

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	17
2	Konstruktive Basiskomponenten.....	22
2.1	Elektrischer Leiter.....	24
2.1.1	Materialien	24
2.1.2	Leiteraufbau und -geometrie	25
2.1.3	Massiver Einzeleiter	26
2.1.4	Verseilte Leiter	27
2.1.4.1	Bündellitze	27
2.1.4.2	Konzentrische, kreisförmige Leiter	28
2.1.4.3	Verseilung/Verdrillung der Leiter	28
2.1.5	Verdichtete Leiter	31
2.1.6	Hohlleiter.....	32
2.1.7	Millikenleiter	33
2.1.8	Leiter mit innerer Leitschicht	33
2.1.9	Beschichtete Leiter	35
2.1.10	Lahnleiter	36
2.1.11	Kupferlackdraht.....	36
2.1.12	Widerstandsleiter.....	36
2.1.13	Normen und Kennzeichnungen	37
2.2	Aderisolierung.....	41
2.2.1	Materialien	41
2.2.2	Bauformen und Geometrie	43
2.3	Kennzeichnung der Adern.....	45
2.4	Verseilen der Adern.....	49
2.5	Füllelemente und Füllmittel	50
2.6	Gemeinsame Aderumhüllung.....	51
2.7	Flexible Trennschicht	51

2.8	Elektrische Schirmung	52
2.8.1	Materialien	53
2.8.2	Bauformen und Geometrie	54
2.8.2.1	Schirmung aus Metallgeflechten und Metallfolien	55
2.8.2.2	Magnetische Schirmung	57
2.8.2.3	Massive Metallmäntel	57
2.8.2.4	Äußere Leitschicht	59
2.8.2.5	Verdrillung	59
2.8.2.6	Beidraht	60
2.8.2.7	Querleitwendel	61
2.9	Schutzhüllen	61
2.10	Bewehrung/Armierung	61
2.11	Öffnungshilfen	63
2.12	Mantel	63
2.13	Kabelkennzeichnung	66
3	Materialien und Werkstoffe	68
3.1	Metallische Werkstoffe	68
3.1.1	Kennwerte	69
3.1.2	Schmelztemperatur	71
3.1.3	Temperaturkoeffizient der Länge	72
3.1.4	Wärmeleitfähigkeit	72
3.1.5	Wärmekapazität	73
3.1.6	Spezifische Wärmekapazität	74
3.1.7	Wärmespeicherzahl	75
3.1.8	Dichte	75
3.1.9	Elastizitätsmodul	76
3.1.10	Elastizitätsgrenzen	79
3.1.11	Streckgrenze	80
3.1.12	Dehngrenze	80
3.1.13	Zugfestigkeit	81
3.1.14	Gleichmaßdehnung	81
3.1.15	Bruchdehnung	82
3.1.16	Federbiegegrenze	83
3.1.17	Biegewechselspannung	83
3.1.18	Härte	84
3.1.19	Elektrische Leitfähigkeit und spezifischer Widerstand	85

3.1.20	Temperaturkoeffizient der Leitfähigkeit	86
3.1.21	Magnetische Eigenschaften	87
3.1.22	Kupfer	87
3.1.23	Kupferlegierungen	90
3.1.23.1	Messing	90
3.1.23.2	Bronze	92
3.1.23.3	Neusilber	94
3.1.24	Aluminium	94
3.1.24.1	Aldrey	96
3.1.25	Silber	97
3.1.26	Gold	99
3.1.27	Zinn	100
3.1.28	Nickel	102
3.1.29	Zink	103
3.1.30	Blei	104
3.1.31	Eisen	105
3.1.32	Stahl	106
3.2	Elektrisch isolierende Materialien	107
3.2.1	Füllstoffe	113
3.2.2	Weichmacher	113
3.2.3	Stabilisatoren	113
3.2.4	Kennwerte für Kunststoffe	114
3.2.4.1	Schmelztemperatur	115
3.2.4.2	Glasübergangstemperatur	115
3.2.4.3	Betriebstemperatur	117
3.2.4.4	Wärmeformbeständigkeit	118
3.2.4.5	Längendehnungskoeffizienten	119
3.2.4.6	Schwindung	120
3.2.4.7	Fließfähigkeit	121
3.2.4.8	Dichte	121
3.2.4.9	Bestimmung der mechanischen Kennwerte	122
3.2.4.10	Elastizitätsmodul	123
3.2.4.11	Streckspannung und Streckdehnung	125
3.2.4.12	Bruchspannung und Bruchdehnung	125
3.2.4.13	Härte	125
3.2.4.14	Spannungsfestigkeit und Durchschlagsfestigkeit	126

