

---

Leonhard Stiny

# Passive elektronische Bauelemente

Aufbau, Funktion, Eigenschaften,  
Dimensionierung und Anwendung

3., überarbeitete Auflage



Springer Vieweg

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Begriffsdefinitionen</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Material: Eigenschaften und Klassifizierung</b> . . . . .	<b>7</b>
2.1	Metalle . . . . .	7
2.1.1	Elektrische Eigenschaften der Metalle . . . . .	8
2.1.2	Metallische Leiter bei hohen Frequenzen . . . . .	11
2.1.3	Thermische Eigenschaften der Metalle . . . . .	13
2.2	Flüssigkeiten . . . . .	15
2.3	Gase . . . . .	16
2.4	Halbleiter . . . . .	16
2.5	Nichtleiter (Isolatoren) . . . . .	17
2.6	Zusammenfassung . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Festwiderstände</b> . . . . .	<b>19</b>
3.1	Klassifizierung von Widerständen . . . . .	19
3.2	Eigenschaften von Widerständen . . . . .	20
3.2.1	Begriffsdefinitionen . . . . .	21
3.2.2	Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen . . . . .	27
3.3	Widerstandswerte . . . . .	28
3.4	Wertekennzeichnung von Widerständen . . . . .	31
3.4.1	Kennzeichnung von Widerständen durch Farbcode . . . . .	31
3.4.2	Kennzeichnung von Widerständen durch Klartext . . . . .	33
3.4.3	Kennzeichnung von SMD-Widerständen . . . . .	34
3.5	Bauformen von Festwiderständen . . . . .	38
3.5.1	Drahtwiderstände . . . . .	38
3.5.1.1	Aufbau und Eigenschaften von Drahtwiderständen . . . . .	38
3.5.1.2	Ausführungen von Drahtwiderständen . . . . .	39
3.5.1.3	Temperaturabhängigkeit des Widerstandswertes . . . . .	41
3.5.1.4	Frequenzabhängigkeit von Drahtwiderständen . . . . .	42
3.5.2	Massewiderstände . . . . .	44

3.5.3	Kohleschichtwiderstände . . . . .	45
3.5.3.1	Einsatzbereiche und allgemeine Daten . . . . .	45
3.5.3.2	Allgemeines zur Herstellung . . . . .	46
3.5.3.3	Spezielle Herstellverfahren . . . . .	47
3.5.4	Metallschichtwiderstände (Metallfilmwiderstände) . . . . .	48
3.5.4.1	Metalloxid-Schichtwiderstände . . . . .	48
3.5.4.2	Edelmetall-Schichtwiderstände . . . . .	48
3.5.4.3	Metallschichtwiderstände mit Metall-Legierungen . . . . .	48
3.5.4.4	Metallglasur-Widerstände . . . . .	49
3.5.5	SMD-Widerstände . . . . .	50
3.5.5.1	Aufbauformen von SMD-Widerständen . . . . .	50
3.5.5.2	HF-Eigenschaften von SMD-Widerständen . . . . .	54
3.5.5.3	Impulsbelastung bei SMD-Widerständen . . . . .	58
3.6	Widerstandsnetzwerke . . . . .	60
3.6.1	Einsatzbereiche . . . . .	60
3.6.2	Ausführungsformen . . . . .	61
3.6.3	Eigenschaften und Aufbau . . . . .	62
3.7	Zusammenfassung . . . . .	64
<b>4</b>	<b>Veränderbare Widerstände, Potenziometer . . . . .</b>	<b>67</b>
4.1	Veränderbarer Widerstand . . . . .	67
4.2	Grundprinzip des Potenziometers . . . . .	68
4.3	Industrieller Einsatz von Potenziometern . . . . .	72
4.3.1	Einsatzbereiche . . . . .	72
4.3.2	Widerstandselemente . . . . .	72
4.3.2.1	Draht als Widerstandselement . . . . .	72
4.3.2.2	Widerstandselement in Hybridtechnik . . . . .	73
4.3.2.3	Leitender Kunststoff als Widerstandselement . . . . .	73
4.3.3	Mechanische Drehwinkel . . . . .	73
4.3.3.1	Mehrwendelpotenziometer . . . . .	73
4.3.3.2	Präzisionspotenziometer mit einer mechanischen Umdrehung (360° Drehwinkel) . . . . .	74
4.3.4	Mechanische Bauformen . . . . .	74
4.3.4.1	Einlochbefestigung . . . . .	74
4.3.4.2	Präzisionspotenziometer mit Synchroflansch (Servoflansch- und Kugellager) . . . . .	75
4.4	Begriffsdefinitionen zum Potenziometer . . . . .	76
4.4.1	Allgemeine Begriffe . . . . .	76
4.4.2	Potenziometer-Betätigung . . . . .	77
4.4.3	Klimatische Prüfklasse . . . . .	78
4.4.4	Nennwerte und Eigenschaften . . . . .	79

