

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Werkstoffe der Elektrotechnik</b> . . . . .	<b>7</b>	3.7.2	Härten	86
			3.7.3	Gittervorgänge und Gefügeveränderungen	87
			3.7.4	Vergüten	88
<b>2</b>	<b>Naturwissenschaftliche Grundlagen der Werkstoffkunde</b> . . . . .	<b>10</b>	3.7.5	Härten der Randzone	89
			3.7.6	Wärmebehandlung der Stahlgruppen	90
<b>2.1</b>	<b>Physikalische Grundlagen</b> . . . . .	<b>10</b>	<b>3.8</b>	<b>Kupfer und Kupferlegierungen</b> . . . . .	<b>91</b>
2.1.1	Körper und Stoff . . . . .	10	3.8.1	Kupfergewinnung . . . . .	91
2.1.2	Bewegung der Körper (Bewegungslehre) . . . . .	13	3.8.2	Allgemeine Eigenschaften und Verwendung . . . . .	92
2.1.3	Kräfte . . . . .	16	3.8.3	Kupfersorten (unlegiert) . . . . .	92
2.1.4	Mechanische Beanspruchung der Werkstoffe . . . . .	20	3.8.4	Niedrig legierte Kupferwerkstoffe . . . . .	93
2.1.5	Aufbau der Stoffe . . . . .	22	3.8.5	Kupfer-Zink-Legierungen (Messing) . . . . .	94
2.1.6	Mechanik der Flüssigkeiten und Gase . . . . .	24	3.8.6	Kupfer-Zinn-Legierungen (Bronze) . . . . .	95
2.1.7	Ausdehnung der Körper beim Erwärmen . . . . .	27	3.8.7	Kupfer-Nickel-Legierungen . . . . .	96
2.1.8	Temperatur . . . . .	28	3.8.8	Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (Neusilber) . . . . .	96
2.1.9	Zustandsänderung der Stoffe . . . . .	29	<b>3.9</b>	<b>Aluminium und Aluminiumlegierungen</b> . . . . .	<b>97</b>
2.1.10	Ausbreitung der Wärme . . . . .	31	3.9.1	Aluminium-Herstellung . . . . .	97
2.1.11	Wärmeenergie . . . . .	32	3.9.2	Allgemeine Eigenschaften und Verwendung . . . . .	98
<b>2.2</b>	<b>Chemische Grundlagen</b> . . . . .	<b>33</b>	3.9.3	Aluminium-Werkstoffgruppen . . . . .	99
2.2.1	Atome . . . . .	34	3.9.4	Nichtaushärtbare Aluminium-Werkstoffe . . . . .	100
2.2.2	Periodensystem der Elemente . . . . .	35	3.9.5	Aushärtbare Al-Knetlegierungen . . . . .	100
2.2.3	Bindungsverhältnisse . . . . .	37	3.9.6	Aluminium-Gusswerkstoffe . . . . .	100
2.2.4	Chemische Formeln und Namen . . . . .	46	<b>3.10</b>	<b>Werkstoffe für Hochtemperatur- und Vakuumtechnik</b> . . . . .	<b>101</b>
2.2.5	Chemische Reaktionen . . . . .	47			
2.2.6	Oxidation, Reduktion, Redoxreaktion . . . . .	48	<b>3.11</b>	<b>Niedrigschmelzende Metalle</b> . . . . .	<b>102</b>
2.2.7	Säuren . . . . .	49	<b>3.12</b>	<b>Legierungsmetalle</b> . . . . .	<b>103</b>
2.2.8	Basen (Laugen) . . . . .	50	<b>3.13</b>	<b>Edelmetalle</b> . . . . .	<b>103</b>
2.2.9	Salze . . . . .	51	<b>3.14</b>	<b>Sinterwerkstoffe</b> . . . . .	<b>104</b>
2.2.10	Kohlenwasserstoffe . . . . .	52	3.14.1	Herstellung von Sinterteilen (Pulvermetallurgie) . . . . .	104
2.2.11	Alkanole (Alkohole) und Alkanale (Aldehyde) . . . . .	56	3.14.2	Typische Verwendung von Sintermetallen . . . . .	105
