

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 lösbar 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 Kältschrumpftechnik | 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 |