Inhaltsverzeichnis

1	Einteilung und Eigenschaften der Werkstoffe	11
1.1	Einteilung der Werkstoffe	11
1.2	Technologische, mechanische, chemische und physikalische Eigenschaften der Werkstoffe	13
1.2.1	Technologische Eigenschaften	13
1.2.2	Mechanische Eigenschaften	14
1.2.3	Chemische Eigenschaften	16
1.2.4	Physikalische Eigenschaften	16
2	Metallkunde der reinen Metalle	17
2.1	Der Aufbau fester Stoffe	17
2.1.1	Elemente und Atome	17
2.1.2	Kristalliner und amorpher Aufbau	17
2.1.3	Bindungsarten bei Feststoffen	18
2.2	Der kristalline Aufbau der Metalle	20
2.2.1	Bindungskräfte im Kristallgitter	20
2.2.2	Kristallgitterbauformen	21
2.2.3	Millersche Indizierung	24
2.2.4	Isotropie und Textur	25
2.3	Elastische und plastische Verformung der Metalle	26
2.3.1	Wirkungen von Normal- und Schubspannungen	26
2.3.2	Gleitrichtungen, Gleitebenen, Gleitsysteme	27
2.3.3	Gitterbaufehler	29
2.3.4	Einfluss der Versetzungen auf die plastische Verformbarkeit der Metalle	30
2.3.5	Einfluss der Korngröße auf die plastische Verformbarkeit der Metalle	32
2.3.6	Festigkeitssteigernde Maßnahmen bei Metallen	33
2.4	Schmelzen und Erstarren reiner Metalle	35
2.4.1	Thermische Analyse	35
2.4.2	Gussgefüge der Metalle	37
3	Legierungskunde	38
3.1	Grundbegriffe der Legierungskunde	38
3.1.1	Eigenschaften von Legierungen	38
3.1.2	Mischkristalle	39
3.1.3	Intermediäre und intermetallische Phasen	41
3.1.4	Kristallgemische	41
3.2	Zustandsschaubilder	42
3.2.1	Legierung mit vollkommener Unlöslichkeit im flüssigen und festen Zustand	43
3.2.2	Legierung mit vollkommener Löslichkeit im flüssigen und festen Zustand	45
3.2.3	Legierung mit vollkommener Löslichkeit im flüssigen Zustand und vollkommener Unlöslichkeit im festen Zustand	46
3.2.4	Legierung mit vollkommener Löslichkeit im flüssigen Zustand und begrenzter Löslichkeit im festen Zustand (temperaturabhängige Löslichkeit im festen Zustand)	49
3.2.5	Arbeiten mit Zustandsschaubildern	51
3.2.6	Schnelle Erstarrung nichteutektischer Legierungen	54
3.3	Diffusion	56