2.2.12	Carbonsäuren . . . . .	58	3.14.3	Hartmetalle . . . . .	106
2.2.13	Ester . . . . .	58	<b>3.15</b>	<b>Korrosion und Korrosionsschutz</b> . . . . .	<b>107</b>
2.2.14	Organische Stickstoffverbindungen . . . . .	59	3.15.1	Elektrochemische Korrosionsarten . . . . .	107
2.2.15	Tabellarische Übersicht organischer Verbindungen . . . . .	59	3.15.2	Chemische Korrosion . . . . .	110
<b>3</b>	<b>Konstruktionswerkstoffe</b> . . . . .	<b>60</b>	3.15.3	Erscheinungsformen der Korrosion . . . . .	110
			3.15.4	Maßnahmen zur Korrosionsvermeidung . . . . .	111
<b>3.1</b>	<b>Einteilung der Konstruktionswerkstoffe</b> . . . . .	<b>60</b>	3.15.5	Korrosionsschutz von Eisen- und Stahlwerkstoffen . . . . .	111
<b>3.2</b>	<b>Roheisengewinnung</b> . . . . .	<b>62</b>	3.15.6	Korrosion von Kupferwerkstoffen . . . . .	113
<b>3.3</b>	<b>Stahlgewinnung</b> . . . . .	<b>62</b>	3.15.7	Korrosion von Aluminiumwerkstoffen . . . . .	114
<b>3.4</b>	<b>Verarbeitung des Stahls zu Halbzeugen</b> . . . . .	<b>65</b>	3.15.8	Korrosionsverhalten weiterer Werkstoffe . . . . .	114
<b>3.5</b>	<b>Eisen- und Stahl-Konstruktionswerkstoffe</b> . . . . .	<b>68</b>	<b>3.16</b>	<b>Kunststoffe (Plaste)</b> . . . . .	<b>115</b>
3.5.1	Baustähle . . . . .	69	3.16.1	Eigenschaften und Verwendung . . . . .	115
3.5.2	Stähle in Elektromaschinen . . . . .	72	3.16.2	Herstellung und innerer Aufbau . . . . .	116
3.5.3	Werkzeugstähle . . . . .	75	3.16.3	Technologische Einteilung . . . . .	117
3.5.4	Eisen- und Stahl-Gusswerkstoffe . . . . .	76	3.16.4	Thermoplaste . . . . .	118
<b>3.6</b>	<b>Innerer Aufbau der Metalle</b> . . . . .	<b>77</b>	3.16.5	Duroplaste . . . . .	121
3.6.1	Gefüge und kristalline Struktur . . . . .	77	3.16.6	Elastomere (Elaste, Gummi, Kautschuk) . . . . .	122
3.6.2	Kristallgittertypen der Metalle . . . . .	78	3.16.7	Formgebung der Kunststoffe . . . . .	123
3.6.3	Realer kristalliner Aufbau . . . . .	78	<b>3.17</b>	<b>Verbundwerkstoffe</b> . . . . .	<b>125</b>
3.6.4	Kristalline Struktur und Eigenschaften . . . . .	79	3.17.1	Innerer Aufbau . . . . .	125
3.6.5	Gefüge und Eigenschaften . . . . .	80	3.17.2	Verbundwerkstoffe auf Kunststoffbasis . . . . .	125
3.6.6	Gefügearten der Eisen- und Stahl-Werkstoffe . . . . .	81	3.17.3	Trennscheiben, Schleifkörper, Hartmetalle . . . . .	126
3.6.7	Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (EKD) . . . . .	83	3.17.4	Schichtverbundwerkstoffe . . . . .	126
<b>3.7</b>	<b>Wärmebehandlung der Stähle</b> . . . . .	<b>85</b>	<b>3.18</b>	<b>Werkstoffprüfung</b> . . . . .	<b>127</b>
3.7.1	Glühen . . . . .	85	3.18.1	Technologische Eignungsprüfungen . . . . .	127
			3.18.2	Kerbschlagbiegeversuch . . . . .	127
			3.18.3	Zugversuch . . . . .	128

