit . . . . .	33
3.2.8	Weitere mechanische Eigenschaften . . . . .	33
3.3	Thermische Eigenschaften . . . . .	34
3.4	Technologische Eigenschaften . . . . .	35
3.4.1	Fertigungstechnik . . . . .	35
3.4.2	Eignung für fertigungstechnische Verfahren . . . . .	36
3.5	Chemisch-technische Eigenschaften . . . . .	36
3.6	Anisotropie und Isotropie . . . . .	36
3.7	Kennzeichnung von Eigenschaften . . . . .	37
3.7.1	Werkstoffkennwerte . . . . .	37
3.7.2	Gewichtsbezogene Eigenschaften . . . . .	38
3.8	Ermittlung von Eigenschaften – Werkstoffprüfung . . . . .	39
3.8.1	Mechanische Prüfungen . . . . .	39
3.8.2	Technologische Prüfungen . . . . .	44
3.8.3	Zerstörungsfreie Prüfungen . . . . .	44
3.8.4	Materialographische Prüfungen . . . . .	45
3.8.5	Chemisch-technische Prüfungen . . . . .	47
3.8.6	Werkstoffprüflaboratorien . . . . .	48
	Weiterführende Literatur . . . . .	48
<b>4</b>	<b>Grundlagen der Metallkunde . . . . .</b>	<b>49</b>
4.1	Reine Metalle und Legierungen . . . . .	49
4.1.1	Reine Metalle . . . . .	49
4.1.2	Legierungen . . . . .	50

---

4.2	Kristalline Struktur von Metallen . . . . .	51
4.2.1	Idealkristalle . . . . .	51
4.2.2	Metallgitter . . . . .	53
4.2.3	Allotropie . . . . .	55
4.2.4	Realkristalle . . . . .	56
4.3	Gefüge von Metallen . . . . .	57
4.3.1	Merkmale und Entstehung eines Gefüges . . . . .	58
4.3.2	Ausrichtung von Körnern – Textur . . . . .	61
4.3.3	Mischkristalle . . . . .	62
4.3.4	Intermetallische Verbindungen . . . . .	64
4.3.5	Kristallgemische . . . . .	65
4.3.6	Zustandsdiagramme von Legierungen . . . . .	66
4.4	Allgemeine Eigenschaften von Metallen . . . . .	68
4.5	Mechanische Eigenschaften von Metallen . . . . .	69
4.5.1	Festigkeit und Steifigkeit . . . . .	69
4.5.2	Spannungs-Dehnungs-Kurven von Metallen . . . . .	70
4.5.3	Kriechen von Metallen . . . . .	74
4.5.4	Verformbarkeit . . . . .	75
4.5.5	Härte . . . . .	76
4.5.6	Dauerfestigkeit (Schwingfestigkeit) . . . . .	78
4.5.7	Zähigkeit . . . . .	80
4.5.8	Zusammenfassender Überblick mechanischer Eigenschaften . . . . .	82
4.6	Kalt- und Warmumformung von Metallen . . . . .	82
4.6.1	Kaltumformung . . . . .	83
4.6.2	Warmumformung . . . . .	85
4.6.3	Vergleich von Kalt- und Warmumformung . . . . .	86
4.6.4	Kaltverformung und Rekristallisation . . . . .	86
4.7	Technologische Eigenschaften von Metallen . . . . .	87
4.8	Korrosionsbeständigkeit von Metallen . . . . .	88
4.8.1	Grundlegende Informationen . . . . .	88
4.8.2	Ursachen der Korrosionsbeständigkeit . . . . .	89
4.8.3	Ermittlung der Korrosionsbeständigkeit . . . . .	90
4.8.4	Grundprinzipien des Korrosionsschutzes . . . . .	90
	Weiterführende Literatur . . . . .	92
<b>5</b>	<b>Eisenwerkstoffe – Stähle und Gusseisen . . . . .</b>	<b>93</b>
5.1	Einteilung der Eisenwerkstoffe . . . . .	93
5.2	Eisen . . . . .	94
5.2.1	Eigenschaften von Eisen . . . . .	94
5.2.2	Gewinnung von Eisen . . . . .	96

