

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Grundbegriffe der Elektrizität	17
1.1 Atome und Elektronen	17
1.2 Elektrische Ladung – Ladungsträger	18
1.2.1 Neutrale Atome – Atomaufbau	19
1.2.2 Ionen	20
1.3 Elektrischer Strom	21
1.3.1 Elektrische Leiter, Nichtleiter, Halbleiter	21
1.3.1.1 Leiter – Leitungsmechanismus	21
1.3.1.2 Nichtleiter	23
1.3.1.3 Halbleiter	23
1.3.1.4 Lernziel-Test	24
1.3.2 Stromkreis	25
1.3.3 Stromrichtung	25
1.3.3.1 Richtung des Elektronenstromes	25
1.3.3.2 Technische Stromrichtung	26
1.3.4 Stromstärke	27
1.3.5 Elektrizitätsmenge	28
1.3.6 Stromdichte in Leitern	29
1.3.7 Stromarten	30
1.3.8 Wirkungen des elektrischen Stromes	32
1.3.9 Lernziel-Test	34
1.4 Elektrische Spannung	34
1.4.1 Potential	36
1.4.2 Spannungsrichtung	37
1.4.3 Lernziel-Test	38
1.5 Elektrischer Widerstand	38
1.5.1 Spezifischer Widerstand	39
1.5.2 Elektrischer Widerstand von Leitungen	40
1.5.3 Leitwert und Leitfähigkeit	44
1.5.3.1 Lernziel-Test	46
1.5.4 Temperaturabhängigkeit des Widerstandes	47
1.5.4.1 Lernziel-Test	53
2 Stromkreisgesetze	55
2.1 Ohmsches Gesetz	55
2.1.1 Strom-Spannungs-Kennlinien (Widerstandskennlinien)	56
2.1.1.1 Lernziel-Test	58
2.2 Reihenschaltung von Widerständen	59

2.2.1	Unbelasteter Spannungsteiler	63
2.2.2	Vorwiderstand	65
2.2.3	Spannungsfall an Leitungen	66
2.2.3.1	Lernziel-Test	68
2.2.4	Leistungsarten	69
2.2.4.1	Leistungsbezeichnungen	70
2.2.4.2	Kennfarben von Adern bei isolierten Leitungen	71
2.2.4.3	Lernziel-Test	72
2.2.5	Überstrom-Schutzeinrichtungen	72
2.2.5.1	Leitungsschutzsicherungen (Schmelzsicherungen)	73
2.2.5.2	Geräteschutzsicherungen (Feinsicherungen)	73
2.2.5.3	Leitungsschutzschalter	74
2.2.5.4	Lernziel-Test	75
2.2.6	Strombelastbarkeit und Überstrom-Schutzeinrichtungen von Leitungen	76
2.2.6.1	Lernziel-Test	77
2.3	Parallelschaltung von Widerständen	77
2.3.1	Lernziel-Test	83
2.4	Kirchhoffsche Regeln	84
2.4.1	Erste Kirchhoffsche Regel (Knotenregel)	84
2.4.2	Zweite Kirchhoffsche Regel (Maschenregel)	85
2.4.2.1	Lernziel-Test	87
2.5	Gemischte Schaltungen	88
2.5.1	Erweiterte Reihenschaltung	88
2.5.2	Erweiterte Parallelschaltung	89
2.5.3	Belasteter Spannungsteiler	91
2.5.4	Widerstandsbrücke	92
2.5.4.1	Lernziel-Test	93
3	Arbeit und Leistung	95
3.1	Elektrische Arbeit – Energie	95
3.1.1	Zusammenhang zwischen Arbeit und Energie	97
3.2	Elektrische Leistung	98
3.3	Energieumwandlung	100
3.3.1	Einheiten für Energie und Arbeit – Umrechnungen	100
3.3.2	Umwandlungen von elektrischer Energie in Wärme	101
3.4	Wirkungsgrad	103
3.4.1	Lernziel-Test	105
4	Spannungserzeuger	107
4.1	Arten und Prinzip der Spannungserzeugung	107
4.1.1	Spannungserzeugung durch chemische Vorgänge	107
4.1.2	Spannungserzeugung durch Wärme	108
4.1.3	Spannungserzeugung durch Licht	109
4.1.4	Spannungserzeugung durch Verformung von Kristallen	110