3.18.4	Weitere Festigkeitsprüfungen	129	7.2	<b>Heizleiterwerkstoffe</b>	164
3.18.5	Härteprüfungen	130	7.3	<b>Technische Widerstände</b>	166
3.18.6	Untersuchungen des inneren Aufbaus	131	7.4	<b>Schichtschaltungen</b>	168
<b>4</b>	<b>Hilfsstoffe</b>	<b>132</b>	7.4.1	Dickschicht-Technik	168
4.1	<b>Lotwerkstoffe</b>	132	7.4.2	Dünnschicht-Technik	169
4.1.1	Lötverfahren und Löttemperaturen	132	7.4.3	Hybrid-Technik	170
4.1.2	Vorgänge beim Weichlöten	132	<b>8</b>	<b>Isolierstoffe</b>	<b>171</b>
4.1.3	Kurzbezeichnungen der Lotwerkstoffe	133	8.1	<b>Einteilung und Anforderungen</b>	171
4.1.4	Weichlote	133	8.2	<b>Elektrische Eigenschaften und ihre Messung</b>	172
4.1.5	Hartlote	135	8.2.1	Durchgangswiderstand und spezifischer Durchgangswiderstand	172
4.2	<b>Schmierstoffe und Kühlschmierstoffe</b>	136	8.2.2	Oberflächenwiderstand	172
4.2.1	Schmierstoffe	136	8.2.3	Durchschlagfestigkeit	173
4.2.2	Kühlschmierstoffe	137	8.2.4	Lichtbogenfestigkeit	173
4.3	<b>Klebstoffe</b>	138	8.2.5	Kriechstromfestigkeit	174
4.3.1	Physikalisch abbindende Klebstoffe	138	8.2.6	Elektrostatische Aufladung	174
4.3.2	Reaktionsklebstoffe	139	8.2.7	Permittivität	175
4.3.3	Verarbeiten der Klebstoffe	140	8.2.8	Dielektrischer Verlustfaktor	175
<b>5</b>	<b>Leiterwerkstoffe</b>	<b>141</b>	8.3	<b>Wichtige nichtelektrische Eigenschaften von Isolierstoffen</b>	176
5.1	<b>Elektrische Grundlagen</b>	141	8.4	<b>Feste Isolierstoffe</b>	177
5.1.1	Leitungsvorgang in Metallen	141	8.5	<b>Organische Isolierstoffe</b>	177
5.1.2	Einflüsse auf den Leitungsvorgang	142	8.5.1	Thermoplaste	178
5.1.3	Supraleitung	144	8.5.2	Duroplaste	181
5.2	<b>Leiterwerkstoff Kupfer</b>	145	8.5.3	Elastomere	183
5.2.1	Unlegiertes Kupfer	145	8.6	<b>Anorganische Isolierstoffe</b>	184
5.2.2	Kupferlegierungen	146	8.6.1	Keramik-Isolierstoffe	184
5.3	<b>Leiterwerkstoff Aluminium</b>	148	8.6.2	Glas	186
5.3.1	Unlegiertes Aluminium	148	8.6.3	Glaskeramik	187
5.3.2	Aluminiumlegierungen	149	8.6.4	Glimmer	187
<b>6</b>	<b>Kontaktwerkstoffe</b>	<b>150</b>	8.7	<b>Flüssige Isolierstoffe</b>	188
6.1	<b>Einteilung der Kontakte</b>	150	8.7.1	Allgemeine Anforderungen	188
6.2	<b>Anforderungen an Kontaktwerkstoffe</b>	150	8.7.2	Mineralische Isolieröle	188
6.3	<b>Begriffe der Kontakttechnik</b>	151	8.7.3	Synthetische Isolierflüssigkeiten	189
6.3.1	Kontaktwiderstand	151	8.8	<b>Gasförmige Isolierstoffe</b>	190
6.3.2	Kontaktverschleiß	151	8.8.1	Eigenschaften und Einteilung	190
6.3.3	Kleben und Verschweißen von Kontakten	152	8.8.2	Natürliche Isoliereigenschaften	190
6.4	<b>Eigenschaften von Kontaktwerkstoffen</b>	153	8.8.3	Synthetische Isoliereigenschaften	191
6.4.1	Reine Metalle als Kontaktwerkstoffe	153	<b>9</b>	<b>Halbleiterwerkstoffe</b>	<b>192</b>
