

■ Inhalt

1	Einleitung	17
2	Kabel	23
2.1	Verwendung der Kabel und Zuordnung zu den Netzen	24
2.2	Aufbau	26
2.2.1	Leiter	26
2.2.2	Leitereinsatzgebiete.....	27
2.2.3	Innere und äußere Leitschicht.....	32
2.2.4	Isolierung	34
2.2.4.1	Imprägnierte Papierisolierung.....	34
2.2.4.2	Kunststoffisolierung	36
2.2.4.3	Treeing.....	41
2.2.4.4	Vergleich der Isolierstoffe	46
2.2.5	Konzentrischer Leiter.....	48
2.2.6	Schirm.....	48
2.2.7	Mantel.....	48
2.2.7.1	Metallmantel	48
2.2.7.2	Kunststoffmantel.....	49
2.2.8	Bewehrung.....	50
2.2.9	Schutzhülle	50
2.3	Kabelbauarten	51
2.3.1	Übersicht der Bauarten.....	51
2.3.2	Bauarten der Niederspannungskabel.....	52
2.3.3	Bauarten der Mittelspannungskabel.....	55
2.3.4	Bauarten der Hochspannungskabel	59
2.3.4.1	Niederdruck-Ölkabel.....	59
2.3.4.2	Gasinnendruckkabel.....	61
2.3.4.3	Gasaußendruckkabel	62
2.3.4.4	Hochspannungskabel mit Kunststoffisolierung.....	63
2.3.5	Bauarten der Höchstspannungskabel	64
2.3.5.1	Zwangskühlung.....	69
2.3.5.2	Gasisolierung.....	71
2.3.5.3	Tiefemperaturkabel (Kryokabel, Supraleitung).....	71
2.3.6	Kabel für spezielle Anwendungen	73

2.3.6.1	Seekabel.....	73
2.3.6.2	Kabel mit Lichtwellenleiter im Schirmbereich.....	74
2.3.6.3	Kabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall.....	75
2.3.6.4	Kabel für Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ).....	76
2.3.7	Kurzzeichen.....	76
2.3.8	Kabeldaten.....	80
3	Kabelgarnituren.....	81
3.1	Begriffe und Prüfbestimmungen.....	82
3.2	Grundelemente der Kabelgarnituren.....	83
3.2.1	Leiterverbindungen.....	83
3.2.2	Isolierungen, Feldsteuerelemente und Schutzhüllen.....	89
3.3	Grundtechniken bei Kabelgarnituren.....	91
3.3.1	Wickeltechnik.....	91
3.3.2	Vergusstechnik.....	91
3.3.3	Gießharztechnik.....	93
3.3.4	Schrumpftechnik.....	94
3.3.5	Aufschiebtechnik.....	96
3.4	Ausführungen von Kabelgarnituren.....	97
3.4.1	Muffen.....	97
3.4.1.1	Verbindungsmuffen.....	97
3.4.1.2	Übergangsmuffen.....	99
3.4.1.3	Abzweigmuffen.....	101
3.4.2	Endverschlüsse.....	102
3.4.2.1	Endverschlüsse für Massekabel.....	103
3.4.2.2	Endverschlüsse für Kunststoffkabel.....	106
3.4.3	Garnituren in Stecktechnik.....	108
3.4.3.1	Stecktechnik im Niederspannungsnetz.....	108
3.4.3.2	Stecktechnik im Mittelspannungsnetz.....	109
4	Errichten der Kabelanlage.....	113
4.1	Projektierung und Genehmigungsverfahren.....	113
4.1.1	Festlegen der Trasse.....	114
4.1.2	Anordnung der Kabel.....	116
4.1.3	Behördliche Genehmigung, Wegenutzung.....	118

4.1.4	Projektplan.....	120
4.1.5	Bodenuntersuchung	122
4.1.6	Information Dritter	123
4.1.7	Koordinierung mit anderen Baumaßnahmen	124
4.1.8	Abstimmung mit Behörden bei Arbeiten im Verkehrsraum.....	124
4.1.9	Ausschreibung und Vergabe der Kabellegungsarbeiten ...	125
4.2	Vorarbeiten und Baustelleneinrichtung.....	127
4.2.1	Erkundigungspflicht	127
4.2.2	Verkehrssicherung.....	128
4.3	Kabelgraben	128
4.3.1	Aufbrechen der Oberflächen	129
4.3.2	Legetiefe, Mindestüberdeckung und Grabenbreite	129
4.3.3	Aushub.....	133
4.3.4	Verfüllen des Kabelgrabens.....	134
4.3.5	Wiederherstellung von Oberflächen	135
4.3.6	Einbau der Durchzüge.....	135
4.3.7	Kabel in der Nähe von Bäumen.....	137
4.4	Behandlung der Kabel bei der Legung.....	137
4.4.1	Biegeradius und Kabeltemperatur	138
4.4.2	Kabeltransport und Lagerung.....	140
4.4.3	Kabelkontrolle	142
4.4.4	Auslegen und Ziehen der Kabel	142
4.4.5	Übertragung der Zugkräfte	150
4.4.6	Zulässige Zugkräfte	152
4.4.7	Schutz der Kabel gegen Beschädigung	153
4.4.8	Wanddurchführungen	154
4.5	Mechanisierte Kabellegung	156
4.5.1	Fräsen von Kabelgräben	156
4.5.2	Einpflügen von Kabeln.....	158
4.5.3	Saugbagger	162
4.5.4	Grabenlose Kabellegung	162
4.5.4.1	Verfahren mit ungesteuertem Vortrieb.....	162
4.5.4.2	Verfahren mit gesteuertem Vortrieb.....	165
4.5.4.3	Überbohrverfahren	169
4.6	Sonderfälle der Kabellegung	170