4.1.5	Spannungserzeugung durch Induktion	111
4.1.6	Spannungserzeugung durch Reibung	111
4.2	Verhalten von Spannungserzeugern	111
4.2.1	Quellenspannung und Klemmenspannung	111
4.2.1.1	Leerlauf	111
4.2.1.2	Belastung	112
4.2.1.3	Kurzschluß	113
4.2.2	Leistungsanpassung	113
4.2.3	Spannungsanpassung (Konstant-Spannungsquellen)	115
4.2.4	Stromanpassung (Konstant-Stromquellen)	116
4.3	Schaltung von Spannungserzeugern	117
4.3.1	Reihenschaltung	117
4.3.2	Parallelschaltung	118
4.3.2.1	Parallelschaltung ungleicher Spannungsquellen	119
4.4	Lernziel-Test	120
5	Chemische Wirkung des Stromes	123
5.1	Elektrolyse	123
5.2	Technische Anwendung der Elektrolyse	124
5.3	Galvanische Elemente	125
5.3.1	Primärelemente	126
5.3.1.1	Zink-Kohle-Elemente	127
5.3.1.2	Alkali-Braunstein-Zink-Elemente (Alkali-Mangan- Element)	128
5.3.1.3	Quecksilberoxid-Knopfzellen	128
5.3.1.4	Weitere Primärelemente	129
5.4	Sekundärelemente	129
5.4.1	Bleiakkumulator	129
5.4.1.1	Aufbau des Bleiakkumulators	131
5.4.1.2	Kapazität des Akkumulators	132
5.4.1.3	Betrieb des Bleiakkumulators	132
5.4.2	Stahlakkumulator	132
5.4.3	Ladung von Akkumulatoren	133
5.4.4	Vergleich von Stahlakkumulatoren mit Bleiakkumulatoren ..	134
5.5	Elektrochemische Korrosion	134
5.5.1	Elektrochemische Korrosion durch Elementbildung	135
5.5.2	Streustromkorrosion	136
5.6	Lernziel-Test	136
6	Magnetismus	139
6.1	Erscheinungsformen des Magnetismus	139
6.1.1	Magnete	139
6.1.2	Kraftwirkung zwischen Magnetpolen	140
6.1.3	Molekularmagnetismus	140
6.1.4	Magnetfelder	141

6.1.5	Lernziel-Test	144
6.2	Größen und Einheiten des Magnetismus	145
6.2.1	Magnetische Durchflutung (magnetische Urspannung)	145
6.2.2	Magnetische Feldstärke	146
6.2.3	Magnetischer Fluß	147
6.2.4	Magnetische Flußdichte	148
6.2.5	Lernziel-Test	149
6.3	Magnetisches Verhalten von Werkstoffen	150
6.3.1	Magnetischer Widerstand	150
6.3.2	Permeabilität (magnetische Leitfähigkeit)	150
6.3.3	Beziehung zwischen magnetischer Flußdichte und Feldstärke	153
6.3.3.1	Magnetisierungskennlinien	153
6.3.3.2	Ummagnetisierungskennlinie (Hysteresekurve)	155
6.3.3.3	Magnetwerkstoffe	156
6.3.4	Lernziel-Test	158
6.4	Kraftwirkungen im Magnetfeld	159
6.4.1	Kraftwirkung zwischen zwei Magneten	159
6.4.2	Kraftwirkung auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld	160
6.4.3	Kraftwirkung zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern	163
6.4.4	Lernziel-Test	165
6.5	Induktionsvorgänge	166
6.5.1	Induktion der Bewegung (Generatorprinzip)	166
6.5.2	Induktion der Ruhe (Transformatorprinzip)	168
6.5.3	Wirbelströme	171
6.5.3.1	Wirbelströme infolge Induktion der Bewegung	171
6.5.3.2	Wirbelströme infolge Induktion der Ruhe	172
6.5.4	Selbstinduktion	173
6.5.5	Induktivität	175
6.5.6	Lernziel-Test	176
7	Elektrisches Feld mit Kondensator	177
7.1	Elektrisches Feld	177
7.1.1	Elektrische Feldlinien	178
7.1.2	Elektrische Feldstärke	179
7.1.3	Influenz	181
7.1.4	Abschirmung elektrischer Felder	182
7.1.5	Dielektrische Polarisierung	183
7.1.6	Lernziel-Test	184
7.2	Kondensator	184
7.2.1	Laden und Entladen des Kondensators	185
7.2.2	Kapazität und Ladungsmenge	186
7.2.3	Kondensatorarten	189
7.2.3.1	Kondensatoren mit fester Kapazität	190
7.2.3.2	Kondensatoren mit veränderlicher Kapazität	192

