

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	21
2	Spannungsebenen und Netzstruktur	25
2.1	Übersicht	25
2.2	Stromkreislängen Kabel und Freileitungen in Deutschland	27
2.3	Verwendung der Kabel und Zuordnung zu den Netzen	28
3	Kabelaufbau und Kabelfertigung	31
3.1	Grundsätzlicher Kabelaufbau	31
3.1.1	Leiter	31
3.1.2	Isolierung	34
3.1.2.1	Anforderungen an die Isolierung	34
3.1.2.1.1	Elektrische Festigkeit	34
3.1.2.1.2	Dielektrische Verluste	35
3.1.2.1.3	Teilentladungen	36
3.1.2.1.4	Mechanische Eigenschaften	36
3.1.2.1.5	Alterungsbeständigkeit	37
3.1.2.2	Ausführungsformen der Isolierung	40
3.1.2.2.1	Papierisolierung	41
3.1.2.2.2	PVC-Isolierung	41
3.1.2.2.3	PE-Isolierung	42
3.1.2.2.4	VPE-Isolierung	42
3.1.3	Mantel	42
3.2	Spezielle Kabelaufbauelemente	43
3.2.1	Zwickelfüllung	43
3.2.2	Leitschichten	43
3.2.3	Aufpolsterelemente	44
3.2.4	Schutzhüllen	44
3.2.5	Schirmung	44
3.2.6	Diffusionssperren	44
3.2.7	Bewehrung	44

3.3	Kabelfertigung	45
3.3.1	Allgemeines	45
3.3.2	Leiter	45
3.3.3	Papierisolierung	45
3.3.4	PVC-Isolierung	46
3.3.5	VPE-Isolierung	47
4	Kabelbezeichnung	51
4.1	Kennzeichnung	51
4.2	Kurzzeichen	52
4.3	Aderkennzeichnung	55
4.4	Farbe der Mäntel	57
5	Kabelbauarten	59
5.1	Historische Entwicklungen	59
5.2	Papierisierte Kabel	60
5.3	PVC-isolierte Kabel	66
5.4	PE-isolierte Kabel	66
5.5	VPE-isolierte Kabel	67
5.6	Kabel für besondere Anwendungen	69
6	Strombelastbarkeit und Überlastbarkeit	73
6.1	Betrieb in Erde	77
6.2	Betrieb in Luft	79
6.3	Kurzschlussbelastbarkeit	81
6.4	Kupferschirmbelastbarkeit	82
6.5	Belastbarkeitstabellen	82
6.6	Überlastbarkeit	83
6.7	Besonderheiten bei der Belastbarkeit der Hochspannungskabel	84
7	Kabelgarnituren	87
7.1	Ausführungsformen und Bestandteile der Starkstromkabelgarnituren	88
7.1.1	Ausführungsformen	88
7.1.2	Bestandteile	89

7.2	Leiterverbindungen	89
7.2.1	Lösbare Verbindungen	90
7.2.2	Nicht lösbare Verbindungen	92
7.2.2.1	Thermische Verfahren (Löten und Schweißen)	93
7.2.2.2	Mechanische Verfahren (Pressen)	95
7.3	Feldsteuerung	99
7.3.1	Allgemeines	99
7.3.2	Kapazitive Feldsteuerung	101
7.3.3	Ohmsche oder resistive Feldsteuerung	102
7.3.4	Refraktive Feldsteuerung	103
7.3.5	Kombinierte Feldsteuerung	105
7.4	Garniturentechniken	105
7.4.1	Anforderungen	105
7.4.2	Wickelbänder	107
7.4.3	Vergussmassen	109
7.4.3.1	Tränk- und Isoliermassen	110
7.4.3.2	Aushärtbare Isoliermassen auf Bitumenbasis	110
7.4.3.3	Gießharze	111
7.4.4	Schrumpftechnik	114
7.4.4.1	Warmschrumpftechnik	114
7.4.4.2	Kaltschrumpftechnik	115
7.4.5	Aufschiebtechnik	116
7.5	Praktische Anwendungen von Kabelgarnituren	120
7.5.1	Leiterverbindungen	120
7.5.1.1	Schraubtechnik	120
7.5.1.2	Presstechnik	126
7.5.2	Abzweigmuffen	129
7.5.3	Verbindungsmuffen	131
7.5.4	Übergangsmuffen	133
7.5.5	Endmuffen	134
7.5.6	Reparaturmuffen	135
7.5.7	Endverschlüsse	136
7.5.8	Kabelsteckteile	141
7.5.8.1	Außenkonus-System	144
7.5.8.2	Innenkonus-System	145
7.5.8.3	Sonderlösung Adapter-Kabelsteckteil	146