3.2.4.15	Spezifischer elektrischer Durchgangswiderstand	126
3.2.4.16	Spezifischer Oberflächenwiderstand	128
3.2.4.17	Kriechstromfestigkeit	129
3.2.4.18	Relative Dielektrizitätskonstante	130
3.2.4.19	Dielektrischer Verlustfaktor	135
3.2.4.20	Brandbeständigkeit	136
3.2.4.21	Wasser- und Feuchtigkeitsaufnahme	139
3.2.4.22	Umweltbeständigkeit	139
3.2.4.23	Kunststoffeigenschaften	141
3.2.5	Thermoplaste	142
3.2.5.1	Polyvinylchlorid weich (PVC)	142
3.2.5.2	Polystyrol (PS)	144
3.2.5.3	Polycarbonat (PC)	146
3.2.5.4	Polyethylen (PE)	147
3.2.5.5	Polybutylenterephthalat (PBT)	149
3.2.5.6	Polypropylen (PP)	151
3.2.5.7	Polyamide (PA)	152
3.2.5.8	Polyvinylidenfluorid (PVDF)	156
3.2.5.9	Polyfluorethylenpropylen (FEP)	157
3.2.5.10	Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer (ETFE)	158
3.2.5.11	Perfluoralkoxylalkan (PFA)	159
3.2.5.12	Polyetheretherketon (PEEK)	161
3.2.5.13	Polytetrafluorethylen (PTFE)	162
3.2.6	Thermoplastische Elastomere (TPE)	164
3.2.6.1	Polyurethane (PUR)	164
3.2.6.2	Copolyamide (TPA)	166
3.2.6.3	Copolyester (TPC)	166
3.2.6.4	Olefin-TPE (TPO)	167
3.2.6.5	Polystyrol-Elastomere (TPS)	168
3.2.7	Elastomere	170
3.2.7.1	Vernetztes Polyethylen (VPE)	170
3.2.7.2	Ethylen-Vinylacetat-Copolymere (EVA)	171
3.2.7.3	Kautschuke	172
3.2.7.3.1	R-Kautschuke	173
3.2.7.3.2	M-Kautschuke	173
3.2.7.3.3	Q-Kautschuke	174
3.2.8	Papiere	175

4 Elektrische Eigenschaften	177
4.1 Zeitbereich	178
4.1.1 Zeitkonstante Beschreibung	178
4.1.1.1 Powerintegrität	178
4.1.2 Zeitkontinuierliche Beschreibung	181
4.1.3 Zeitdiskrete Beschreibung	181
4.1.3.1 Signalintegrität	183
4.1.3.2 Augendiagramme	185
4.1.3.3 Harmonische Beschreibung	189
4.2 Frequenzbereich	190
4.2.1 Frequenzbänder	190
4.2.2 Streuparameter	191
4.2.2.1 Streuparameter des Zweileitersystems	195
4.2.3 Tief-, Hoch- und Bandpass	202
4.2.4 Bandbreite	203
4.3 Zusammenhang zwischen Frequenz und Zeitbereich	205
4.4 Elektromagnetische Felder	206
4.5 Strom	210
4.5.1 Stromfluss durch den Leiter	212
4.5.1.1 Strombelastbarkeit	213
4.5.2 Stromfluss durch den Isolator	215
4.5.3 Stromfluss auf der Isolatoroberfläche	216
4.6 Spannung	218
4.6.1 Spannungsfestigkeit	220
4.7 Leistung	223
4.8 Widerstände	226
4.8.1 Gleichstromwiderstand	227
4.8.2 Isolationswiderstand	229
4.8.2.1 Gleichstromwiderstand	229
4.8.2.2 Frequenzabhängiger Isolationswiderstand	230
4.8.3 Skin-Effekt-Widerstand	231
4.8.4 Proximity-Widerstand	234
4.8.5 Kapazitiver Widerstand	237
4.8.6 Induktiver Widerstand	244
4.8.7 Dämpfung und Phasenmaß	251
4.8.7.1 Dämpfung	253
4.8.7.2 Phasenmaß und Phasengeschwindigkeit	255