7.2.3.3	Beschriftung von Kondensatoren	192
7.2.4	Schaltung von Kondensatoren	193
7.2.4.1	Parallelschaltung von Kondensatoren	193
7.2.4.2	Reihenschaltung von Kondensatoren	194
7.2.5	Lernziel-Test	196
8	Wechselstrom	199
8.1	Grundbegriffe des Wechselstromes	199
8.1.1	Arten von Wechselgrößen	200
8.1.2	Erzeugen einer sinusförmigen Wechselspannung	201
8.1.3	Kennwerte der Sinusspannung	203
8.1.3.1	Amplitude, Augenblickswert	203
8.1.3.2	Periode, Frequenz, Phase	204
8.1.3.3	Kreisfrequenz	206
8.1.3.4	Gleichrichtwert	207
8.1.3.5	Effektivwert	208
8.1.3.6	Grafische Darstellung von Wechselspannungen und Wechselströmen	210
8.1.3.7	Phasenverschiebung	211
8.1.4	Lernziel-Test	212
8.2	Wechselstromwiderstände	213
8.2.1	Ohmscher Widerstand an Wechselspannung (Wirkwiderstand)	213
8.2.2	Spule an Wechselspannung (induktiver Blindwiderstand und Wirkwiderstand)	214
8.2.2.1	Ideale Spule (rein induktiver Blindwiderstand)	215
8.2.3	Scheinwiderstand	218
8.2.4	Kondensator an Wechselspannung (kapazitiver Blindwiderstand)	219
8.2.5	Frequenzabhängigkeit der Wechselstromwiderstände	223
8.2.5.1	Wirkwiderstand	223
8.2.5.2	Induktiver Blindwiderstand	224
8.2.5.3	Kapazitiver Blindwiderstand	224
8.2.6	Lernziel-Test	224
8.3	Schaltung von Wechselstromwiderständen	225
8.3.1	Reihenschaltung von Wirkwiderstand und induktivem Blindwiderstand (Spule)	225
8.3.1.1	Zeigerbild	226
8.3.1.2	Spannungsdreieck	227
8.3.1.3	Widerstandsdreieck	228
8.3.2	Reihenschaltung von Wirkwiderstand und kapazitivem Blindwiderstand	232
8.3.2.1	Zeigerbild	232
8.3.2.2	Spannungsdreieck	232
8.3.2.3	Widerstandsdreieck	233

8.3.3	Reihenschaltung von Wirk-, induktivem und kapazitivem Blindwiderstand	234
8.3.3.1	Zeigerbild, Spannungsdreieck	234
8.3.3.2	Widerstandsdreieck	235
8.3.4	Parallelschaltung von Wirkwiderstand und kapazitivem Blindwiderstand	236
8.3.4.1	Zeigerbild	237
8.3.4.2	Stromdreieck	238
8.3.4.3	Leitwertdreieck	239
8.3.5	Parallelschaltung von Wirk-, induktivem und kapazitivem Blindwiderstand	239
8.3.5.1	Zeigerbild, Stromdreieck	240
8.3.5.2	Leitwertdreieck	241
8.3.6	Lernziel-Test	241
8.4	Resonanz im Wechselstromkreis	242
8.4.1	Spannungsresonanz (Reihenresonanz)	243
8.4.2	Resonanzfrequenz (Thomsonsche Schwingungsformel)	246
8.4.3	Stromresonanz (Parallelresonanz)	247
8.4.4	Lernziel-Test	250
8.5	Leistung und Arbeit bei Wechselstrom	250
8.5.1	Leistung bei Wirklast	250
8.5.2	Leistung bei induktiver Belastung	251
8.5.3	Leistung bei kapazitiver Belastung	252
8.5.4	Leistung bei Belastung durch Wirkwiderstand und induktiven Blindwiderstand	253
8.5.5	Leistungsdreieck – Leistungsgleichungen	254
8.5.6	Leistungsfaktor	256
8.5.7	Arbeit bei Wechselstrom	257
8.5.8	Lernziel-Test	258
9	Dreiphasenwechselstrom – Drehstrom	261
9.1	Erzeugung und Darstellung	261
9.2	Verkettungsschaltungen	262
9.2.1	Sternschaltung	263
9.2.2	Dreieckschaltung	267
9.3	Leistung bei Drehstrom	269
9.4	Drehfeld	272
9.5	Vorteile von Drehstrom gegenüber Wechselstrom	274
9.6	Lernziel-Test	274
10	Transformatoren	277
10.1	Aufbau und Wirkungsweise	277
10.2	Bauformen	278
10.3	Verhalten bei Leerlauf und bei Belastung	279
10.4	Spannungsübersetzung	280