4	Eisenbasismetalle	58
4.1	Roheisengewinnung	58
4.1.1	Eisenerze	58
4.1.2	Hochofen	58
4.1.2.1	Aufgaben und Beschickung des Hochofens	58
4.1.2.2	Vorgänge im Hochofen	58
4.1.2.3	Erzeugnisse des Hochofens	59
4.1.3	Reduktion des Eisens aus den Oxiden der Erze ohne Hochofenprozess	61
4.2	Stahlherstellung	62
4.2.1	Eigenschaften und Bedeutung des Stahls	62
4.2.2	Ausgangsstoffe und Herstellungsverfahren	62
4.2.2.1	Vorbehandlung von Stahlroheisenschmelzen	62
4.2.2.2	Umwandlung von Stahlroheisenschmelzen und festen Stoffen in Rohstahlvorschmelzen	62
4.2.2.3	Nachbehandlung von Rohstahlvorschmelzen zur EndEinstellung der Stahleigenschaften	66
4.2.2.4	Herstellung von besonderen Formstücken und Walzfertigerzeugnissen aus Stahl	68
4.3	Das Eisen-Kohlenstoff-Schaubild	71
4.4	Die Wärmebehandlungsverfahren für Stahl	75
4.4.1	Glühverfahren	75
4.4.1.1	Normalglühen (Normalisieren)	76
4.4.1.2	Spannungsarmglühen	77
4.4.1.3	Erholungs- und Rekristallisationsglühen	78
4.4.1.4	Weichglühen	80
4.4.1.5	Grobkornglühen	80
4.4.1.6	Diffusions-/Homogenisierungsglühen	80
4.4.1.7	Randoxidation und Randentkohlung durch Glühen	80
4.4.2	Härten und Vergüten	81
4.4.2.1	Metallkundliche Grundlagen des Umwandlungshärtens	82
4.4.2.2	Das Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubild (ZTU-Schaubild)	83
4.4.2.3	Härtenspannungen und Härterisse	87
4.4.2.4	Vergüten = Härten und Anlassen	88
4.4.2.5	Patentieren und Zwischenstufenvergüten	90
4.4.3	Thermische und thermochemische Randschichtverfestigungsverfahren	91
4.4.3.1	Randschichthärten von Stählen mit 0,3 ... 0,5 % C	91
4.4.3.2	Einsatzhärten	92
4.4.3.3	Nitrieren/Aufsticken	96
4.4.4	Aushärten (Ausscheidungshärten) und thermomechanische Behandlung	99
4.5	Einfluss der Legierungselemente auf die Stahleigenschaften	102
4.5.1	Einfluss des Kohlenstoffgehaltes auf die Festigkeit der Stähle	103
4.5.2	Einfluss anderer Legierungselemente auf die Stahleigenschaften	103
4.6	Alterung	108
4.7	Einteilung, Kurznamen und Nummern der Stähle	108
4.7.1	Einteilung der Stähle nach DIN EN 10020:2000	108
4.7.1.1	Einteilung nach der chemischen Zusammensetzung	109
4.7.1.2	Einteilung nach Hauptgüteklassen	109
4.7.2	Bezeichnungssysteme für Stähle nach DIN EN 10027-1:2005	110
4.7.2.1	Kennbuchstabe für Stahlguss und pulvermetallurgisch hergestellte Stähle	111
4.7.2.2	Kurznamen, die Hinweise auf die Verwendung und die mechanischen oder physikalischen Eigenschaften der Stähle enthalten (Tabellen 1 bis 11 DIN EN 10027-1:2005)	111
4.7.2.3	Kurznamen, die Hinweise auf die chemische Zusammensetzung der Stähle enthalten (Tabellen 12 bis 15 DIN EN 10027-1:2005)	111

4.7.3	Bezeichnung der Stähle durch Werkstoffnummern nach DIN EN 10027-2:1992	114
4.7.4	Weitere Bezeichnungssysteme für Stähle	116
4.7.5	Handelsformen der Stähle	116
4.8	Einteilung der Stähle nach dem Verwendungszweck (außer Werkzeugstähle)	117
4.8.1	Bau- und Konstruktionsstähle	117
4.8.1.1	Baustähle nach DIN EN 10025-2:2005	117
4.8.1.2	Wetterfeste Baustähle nach DIN EN 10025-5:2005	118
4.8.1.3	Höherfeste schweißbare Feinkornbaustähle nach DIN EN 10025-3:2005 und DIN EN 10025-4:2005	118
4.8.1.4	Vergütungsstähle nach DIN EN 10083:2006	120
4.8.1.5	Automatenstähle nach DIN EN 10087:1999	121
4.8.2	Stähle für thermochemische Randschichtverfestigung	123
4.8.2.1	Einsatzstähle nach DIN EN 10084:2008	123
4.8.2.2	Nitrierstähle nach DIN EN 10085:2001	124
4.8.3	Stähle für besondere Einsatzfälle	125
4.8.3.1	Nichtrostende Stähle	125
4.8.3.2	Kaltzähe Stähle	127
4.8.3.3	Stähle für höhere Einsatztemperaturen	127
4.8.3.4	Ventilstähle nach DIN EN 10090:1998	128
4.8.3.5	Federstähle nach DIN EN 10089:2003	128
4.8.3.6	Wälzlagerstähle nach DIN EN ISO 683-17:2015	128
4.8.3.7	Stähle für Schrauben und Muttern	129
4.8.3.8	Stähle für Sonderanwendungen	130
4.9	Eisen-Kohlenstoff-Gusswerkstoffe	132
4.9.1	Stahlguss	132
4.9.2	Gusseisen	134
4.9.2.1	Bezeichnungssystem für Gusseisen	135
4.9.2.2	Gusseisen mit Lamellengraphit	136
4.9.2.3	Gusseisen mit Kugelgraphit einschließlich bainitischem Gusseisen und austenitischem Gusseisen	139
4.9.2.4	Temperguss	142
4.9.2.5	Gusseisen mit Vermiculargraphit	146
4.9.2.6	Verschleißbeständiges Gusseisen	147
5	Nichteisenmetalle	149
5.1	Allgemeines	149
5.2	Aluminium	151
5.2.1	Eigenschaften und Verwendung von Aluminium und Aluminiumlegierungen	151
5.2.2	Bezeichnungssysteme für Aluminium und Aluminiumlegierungen	157
5.3	Magnesium	159
5.3.1	Eigenschaften und Verwendung von Magnesium und Magnesiumlegierungen	159
5.3.2	Bezeichnungssystem für Magnesium und Magnesiumlegierungen	160
5.4	Titan	161
5.5	Kupfer	162
5.5.1	Eigenschaften und Verwendung von Kupfer und Kupferlegierungen	162
5.5.1.1	Niedriglegierte Kupferlegierungen (Legierungsgehalte < 5 %) nach DIN CEN/TS 13388 (DIN SPEC 9700):2013	164
5.5.1.2	Kupferlegierungen (Knet- und Gusslegierungen) nach DIN CEN/TS 13388 (DIN SPEC 9700):2013	164
5.5.2	Bezeichnungssystem für Kupfer und Kupferlegierungen	168