4.8.8	Impedanz	255
4.8.8.1	Impedanzanpassung	259
4.8.8.2	Impedanzprofil	260
4.8.8.3	Impedanz bei einer Einzelleiterübertragung.....	261
4.8.8.4	Impedanzen bei einer Zweileiterübertragung.....	263
4.8.8.5	Symmetrischer Betrieb.....	264
4.8.8.6	Unsymmetrischer Betrieb.....	268
4.8.8.7	Symmetrischer und unsymmetrischer Betrieb.....	270
4.9	Reflexion	274
4.9.1	Zeitbereich.....	275
4.9.2	Frequenzbereich	276
4.9.3	Reflexion im Zweileitersystem	278
4.10	Transmission	282
4.10.1	Zeitbereich.....	282
4.10.2	Frequenzbereich	284
4.10.3	Transmission im Zweileitersystem	285
4.11	Nebensprechen	287
4.11.1	Internes Nebensprechen	288
4.11.1.1	Leiteranordnungen mit querhomogenem Isolations- medium.....	289
4.11.1.2	Leiteranordnungen mit querinhomogenem Isolations- medium.....	293
4.11.2	Externes Nebensprechen	298
4.11.2.1	Leiteranordnungen mit querhomogenem Isolations- medium.....	298
4.11.2.2	Leiteranordnungen mit querinhomogenem Isolations- medium.....	304
4.11.3	Definitionen für das Nebensprechen im Zeitbereich	305
4.11.3.1	Externes Nahnebensprechen im Zweileitersystem	306
4.11.3.2	Externes Fernnebensprechen im Zweileitersystem	308
4.12	Ausbreitungsgeschwindigkeiten und Laufzeiten	310
4.12.1	Laufzeiten in Zweileitersystemen.....	311
4.13	Elektromagnetische Verträglichkeit	313
4.13.1	Elektromagnetische Materialeigenschaften.....	315
4.13.1.1	Permittivität	315
4.13.1.1.1	Dielektrikum	317
4.13.1.2	Permeabilität.....	318

4.13.2	Elektromagnetische Verkopplungen	320
4.13.2.1	Galvanische Verkopplung	320
4.13.2.2	Kapazitive Verkopplung	322
4.13.2.3	Induktive Verkopplung	323
4.13.2.4	Verkopplung bei Hochfrequenzfeldern	325
4.13.3	Bezugspotenziale	325
4.13.4	Erdschleifen	327
4.13.5	Schirmfaktor und Schirmdämpfung	328
4.13.6	Transferimpedanz	330
4.13.7	Transferadmittanz	333
4.13.8	Schirmwirkung der Materialeigenschaften	334
4.13.9	Beeinflussung elektromagnetischer Wellen durch eine Schirmwand	335
4.13.9.1	Absorptionsdämpfung	337
4.13.9.2	Reflexionsdämpfung	338
4.13.9.3	Fernfeldreflexionsdämpfung	339
4.13.9.4	Nahfeldreflexionsdämpfung	340
4.13.9.4.1	Elektrische Nahfeldreflexionsdämpfung	340
4.13.9.4.2	Magnetische Nahfeldreflexionsdämpfung	341
4.13.9.5	Vergleich der Nah- und Fernfeldreflexionsdämpfung	342
4.13.9.6	Mehrfachreflexionen	343
4.13.10	Schirmungsmaßnahmen	345
4.13.10.1	Schirmmaterial	345
4.13.10.2	Dicke des Schirmungsmaterials	345
4.13.10.3	Störung der Schirmströme	346
4.13.10.4	Schirmungskonstruktion	347
4.13.10.5	Leitungsführung	351
4.13.10.6	Schirmanschluss, Leitungsführung und Erdung	352
4.13.10.7	Schirmung der Kabelanschlüsselemente	357
4.14	Übertragungssysteme	358
4.14.1	Energieübertragung	359
4.14.2	Signalübertragung	360
4.14.2.1	Ethernet	371
4.14.2.2	Feldbusse	375
4.15	Elektrische Messungen	388
4.15.1	Streuparametermessungen	388
4.15.2	TDR-Messmethode	392
4.15.3	Messung der Schirmungseigenschaften	398