4.6.1	Legen durch Gewässer	170
4.6.2	Legen in Brücken.....	171
4.6.3	Legen in Gebäuden	173
4.6.3.1	Befestigung.....	173
4.6.3.2	Vorbeugende Brandschutzmaßnahmen.....	173
4.6.4	Isolierte Freileitung	175
4.6.5	Legen in Gefällstrecken.....	178
4.7	Legen von Hoch- und Höchstspannungskabeln	179
4.7.1	Direkt ins Erdreich zu legende Kabel	180
4.7.1.1	Niederdruck-Ölkabel.....	180
4.7.1.2	Kunststoffkabel	181
4.7.2	Kabel im Stahlrohr	182
4.7.3	Beispiele von Höchstspannungskabelanlagen.....	183
4.7.3.1	Höchstspannungskabelanlage mit Niederdruck-Ölkabel.....	183
4.7.3.2	Höchstspannungskabelanlage mit VPE-Kabel.....	187
4.8	Näherungen und Kreuzungen mit anderen Anlagen	193
4.9	Garniturenmontage.....	195
4.10	Dokumentation.....	196
4.10.1	Grundlagen	196
4.10.2	Rechnergeführte Netzdokumentation.....	198
5	Qualitätssicherung	201
5.1	Qualität der Kabel und Garnituren.....	202
5.1.1	Prüfbestimmungen für Kabel und Garnituren in der Normung.....	204
5.1.1.1	Prüfbestimmungen für Kabel.....	204
5.1.1.2	Prüfbestimmungen für Garnituren	206
5.2	Qualitätsanforderungen an die Beschaffung der Kabel und Garnituren	207
5.2.1	Auswahl geeigneter Hersteller.....	207
5.2.2	Ausschreibung und Auftragsvergabe	208
5.2.3	Abnahme von Lieferungen beim Hersteller und Wareneingangsprüfung	210
5.3	Behandlung der Kabel und Garnituren bei Transport und Lagerung, Legung und Montage sowie im Betrieb.....	212
5.3.1	Transport und Lagerung	212

5.3.2	Legung und Montage.....	214
5.3.3	Betrieb	215
5.4	Prüfung und Diagnose von Kabelanlagen.....	216
5.4.1	Prüfung	216
5.4.2	Diagnose.....	218
5.5	Sanierung water-tree-geschädigter Mittelspannungskabel.....	220
6	Arbeitssicherheit und Umweltschutz	223
6.1	Arbeitssicherheit	223
6.1.1	Unfallverhütung bei Bauarbeiten	223
6.1.2	Die fünf Sicherheitsregeln	224
6.1.3	Feststellen der Spannungsfreiheit.....	225
6.1.4	Arbeiten unter Spannung.....	227
6.1.5	Nichtstationäre Prüfanlagen	230
6.2	Umweltschutz	231
6.2.1	Trassierung, Eingriff in die Natur	231
6.2.2	Boden- und Gewässerschutz	232
6.2.3	Energiebilanz	234
6.2.4	Recycling	234
6.2.5	Elektrische und magnetische Felder	236
7	Ortung von Kabeln und Fehlerstellen	237
7.1	Kabelortung	238
7.1.1	Kabeltrassensuche	238
7.1.2	Kabelauslese	242
7.1.2.1	Kabelauslese mit Tonfrequenz	242
7.1.2.2	Kabelauslese mit Gleichstromimpulsen	243
7.1.2.3	Phasenbestimmung an Mittelspannungskabeln.....	244
7.2	Fehlerarten	245
7.3	Fehlerortung	247
7.3.1	Vorortung von Kabelfehlern.....	247
7.3.1.1	Reflexionsverfahren.....	248
7.3.1.2	Messverfahren für hochohmige Fehler.....	250
7.3.2	Nachortung von Kabelfehlern	255
7.3.2.1	Tonfrequenzverfahren.....	255

