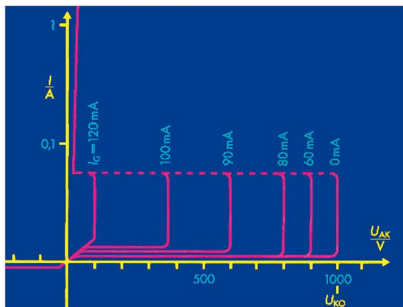


Klaus Beuth / Olaf Beuth

Bauelemente

Elektronik 2



Klaus Beuth/Olaf Beuth

Bauelemente

Klaus Beuth/Olaf Beuth

Bauelemente

20., überarbeitete und erweiterte Auflage

Vogel Buchverlag

Zur Fachbuchgruppe «Elektronik» gehören die Bände:

Klaus Beuth/Olaf Beuth: Elementare Elektronik

Heinz Meister: Elektrotechnische Grundlagen (Elektronik 1)

Klaus Beuth/Olaf Beuth: Bauelemente (Elektronik 2)

Klaus Beuth/Wolfgang Schmusch: Grundsaltungen (Elektronik 3)

Klaus Beuth: Digitaltechnik (Elektronik 4)

Helmut Müller/Lothar Walz: Mikroprozessortechnik (Elektronik 5)

Wolfgang Schmusch: Meßtechnik (Elektronik 6)

Klaus Beuth/Richard Hanebuth/Günter Kurz/Christian Lüders: Nachrichtentechnik (Elektronik 7)

Wolf-Dieter Schmidt: Sensorschaltungstechnik (Elektronik 8)

Olaf Beuth/Klaus Beuth: Leistungselektronik (Elektronik 9)

Weitere Informationen:

www.vogel-buchverlag.de



<http://twitter.com/>



www.facebook.com/vogel.buchverlag



www.vogel-buchverlag.de/rss/buch.rss

E-Book: ISBN 978-3-8343-6198-1

20. Auflage. 2015

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten.
Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form
(Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen
Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des
Verlages reproduziert oder unter Verwendung
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt
oder verbreitet werden.

Hiervon sind die in §§ 53, 54 UrhG ausdrücklich
genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Printed in Germany

Copyright 1975 by Vogel Business Media GmbH & Co KG, Würzburg

Umschlaggestaltung: Michael M. Kappenstein, Frankfurt/M.

Vorwort

Die Elektronik dringt in immer weitere Bereiche unseres beruflichen und privaten Lebens ein. Heute müssen sich Angehörige sehr verschiedenartiger Berufe mit der Elektronik, das heißt mit den elektronischen Bauelementen und den elektronischen Schaltungen, auseinandersetzen. Kraftfahrzeuge, Büromaschinen, Haushaltsgeräte und Uhren – um nur einige Dinge unserer Umwelt zu nennen – enthalten in zunehmendem Maße «Elektronik». Moderne Operationsräume und Praxisräume von Ärzten bekommen eine gewisse Ähnlichkeit mit Elektroniklabors.

Die Entwicklung schreitet auf dem Gebiet der Elektronik außerordentlich rasch voran. Häufige Fortbildung, ein dauerndes Lernen, wird für alle, die in ihrem Beruf Köhner sein und bleiben wollen, zur unumgänglichen Notwendigkeit. Das vorliegende Buch ist das Ergebnis langjähriger Erfahrung, die der Autor in Fachschulen und bei der Durchführung von Erwachsenenfortbildungskursen auf dem Gebiet der Elektronik und Datenverarbeitung gewinnen konnte. Die verhältnismäßig komplizierten Zusammenhänge werden anschaulich und leicht fasslich dargestellt. Viele Abbildungen und Skizzen erleichtern das Verständnis. Auf allzu viel Mathematik wird bewusst verzichtet, denn das Buch wendet sich an den Praktiker. Die für die Praxis wichtigen Stoffinhalte werden ausführlich, die lediglich theoretisch interessierenden Stoffinhalte werden nur kurz behandelt.