---

5.3	Das System Eisen-Kohlenstoff .....	97
5.3.1	Gefügebestandteile von Eisen-Kohlenstoff-Legierungen .....	97
5.3.2	Das Zustandsdiagramm Eisen-Kohlenstoff .....	97
5.3.3	Austenitumwandlung .....	101
5.3.4	ZTU-Diagramm .....	103
5.4	Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen .....	104
5.4.1	Zweck und Verfahren der Wärmebehandlung .....	104
5.4.2	Glühbehandlung von Stahl .....	106
5.4.3	Härten von Stahl .....	107
5.4.4	Oberflächenbehandlungen von Stahl .....	108
5.5	Herstellung von Stahl .....	111
5.6	Zusammensetzung und das Bezeichnungssystem der Stähle .....	112
5.6.1	Woraus bestehen Stähle? .....	112
5.6.2	Begleitelemente und ihre Wirkung .....	112
5.6.3	Unlegierte Stähle .....	113
5.6.4	Legierte Stähle .....	115
5.6.5	Bezeichnungssystem der Stähle .....	117
5.6.6	Güteklassen und Handelsformen von Stahl .....	121
5.7	Baustähle .....	122
5.7.1	Bewertung der Schweißbarkeit von Baustählen .....	122
5.7.2	Allgemeine Baustähle (unlegierte Baustähle) .....	123
5.7.3	Wetterfeste Baustähle .....	124
5.7.4	Feinkornbaustähle .....	125
5.8	Stähle für Wärmebehandlung .....	126
5.8.1	Bewertung der Härbarkeit von Stählen .....	126
5.8.2	Vergütungsstähle .....	127
5.8.3	Stähle für Oberflächenbehandlungen .....	129
5.9	Korrosionsbeständige Stähle .....	132
5.9.1	Korrosionsbeständigkeit der Stähle .....	132
5.9.2	Einteilung korrosionsbeständiger Stähle .....	133
5.9.3	Eigenschaften und Anwendung korrosionsbeständiger Stähle .....	134
5.10	Wärmebeständige Stähle .....	137
5.10.1	Anforderungen an wärmebeständige Stähle .....	137
5.10.2	Einteilung und Anwendung wärmebeständiger Stähle .....	137
5.11	Werkzeugstähle .....	138
5.11.1	Anforderungen an Werkzeugstähle .....	139
5.11.2	Einfluss der Temperatur auf die Härte .....	139
5.11.3	Einteilung der Werkzeugstähle .....	139
5.11.4	Anwendung von Werkzeugstählen .....	141
5.12	Weiche Stähle zum Kaltumformen .....	142
5.13	Stähle für spezielle Bauteile .....	143
5.13.1	Federstähle .....	143
5.13.2	Wälzlagerstähle .....	143