8 Erstellung von Kabelanlagen	147
8.1 Kabellegung	147
8.1.1 Sichern der Arbeitsstelle	151
8.1.1.1 Vorgaben der Straßenverkehrsordnung (StVO)	151
8.1.1.2 Vorgaben der Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA)	152
8.1.1.3 Sicherung gegen Abrutschen der Massen (Auszug aus BGV C22)	154
8.1.1.4 Sichern von Kabelspulen	154
8.1.2 Zusammentreffen von Starkstromkabeln mit anderen Anlagen	155
8.1.2.1 Erkundigungspflicht	155
8.1.2.2 Zusammentreffen von Kabeln und Fernmeldeanlagen	155
8.1.2.3 Zusammentreffen von Kabeln und Rohrleitungen	157
8.1.3 Durchführung der Kabellegung	158
8.1.3.1 Anlieferung und Transport der Kabel	158
8.1.3.2 Kabellegung in offener Bauweise	160
8.1.3.2.1 Anlage des Kabelgrabens	160
8.1.3.2.2 Hindernisse in Kabelgräben	164
8.1.3.2.3 Verwendung von Kabelschutzrohren	166
8.1.3.2.4 Ausbau des Kabelgrabens	169
8.1.3.2.5 Ziehen des Kabels	171
8.1.3.2.6 Bettung, Deckung und Kennzeichnung	179
8.1.3.3 Grabenlose Bauweise	180
8.1.3.3.1 Einpflügen von Kabel	180
8.1.3.3.2 Steuerbares Horizontal-Spülbohrverfahren	181
8.1.3.3.3 Ungesteuerte Vortriebsverfahren	182
8.1.3.4 Legen auf Brücken	182
8.1.3.5 Legen durch Gewässer	183
8.1.3.6 Legen in Gebäuden	183
8.2 Kabelmontage	186
8.2.1 Sicherheitsvorkehrungen	186

8.2.2	Vorbereitung der Kabel zur Montage	186
8.2.2.1	Absetzen des Kabels	187
8.2.2.2	Entfernen der äußeren Leitschicht	187
8.2.2.3	Reinigung der Kabel	188
8.2.2.4	Feuchteprüfung des Kabels	188
8.2.2.5	Entsorgung von Abfällen	189
8.2.3	Abdichten der Kabelenden	189
8.2.4	Erdungsmaßnahmen in Kabelanlagen über 1000 V	189
8.3	Schutz der Kabelanlagen vor Beschädigungen	190
9	Zuverlässigkeit durch Qualitätssicherung	193
9.1	Qualitätsmanagement	193
9.2	Auswahl von Hersteller und Auftragsvergabe	194
9.3	Wareneingangsprüfung	195
9.4	Transport und Lagerung	196
9.5	Legung und Montage	198
10	Prüfung von Kabel und Garnituren	201
10.1	Begriffe und Definitionen	201
10.2	Prüfungen beim Hersteller	201
10.2.1	Entwicklungsprüfung	202
10.2.2	Typprüfung oder Präqualifikationsprüfung	202
10.2.3	Stückprüfung, Auswahlprüfung	203
10.2.4	Fingerprintprüfung	203
10.2.5	Werksinterne Prüfungen, Abnahmeprüfung	203
10.3	Prüfungen beim Anwender	204
10.3.1	Wareneingangsprüfungen	204
10.3.2	Abnahmeprüfung	204
10.3.3	Inbetriebnahmeprüfungen	205
10.3.4	Fehlerortung	209
10.3.4.1	Fehlerarten in Kabelnetzen	209
10.3.4.2	Methoden der Fehlerortung	211
10.3.4.3	Verfahren zur Fehlervorortung	212
10.3.4.3.1	TDR – Time Domain Reflection (Impulsreflexionsmethode)	212
10.3.4.3.2	Stromimpulsmethode	214