Das Buch wurde gründlich überarbeitet. Neuentwickelte Bauelemente werden vorgestellt und die Fortentwicklung bewährter Bauelemente erläutert. Die moderne Elektronik ermöglicht heute Vieles, was man nicht erwartet und nicht für realisierbar gehalten hatte. Vor allem im Bereich der Leuchtdioden und Displays hat sich viel geändert. Zusätzlich wurden die organischen Leuchtdioden (OLED) aufgenommen. Einige Bauelemente haben an Bedeutung verloren. Sie werden nur knapp erwähnt oder weggelassen.

Die einzelnen Abschnitte sind so aufgebaut, dass ein Selbststudium ohne Schwierigkeiten möglich ist, obwohl das Buch in erster Linie als unterrichtsbegleitendes Lernmittel gedacht ist. Ein Lernziel-Test mit Fragen und Aufgaben am Ende eines jeden Kapitels gibt Auskunft über den Lernerfolg und den erreichten Grad des Verstehens. Die Lösungen der Lernziel-Test-Aufgaben sind auf den letzten Buchseiten angegeben.

Studierende verschiedener Fachrichtungen, Ingenieure, Techniker, Meister und Facharbeiter unterschiedlichster Berufe, die über elektrotechnische Grundkenntnisse verfügen, können das Buch mit gutem Erfolg nutzen. Aber auch Mediziner, Biologen, Pharmazeuten und Schüler höherer Schulen, finden hier einen ballastarmen Einstieg in die Elektronik.

Die dargestellten Beispiele und die vorgeführten Berechnungen sind praktischen Anwendungsfällen entnommen.

Waldkirch
Berlin

Klaus Beuth
Olaf Beuth

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Einführung in die Oszillographenmesstechnik	17
1.1 Allgemeines	17
1.2 Aufbau und Arbeitsweise eines Oszilloskops	18
1.3 Bedienung eines Oszilloskops	23
1.4 Lernziel-Test	25
2 Lineare und nichtlineare Widerstände	27
2.1 Allgemeine Eigenschaften	27
2.2 Festwiderstände	29
2.2.1 Eigenschaften von Festwiderständen	29
2.2.2 Bauarten von Festwiderständen	33
2.2.2.1 Schichtwiderstände	33
2.2.2.2 Widerstände in der Mikromodultechnik	35
2.2.2.3 Drahtwiderstände	35
2.3 Einstellbare Widerstände	37
2.3.1 Einstellbare Schichtwiderstände	39
2.3.2 Einstellbare Drahtwiderstände	40
2.3.3 Widerstandskaskaden	40
2.3.4 Elektronische Potentiometer	41
2.4 Temperaturabhängigkeit von Widerständen	43
2.5 Heißeiterwiderstände und Kaltleiterwiderstände	44
2.5.1 Heißeiterwiderstände	44
2.5.1.1 Aufbau und Arbeitsweise	44
2.5.1.2 Kennwerte und Grenzwerte	45
2.5.1.3 Anwendungen	46
2.5.2 Kaltleiterwiderstände	46
2.5.2.1 Aufbau und Arbeitsweise	46
2.5.2.2 Kennwerte und Grenzwerte	47
2.5.2.3 Anwendungen	47
2.6 Spannungsabhängige Widerstände	49
2.6.1 Aufbau und Arbeitsweise	49
2.6.2 Kennwerte und Grenzwerte	50
2.6.3 Anwendungen	52
2.7 Lernziel-Test	53
3 Kondensatoren und Spulen	57
3.1 Kapazität	57
3.2 Kondensatoren	59
3.2.2 Bauarten von Kondensatoren	62
3.2.2.1 Papierkondensatoren, Kunststoffkondensatoren (Folienkondensatoren)	62
3.2.2.2 Metall-Papier-Kondensatoren (MP-Kondensatoren)	63