---

5.14	Automatenstähle .....	145
5.15	Mehrphasenstähle .....	145
5.16	Einsatzgebiete von Stahl .....	146
5.17	Eisengusswerkstoffe .....	147
5.17.1	Stahlguss .....	147
5.17.2	Gusseisen .....	148
5.17.3	Einteilung und Bezeichnung von Gusseisen .....	149
5.17.4	Gusseisen mit Lamellen-, Kugel- und Vermiculargraphit .....	150
5.17.5	Temperguss .....	153
5.17.6	Einsatzgebiete von Eisengusswerkstoffen .....	154
5.18	Produktion von Eisenwerkstoffen .....	154
5.18.1	Produktion von Roheisen .....	154
5.18.2	Produktion von Stahl .....	155
5.18.3	Produktion von Eisengusswerkstoffen .....	155
5.19	Recycling von Eisenwerkstoffen .....	156
	Weiterführende Literatur .....	157
<b>6</b>	<b>Aluminiumwerkstoffe .....</b>	<b>159</b>
6.1	Aluminium .....	159
6.1.1	Eigenschaften von Aluminium .....	159
6.1.2	Gewinnung von Aluminium .....	160
6.2	Aushärten von Aluminiumlegierungen .....	161
6.2.1	Allgemeines zum Aushärten .....	161
6.2.2	Verfahrensschritte beim Aushärten .....	163
6.3	Typen und Eigenschaften von Aluminiumwerkstoffen .....	163
6.3.1	Einteilung und Bezeichnung von Aluminiumwerkstoffen .....	164
6.3.2	Nicht aushärtbare Aluminium-Knetlegierungen .....	165
6.3.3	Aushärtbare Aluminium-Knetlegierungen .....	166
6.3.4	Aluminium-Gusslegierungen .....	168
6.3.5	Aluminiumschäume .....	169
6.4	Anwendung von Aluminiumwerkstoffen .....	170
6.4.1	Einsatzgebiete von Aluminiumwerkstoffen .....	170
6.4.2	Anwendung von Aluminium-Knetlegierungen .....	171
6.4.3	Anwendung von Aluminium-Gusslegierungen .....	172
6.5	Produktion von Aluminiumwerkstoffen .....	172
6.6	Recycling von Aluminiumwerkstoffen .....	173
	Weiterführende Literatur .....	174
<b>7</b>	<b>Kupferwerkstoffe .....</b>	<b>175</b>
7.1	Kupfer .....	175
7.1.1	Eigenschaften von Kupfer .....	175
7.1.2	Gewinnung von Kupfer .....	176

7.2	Typen und Eigenschaften von Kupferwerkstoffen . . . . .	177
7.2.1	Bezeichnung von Kupferwerkstoffen . . . . .	177
7.2.2	Kupfer-Zink-Legierungen (Messing) . . . . .	178
7.2.3	Kupfer-Zinn-Legierungen (Bronze) . . . . .	179
7.2.4	Weitere Kupferwerkstoffe . . . . .	180
7.3	Anwendung von Kupferwerkstoffen . . . . .	182
7.3.1	Einsatzgebiete von Kupferwerkstoffen . . . . .	182
7.3.2	Anwendung von Messing . . . . .	182
7.3.3	Anwendung von Bronze . . . . .	183
7.4	Produktion von Kupferwerkstoffen . . . . .	184
7.5	Recycling von Kupferwerkstoffen . . . . .	185
	Weiterführende Literatur . . . . .	185
<b>8</b>	<b>Weitere Nichteisenmetalle . . . . .</b>	<b>187</b>
8.1	Magnesiumwerkstoffe . . . . .	187
8.1.1	Eigenschaften und Gewinnung von Magnesium . . . . .	187
8.1.2	Typen und Eigenschaften von Magnesiumwerkstoffen . . . . .	189
8.1.3	Anwendung von Magnesiumwerkstoffen . . . . .	192
8.1.4	Produktion und Recycling von Magnesiumwerkstoffen . . . . .	193
8.2	Titanwerkstoffe . . . . .	194
8.2.1	Eigenschaften und Gewinnung von Titan . . . . .	194
8.2.2	Einteilung und Bezeichnung von Titanwerkstoffen . . . . .	196
8.2.3	Typen und Eigenschaften von Titanwerkstoffen . . . . .	196
8.2.4	Anwendung von Titanwerkstoffen . . . . .	198
8.2.5	Titan als Implantatwerkstoff . . . . .	198
8.2.6	Produktion und Recycling von Titanwerkstoffen . . . . .	199
8.3	Nickelwerkstoffe . . . . .	201
8.3.1	Eigenschaften und Gewinnung von Nickel . . . . .	201
8.3.2	Typen und Eigenschaften von Nickelwerkstoffen . . . . .	203
8.3.3	Anwendung von Nickelwerkstoffen . . . . .	204
8.3.4	Produktion und Recycling von Nickelwerkstoffen . . . . .	204
	Weiterführende Literatur . . . . .	205
<b>9</b>	<b>Grundlagen der Kunststoffkunde . . . . .</b>	<b>207</b>
9.1	Polymere . . . . .	207
9.1.1	Herstellung von Polymeren . . . . .	207
9.1.2	Bauprinzip von Polymeren . . . . .	208
9.1.3	Struktur und Arten von Polymeren . . . . .	210
9.2	Zusatzstoffe . . . . .	213
9.3	Spezifikation von Kunststoffen . . . . .	214
9.3.1	Einteilung von Kunststoffen . . . . .	214
9.3.2	Bezeichnung der Kunststoffe . . . . .	214
9.3.3	Handelsformen von Kunststoffen . . . . .	215