4.4.5	Zusammenhang zwischen Widerstandswert und Einstellbewegung	82
4.4.6	Spannungsverhältnisse	84
4.4.7	Funktionsverlauf (Widerstandswertverlauf)	85
4.4.8	Weitere Eigenschaften	87
4.4.9	Wellenenden, Befestigungsmittel und Anschlüsse	88
4.4.10	Vorzugswerte für den Gesamtwiderstand	89
4.4.11	Kennzeichnung der Potenziometer	89
4.5	Zusammenfassung	89
<b>5</b>	<b>Veränderliche, nichtlineare Widerstände</b>	<b>91</b>
5.1	NTC-Widerstand, Heißleiter	92
5.1.1	Einsatzbereiche des Heißleiters	92
5.1.2	Herstellung von Heißleitern, Leitungsmechanismus	94
5.1.3	Widerstandskennlinie	95
5.1.4	Temperaturkoeffizient	101
5.1.5	Spannungs-Stromkennlinie	102
5.1.6	Zeitkonstante	105
5.1.7	Datenblattangaben	106
5.1.8	Wichtiger Hinweis zur Anwendung von NTCs	107
5.1.9	Anwendung: Temperaturmessung	108
5.1.10	Anwendung: Linearisierung der NTC-Widerstandskennlinie	109
5.1.11	Anwendung: Einschaltstrombegrenzung	110
5.1.12	Anwendung: Flüssigkeits-Niveaufühler	111
5.1.13	Anwendung: Ansprechverzögerung	111
5.2	PTC-Widerstand, Kaltleiter	112
5.2.1	Einsatzbereiche des Kaltleiters	113
5.2.2	Herstellung von Kaltleitern, Leitungsmechanismus	114
5.2.3	Widerstandskennlinie	115
5.2.4	Temperaturkoeffizient	116
5.2.5	Strom-Spannungs-Kennlinie	117
5.2.6	Spannungs- und Frequenzabhängigkeit des PTC-Widerstand	119
5.2.7	Anwendung: Temperaturfühler	119
5.2.8	Anwendung: Strömungsmesser und Flüssigkeits-Niveaufühler	120
5.2.9	Anwendung: Selbstregelnder Thermostat	120
5.2.10	Anwendung: Überstromsicherung	121
5.3	VDR-Widerstand, Varistor	122
5.3.1	Einsatzbereiche des Varistors	122
5.3.2	Herstellung von Varistoren, Leitungsmechanismus	123
5.3.3	Strom-Spannungs-Kennlinie	124

