

Einführung	11
1 Grundlagen	13
1.1 Die Gefährdung des Menschen durch den elektrischen Strom	13
1.2 Spezifischer Erdwiderstand	25
1.2.1 Werte bei verschiedenen Bodenarten	25
1.2.2 Abhängigkeit von Bodenfeuchtigkeit und Bodentemperatur	25
1.3 Stromverlauf und Potentialverteilung im Bereich von Erdern	28
1.4 Arten von Erdern und deren Berechnung	36
1.4.1 Allgemeines	36
1.4.2 Oberflächenerder	41
1.4.3 Tiefenerder	45
1.4.4 Kombinierte Oberflächen- und Tiefenerder	49
1.4.5 Vergleich der verschiedenen Erderarten	52
1.4.6 Fundamenterder	54
1.4.7 Kabel und Metallmuffen	57
1.4.7.1 Kabel	57
– Allgemeines	57
– Zeitabhängigkeit des Ausbreitungswiderstandes nach dem Verlegen des Kabels	57
– Grenzwert des Ausbreitungswiderstandes eines Kabels	57
1.4.7.2 Metallmuffen	60
1.4.8 Rohrsysteme	63
1.4.9 Sonstige natürliche Erder	64
1.5 Zusammenwirken von künstlichen und natürlichen Erdern	65
1.6 Reduktionsfaktor und Kettenleiterimpedanz	66
1.6.1 Allgemeines	66
1.6.2 Reduktionsfaktor	69
1.6.3 Kettenleiterimpedanz	74
1.6.4 Beispiele	78
1.6.4.1 Erdungsspannung bei einem Fehler auf der Leitung	78
1.6.4.2 Erdungsspannung bei einem Fehler in der Station	78
1.6.4.3 Fehler in Umspannwerksnähe	79
1.6.4.4 Beispiel einer gemessenen Stromverteilung	82

	Seite
1.7 Korrosion von Metallen im Erdboden	84
1.7.1 Korrosionsursachen	84
1.7.1.1 Korrosion durch Elementbildung bei Verlegung im Erdboden	84
1.7.1.2 Korrosion durch Streuströme	88
1.7.2 Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Verminderung von Korrosion	90
1.7.2.1 Allgemeines	90
1.7.2.2 Maßnahmen bei Elementbildung	91
1.7.2.3 Schutzmaßnahmen gegen Streuströme	91
1.8 Werkstoffe für Erder und deren Zusammenschluß	94
1.8.1 Werkstoffe	94
1.8.1.1 Feuerverzinkter Stahl	94
1.8.1.2 Stahl-Runddraht mit Bleimantel	94
1.8.1.3 Stahl mit Kupfermantel und Stahl elektrolytisch verkupfert	95
1.8.1.4 Kupfer	95
1.8.1.5 Kupfer mit Zinn- oder Zinkauflage	95
1.8.1.6 Kupfer mit Bleimantel	95
1.8.1.7 Nichtrostende Stähle	96
1.8.1.8 Sonstige Werkstoffe	96
1.8.2 Zusammenschluß von Erdern und metallenen Anlagen im Erdreich	96
2 Messungen	99
2.1 Messung des spezifischen Erdwiderstandes	99
2.1.1 Verfahren nach Wenner	99
2.1.2 Verfahren nach Schlumberger	101
2.1.3 Dreisondenmethode	102
2.1.4 Auswertung und Bewertung der Meßergebnisse	103
2.2 Messungen an Erdungsanlagen	110
2.2.1 Messung des Verlaufs des Erdoberflächenpotentials	110
2.2.2 Messung des Ausbreitungswiderstandes von Erdungsanlagen kleiner bis mittlerer Ausdehnung (Erdungsmeßbrücke)	114
2.2.3 Messung des Ausbreitungswiderstandes bzw. der Erdungsimpedanz von Erdungsanlagen bei Kraftwerken und Umspannanlagen (Strom-/Spannungsmessung)	123
– Allgemeines	123
– Praktische Durchführung der Messung	124
2.2.4 Ermittlung der Erdungsspannung	133
2.2.5 Messung von Berührungsspannungen	140
– Meßinstrument	140
– Meßelektroden	140

