

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einteilung und Eigenschaften der Werkstoffe</b>	<b>11</b>
1.1	Einteilung der Werkstoffe	11
1.2	<b>Technologische, mechanische, chemische und physikalische Eigenschaften der Werkstoffe</b>	<b>13</b>
1.2.1	Technologische Eigenschaften	13
1.2.2	Mechanische Eigenschaften	14
1.2.3	Chemische Eigenschaften	16
1.2.4	Physikalische Eigenschaften	16
<b>2</b>	<b>Metallkunde der reinen Metalle</b>	<b>17</b>
2.1	<b>Der Aufbau fester Stoffe</b>	<b>17</b>
2.1.1	Elemente und Atome	17
2.1.2	Kristalliner und amorpher Aufbau	17
2.1.3	Bindungsarten bei Feststoffen	18
2.2	<b>Der kristalline Aufbau der Metalle</b>	<b>20</b>
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	<b>Elastische und plastische Verformung der Metalle</b>	<b>26</b>
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	<b>Schmelzen und Erstarren reiner Metalle</b>	<b>35</b>
2.4.1	Thermische Analyse	35
2.4.2	Gussgefüge der Metalle	37
<b>3</b>	<b>Legierungskunde</b>	<b>38</b>
3.1	<b>Grundbegriffe der Legierungskunde</b>	<b>38</b>
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	<b>Zustandsschaubilder</b>	<b>42</b>
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	<b>Diffusion</b>	<b>56</b>

<b>4</b>	<b>Eisenbasismetalle</b>	<b>58</b>
<b>4.1</b>	<b>Roheisengewinnung</b>	<b>58</b>
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
<b>4.2</b>	<b>Stahlherstellung</b>	<b>62</b>
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
<b>4.3</b>	<b>Das Eisen-Kohlenstoff-Schaubild</b>	<b>71</b>
<b>4.4</b>	<b>Die Wärmebehandlungsverfahren für Stahl</b>	<b>75</b>
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	Härtespannungen 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
<b>4.5</b>	<b>Einfluss der Legierungselemente auf die Stahleigenschaften</b>	<b>102</b>
4.5.1	Einfluss des Kohlenstoffgehaltes auf die Festigkeit der Stähle	103
4.5.2	Einfluss anderer Legierungselemente auf die Stahleigenschaften	103
<b>4.6</b>	<b>Alterung</b>	<b>108</b>
<b>4.7</b>	<b>Einteilung, Kurznamen und Nummern der Stähle</b>	<b>108</b>
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: 2017	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: 2017)	111
4.7.2.3	Kurznamen, die Hinweise auf die chemische Zusammensetzung der Stähle enthalten (Tabellen 12 bis 15 DIN EN 10027-1: 2017)	111

4.7.3	Bezeichnung der Stähle durch Werkstoffnummern nach DIN EN 10027-2: 2015	114
4.7.4	Weitere Bezeichnungssysteme für Stähle	116
4.7.5	Handelsformen der Stähle	116
<b>4.8</b>	<b>Einteilung der Stähle nach dem Verwendungszweck (außer Werkzeugstähle)</b>	<b>117</b>
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	Schweißgeeignete Feinkornbaustähle nach DIN EN 10025-3: 2005 und DIN EN 10025-4: 2005	118
4.8.1.4	Baustähle mit höheren Streckgrenzen im vergüteten Zustand nach DIN EN 10025-6: 2009	120
4.8.1.5	Vergütungsstähle nach DIN EN ISO 683-1: 2018 und DIN EN ISO 683-2: 2018	121
4.8.1.6	Automatenstähle nach DIN EN ISO 683-4: 2018	122
4.8.2	Stähle für thermochemische Randschichtverfestigung	124
4.8.2.1	Einsatzstähle nach DIN EN ISO 683-3: 2018	124
4.8.2.2	Nitrierstähle nach DIN EN 10085: 2001	125
4.8.3	Stähle für besondere Einsatzfälle	126
4.8.3.1	Nichtrostende Stähle	126
4.8.3.2	Kaltzähe Stähle	128
4.8.3.3	Stähle für höhere Einsatztemperaturen	128
4.8.3.4	Ventilstähle nach DIN EN 10090: 1998	129
4.8.3.5	Federstähle nach DIN EN 10089: 2003	129
4.8.3.6	Wälzlagerstähle nach DIN EN ISO 683-17: 2015	129
4.8.3.7	Stähle für Schrauben und Muttern	130
4.8.3.8	Stähle für Sonderanwendungen	131
<b>4.9</b>	<b>Eisen-Kohlenstoff-Gusswerkstoffe</b>	<b>133</b>
4.9.1	Stahlguss	133
4.9.2	Gusseisen	135
4.9.2.1	Bezeichnungssystem für Gusseisen	136
4.9.2.2	Gusseisen mit Lamellengraphit	137
4.9.2.3	Gusseisen mit Kugelgraphit (ferritisch bis perlitisch, ausferritisch und austenitisch)	140
4.9.2.4	Temperguss	143
4.9.2.5	Gusseisen mit Vermiculargraphit	147
4.9.2.6	Verschleißbeständiges Gusseisen	148
<b>5</b>	<b>Nichteisenmetalle</b>	<b>150</b>
<b>5.1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>150</b>
<b>5.2</b>	<b>Aluminium</b>	<b>152</b>
5.2.1	Eigenschaften und Verwendung von Aluminium und Aluminiumlegierungen	152
5.2.2	Bezeichnungssysteme für Aluminium und Aluminiumlegierungen	158
<b>5.3</b>	<b>Magnesium</b>	<b>160</b>
5.3.1	Eigenschaften und Verwendung von Magnesium und Magnesiumlegierungen	160
5.3.2	Bezeichnungssystem für Magnesium und Magnesiumlegierungen	161
<b>5.4</b>	<b>Titan</b>	<b>162</b>
<b>5.5</b>	<b>Kupfer</b>	<b>163</b>
5.5.1	Eigenschaften und Verwendung von Kupfer und Kupferlegierungen	163
5.5.1.1	Niedriglegierte Kupferlegierungen (Legierungsgehalte < 5 %) nach DIN CEN/TS 13388 (DIN SPEC 9700): 2015	165
5.5.1.2	Kupferlegierungen (Knet- und Gusslegierungen) nach DIN CEN/TS 13388 (DIN SPEC 9700): 2015	165
5.5.2	Bezeichnungssystem für Kupfer und Kupferlegierungen	169