---

9.4	Allgemeine Eigenschaften von Kunststoffen .....	215
9.5	Mechanische Eigenschaften von Kunststoffen .....	216
9.5.1	Abhängigkeit des Verhaltens von Zeit und Temperatur .....	217
9.5.2	Festigkeit und Steifigkeit .....	218
9.5.3	Spannungs-Dehnungs-Kurven von Kunststoffen .....	219
9.5.4	Verformbarkeit .....	221
9.5.5	Härte .....	222
9.5.6	Zähigkeit .....	223
9.5.7	Dauerfestigkeit .....	224
9.6	Thermische Eigenschaften von Kunststoffen .....	225
9.6.1	Spezifische Zustände unter Wärmeeinwirkung .....	225
9.6.2	Beeinflussung der Wärmebeständigkeit von Polymeren .....	226
9.6.3	Bestimmung der Wärmeformbeständigkeit .....	227
9.6.4	Brennbarkeit von Kunststoffen .....	228
9.7	Optische und elektrische Eigenschaften von Kunststoffen .....	229
9.8	Technologische Eigenschaften von Kunststoffen .....	229
9.9	Chemische Beständigkeit von Kunststoffen .....	229
9.10	Erkennen von Kunststoffen .....	230
9.11	Vergleich Metalle/Kunststoffe .....	230
	Weiterführende Literatur .....	231
<b>10</b>	<b>Thermoplastische Kunststoffe .....</b>	<b>233</b>
10.1	Verhalten von Thermoplasten unter Wärmeeinwirkung .....	233
10.1.1	Amorphe Thermoplaste .....	233
10.1.2	Teilkristalline Thermoplaste .....	234
10.2	Eigenschaften und Anwendung ausgewählter Thermoplaste .....	235
10.2.1	Einteilung und Eigenschaften von Thermoplasten .....	235
10.2.2	Massenkunststoffe .....	236
10.2.3	Technische Kunststoffe .....	241
10.2.4	Hochleistungskunststoffe .....	250
10.2.5	Polymerblends .....	257
10.3	Biokunststoffe .....	258
10.4	Einsatzgebiete der Thermoplaste .....	258
10.5	Produktion von Thermoplasten .....	259
10.6	Recycling von Thermoplasten .....	260
	Weiterführende Literatur .....	263
<b>11</b>	<b>Duroplastische und elastomere Kunststoffe .....</b>	<b>265</b>
11.1	Duroplaste .....	265
11.1.1	Herstellung von Bauteilen aus Duroplasten .....	265
11.1.2	Bezeichnung von Duroplasten .....	266
11.1.3	Verhalten von Duroplasten unter Wärmeeinwirkung .....	266
11.1.4	Eigenschaften und Anwendungen ausgewählter Duroplaste ...	267