10.5	Stromübersetzung	282
10.6	Übersetzungsverhältnis, Nennübersetzung	283
10.7	Widerstandsübersetzung	284
10.8	Leistung, Verluste und Wirkungsgrad	285
10.8.1	Lernziel-Test	286
10.9	Arten und Verwendung von Transformatoren	287
10.9.1	Spartransformatoren	287
10.9.2	Kleintransformatoren	288
10.9.2.1	Sicherheits- oder Schutztransformatoren	289
10.9.2.2	Spielzeugtransformatoren	290
10.9.2.3	Klingeltransformatoren	290
10.9.2.4	Trenntransformatoren	290
10.9.2.5	Handleuchtentransformatoren	291
10.9.2.6	Netzanschlußtransformatoren	291
10.9.3	Meßwandler	291
10.9.3.1	Spannungswandler	292
10.9.3.2	Stromwandler	292
10.9.4	Lernziel-Test	294
11	Elektrische Meßtechnik	295
11.1	Meßtechnische Grundbegriffe	295
11.1.1	Analoge und digitale Meßgeräte	295
11.1.2	Vor- und Nachteile von Analog- und Digitalanzeigen	295
11.2	Analoge Meßgeräte	296
11.2.1	Meßfehler, Genauigkeitsklassen	296
11.2.2	Empfindlichkeit, Eigenverbrauch, innerer Widerstand	297
11.2.3	Kennzeichnung von Meßgeräten	298
11.2.3.1	Lernziel-Test	298
11.2.4	Meßwerke von analogen Meßgeräten	299
11.2.4.1	Drehheisenmeßwerk	299
11.2.4.2	Drehspulmeßwerk	301
11.2.4.3	Elektrodynamisches Meßwerk	303
11.2.4.4	Elektronenstrahl-Oszilloskop	304
11.2.4.5	Lernziel-Test	307
11.3	Messen mit analogen Meßgeräten	308
11.3.1	Strommessung	308
11.3.2	Spannungsmessung	309
11.3.3	Meßbereichserweiterung	310
11.3.3.1	Meßbereichserweiterung von Spannungsmessern	310
11.3.3.2	Meßbereichserweiterung von Strommessern	312
11.3.3.3	Lernziel-Test	313
11.3.4	Widerstandsmessung	314
11.3.4.1	Indirekte Widerstandsmessung mit Strom- und Spannungsmessgerät	314
11.3.4.2	Direkte Widerstandsmessung mit Widerstandsmesser	315