3.2.2.3	Metall-Kunststoff-Kondensatoren (MK-Kondensatoren)	64
3.2.2.4	Keramikkondensatoren	65
3.2.2.5	Elektrolytkondensatoren	65
3.2.2.6	Einstellbare Kondensatoren	68
3.2.2.7	Superkondensatoren (Supercaps, Powercaps)	69
3.3	Kondensator im Gleichstromkreis	71
3.3.1	Kondensatorladung	71
3.3.2	Kondensatorenergie	73
3.3.3	Kondensatorentladung	73
3.4	Kondensator im Wechselstromkreis	74
3.4.1	Durchlass von Wechselstromschwingungen	74
3.4.2	Kapazitiver Blindwiderstand	75
3.4.3	Phasenverschiebung und Zeigerdiagramm	76
3.4.4	Verlustfaktor und Verlustwinkel	76
3.5	Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren	77
3.5.1	Reihenschaltung	77
3.5.2	Parallelschaltung	78
3.6	Spulen	79
3.6.1	Induktivität	79
3.6.2	Bauarten von Spulen	81
3.6.2.1	Luftspulen	81
3.6.2.2	Eisenkernspulen	82
3.7	Spule im Gleichstromkreis	83
3.7.1	Magnetfeldaufbau (Einschaltvorgang)	83
3.7.2	Spulenenergie	85
3.7.3	Magnetfeldabbau (Ausschaltvorgang)	85
3.8	Spule im Wechselstromkreis	86
3.8.1	Auf- und Abbau des Magnetfeldes	86
3.8.2	Phasenverschiebung und Zeigerdiagramm	87
3.8.3	Induktiver Blindwiderstand	87
3.8.4	Verlustfaktor und Güte	88
3.8.5	Wickeln von Spulen	89
3.9	Reihen- und Parallelschaltung von Spulen	91
3.9.1	Reihenschaltung	91
3.9.2	Parallelschaltung	92
3.10	Lernziel-Test	94
4	Frequenzabhängige Zwei- und Vierpole	97
4.1	Allgemeines	97
4.1.1	Zweipole	97
4.1.2	Vierpole	97
4.2	Reihenschaltung von R und C	97
4.3	Reihenschaltung von R und L	98
4.4	RC-Glied	99
4.5	CR-Glied	101
4.6	RL-Glied	103
4.7	LR-Glied	105

4.8	Schwingkreise	106
4.8.1	Reihenschaltung von R , L und C	106
4.8.2	Reihenschwingkreise	108
4.8.3	Parallelschaltung von R , L und C	112
4.8.4	Parallelschwingkreise	114
4.9	RC-Glied als Integrierglied	118
4.9.1	Arbeitsweise	118
4.9.2	Integrationsvorgang	119
4.9.3	Einfluss des speisenden Generators	120
4.10	CR-Glied als Differenzglied	120
4.10.1	Arbeitsweise	120
4.10.2	Differentiationsvorgang	122
4.10.3	Einfluss des speisenden Generators	123
4.11	Lernziel-Test	123
5	Halbleiterdioden	125
5.1	Halbleiterwerkstoffe	125
5.2	Aufbau eines Halbleiterkristalls	126
5.3	Eigenleitfähigkeit	128
5.4	n-Silizium	128
5.5	p-Silizium	130
5.6	pn-Übergang	132
5.6.2	pn-Übergang mit äußerer Spannung	135
5.7	Arbeitsweise von Halbleiterdioden	138
5.7.1	Einkristall-Halbleiterdioden	138
5.7.2	Vielkristall-Halbleiterdioden	143
5.8	Schaltverhalten von Halbleiterdioden	144
5.9	Temperaturverhalten von Halbleiterdioden	146
5.10	Halbleiterdioden als Gleichrichter	147
5.10.1	Einweg-Gleichrichterschaltung (Einpuls-Mittelpunktschaltung M 1)	147
5.10.2	Mittelpunkts-Zweiweg-Gleichrichterschaltung (Zweipuls-Mittelpunktschaltung M 2)	150
5.10.3	Brücken-Zweiweg-Gleichrichterschaltung (Zweipuls-Brückenschaltung B 2)	150
5.11	Halbleiterdioden als Schalter	152
5.12	Bauarten von Halbleiterdioden	153
5.12.1	Flächendioden	153
5.12.2	Spitzendioden	154
5.12.3	Leistungsdioden (Gleichrichter)	155
5.13	Prüfen von Halbleiterdioden	156
5.14	Kennwerte und Grenzwerte	157
5.15	Lernziel-Test	159
6	Halbleiterdioden mit speziellen Eigenschaften	161
6.1	Z-Dioden	161
6.1.1	Allgemeines	161
6.1.2	Zenereffekt	161