7.3.2.2	Stoßspannungsverfahren	258
7.3.3	Ortung von Mantelfehlern mit dem Schrittspannungsverfahren.....	259
7.3.4	Vorgehensweise bei der Fehlerortung.....	262
7.4	Einzelgeräte zur Fehlerortung	264
7.5	Kabelmesswagen	264
7.5.1	Fahrzeug.....	264
7.5.2	Einrichtung.....	265
7.5.3	Anschluss des Kabelmesswagens	268
8	Diagnoseverfahren zur Zustandsbeurteilung von Mittelspannungskabeln	271
8.1	Dielektrische Diagnoseverfahren.....	271
8.1.1	Diagnose auf Basis $\tan\delta$ -Messung (Frequenzbereich)	272
8.1.2	Diagnose im Zeitbereich.....	275
8.1.2.1	Diagnose auf Basis Wiederkehrspannungs- messung (RVM).....	276
8.1.2.2	Diagnose auf Basis Relaxationsstrommessung (IRC-Analyse)	278
8.2	Teilentladungsdiaognose an Starkstromkabeln.....	281
8.2.1	Prämissen der TE-Diagnose vor Ort	283
8.2.2	Erzeugung der Prüfspannung für die TE-Messung vor Ort	285
8.2.3	Auswertung von TE-Messungen	287
9	Statistische Auswertung des Störungs- und Schadensgeschehens	293
9.1	FNN-Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik	294
9.2	VDEW-Umfrage zu Schäden an VPE-isolierten Mittelspannungskabeln.....	295
9.3	Betriebsmittelstatistik.....	299
10	Belastbarkeit der Kabelanlage im Betrieb	301
10.1	Normative Festlegung der Bemessungswerte für die zulässige Kabelbelastung.....	301
10.2	Kriterien für eine zulässige Überschreitung der Bemessungswerte.....	303

10.2.1	Niedrigere Umgebungstemperatur	303
10.2.2	Geringerer Wärmewiderstand des Erdreichs	304
10.2.3	Niedrigerer Belastungsgrad	305
10.2.4	Belastung im Kurzzeitbereich	305
10.3	Kriterien für eine erforderliche Verminderung der Bemessungswerte	306
10.3.1	Kabelhäufung und Legung in der Nähe anderer Wärmequellen.....	306
10.3.2	Örtlich verminderte Wärmeabfuhr	307
10.4	Inkaufnahme einer kalkulierten Überlastung	308
11	Instandhaltung der Kabelanlage	309
11.1	Grundlagen	309
11.2	Neue Norm für die Instandhaltung.....	310
12	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen – Investitionsrechnung	313
12.1	Berechnungsmethoden	313
12.1.1	Jahreskostenmethode (Annuitätenmethode)	314
12.1.2	Kapitalwertmethode (Barwertmethode).....	315
12.1.3	Bewertung der Jahreskosten- und der Barwertmethode....	316
12.1.4	Kumulationsmethode.....	317
12.2	Anwendungsfälle	320
12.2.1	Freileitung oder Kabel	320
12.2.2	Vorinvestitionen	320
12.2.3	Wirtschaftlicher Kabelquerschnitt	321
12.3	Berechnungsbeispiele	322
12.3.1	Kabel oder Freileitung im Mittelspannungsnetz	323
12.3.2	Mitlegung eines Niederspannungskabels, Verrohrung und nachträgliches Einziehen oder spätere getrennte Legung.....	325
13	Neue Kabeltechnologien.....	327
13.1	Gasisolierte Leitungen (GIL).....	327
13.2	Anwendung von Hochtemperatur-Supraleitern in Stromnetzen.....	329

14	Vorschriften und Normung	337
14.1	Nationale Normung.....	339
14.2	Zusammenhang zwischen nationaler, europäischer und internationaler Normung	341
14.3	Harmonisierung der Normung in Europa.....	344
14.4	Normenkonformität	350
14.5	Meilensteine in der Normung von Verteilungskabeln für Nieder- und Mittelspannung	352
15	Anhang	363
15.1	Beispiele für Kabeldaten.....	363
15.2	Beispiele zur Beurteilung der Kurzzeitbelastbarkeit von Kabeln.....	369
15.2.1	Randbedingungen für die Berechnung.....	370
15.2.2	Vorlaststrom und Tageslastspiel	370
15.2.3	Belastbarkeit und Kurzzeitlastfaktoren	371
15.2.4	Beispiel für die Anwendung der Diagramme	372
15.3	Faktoren für Wirtschaftlichkeitsberechnungen	379
15.4	Normen und Richtlinien	383
15.4.1	DIN VDE-, DIN EN-, DIN IEC-Normen (als VDE-Bestimmungen klassifiziert)	385
15.4.2	DIN-Normen.....	393
15.4.3	IEC-Normen.....	396
15.4.4	Sonstige Normen	402
15.4.5	Sonstige Richtlinien	403
16	Schrifttum	407
17	Bilder- und Tabellenverzeichnis	421
18	Abkürzungsverzeichnis	429
19	Stichwortverzeichnis	433
20	Autorenverzeichnis	455