	Seite
– Meßstellen	142
– Auswertung	143
2.2.6 Eliminierung von Störspannungen bei Erdungsmessungen	144
2.2.6.1 Ursachen der Störspannungen	144
2.2.6.2 Maßnahmen gegen Störspannungen	144
– Beeinflussung durch Gleichströme	144
– Beeinflussung durch fremde Wechselströme	145
– Beeinflussung durch den Versuchsstrom	148
2.3 Bestimmung des Erdfehlerstromes in Netzen über 1 kV	150
2.3.1 Allgemeines	150
2.3.2 Netz mit isoliertem Sternpunkt	151
2.3.3 Netz mit Erdschlußkompensation	153
2.3.4 Netz mit niederohmiger Sternpunkterdung	159
3 Erdungen für Hoch- und Niederspannungsanlagen	161
3.1 Bedeutung der Schutz- und Betriebserdungen	161
3.2 Bemessung von Erdungsanlagen	163
3.2.1 Allgemeines	163
3.2.2 Bemessung im Hinblick auf Korrosion, mechanische Festigkeit und thermische Belastung	163
3.2.2.1 Bemessung im Hinblick auf Korrosion und mechanische Festigkeit (Mindestabmessungen)	164
3.2.2.2 Bemessung im Hinblick auf thermische Beanspruchung	166
– Thermische Bemessung von Erdern	167
– Thermische Bemessung von Erdungsleitungen	170
– Thermische Bemessung von Erdungssammelleitungen	172
3.2.2.3 Empfohlene Querschnitte	173
3.2.3 Bemessung im Hinblick auf Spannungen an der Erdungsanlage (Berührungsspannung)	175
3.2.3.1 Allgemeines, Grenzwerte für Berührungsspannungen	175
3.2.3.2 Hochspannungsnetze (Nennspannungen über 1 kV)	176
– Ermittlung der Berührungsspannung	176
– Allgemeine Maßnahmen zur Beherrschung der Berührungsspannungen	177
– Praxis der Beherrschung von Berührungsspannungen in Netzen mit isoliertem Sternpunkt oder Erdschlußkompensation	186
– Praxis der Beherrschung von Berührungsspannungen in Netzen mit niederohmiger Sternpunkterdung	188
– Praxis der Beherrschung von Berührungsspannungen in Netzen mit Erdschlußkompensation und vorübergehender niederohmiger Sternpunkterdung ..	190

	Seite
3.2.3.3 Niederspannungsnetze	190
– Allgemeines	190
– Betriebserdung	191
– Schutz bei indirektem Berühren	194
3.3 Erdungen in Hochspannungsnetzen	200
3.3.1 Erdungsmaßnahmen in Hochspannungsanlagen	200
3.3.1.1 Erdung von Metallteilen elektrischer Betriebsmittel, die nicht zum Betriebsstromkreis gehören	200
– Durchführungen	201
– Stützisolatoren und Abspannisolatoren	202
– Schaltwagenanlagen	202
– Schwenkbare Gerätetische, Geräteschlitten	202
– Abieiter	202
3.3.1.2 Erdung von Metallteilen, die nicht zu elektrischen Betriebsmitteln gehören	203
3.3.1.3 Erdung der Mäntel, Bewehrungen und Schirme von Kabeln und der Schutzabdeckungen von Leitungen	203
– Starkstromkabel	203
– Schutzrohre, Schutzabdeckungen	204
– Fernmeldekabel	204
3.3.1.4 Erdung der Sekundärkreise von Meßwandlern	209
3.3.1.5 Erdung von Anlagen- und Schaltfeldumzäunungen	210
3.3.1.6 Erdung von Anschlußgleisen und Rohrleitungen	213
– Allgemeines	213
– Anschlußgleise	213
– Rohrleitungen	215
3.3.1.7 Erdung von Gebäudefundamenten	219
3.3.1.8 Erdung von Schutzleitern für Eigenbedarfsnetze	221
3.3.1.9 Ausführungen der Erdungen im Hinblick auf das Herabsetzen von transienten Überspannungen in Sekundärleitungen	221
3.3.2 Erdungsmaßnahmen an Maststationen, Mastschaltern, Kabelendmasten und ortsveränderlichen Umspannstellen	224
3.3.2.1 Maststationen	224
3.3.2.2 Mastschalter	224
3.3.2.3 Kabelendmaste	229
3.3.2.4 Ortsveränderliche Umspannstellen und Ersatzstromversorgungsanlagen	231
3.3.3 Erdungsmaßnahmen an Hochspannungsmasten	235
3.4 Erdungen in Niederspannungsnetzen	238
3.4.1 Allgemeines	238
3.4.2 Erdungen im TN-Netz	239
3.4.3 Erdungen im TT-Netz	242