6.1.3	Lawineneffekt	162
6.1.4	Durchbruchverhalten	162
6.1.5	Regeneration der Sperrschicht	163
6.1.6	Kennlinien, Kennwerte, Grenzwerte	163
6.1.7	Anwendungen	168
6.1.8	Temperaturkompensation	169
6.2	Kapazitätsdioden	170
6.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	170
6.2.2	Kennlinien, Kennwerte, Grenzwerte	172
6.2.3	Anwendungen	174
6.3	Tunneldioden (Esakidioden)	175
6.3.1	Aufbau und Arbeitsweise	175
6.3.2	Kennwerte und Grenzwerte	177
6.3.3	Anwendungen	177
6.4	Backwarddioden	178
6.5	PIN-Dioden	179
6.5.1	Aufbau und Arbeitsweise	179
6.5.2	Kennwerte und Grenzwerte	181
6.5.3	Anwendungen	182
6.6	Schottky-Dioden (Hot-Carrier-Dioden)	182
6.6.1	Aufbau und Arbeitsweise	182
6.6.2	Kennwerte und Grenzwerte	183
6.6.3	Anwendungen	184
6.7	Lernziel-Test	184
7	Bipolare Transistoren	187
7.1	Allgemeines	187
7.2	Arbeitsweise von pnp-Transistoren	187
7.3	Arbeitsweise von npn-Transistoren	192
7.4	Spannungen und Ströme beim Transistor	194
7.5	Kennlinienfelder und Kennwerte (Emittergrundsaltung)	197
7.5.1	Eingangskennlinienfeld	197
7.5.2	Ausgangskennlinienfeld	199
7.5.3	Stromsteuerungskennlinienfeld	200
7.5.4	Rückwirkungskennlinienfeld	202
7.5.5	Vierquadrantenkennlinienfeld	203
7.6	Wahl des Transistorarbeitspunktes	203
7.7	Steuerung des Transistors	207
7.8	Restströme, Sperrspannungen und Durchbruchspannungen	211
7.8.1	Restströme	211
7.8.2	Sperrspannungen	214
7.8.3	Durchbruchspannungen	214
7.9	Übersteuerungszustand und Sättigungsspannungen	214
7.10	Transistorverlustleistung	216
7.10.1	Verlustleistung und Verlusthyperbel	216
7.10.2	Kühlung von Transistoren	218
7.11	Temperatureinfluss und Arbeitspunktstabilisierung	220
7.12	Transistorrauschen	221

7.12.1	Ursachen des Rauschens	221
7.12.2	Widerstandsrauschen	222
7.12.3	Rauschzahl und Rauschmaß	223
7.13	Transistordaten	225
7.13.1	Kennwerte	226
7.13.1.1	Signalkennwerte	226
7.13.1.2	Gleichstromverhältnis	226
7.13.1.3	Restströme und Durchbruchspannungen	226
7.13.1.4	Sperrschichtkapazitäten	227
7.13.1.5	Grenzfrequenzen	227
7.13.1.6	Wärmewiderstände	227
7.13.1.7	Rauschmaß	228
7.13.1.8	Transistor-Schaltzeiten	228
7.13.2	Grenzwerte	228
7.13.2.1	Höchstzulässige Sperrspannungen	228
7.13.2.2	Höchstzulässige Ströme	228
7.13.2.3	Höchstzulässige Verlustleistungen	229
7.13.2.4	Höchstzulässige Temperaturen	229
7.13.3	Datenblätter	229
7.14	Anwendungen	230
7.14.1	Transistorschalterstufen	230
7.14.2	Transistorverstärker	231
7.14.2.1	Einstufige Verstärker	231
7.14.2.2	Mehrstufige Verstärker	233
7.14.3	Verstärker-Grundsaltungen	235
7.15	Lernziel-Test	236
8	Unipolare Transistoren	239
8.1	Sperrschicht-Feldeffekttransistoren (JFET)	239
8.1.1	Aufbau und Arbeitsweise	239
8.1.2	Kennlinien, Kennwerte, Grenzwerte	244
8.1.3	Anwendungen	248
8.2	MOS-Feldeffekttransistoren (IG-FET)	249
8.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	250
8.2.1.1	Allgemeines	250
8.2.1.2	Anreicherungstyp	251
8.2.1.3	Verarmungstyp	251
8.2.1.4	Sperrschichtaufbau und Kanalabschnürung	252
8.2.2	Kennlinien, Kennwerte, Grenzwerte	254
8.2.3	Temperaturabhängigkeit	258
8.2.4	Verlustleistung	259
8.2.5	Anwendungen	260
8.2.5.1	Sourceschaltung	260
8.2.5.2	Drainschaltung	262
8.2.5.3	Gateschaltung	264
8.3	Dual-Gate-MOS-FET	264
8.4	Unijunctiontransistoren (UJT)	265
8.5	Lernziel-Test	269