5.6	Nickel	170
5.7	Sonstige Nichteisenmetalle	171
<b>6</b>	<b>Legierungen für besondere technische Verwendungen</b>	<b>178</b>
6.1	Werkzeugwerkstoffe	178
6.1.1	Werkzeugstähle	178
6.1.2	Werkzeugwerkstoffe aus Nichteisenwerkstoffen	184
6.2	Lagerwerkstoffe	186
6.3	Hochtemperaturwerkstoffe	188
6.4	Lote und Flussmittel	190
<b>7</b>	<b>Sinterwerkstoffe</b>	<b>193</b>
7.1	Herstellung	193
7.2	Dichte und Kennzeichnung der Sinterwerkstoffe nach DIN 30910	194
7.3	Anwendungsgebiete für Sinterwerkstoffe	195
<b>8</b>	<b>Nichtmetallische, organische Werkstoffe</b>	<b>196</b>
8.1	Polymerwerkstoffe (Kunststoffe)	196
8.1.1	Begriffe	196
8.1.2	Herstellung von Polymerwerkstoffen	197
8.1.3	Einteilungsmöglichkeiten der Polymerwerkstoffe	199
8.1.4	Verarbeitung der Polymerwerkstoffe	201
8.1.5	Die wichtigsten Polymerwerkstoffe	202
8.1.6	Zustände und Übergangsbereiche der Polymerwerkstoffe	206
8.1.7	Mechanische Prüfung der Polymerwerkstoffe	208
8.2	Leder	210
8.3	Holz	210
<b>9</b>	<b>Nichtmetallische, anorganische Werkstoffe</b>	<b>212</b>
9.1	Keramische Werkstoffe	212
9.1.1	Einatomare keramische Werkstoffe	212
9.1.2	Nichtoxidkeramische Werkstoffe	212
9.1.3	Oxidkeramische Werkstoffe	213
9.2	Sonstige nichtmetallische, anorganische Werkstoffe	214
<b>10</b>	<b>Verbundwerkstoffe</b>	<b>218</b>
10.1	Verbundwerkstoffe verschiedener Art	218
10.1.1	Begriffe	218
10.1.2	Allgemein bekannte Verbundwerkstoffe	218
10.1.3	Einteilung der Verbundwerkstoffe nach Anordnung der Komponenten	218
10.2	Faserverbundwerkstoffe	218
10.2.1	Allgemeines	218
10.2.2	Faserverstärkte Polymerwerkstoffe	219