11.3.4.3	Widerstandsmeßbrücke	315
11.3.5	Leistungsmessung	316
11.3.5.1	Leistungsmessung durch Strom- und Spannungsmessung	316
11.3.5.2	Leistungsmessung mit Leistungsmesser	317
11.3.6	Messung mit Vielfachmeßgeräten (Universal-Meßinstrumente)	317
11.3.7	Lernziel-Test	319
11.4	Digitale Meßgeräte	320
11.4.1	Aufbau und Wirkungsweise von Digitalmeßgeräten	320
11.4.2	Meßfehler, Genauigkeit	321
11.5	Messen mit digitalen Meßgeräten	323
11.5.1	Gleichspannungsmessung	323
11.5.2	Gleichstrommessung	323
11.5.3	Wechselspannungs- und Wechselstrommessung	323
11.5.4	Widerstandsmessung	323
11.5.5	Vielfachmeßgeräte (digitale Multimeter)	323
11.5.6	Leistungsmessung	324
11.5.7	Handhabung von digitalen Multimetern	324
11.5.8	Lernziel-Test	325
11.6	Messen und darstellen mit dem Oszilloskop	325
11.6.1	Bedienungselemente des Oszilloskops	325
11.6.2	Grundeinstellung des Oszilloskops	326
11.6.3	Spannungsdarstellung und -messung	326
11.6.4	Stromdarstellung und -messung	327
11.6.5	Frequenzmessung	327
11.6.6	Darstellung von zwei Größen	328
11.6.7	Lernziel-Test	328
12	Installationsschaltungen (Lichtstromkreise)	329
12.1	Schaltzeichen und Kennbuchstaben	329
12.2	Schaltpläne für Installationsschaltungen	331
12.2.1	Ausschaltung	331
12.2.1.1	Stromlaufplan in zusammenhängender Darstellung	331
12.2.1.2	Stromlaufplan in aufgelöster Darstellung	333
12.2.1.3	Installationsplan	334
12.2.1.4	Übersichtsschaltplan	334
12.2.2	Ausschaltung mit Steckdose	335
12.2.3	Serienschaltung	336
12.2.4	Wechselschaltung	336
12.3	Lernziel-Test	338
13	Elektrische Unfälle und deren Verhütung	339
13.1	Ursachen elektrischer Unfälle	339
13.2	Unfallgefahren des elektrischen Stromes	340
13.3	Maßnahmen bei Stromunfällen	342

13.4	Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Körperströme	342
13.4.1	Schutz gegen direktes Berühren	343
13.4.2	Schutz bei indirektem Berühren	343
13.4.2.1	Fehlerarten	344
13.4.3	Schutzmaßnahmen ohne Schutzleiter	345
13.4.3.1	Schutzisolierung	345
13.4.3.2	Schutzkleinspannung	346
13.4.3.3	Schutztrennung	347
13.4.4	Schutzmaßnahmen mit Schutzleiter	348
13.4.4.1	Leiterarten	348
13.4.4.2	Netzformen	350
13.4.4.3	Schutzmaßnahmen im TN-Netz	350
13.4.4.4	Fehlerstrom(FI)-Schutzeinrichtung	350
13.4.4.5	Schutzmaßnahmen im TT-Netz	353
13.4.4.6	Schutzmaßnahmen im IT-Netz	354
13.5	Schutzklassen	354
13.6	Lernziel-Test	355
14	Photovoltaik (Solarstromtechnik)	357
14.1	Grundelemente der Solarstromtechnik	357
14.1.1	Solarzellen	357
14.1.1.1	Aufbau, Wirkungsweise und Verhalten von Solarzellen	357
14.1.2	Solarmodule	360
14.1.3	Solargeneratoren	360
14.1.4	Bausteine von Solarstromanlagen	361
14.1.4.1	Stromspeicher	361
14.1.4.2	Laderegler	361
14.1.4.3	Wechselrichter	361
14.1.4.4	Schaltzeichen der Bausteine von Solarstromanlagen	361
14.2	Aufbau und Wirkungsweise von Solarstromanlagen	362
14.2.1	Autonome Solarsysteme (Solare Inselfsysteme)	362
14.2.1.1	Direktversorgung von Gleichstromverbrauchern	362
14.2.1.2	Autonome Solarsysteme mit Speicherung	362
14.2.1.3	Autonome Solarsysteme für Wechselstrom	363
14.2.1.4	Autonome Solarsysteme mit Zusatzenergie	364
14.2.2	Netzgekoppelte Solarsysteme	365
14.2.3	Lernzieltest	366
15	Größen, Einheiten und Kurzzeichen	367
15.1	Grundbegriffe	367
15.2	Basisgrößen und Basiseinheiten	368
15.3	Dezimale, Vielfache und Teile von Einheiten	369
15.4	Abgeleitete gesetzliche Einheiten	370
15.5	Lernziel-Test	371

16 Anhang	373
Spezifischer Widerstand, Elektrische Leitfähigkeit, Temperaturkoeffizient	373
17 Lösungen der Lernziel-Tests	375
Stichwortverzeichnis	401