

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Einleitung und Grundbegriffe	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
2 Aufbau von Werkstoffen	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
3	Mechanische Werkstoffeigenschaften.....	91
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
4	Eisenwerkstoffe	169
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 überereutektoiden 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
5	Nichteisenmetalle.....	213
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
6	Keramische Werkstoffe	245
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
7	Kunststoffe	265
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
8	Verbundwerkstoffe	325
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
9	Werkstoffauswahl	343
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
Anhang 1 Quantenmechanisches Atommodell und Periodensystem		365
Anhang 2 Miller'sche Indizes		369
Anhang 3 Schrauben- und gemischte Versetzungen.....		373
Anhang 4 Bezeichnungssysteme für Werkstoffe		375
A4.1	Bezeichnung von Eisenwerkstoffen.....	375
A4.2	Bezeichnung von Nichteisenmetallen.....	380
A4.3	Bezeichnung von Polymerwerkstoffen	384
Anhang 5 Werkstoffkennwerte		387
Literaturverzeichnis.....		393
Stichwortverzeichnis		395