5.3.4	Begriffsdefinitionen und Datenblattangaben	127
5.3.5	Hinweis zur Anwendung von Varistoren	129
5.3.6	Anwendung: Überspannungsschutz	129
5.4	LDR-Widerstand, Fotowiderstand	130
5.4.1	Einsatzbereiche des Fotowiderstandes	131
5.4.2	Herstellung von Fotowiderständen, Leitungsmechanismus	132
5.4.3	Widerstandskennlinie	136
5.4.4	Dynamische Eigenschaften	138
5.4.5	Kennwerte, Datenblattangaben	138
5.4.6	Anwendung, Prinzipschaltung	140
5.4.7	Zusammenfassung	141
<b>6</b>	<b>Durch Dehnung veränderbarer Widerstand</b>	<b>143</b>
6.1	Dehnungsmessstreifen, allgemeines	143
6.2	Einsatzbereiche des Dehnungsmessstreifens	144
6.3	DMS Aufbau	146
6.3.1	Grundkonstruktion	146
6.3.2	Draht-DMS	148
6.3.3	Folien-DMS	148
6.3.4	Halbleiter-DMS	150
6.3.5	Röhrchen-DMS	150
6.4	DMS Funktionsprinzip	151
6.5	Kenndaten	151
6.6	Messverfahren, Brückenschaltungen	154
6.6.1	Viertelbrücke	157
6.6.2	Halbbrücke	158
6.6.3	Vollbrücke	159
6.7	Zusammenfassung	161
<b>7</b>	<b>Magnetfeldabhängiger Widerstand</b>	<b>163</b>
7.1	Feldplatte	163
7.2	Kennlinien	164
7.3	Einsatzbereiche der Feldplatte	165
7.4	Aufbau, Wirkungsweise	165
7.5	Ausführungsformen	167
7.6	Permalloy-Sensoren	168
7.7	Zusammenfassung	169
<b>8</b>	<b>Kondensatoren</b>	<b>171</b>
8.1	Wirkungsweise und Eigenschaften von Kondensatoren	171
8.1.1	Allgemeines	171
8.1.2	Kondensator im Gleichstromkreis	172

8.1.3	Kondensator laden und entladen	173
8.1.4	Kondensator im Wechselstromkreis	175
8.1.5	Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren	176
8.2	Dielektrische Stoffe	177
8.2.1	Allgemeine Eigenschaften der Dielektrika	177
8.2.2	Dielektrische Polarisierung	179
8.2.2.1	Elektronenpolarisation	179
8.2.2.2	Ionenpolarisation	180
8.2.2.3	Orientierungspolarisation	180
8.2.2.4	Frequenzabhängigkeit von $\epsilon_r$	180
8.2.2.5	Temperaturabhängigkeit von $\epsilon_r$	180
8.2.3	Einteilung der Dielektrika	181
8.2.3.1	Unpolare Stoffe	181
8.2.3.2	Polare Stoffe	181
8.2.3.3	Ferroelektrika	182
8.2.3.4	Piezoelektrische Werkstoffe	183
8.2.3.5	Kunststoffe	183
8.3	Elektrische Leitfähigkeit	185
8.3.1	Volumenleitfähigkeit	186
8.3.2	Oberflächenleitfähigkeit	186
8.4	Dielektrischer Durchschlag	187
8.5	Dielektrika im elektrischen Wechselfeld	189
8.6	Spezielle Eigenschaften dielektrischer Stoffe	192
8.7	Allgemeine Eigenschaften des technischen Kondensators	194
8.8	Wichtige Kenngrößen eines Kondensators	198
8.9	Zusammenfassung	200
8.10	Kennzeichnung von Kondensatoren	203
8.10.1	Angabe der Nennkapazität	203
8.10.2	Angabe der Toleranz	205
8.10.3	Angabe der Nennspannung	205
8.10.4	Temperatur- und Toleranzangaben	206
8.10.5	Kennzeichnung des Außenbelages	207
8.11	Bauarten und Bauformen von Kondensatoren	207
8.11.1	Folienkondensatoren (Wickelkondensatoren)	208
8.11.1.1	Herstellung von Folienkondensatoren	209
8.11.1.2	Aufbau von Folienkondensatoren	210
8.11.1.3	Papierkondensator	212
8.11.1.4	Metallpapier-Kondensator (MP-Kondensator)	213
8.11.1.5	Kunststofffolienkondensator	214
8.11.1.6	Eigenschaften der Kunststofffolien, Anwendungsgebiete der Kondensatoren	217
8.11.1.7	KS- und KP-Kondensatoren im Detail	219