5.6	Nickel	169
5.7	Sonstige Nichteisenmetalle	170
6	Legierungen für besondere technische Verwendungen	176
6.1	Werkzeugwerkstoffe	176
6.1.1	Werkzeugstähle	176
6.1.2	Werkzeugwerkstoffe aus Nichteisenwerkstoffen	182
6.2	Lagerwerkstoffe	184
6.3	Hochtemperaturwerkstoffe	186
6.4	Lote und Flussmittel	187
7	Sinterwerkstoffe	190
7.1	Herstellung	190
7.2	Dichte und Kennzeichnung der Sinterwerkstoffe nach DIN 30910	191
7.3	Anwendungsgebiete für Sinterwerkstoffe	192
8	Nichtmetallische, organische Werkstoffe	193
8.1	Polymerwerkstoffe (Kunststoffe)	193
8.1.1	Begriffe	193
8.1.2	Herstellung von Polymerwerkstoffen	194
8.1.3	Einteilungsmöglichkeiten der Polymerwerkstoffe	196
8.1.4	Verarbeitung der Polymerwerkstoffe	198
8.1.5	Die wichtigsten Polymerwerkstoffe	199
8.1.6	Zustände und Übergangsbereiche der Polymerwerkstoffe	203
8.1.7	Mechanische Prüfung der Polymerwerkstoffe	205
8.2	Leder	207
8.3	Holz	207
9	Nichtmetallische, anorganische Werkstoffe	209
9.1	Keramische Werkstoffe	209
9.1.1	Einatomare keramische Werkstoffe	209
9.1.2	Nichtoxidkeramische Werkstoffe	209
9.1.3	Oxidkeramische Werkstoffe	210
9.2	Sonstige nichtmetallische, anorganische Werkstoffe	211
10	Verbundwerkstoffe	215
10.1	Verbundwerkstoffe verschiedener Art	215
10.1.1	Begriffe	215
10.1.2	Allgemein bekannte Verbundwerkstoffe	215
10.1.3	Einteilung der Verbundwerkstoffe nach Anordnung der Komponenten	215
10.2	Faserverbundwerkstoffe	215
10.2.1	Allgemeines	215
10.2.2	Faserverstärkte Polymerwerkstoffe	216

10.2.3	Faserverstärkte Metalle	218
10.2.4	Faserverstärkte keramische Werkstoffe	218
11	Werkstoffe der Elektrotechnik	219
11.1	Elektrische Eigenschaften der Werkstoffe der Elektrotechnik	219
11.1.1	Das Energiebändermodell	219
11.1.2	Metallische Leiter, Halbleiter und Isolatoren nach dem Energiebändermodell	220
11.1.3	Supraleitung	221
11.2	Stromleitende Werkstoffe	222
11.2.1	Leiterwerkstoffe	222
11.2.2	Widerstandswerkstoffe	223
11.2.3	Heizleiterlegierungen	223
11.2.4	Kontaktwerkstoffe	224
11.3	Isolierstoffe	224
11.3.1	Elektrische Eigenschaften der Isolierstoffe	224
11.4	Magnetismus und Magnetwerkstoffe	226
11.4.1	Formen des Magnetismus	226
11.4.2	Magnetwerkstoffe	228
12	Sonstige Stoffe	229
12.1	Schmier- und Kühlschmierstoffe	229
12.1.1	Allgemeines	229
12.1.2	Flüssige Schmierstoffe, Öle	229
12.1.3	Festschmierstoffe	232
12.1.4	Schmierfette	233
12.1.5	Kühlschmierstoffe	235
12.2	Schleif- und Poliermittel	237
12.2.1	Schleifmittel	238
12.2.2	Bindungen	239
12.2.3	Bezeichnung der Schleifkörper nach DIN ISO 525:2015	241
12.3	Klebstoffe	243
12.3.1	Klebstoffarten	243
12.3.2	Die Klebeverbindung	244
12.3.3	Einsatzbereiche von Klebstoffen	245
13	Korrosion der Metalle	247
13.1	Grundbegriffe (DIN EN ISO 8044:2015)	247
13.2	Chemische Korrosion	248
13.3	Elektrochemische Korrosion	248
13.4	Korrosionsformen	249
13.4.1	Flächige Korrosion	249
13.4.2	Lokal begrenzte Korrosion	250
13.4.3	Korrosion mit mechanischer Belastung	251
13.5	Maßnahmen zum Schutz gegen elektrochemische Korrosion	253
13.5.1	Grundlagen des Korrosionsschutzes	253
13.5.2	Aktiver Korrosionsschutz	253
13.5.3	Passiver Korrosionsschutz	255