	Seite
3.4.4	Erdungen im IT-Netz 242
3.4.5	Maßnahmen in Umspannanlagen und Netzstationen bei getrennten Erdungen 244
3.4.6	Rohrleitungen im Bereich von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V 246
3.4.6.1	Allgemeines 246
3.4.6.2	Wasserverbrauchsleitungen 247
3.4.6.3	Gasinnenleitungen 247
3.4.6.4	Herstellen von Anschlüssen an Rohrleitungen 248
3.5	Zusammenschluß oder Trennung von Hochspannungsschutz- und Niederspannungsbetriebserdungen 251
3.5.1	Allgemeines 251
3.5.2	Erdung an einer gemeinsamen Erdungsanlage 252
3.5.2.1	TN-Netz 253
3.5.2.2	TT-Netz 253
3.5.2.3	IT-Netz 254
3.5.3	Erdung an getrennten Erdungsanlagen 255
3.5.4	Potentialverschleppung über Kabelschirme 256
3.5.4.1	Kabelschirme beidseitig geerdet 256
3.5.4.2	Kabelschirme einseitig aufgetrennt 258
3.5.5	Sonderfälle 259
3.5.5.1	Versorgung von Verbrauchern außerhalb der Hochspannungsanlage über deren Eigenbedarfstrafo . . . 259
3.5.5.2	Aus anderen Netzen versorgte Verbraucher in der Nähe der Hochspannungsanlage 260
3.6	Ausführung von Erdungsanlagen 262
3.6.1	Verlegung von Erdungsleitungen und Erdern 262
	– Erdungsleitungen 262
	– Erder 263
3.6.2	Verbindungen und Trennmöglichkeiten zwischen Erdern und Erdungsleitungen 269
3.6.3	Näherungen an Blitzschutzanlagen 269
3.6.4	Korrosionsschutz 274
3.6.5	Maßnahmen zur Erdungsverbesserung 275
3.6.6	Kennzeichnung 280
4	Berücksichtigung der Erfordernisse des Blitzschutzes . 281
4.1	Allgemeines 281
4.2	Freileitungen 282
4.3	Freiluftanlagen 284
4.4	Netzstationen 284
4.5	Erdung der Abieiter 284
4.6	Niederspannungsnetze 286

	Seite
5	Überwachung von Erdungsanlagen 289
5.1	Anfertigen von Lageplänen 289
5.2	Überprüfung von Erdungen 289
6	Literatur 291
6.1	Bücher, Broschüren, Dissertationen 291
6.2	DIN VDE-Bestimmungen 293
6.3	DIN-Normen 295
6.4	Österreichische Normen und Bestimmungen 295
6.5	Schweizerische Bestimmungen 296
6.6	Empfehlungen, Arbeitsblätter, Merkblätter 296
7	Begriffsdefinitionen 299
8	Sachverzeichnis 308