8.11.1.8	MK-Kondensatoren im Detail	222
8.11.1.9	Eigenschaften und Anwendungsgebiete von MK-Kondensatoren im Überblick	227
8.11.2	Elektrolytkondensator	229
8.11.2.1	Allgemeines zu Elektrolytkondensatoren	229
8.11.2.2	Aluminium-Elektrolytkondensatoren	230
8.11.2.3	Tantal-Folien-Elektrolytkondensatoren	240
8.11.3	Massekondensatoren	243
8.11.3.1	Keramikkondensatoren	243
8.11.3.2	Tantal-Sinter-Elektrolytkondensatoren	251
8.11.3.3	Niob-Elektrolytkondensatoren	252
8.11.3.4	Glaskondensatoren	253
8.11.4	Schichtkondensatoren	254
8.11.4.1	Keramik-Vielschicht-Kondensatoren	254
8.11.4.2	Dick- und Dünnschicht-Kondensatoren	254
8.11.4.3	Glimmerkondensatoren	255
8.11.5	Doppelschicht-Kondensatoren	255
8.11.6	Veränderbare Kondensatoren	257
8.12	Zusammenfassung	259
8.13	Kapazitäten von Leitern und Aufbauten	261
8.13.1	Kugel über einer unendlichen, leitenden und geerdeten Ebene	261
8.13.2	Gerader Draht parallel zur Erde	262
8.13.3	Zwei koaxiale Zylinder, konzentrische Rohrleitung	262
8.13.4	Paralleldrahtleitung	263
8.13.5	Durchführung	263
8.13.6	Kapazität einer Kugel	263
8.13.7	Kapazität von zwei Kugeln mit gleichem Radius	264
8.13.8	Kugelkondensator	264
8.13.9	Via (Durchkontaktierung Leiterplatte)	264
<b>9</b>	<b>Induktivitäten</b>	267
9.1	Wirkungsweise und Eigenschaften von Induktivitäten	267
9.1.1	Allgemeines	267
9.1.2	Grundlagen des Magnetismus	268
9.1.3	Elektromagnetismus	270
9.1.4	Wirkungsweise der Spule	271
9.1.4.1	Magnetwirkung des Stromes	271
9.1.4.2	Durchflutung	272
9.1.4.3	Magnetische Feldstärke	272
9.1.4.4	Magnetische Flussdichte	272
9.1.4.5	Magnetischer Fluss	275