6.4.2	Kontaktlegierungen und Sinter-Verbundkontakte	156	9.1	<b>Stromleitung in Metallen und Halbleitern</b>	193
6.5	<b>Schichtverbundkontakte</b>	158	9.1.1	Leitungsvorgang in Metallen	193
6.5.1	Kontaktbimetalle	158	9.1.2	Leitungsvorgang in Halbleitern	193
6.5.2	Thermobimetalle	158	9.1.3	Störstellenleitung	198
6.6	<b>Kohlehaltige Kontaktwerkstoffe (Elektrokohle)</b>	159	9.1.4	Innerer Fotoeffekt	200
<b>7</b>	<b>Widerstandswerkstoffe</b>	<b>161</b>	9.2	<b>Ausgangsstoffe für Halbleiter</b>	201
7.1	<b>Elektrotechnische Grundlagen</b>	161	9.2.1	Elementhalbleiter	201
7.1.1	Spezifischer elektrischer Widerstand	161	9.2.2	Verbindungshalbleiter	202
7.1.2	Spezifische elektrische Leitfähigkeit	161	9.3	<b>Herstellung der wichtigsten Halbleiterwerkstoffe</b>	205
7.1.3	Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes	162	9.3.1	Silicium Si	205
7.1.4	Thermospannung	163	9.3.2	Germanium Ge	205
7.1.5	Anforderungen an Widerstandswerkstoffe	164	9.3.3	Galliumarsenid GaAs	206
			9.3.4	Indiumarsenid InAs	206
			9.3.5	Indiumantimonid InSb	206

9.3.6	Indiumantimonid-Nickelantimonid InSb-NiSb	207	10.9.4	Amorphe Metalle (Metallgläser)	254
<b>9.4</b>	<b>Weiterverarbeiten des Halbleiterwerkstoffs</b>	<b>208</b>	<b>10.10</b>	<b>Magnetisch harte Werkstoffe (Permanentmagnete)</b>	<b>255</b>
9.4.1	Reinigen durch Zonenschmelzen	208	10.10.1	Metallische magnetisch harte Werkstoffe	256
9.4.2	Züchten von Halbleitereinkristallen	210	10.10.2	Seltenerdmetall-Magnete (Se-Legierungen)	258
9.4.3	Dotierverfahren	211	10.10.3	Keramische magnetisch harte Werkstoffe	259
<b>9.5</b>	<b>Anwendungen</b>	<b>217</b>	10.10.4	Kunststoffgebundene Hartferrite	260
9.5.1	Heißleiter	217	<b>10.11</b>	<b>Magnetisch halbharte Werkstoffe</b>	<b>261</b>
9.5.2	Kaltleiter	218	<b>11</b>	<b>Gedruckte Schaltungen und SMD-Technik</b>	<b>262</b>
9.5.3	Spannungsabhängige Widerstände (Varistoren)	219	<b>11.1</b>	<b>Gedruckte Schaltungen</b>	<b>262</b>
9.5.4	Sperrschicht-Bauelemente	219	11.1.1	Basismaterial	262
9.5.5	Optoelektronische Sperrschicht-Bauelemente	219	11.1.2	Erstellen des Leiterbildes	263
9.5.6	Fotowiderstände	220	11.1.3	Herstellung gedruckter Schaltungen	265
9.5.7	Hall-Generatoren	221	11.1.4	Mehrlagen-Leiterplatte (Multilayer)	268
9.5.8	Solarzellen	221	<b>11.2</b>	<b>Oberflächenmontage (SMD-Technik)</b>	<b>269</b>
<b>9.6</b>	<b>Herstellen integrierter Schaltungen</b>	<b>222</b>	11.2.1	Bauelemente zur Oberflächenmontage	269
9.6.1	Reinigen der Oberfläche von Siliciumscheiben	224	11.2.2	Bestückungsverfahren	269
9.6.2	Oxidieren der Siliciumscheiben	226	11.2.3	Lötverfahren bei der SMD-Technik	270
9.6.3	Fotolack (Fotoresist)	228	<b>12</b>	<b>Besondere Werkstoffe der Elektrotechnik</b>	<b>271</b>
9.6.4	Herstellen der Fotomasken	228	<b>12.1</b>	<b>Flüssigkristalle</b>	<b>271</b>