10.2.3	Faserverstärkte Metalle (Metal Matrix Compounds, MMC) . . . . .	221
10.2.4	Faserverstärkte keramische Werkstoffe (Ceramic Matrix Compounds, CMC) . . . . .	221
<b>11</b>	<b>Additive Fertigungsverfahren</b> . . . . .	<b>222</b>
<b>11.1</b>	<b>Charakterisierung der additiven Fertigungsverfahren</b> . . . . .	<b>222</b>
<b>11.2</b>	<b>Werkstoffe der additiven Fertigungsverfahren</b> . . . . .	<b>224</b>
<b>11.3</b>	<b>Eingesetzte Werkstoffe nach Werkstoffarten</b> . . . . .	<b>227</b>
11.3.1	Kunststoffe . . . . .	227
11.3.2	Metalle und Stahllegierungen . . . . .	228
11.3.3	Mineralische, keramische Werkstoffe . . . . .	229
<b>12</b>	<b>Werkstoffe der Elektrotechnik</b> . . . . .	<b>230</b>
<b>12.1</b>	<b>Elektrische Eigenschaften der Werkstoffe der Elektrotechnik</b> . . . . .	<b>230</b>
12.1.1	Das Energiebändermodell . . . . .	230
12.1.2	Metallische Leiter, Halbleiter und Isolatoren nach dem Energiebändermodell . . . . .	231
12.1.3	Supraleitung . . . . .	232
<b>12.2</b>	<b>Stromleitende Werkstoffe</b> . . . . .	<b>233</b>
12.2.1	Leiterwerkstoffe . . . . .	233
12.2.2	Widerstandswerkstoffe . . . . .	234
12.2.3	Heizleiterlegierungen . . . . .	234
12.2.4	Kontaktwerkstoffe . . . . .	235
<b>12.3</b>	<b>Isolierstoffe</b> . . . . .	<b>235</b>
12.3.1	Elektrische Eigenschaften der Isolierstoffe . . . . .	235
<b>12.4</b>	<b>Magnetismus und Magnetwerkstoffe</b> . . . . .	<b>237</b>
12.4.1	Formen des Magnetismus . . . . .	237
12.4.2	Magnetwerkstoffe . . . . .	239
<b>13</b>	<b>Sonstige Stoffe</b> . . . . .	<b>240</b>
<b>13.1</b>	<b>Schmier- und Kühlschmierstoffe</b> . . . . .	<b>240</b>
13.1.1	Allgemeines . . . . .	240
13.1.2	Flüssige Schmierstoffe, Öle . . . . .	240
13.1.3	Festschmierstoffe . . . . .	243
13.1.4	Schmierfette . . . . .	244
13.1.5	Kühlschmierstoffe . . . . .	246
<b>13.2</b>	<b>Schleif- und Poliermittel</b> . . . . .	<b>248</b>
13.2.1	Schleifmittel . . . . .	249
13.2.2	Bindungen . . . . .	250
13.2.3	Bezeichnung der Schleifkörper nach DIN ISO 525: 2015 . . . . .	252
<b>13.3</b>	<b>Klebstoffe</b> . . . . .	<b>254</b>
13.3.1	Klebstoffarten . . . . .	254
13.3.2	Die Klebeverbindung . . . . .	255
13.3.3	Einsatzbereiche von Klebstoffen . . . . .	256
<b>14</b>	<b>Korrosion der Metalle</b> . . . . .	<b>258</b>
<b>14.1</b>	<b>Grundbegriffe (DIN EN ISO 8044: 2015)</b> . . . . .	<b>258</b>
<b>14.2</b>	<b>Chemische Korrosion</b> . . . . .	<b>259</b>