9.1.4.6	Induktion	276
9.1.4.7	Kraft auf stromdurchflossene Leiter	278
9.1.4.8	Selbstinduktion	280
9.1.4.9	Induktivität	280
9.1.4.10	Induktive Kopplung	280
9.1.4.11	Induktiver Widerstand	281
9.1.5	Aufbau der Spule	282
9.1.5.1	Luftspule	282
9.1.5.2	Spule mit Kern	282
9.1.6	Kenngrößen von Spulen	287
9.1.7	Eigenkapazität der Spule	288
9.1.8	Elektrisches Verhalten von Induktivitäten	289
9.1.8.1	Selbstinduktion	289
9.1.8.2	Ein- und Ausschalten von Gleichspannung an einer Spule	290
9.1.8.3	Spule im Wechselstromkreis	292
9.1.9	Reihen- und Parallelschaltung von Spulen	293
9.2	Zusammenfassung	294
9.3	Dimensionierung von Spulen, Induktivitätswerte	295
9.3.1	$A_L$ -Wert	295
9.3.2	Zylinderspule, einlagig, mit und ohne Kern	296
9.3.3	Zylinderspule, einlagig, ohne Kern	296
9.3.4	Zylinderspule, mehrlagig, ohne Kern	298
9.3.5	Spiralförmige, ebene Spule	301
9.3.6	Toroidspule	301
9.3.7	Drahring (ohne Kern)	303
9.3.8	Rechteckige, planare Leiterschleife auf Leiterplatte	303
9.3.9	Induktivitäten auf Leiterplatte	304
9.3.10	Gerader Leiter	306
9.3.11	Gerader Leiter über Massefläche	307
9.3.12	Gerader Leiter über Massefläche, ein Ende an Masse	308
9.3.13	Gerader Bandleiter	308
9.3.14	Paralleldrahtleitung (Zweidrahtleitung, Doppelleitung)	309
9.3.15	Hohlzylinder	309
9.3.16	Koaxialleitung	310
9.3.17	Via (Durchkontaktierung Leiterplatte)	310
9.4	Verwendungszweck, Beispiele zur Anwendung von Spulen	311
9.4.1	Verwendung von Spulen im Gleichstromkreis	311
9.4.2	Verwendung von Spulen im Wechselstromkreis	312



<b>10</b>	<b>Transformatoren und Übertrager</b> . . . . .	315
10.1	Aufgaben und Einsatzbereiche . . . . .	315
10.2	Magnetische Kopplung von Spulen . . . . .	315
10.3	Gegeninduktion . . . . .	316
10.3.1	Kopplungsfaktor, Streufaktor, Streuinduktivität . . . . .	316
10.3.1.1	Kopplungsfaktor . . . . .	316
10.3.1.2	Streufaktor . . . . .	317
10.3.1.3	Streuinduktivität . . . . .	318
10.3.1.4	Zusammenhang zwischen Kopplungsfaktor und Streufaktor . . . . .	319
10.3.2	Gegeninduktionsspannungen . . . . .	320
10.4	Der verlustlose, streufreie Transformator . . . . .	322
10.4.1	Sekundärseite unbelastet . . . . .	323
10.4.1.1	Transformatorenhauptgleichung . . . . .	323
10.4.1.2	Spannungs- und Stromtransformation . . . . .	324
10.4.2	Sekundärseite belastet . . . . .	325
10.4.2.1	Impedanztransformation . . . . .	325
10.4.2.2	Übertrager zwischen ohmschen Widerständen . . . . .	326
10.5	Realer (technischer) Transformator . . . . .	327
10.5.1	Verlustarten . . . . .	327
10.5.2	Verlustloser Transformator mit Streuung . . . . .	328
10.5.3	Transformator mit Wicklungs- und Kernverlusten . . . . .	329
10.5.4	Verbesserte M-Ersatzschaltung . . . . .	332
10.6	Aufbau und Bauformen . . . . .	333
10.6.1	Aufbau . . . . .	333
10.6.2	Wicklungen . . . . .	334
10.6.3	Transformatorkern . . . . .	334
10.6.3.1	Material . . . . .	334
10.6.3.2	Bauformen . . . . .	335
10.7	Drehstromtransformator . . . . .	336
10.8	Zusammenfassung . . . . .	336
<b>11</b>	<b>Elektrische Leitungen</b> . . . . .	339
11.1	Übersicht der Übertragungsmedien . . . . .	339
11.2	Grundlagen zu elektrischen Leitungen . . . . .	340
11.2.1	Wellenwiderstand . . . . .	341
11.2.2	Ausbreitungskoeffizient . . . . .	343
11.2.3	Ausbreitungsgeschwindigkeit (Phasengeschwindigkeit) . . . . .	344
11.2.4	Phasenlaufzeit . . . . .	345
11.2.5	Gruppenlaufzeit . . . . .	345
11.2.6	Messung von Kurzschluss- und Leerlaufwiderstand . . . . .	346