9	Integrierte Schaltungen	271
9.1	Allgemeines	271
9.2	Integrationstechniken	272
9.2.1	Monolithtechnik (Halbleiterblocktechnik)	272
9.2.2	Hybridtechnik	275
9.2.2.1	Dünnschichttechnik	275
9.2.2.2	Dickschichttechnik	276
9.3	Analoge und digitale integrierte Schaltungen	277
9.3.1	Digitale IC	277
9.3.2	Analoge IC	279
9.4	Integrationsgrad und Packungsdichte	279
9.5	Vor- und Nachteile integrierter Schaltungen	280
9.6	Nanotechnik	281
9.6.1	Ergebnisse der Nanotechnik	281
9.6.2	Festkörperspeicher in Nanotechnik	281
9.7	Operationsverstärker	282
9.7.1	Einführung	282
9.7.2	Aufbau und Arbeitsweise	283
9.7.3	Idealer Operationsverstärker	286
9.7.4	Realer Operationsverstärker	287
9.7.5	Anwendungen	288
9.8	Lernziel-Test	289
10	Thyristoren	291
10.1	Vierschichtdioden (Thyristordioden)	291
10.1.1	Aufbau und Arbeitsweise	291
10.1.2	Kennwerte und Grenzwerte	294
10.1.3	Anwendungen	295
10.2	Thyristoren (rückwärtssperrende Thyristortrioden)	296
10.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	296
10.2.2	Schaltverhalten	302
10.2.3	Kennwerte und Grenzwerte	305
10.2.4	Anwendungen	307
10.2.4.1	Thyristor im Wechselstromkreis	307
10.2.4.2	Thyristor im Gleichstromkreis	310
10.3	Thyristortetroden	311
10.3.1	Aufbau und Arbeitsweise	311
10.3.2	Kennwerte und Grenzwerte	312
10.3.3	Anwendungen	312
10.4	GTO-Thyristoren	313
10.4.1	Aufbau und Arbeitsweise	313
10.4.2	Kennwerte und Grenzwerte	314
10.4.3	Anwendungen	316
10.5	Lernziel-Test	316
11	Diac und Triac	319
11.1	Diac	319
11.1.1	Zweirichtungsdioden	319

11.1.1.1	Aufbau und Arbeitsweise	319
11.1.1.2	Kennwerte und Grenzwerte	320
11.1.2	Zweirichtungs-Thyristordioden	321
11.1.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	321
11.1.2.2	Kennwerte und Grenzwerte	322
11.1.3	Anwendung von Diac	322
11.2	Triac	322
11.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	322
11.2.2	Triggermodes	325
11.2.3	Kennwerte und Grenzwerte	326
11.3	Steuerungen mit Diac und Triac	328
11.4	Lernziel-Test	331
12	Fotohalbleiter	333
12.1	Innerer fotoelektrischer Effekt	333
12.2	Fotowiderstände	334
12.2.1	Aufbau und Arbeitsweise	334
12.2.2	Kennwerte und Grenzwerte	335
12.2.3	Anwendungen	336
12.3	Fotoelemente und Solarzellen	336
12.3.1	Aufbau und Arbeitsweise	336
12.3.1.1	Silizium-Fotoelemente	337
12.3.1.2	Selen-Fotoelemente	342
12.3.2	Kennwerte und Grenzwerte	344
12.3.3	Anwendungen	344
12.4	Fotodioden	345
12.4.1	Aufbau und Arbeitsweise	345
12.4.2	Kennwerte und Grenzwerte	346
12.4.3	Anwendungen	347
12.5	Fototransistoren	347
12.5.1	Aufbau und Arbeitsweise	347
12.5.2	Kennwerte und Grenzwerte	348
12.5.3	Anwendungen	349
12.6	Fotothyristoren, Fotothyristortetroden	349
12.6.1	Aufbau und Arbeitsweise	349
12.6.2	Kennwerte und Grenzwerte	351
12.6.3	Anwendungen	351
12.7	Leuchtdioden (LED)	352
12.7.1	Grundlagen	352
12.7.2	Aufbau und Arbeitsweise	353
12.7.3	Technologie der LED	355
12.7.4	Bauformen	356
12.7.5	Versorgungsschaltungen	357
12.7.6	LED-Farben	359
12.7.7	Anwendungen	360
12.7.8	Wirkungsgrad	361
12.7.9	Lebensdauer, Temperatureinflüsse	361
12.7.10	Vorteile / Nachteile zu konventionellen Leuchtmitteln	361