11.2	Elastomere.....	269
11.2.1	Verhalten von Elastomeren unter Kraft- und Wärmeeinwirkung .....	269
11.2.2	Bezeichnung von Elastomeren .....	270
11.2.3	Eigenschaften und Anwendungen ausgewählter Elastomere ...	270
11.3	Produktion von Duroplasten und Elastomeren.....	272
11.4	Recycling von Duroplasten und Elastomeren .....	273
	Weiterführende Literatur .....	273
<b>12</b>	<b>Keramische Werkstoffe und Glas .....</b>	<b>275</b>
12.1	Einordnung und Einteilung keramischer Werkstoffe.....	275
12.2	Sintertechnische Herstellung von Keramik .....	276
12.2.1	Herstellung keramischer Werkstoffe .....	276
12.2.2	Möglichkeiten der Sintertechnik .....	277
12.3	Struktur und Eigenschaften keramischer Werkstoffe.....	277
12.3.1	Struktur von Keramik.....	277
12.3.2	Eigenschaften von Keramik.....	278
12.3.3	Vergleich Metalle/Keramiken .....	280
12.4	Silicatkeramik.....	280
12.5	Oxidkeramik.....	281
12.5.1	Aluminiumoxid.....	281
12.5.2	Zirkoniumdioxid.....	282
12.6	Nichtoxidkeramik .....	283
12.6.1	Elementare Werkstoffe.....	283
12.6.2	Metallische Hartstoffe.....	284
12.6.3	Silizium- und borbasierte Nichtoxidkeramik .....	284
12.7	Einsatzgebiete technischer Keramik .....	286
12.8	Produktion und Recycling keramischer Werkstoffe.....	286
12.9	Glas .....	287
12.9.1	Einteilung von Gläsern.....	288
12.9.2	Struktur von Glas .....	289
12.9.3	Herstellung von Glas .....	289
12.9.4	Eigenschaften von Glas .....	290
12.9.5	Anwendung von Glas.....	291
12.1.6	Produktion und Recycling von Glas .....	292
	Weiterführende Literatur .....	292
<b>13</b>	<b>Verbundwerkstoffe.....</b>	<b>293</b>
13.1	Aufbau von Verbundwerkstoffen.....	293
13.1.1	Aufgaben der Einzelstoffe .....	293
13.1.2	Matrixstoffe .....	293
13.2	Einteilung von Verbundwerkstoffen .....	294

---

13.3	Hartmetalle.....	295
13.3.1	Aufbau und Herstellung von Hartmetallen.....	295
13.3.2	Eigenschaften und Anwendung von Hartmetallen.....	295
13.3.3	Produktion und Recycling von Hartmetallen.....	296
13.4	Faserverbundwerkstoffe.....	297
13.4.1	Faserwerkstoffe.....	298
13.4.2	Beeinflussung der Eigenschaften von Faserverbundwerkstoffen.....	299
13.4.3	Mechanische Eigenschaften von Faserverbundwerkstoffen...	301
13.4.4	Herstellung von Faserverbundwerkstoffen.....	302
13.4.5	Arten und Eigenschaften von Faserverbundwerkstoffen.....	303
13.4.6	Produktion und Recycling von Faserverbundwerkstoffen...	305
13.5	Faserverstärkte Keramik.....	306
13.6	Metall Matrix Composites MMC.....	306
	Weiterführende Literatur.....	307
<b>14</b>	<b>Werkstoffe mit besonderen Eigenschaften.....</b>	<b>309</b>
14.1	Halbleiter.....	309
14.2	Formgedächtniswerkstoffe.....	310
14.2.1	Formgedächtniseffekt.....	310
14.2.2	Arten und Anwendung von Formgedächtniswerkstoffen.....	311
14.3	Piezoelektrische Werkstoffe.....	312
14.3.1	Voraussetzungen für die Piezoelektrizität.....	312
14.3.2	Typen und Anwendung piezoelektrischer Werkstoffe.....	312
	Weiterführende Literatur.....	313
	<b>Anhang.....</b>	<b>315</b>
	<b>Stichwortverzeichnis.....</b>	<b>317</b>