14	Mechanische Werkstoffprüfung	259
14.1	Allgemeines	259
14.2	Festigkeitsprüfungen mit zügiger Belastung	260
14.2.1	Zugversuch nach DIN EN ISO 6892:2009	260
14.2.2	Druckversuch	268
14.2.3	Biegeversuch nach DIN EN ISO 7438:2012	268
14.2.4	Scherversuch	269
14.3	Festigkeitsprüfungen mit schlagartiger Belastung	269
14.3.1	Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy	269
14.4	Festigkeitsprüfung mit schwingender Belastung	272
14.4.1	Der Dauerbruch	272
14.4.2	Kennzeichnung der schwingenden Belastung/Beanspruchung	273
14.4.3	Kennzeichen des Dauerbruches	274
14.4.4	Ermittlung der Dauerfestigkeit	276
14.4.5	Dauerfestigkeitsschaubilder	278
14.4.6	Einflussgrößen auf die Dauerfestigkeit	280
14.4.7	Betriebsfestigkeit	284
14.5	Festigkeitsprüfungen mit langfristig ruhender Belastung	286
14.5.1	Zeitstandversuch unter Zugbeanspruchung nach DIN EN ISO 204:2009	286
14.5.2	Relaxationsversuch unter Zugbeanspruchung nach DIN EN 10319-1:2003	287
14.6	Härteprüfung metallischer Werkstoffe	288
14.6.1	Grundprinzipien der Härteprüfung	288
14.6.2	Härteprüfung nach Brinell	288
14.6.3	Härteprüfung nach Vickers	290
14.6.4	Härteprüfung nach Rockwell	292
14.6.5	Umwertung von Härtewerten nach DIN EN ISO 18265:2014	295
14.6.6	Instrumentierte Eindringprüfung zur Bestimmung der Härte und anderer Werkstoffparameter nach DIN EN ISO 14577-1:2003, Martenshärte	296
15	Technologische Prüfungen	299
15.1	Allgemeine technologische Prüfungen	299
15.2	Technologische Prüfungen bestimmter Erzeugnisformen	299
15.3	Schweißnahtprüfungen	300
16	Zerstörungsfreie Prüfung metallischer Werkstoffe	302
16.1	Oberflächenrisssprüfung	303
16.2	Magnetpulververfahren	304
16.3	Ultraschallprüfung	304
16.4	Prüfung mit Röntgen- und Gammastrahlen	305
16.4.1	Eigenschaften der Röntgen- und Gammastrahlen	305
16.4.2	Entstehung der Röntgenstrahlen	306
16.4.3	Quellen der Gammastrahlen	306
16.4.4	Durchführung der Röntgen- und Gammaprüfung	306
16.5	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung mit elektromagnetischem Induktionsverfahren (Wirbelstromprüfung)	307

17	Spektrochemische Analyse von Werkstoffen	308
18	Untersuchung des mikroskopischen Aufbaus der metallischen Werkstoffe	309
18.1	Bestimmung von Kristallstrukturen durch Beugung von Röntgenstrahlen	309
18.2	Optische Verfahren zur Untersuchung des mikroskopischen Aufbaus der Werkstoffe	310
18.3	Elektronenmikroskopie	313
19	Prüfungen verschiedener Art	314
19.1	Prüfung der Ein- und Durchhärbarkeit von Stählen	314
19.2	Ermittlung mechanischer Spannungen in Schrauben und Konstruktionsteilen unter Belastung	315
19.2.1	Ermittlung mechanischer Spannungen in Schrauben unter Belastung	315
19.2.2	Ermittlung mechanischer Spannungen in Konstruktionsteilen unter Belastung	316
Anhang		318
Bezeichnungssysteme	Stahl	318
	Gusseisen	320
	Aluminium	322
	Magnesium	326
	Kupfer	328
Sachwortverzeichnis		329