9.6.5	Belichten mit der Fotomaske	229	12.1.1	Flüssigkristall-Anzeigen	271
9.6.6	Abätzen des Siliciumdioxids	231	12.1.2	Ansteuerung und Anwendung von Flüssigkristall-Anzeigen	272
9.6.7	Metallisierung	232	<b>12.2</b>	<b>Solarzellen</b>	<b>273</b>
9.6.8	Endmontage der Chips	233	12.2.1	Herstellung von Solarzellen	274
<b>10</b>	<b>Magnetwerkstoffe</b>	<b>236</b>	12.2.2	Anwendung von Solarzellen	274
<b>10.1</b>	<b>Magnetisches Feld</b>	<b>236</b>	<b>12.3</b>	<b>Lichtwellenleiter</b>	<b>275</b>
<b>10.2</b>	<b>Magnetische Eigenschaften der Stoffe</b>	<b>237</b>	12.3.1	Physikalische Grundlagen der Übertragung von Licht	275
<b>10.3</b>	<b>Magnetisierung ferromagnetischer Stoffe</b>	<b>238</b>	12.3.2	Herstellung von Lichtwellenleitern	276
<b>10.4</b>	<b>Ferrimagnetismus und Antiferromagnetismus</b>	<b>239</b>	12.3.3	Anwendung von Lichtwellenleitern	277
<b>10.5</b>	<b>Elektromagnetismus</b>	<b>240</b>	<b>12.4</b>	<b>Piezoelektrische Werkstoffe</b>	<b>278</b>
10.5.1	Leitermagnetfeld	240	12.4.1	Piezoeffekt	278
10.5.2	Magnetfeld einer Spule	240	12.4.2	Direkter und indirekter Piezoeffekt	279
<b>10.6</b>	<b>Magnetische Größen und Begriffe</b>	<b>241</b>	12.4.3	Werkstoffkennwerte piezoelektrischer Werkstoffe	279
10.6.1	Durchflutung $\Theta$	241	12.4.4	Herstellung piezokeramischer Werkstoffe	280
10.6.2	Magnetische Feldstärke $H$	241	12.4.5	Anwendung piezoelektrischer Keramiken	281
10.6.3	Magnetischer Fluss $\Phi$	241	<b>13</b>	<b>Umweltschutz, Arbeitssicherheit</b>	<b>283</b>
10.6.4	Magnetische Flussdichte $B$	241	<b>13.1</b>	<b>Umweltbelastung bei der Erzeugung der Werkstoffe</b>	<b>283</b>
10.6.5	Permeabilität $\mu$	242	<b>13.2</b>	<b>Umweltbelastungen bei der Fertigung</b>	<b>283</b>
10.6.6	Magnetische Polarisation $J$	243	<b>13.3</b>	<b>Abwasserreinigung eines Elektrobetriebs</b>	<b>285</b>
10.6.7	Hysteresekurve (Ummagnetisierungskennlinie)	243	<b>13.4</b>	<b>Wiederverwertung (Recycling)</b>	<b>285</b>
10.6.8	Energieprodukt bei Dauermagnetwerkstoffen	244	<b>13.5</b>	<b>Entsorgung nicht verwertbarer Werkstoffe</b>	<b>287</b>
10.6.9	Hystereseverluste	245	<b>13.6</b>	<b>Gefährliche Arbeitsstoffe</b>	<b>287</b>
10.6.10	Wirbelstromverluste	245	<b>Firmen-/Bildquellenverzeichnis</b>	<b>289</b>	
10.6.11	Ummagnetisierungsverluste	246	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>290</b>	
10.6.12	Magnetische Scherung	246			
<b>10.7</b>	<b>Entmagnetisierung</b>	<b>247</b>			
10.7.1	Curie-Temperatur	247			
<b>10.8</b>	<b>Magnetostriktion</b>	<b>248</b>			
<b>10.9</b>	<b>Magnetisch weiche Werkstoffe</b>	<b>249</b>			
10.9.1	Magnetisch weiches Eisen und seine Legierungen	249			
10.9.2	Magnetisch weiche Ferrite	252			
10.9.3	Pulververbundwerkstoffe	253			