10.3.4.3.3	Spannungsgradientenmethode	216
10.3.4.3.4	Vor- und Nachteile der Vorortungsmethoden	218
10.3.4.4	Verfahren zur Fehlernachortung	218
10.3.4.4.1	Schrittspannungsmethode	218
10.3.4.4.2	Schallfeldortungsmethode	219
10.3.4.4.3	Gasdetektionsmethode	220
10.3.5	Diagnose	220
10.3.5.1	FGH-Stufentest	221
10.3.5.2	Messung von Teilentladungen	222
10.3.5.2.1	Grundlagen und Messprinzip	222
10.3.5.2.2	Vorgehensweise	229
10.3.5.2.3	Störeinflüsse	229
10.3.5.2.4	Verarbeitung der Messsignale, Signalanalyse	230
10.3.5.2.5	Auswertung der Ergebnisse von TE-Messungen	232
10.3.5.2.6	Zusammenfassung: TE-Messungen	233
10.3.5.3	Verfahren zur Zustandsbewertung betriebsgealterter Kabel	235
10.3.5.3.1	Lokal wirkende Verfahren	237
10.3.5.3.2	Global wirkende Verfahren	241
11	Anschluss an Schaltgeräte	253
11.1	Hausanschlusskästen (HAK) und Kabelverteilerschränke (KVS)	253
11.1.1	Hausanschlusskästen	253
11.1.2	Kabelverteilerschränke	254
11.2	Kabelanschluss in der Mittel- und Hochspannung	254
12	Arbeitssicherheit und Gefährdungsbeurteilung	255
12.1	Arbeitssicherheit	255
12.1.1	Schutz vor elektrischen Gefahren	255
12.1.2	Schutz vor weiteren Gefahren	258
12.2	Gefährdungsbeurteilung	260

13	Zukunftstechnologien in der Kabeltechnik	263
13.1	Gasisolierte Leitungen (GIL)	263
13.2	Supraleitende Kabel	265
13.2.1	Klassischer Aufbau mit warmem Dielektrikum	268
13.2.2	Koaxialkabel mit kaltem Dielektrikum	268
13.2.3	Koaxialkabel mit kaltem Dielektrikum und gemeinsamer thermischer Isolierung der drei Phasen	268
13.2.4	Triaxialkabel	269
13.2.5	Beispiele für realisierte Trassen mit supraleitenden Kabeln	269
13.3	Hochspannungs-Gleichstrom- Übertragung (HGÜ)	271
14	Normung und Gremien	273
14.1	Normung	273
14.2	Gremien und deren Normen	274
14.2.1	VDE-Bestimmungen	275
14.2.2	Unfallverhütungsvorschriften	276
14.2.3	Anwendernormen	278
14.2.4	Weitere Normen und Gesetze	278
15	Ergebnis der Normung und Gremienarbeit	281
15.1	Begriffe	281
15.2	Auszüge (Tabellen) aus DIN-VDE-Normen	282
15.3	Wesentliche DIN-VDE-Normen zu Kabel und Garnituren	303
15.4	Weitere DIN-Normen zu Kabel und Garnituren	305
16	Quellen und Literaturangaben	306
17	Stichwortverzeichnis	311