4.16	Berechnung der elektrischen Eigenschaften	402
4.16.1	Analytische Berechnungen	402
4.16.2	Netzwerksimulatoren	403
4.16.2.1	Simulation von verlustbehafteten Einzelleitungen	404
4.16.2.2	Simulation von mehrfach verkoppelten Leitern	407
4.16.3	Feldberechnungsmethoden	409
5	Mechanische Eigenschaften	411
6	Umwelt	414
7	Kabelherstellung	422
8	Kabelanschlüsse	428
8.1	Elektrischer Kontakt	430
8.2	Kontaktverbindungstechnologien	437
8.2.1	Wickeln	437
8.2.2	Löten	438
8.2.3	Schweißen	438
8.2.4	Schrauben	439
8.2.5	Federklemmen	439
8.2.6	Crimpen	440
8.2.6.1	Crimpanschlusselement	442
8.2.6.2	Crimpvorgang	443
8.2.6.3	Isolierhülsen	450
8.2.6.4	Prüfung der Crimpverbindung	451
8.2.6.5	Crimpen im Feld	454
8.2.6.6	Aluminium-Crimpen	454
8.2.7	Schneidklemmen	455
8.2.8	Piercing	460
8.2.9	Abisolierung und Abmantelung	461
8.2.10	Gehäuse	461
8.2.10.1	Gehäusematerialien	462
8.2.10.2	Schutzarten	463
8.2.11	Kontaktisolierung	464
8.2.12	Dichtungen	466
8.2.13	Kabelverschraubung	466
8.2.14	Kabelgarnituren	470

9	Normung und Standards	471
9.1	Normen	472
9.2	Standards und Spezifikationen	480
9.3	Richtlinien	481
9.4	Patente	482
10	Qualifizierung	483
10.1	Brandverhalten	486
11	Kabel- und Leitertypen	490
11.1	Klassifizierung nach der Bauform	490
11.1.1	Bandleitung	490
11.1.2	Doppelleitung	493
11.1.2.1	Sternvierer/Twisted-Quad	495
11.1.3	Koaxialkabel	496
11.1.3.1	Bauform	496
11.1.3.2	Rigid-Koaxialkabel	499
11.1.3.3	RG-Koaxialkabel	499
11.1.3.4	Wellmantelkabel	500
11.1.3.5	Strahlende Kabel	501
11.1.4	Triaxialkabel	501
11.1.5	Twinaxialkabel	502
11.1.6	Twisted-Pair-Kabel	503
11.1.7	Hybridkabel	507
11.1.8	Kabelbäume	508
11.1.9	Miniaturkabel	509
11.1.10	Kraftfahrzeug-Leitungssätze	509
11.1.11	Konfektionierte Kabel	510
11.2	Klassifizierung nach der Signalübertragung	511
11.2.1	Fernmeldekabel	511
11.2.1.1	Fernkabel	512
11.2.1.2	Ortsverbindungskabel	513
11.2.1.3	Teilnehmeranschlussleitung	514
11.2.1.4	Fernmeldeleitung	514
11.2.2	Netzwerkkabel	515
11.2.3	Steuerleitungen	517
11.2.4	Messkabel	519

11.2.5	Hochfrequenzkabel.....	519
11.2.6	Audio- und Video-Kabel	520
11.2.7	Anschlussleitungen.....	521
11.2.8	Installationsleitungen	522
11.3	Klassifizierung nach der Energieübertragung	522
11.3.1	Freileitung	523
11.3.2	Hochspannungskabel.....	523
11.3.3	Mittelspannungskabel.....	525
11.3.4	Niederspannungskabel	526
11.3.5	Installationskabel.....	526
11.3.6	Anschlussleitung	530
11.3.7	Kleinspannungsleitungen	530
11.4	Klassifizierung nach den Umgebungsanforderungen	531
11.5	Klassifizierung nach der mechanischen Flexibilität.....	534
11.6	Klassifizierung nach Normen, Standards und Zertifizierung.....	535
12	Glossar für Kabel und Leitungen	537
13	Literaturverzeichnis	547
14	Abkürzungsverzeichnis	550
14.1	Formelzeichen und Symbole.....	550
14.2	Abkürzungen.....	556
15	Stichwortverzeichnis.....	566
	Inserentenverzeichnis.....	579