11.2.7	Eingangsimpedanz	347
11.2.8	Resonanz	347
11.2.9	Gekoppelte Leitungen	348
11.3	Zusammenfassung	349
11.4	Eindrahtleitung	350
11.4.1	Rundleiter nahe einer Massefläche	351
11.4.2	Rundleiter im rechten Winkel einer Massefläche	351
11.4.3	Rundleiter zwischen zwei parallelen Masseflächen (Slab Line)	352
11.4.4	Rundleiter mit U-Schirm (Trough Line, Channel Line)	352
11.4.5	Rundleiter auf einem Substrat mit rückwärtiger Massefläche	353
11.4.6	Rundleiter oberhalb eines Substrats mit rückwärtiger Massefläche	353
11.5	Zweidrahtleitungen	354
11.5.1	Paralleldrahtleitung	354
11.5.2	Zweidrahtleitung über Massefläche	358
11.5.3	Zweidrahtleitung mit unterschiedlichen Leiterdurchmessern	358
11.5.4	Zweidrahtleitung in runder Abschirmung	358
11.5.5	Twisted Pair	359
11.6	Koaxialleitung	362
11.6.1	Aufbau und Anwendungen der runden Koaxialleitung	362
11.6.2	Eigenschaften von Koaxialkabeln	363
11.6.3	Leitungsbeläge von Koaxialleitungen bei hohen Frequenzen	367
11.6.4	Koaxialkabel mit geschichtetem Dielektrikum	368
11.6.5	Rundes, exzentrisches Koaxkabel	369
11.6.6	Koaxialleitung mit quadratischer Schirmung	370
11.6.7	Koaxiale Bandleitung mit Rechteckform von Schirm und Innenleiter	370
11.6.8	Koaxiale Bandleitung mit rundem Schirm	371
11.7	Streifenleitung	371
11.7.1	Vor- und Nachteile, Grundformen und Anwendungen der Streifenleitung	371
11.7.2	Materialien und Substrate von Streifenleiterschaltungen	375
11.7.3	Bauformen von Streifenleitungen	376
11.7.4	Einfache Näherungsformeln zur Analyse bestimmter Bauformen von Streifenleitungen	376
11.7.4.1	Doppelbandleitung	377
11.7.4.2	Mikrostreifenleitung (microstrip)	378
11.7.4.3	Eingebettete Mikrostreifenleitung (embedded microstrip)	378
11.7.4.4	Symmetrisch geschirmte Streifenleitung (stripline, centered stripline, triplate)	379