12.7.11 Kennwerte und Grenzwerte	362
12.7.12 Organische Leuchtdioden (OLED)	362
12.8 Halbleiterlaser	367
12.9 Lichtwellenleiter	368
12.10 Opto-Koppler	371
12.10.1 Aufbau und Arbeitsweise	371
12.10.2 Kennwerte und Grenzwerte	373
12.10.3 Anwendungen	373
12.11 Lernziel-Test	374
13 Halbleiterbauelemente mit speziellen Eigenschaften	375
13.1 Hallgeneratoren	375
13.1.1 Halleffekt	375
13.1.2 Hallspannung	376
13.1.3 Aufbau	376
13.1.4 Kennwerte und Grenzwerte	377
13.1.5 Anwendungen	378
13.2 Feldplatten	379
13.2.1 Aufbau	379
13.2.2 Widerstandsänderung	380
13.2.3 Kennwerte und Grenzwerte	381
13.2.4 Anwendungen	381
13.3 Magnetdioden	382
13.3.1 Aufbau	382
13.3.2 Widerstandsänderung	383
13.3.3 Kennwerte und Grenzwerte	383
13.3.4 Anwendungen	383
13.4 Druckabhängige Halbleiterbauelemente	384
13.4.1 Piezoeffekt	384
13.4.2 Piezohalbleiter	385
13.5 Flüssigkristall-Bauteile	385
13.5.1 Flüssige Kristalle, Liquid Crystal Device, LCD	385
13.5.2 Aufbau von Anzeigebauteilen	386
13.5.3 Anwendungen	389
13.6 Thin-Film-Transistor(TFT)-LCD-Bildschirme	389
13.7 Plasma-Displays (PDP, Plasma Display Panel)	392
13.8 Lernziel-Test	393
14 Elektronen- und Ionenröhren	395
14.1 Thermoemission	395
14.2 Röhrendiode (Zweipolröhre, Vakuumdiode)	395
14.3 Triode (Dreipolröhre)	397
14.3.1 Kennlinien	397
14.3.2 Kennwerte	398
14.3.3 Anodenrückwirkung	399
14.3.4 Spannungsverstärkung	401
14.3.5 Anodenverlustleistung	402
14.4 Tetrode (Vierpolröhre)	402

14.5	Pentode (Fünfpolröhre)	403
14.5.1	Kennlinien	403
14.5.2	Kennwerte	404
14.5.3	Spannungsverstärkung	405
14.5.4	Vor- und Nachteile der Pentode gegenüber der Triode	406
14.6	Elektronenstrahlröhren	407
14.6.1	Strahlerzeugungssystem	407
14.6.2	Strahlbündelungssystem	408
14.6.3	Strahlablesystem	409
14.6.4	Leuchtschirm	411
14.6.5	Stromkreis der Elektronenstrahlröhren	411
14.7	Ionenröhren	412
14.7.1	Stoßionisation	412
14.7.2	Gasdiode	413
14.7.3	Glimmröhren	414
14.7.3.1	Aufbau und Arbeitsweise	414
14.7.3.2	Anwendungen	415
14.8	Fotozellen	416
14.8.1	Fotoemission	416
14.8.2	Aufbau und Arbeitsweise	417
14.8.2.1	Vakuumfotozellen	417
14.8.2.2	Gasfotozellen	419
14.9	Lernziel-Test	420
15	Lösungen der Lernziel-Tests	421
	Anhang Datenblätter	431
	Glossar	440
	Stichwortverzeichnis	441