<b>14.3</b>	<b>Elektrochemische Korrosion</b> .....	259
<b>14.4</b>	<b>Korrosionsformen</b> .....	260
14.4.1	Flächige Korrosion .....	260
14.4.2	Lokal begrenzte Korrosion .....	261
14.4.3	Korrosion mit mechanischer Belastung .....	262
<b>14.5</b>	<b>Maßnahmen zum Schutz gegen elektrochemische Korrosion</b> .....	264
14.5.1	Grundlagen des Korrosionsschutzes .....	264
14.5.2	Aktiver Korrosionsschutz .....	265
14.5.3	Passiver Korrosionsschutz .....	266
<b>15</b>	<b>Mechanische Werkstoffprüfung</b> .....	270
<b>15.1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	270
<b>15.2</b>	<b>Festigkeitsprüfungen mit zügiger Belastung</b> .....	271
15.2.1	Zugversuch nach DIN EN ISO 6892-1: 2017 .....	271
15.2.2	Druckversuch nach DIN 50106: 2016 .....	279
15.2.3	Biegeversuch nach DIN EN ISO 7438: 2016 .....	279
15.2.4	Scherversuch .....	280
<b>15.3</b>	<b>Festigkeitsprüfungen mit schlagartiger Belastung</b> .....	280
15.3.1	Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy (DIN EN ISO 148: 2017) .....	280
<b>15.4</b>	<b>Festigkeitsprüfung mit schwingender Belastung</b> .....	283
15.4.1	Der Dauerbruch .....	283
15.4.2	Kennzeichnung der schwingenden Last .....	284
15.4.3	Kennzeichen des Dauerbruches .....	285
15.4.4	Ermittlung der Zeitfestigkeit und der Langzeitfestigkeit (DIN 50100: 2016) .....	287
15.4.5	Dauerfestigkeitsschaubilder .....	290
15.4.6	Einflussgrößen auf die Dauerfestigkeit .....	291
15.4.7	Betriebsfestigkeit .....	295
<b>15.5</b>	<b>Festigkeitsprüfungen mit langfristig ruhender Belastung</b> .....	297
15.5.1	Zeitstandversuch unter Zugbeanspruchung nach DIN EN ISO 204: 2009 .....	297
15.5.2	Relaxationsversuch unter Zugbeanspruchung nach DIN EN 10319-1: 2003 .....	299
<b>15.6</b>	<b>Härteprüfung metallischer Werkstoffe</b> .....	299
15.6.1	Grundprinzipien der Härteprüfung .....	299
15.6.2	Härteprüfung nach Brinell .....	300
15.6.3	Härteprüfung nach Vickers .....	302
15.6.4	Härteprüfung nach Rockwell .....	303
15.6.5	Umwertung von Härtewerten nach DIN EN ISO 18265: 2014 .....	306
15.6.6	Instrumentierte Eindringprüfung zur Bestimmung der Härte und anderer Werkstoffparameter nach DIN EN ISO 14577-1: 2015, Martenshärte .....	308
<b>15.7</b>	<b>Tragbare Härteprüfung</b> .....	310
15.7.1	Härteprüfung nach Leeb (DIN EN ISO 16859: 2016) .....	311
15.7.2	Härteprüfung nach Rockwell mit mechanischer Eindringtiefmessung (DIN 50157: 2008) .....	312
15.7.3	Härteprüfung nach Vickers oder Rockwell mit elektrischer Eindringtiefmessung (DIN 50158: 2008) .....	313
15.7.4	UCI-(Ultrasonic-Compact-Impedance)-Verfahren (DIN 50159: 2015) .....	313

<b>16</b>	<b>Technologische Prüfungen</b> .....	315
16.1	Allgemeine technologische Prüfungen .....	315
16.2	Technologische Prüfungen bestimmter Erzeugnisformen .....	315
16.3	Schweißnahtprüfungen .....	316
<b>17</b>	<b>Zerstörungsfreie Prüfung metallischer Werkstoffe</b> .....	318
17.1	Oberflächenrissprüfung .....	319
17.2	Magnetpulververfahren .....	320
17.3	Ultraschallprüfung .....	320
17.4	Prüfung mit Röntgen- und Gammastrahlen .....	321
17.4.1	Eigenschaften der Röntgen- und Gammastrahlen .....	321
17.4.2	Entstehung der Röntgenstrahlen .....	322
17.4.3	Quellen der Gammastrahlen .....	322
17.4.4	Durchführung der Röntgen- und Gammaprüfung .....	322
17.5	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung mit elektromagnetischem Induktionsverfahren (Wirbelstromprüfung) .....	323
<b>18</b>	<b>Spektrochemische Analyse von Werkstoffen</b> .....	324
<b>19</b>	<b>Untersuchung des mikroskopischen Aufbaus der metallischen Werkstoffe</b> .....	325
19.1	Bestimmung von Kristallstrukturen durch Beugung von Röntgenstrahlen .....	325
19.2	Optische Verfahren zur Untersuchung des mikroskopischen Aufbaus der Werkstoffe ..	326
19.3	Elektronenmikroskopie .....	329
<b>20</b>	<b>Prüfungen verschiedener Art</b> .....	330
20.1	Prüfung der Ein- und Durchhärbarkeit von Stählen .....	330
20.2	Ermittlung mechanischer Spannungen in Schrauben und Konstruktionsteilen unter Belastung .....	331
20.2.1	Ermittlung mechanischer Spannungen in Schrauben unter Belastung .....	331
20.2.2	Ermittlung mechanischer Spannungen in Konstruktionsteilen unter Belastung .....	332
<b>Anhang</b> .....		334
Bezeichnungssysteme	Stahl .....	334
	Gusseisen .....	336
	Aluminium .....	338
	Magnesium .....	342
	Kupfer .....	343
<b>Sachwortverzeichnis</b> .....		344