11.7.4.5	Doppelte, geschirmte Streifenleitung (dual stripline) . . . . .	379
11.7.4.6	Asymmetrische, geschirmte Streifenleitung (asymmetric stripline) . . . . .	380
11.7.4.7	Gekoppelte Mikrostreifenleitung (differential microstrip) . . . . .	380
11.7.4.8	Gekoppelte, geschirmte Streifenleitung (differential stripline) . . . . .	381
11.7.5	Einfluss einer kapazitiven Last auf $t_{pd}$ und $Z_0$ . . . . .	381
11.7.6	Mikrostreifenleitung (microstrip) . . . . .	382
11.7.6.1	Statische Analyse einer Mikrostreifenleitung . . . . .	385
11.7.6.2	Dynamische Analyse einer Mikrostreifenleitung . . . . .	389
11.7.6.3	Synthese einer Mikrostreifenleitung . . . . .	391
11.7.6.4	Dämpfung der Mikrostreifenleitung . . . . .	392
11.7.6.5	Frequenzgrenzen der Mikrostreifenleitung . . . . .	394
11.7.6.6	Mikrostreifenleitung und weitere Bauelemente . . . . .	394
11.7.7	Koplanare Streifenleitung (CPW = Coplanar Waveguide) . . . . .	395
11.7.8	Symmetrischer Streifenleiter (stripline) . . . . .	396
11.7.9	Abgeschirmter symmetrischer Streifenleiter (shielded stripline) . . . . .	397
11.7.10	Koplanare Zweibandleitung (CPS = Coplanar Strips) . . . . .	397
11.7.11	Asymmetrische koplanare Zweibandleitung . . . . .	402
11.7.12	Koplanare Dreibandleitung . . . . .	402
11.7.13	Koplanare Dreibandleitung mit Massefläche . . . . .	403
11.7.14	Koplanare Streifenleitung (CPW) mit Berücksichtigung der Leiterdicke . . . . .	404
11.7.15	Koplanare Streifenleitung (CPW) mit rückseitiger Massefläche . . . . .	405
11.7.16	Koplanare Streifenleitung mit oberer Masse-Abschirmfläche . . . . .	405
11.7.17	Kantengekoppelter symmetrischer Streifenleiter (narrow side coupled stripline) . . . . .	406
11.8	Bauelemente in Microstrip-Technik und Anwendungsbeispiele . . . . .	407
11.8.1	Rechtwinkliger Leitungsknick . . . . .	408
11.8.2	Leitungsunterbrechung . . . . .	410
11.8.3	Leiterbreitenstufe . . . . .	411
11.8.4	Mikrostreifenleerlauf . . . . .	411
11.8.5	Beispiele für die Realisierung von Bauelementen und elementaren Schaltungen . . . . .	413

---

<b>12</b>	<b>Lichtwellenleiter</b> . . . . .	415
12.1	Vor- und Nachteile des Lichtwellenleiters . . . . .	415
12.2	Einsatz von Lichtwellenleitern . . . . .	416
12.3	Aufbau und Funktionsprinzip des Lichtwellenleiters . . . . .	417
12.4	Wellenausbreitung im Lichtwellenleiter, Moden, Dispersion . . . . .	420
12.5	Multimode-Faser . . . . .	423
12.6	Gradientenfaser . . . . .	424
12.7	Monomode-Faser . . . . .	425
12.8	Sende- und Empfangselemente von Lichtwellenleitern . . . . .	426
12.8.1	Sender von Lichtwellenleitern . . . . .	426
12.8.2	Empfänger von Lichtwellenleitern . . . . .	427
12.9	Dämpfung von Lichtwellenleitern . . . . .	428
12.9.1	Bedeutung der Dämpfung . . . . .	428
12.9.2	Dämpfung und verwendete Wellenlängen bei Lichtwellenleitern . . . . .	429
12.10	Verstärker in LWL-Strecken . . . . .	430
12.11	Verbindungen von Lichtwellenleitern . . . . .	432
12.11.1	Spleißverbindungen von Lichtwellenleitern . . . . .	433
12.11.2	Steckverbindungen für Lichtwellenleiter . . . . .	433
12.11.3	Einflüsse auf die Einfügungsdämpfung . . . . .	435
12.11.4	Einige Beispiele von Standard-LWL-Steckern . . . . .	436
12.12	Zusammenfassung . . . . .	440
<b>13</b>	<b>Hohlleiter</b> . . . . .	443
13.1	Einsatzgebiete, Vor- und Nachteile von Hohlleitern . . . . .	443
13.2	Grundsätzlicher Aufbau von Hohlleitern . . . . .	444
13.3	Wellenfortpflanzung und Wellentypen in Hohlleitern . . . . .	445
13.4	Rechteckhohlleiter . . . . .	446
13.5	Rundhohlleiter . . . . .	452
13.6	Einige Daten von Hohlleitern . . . . .	454
13.7	Hohlleiterbauelemente . . . . .	457
13.8	Hohlraumresonator mit Rechteckquerschnitt . . . . .	458
13.9	Zusammenfassung . . . . .	460
	<b>Liste verwendeter Formelzeichen</b> . . . . .	463
	<b>Literatur</b> . . . . .	467
	<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .	471