




Inhalt



1 Einleitung	19
2 Normen	21
2.1 Allgemeines zur heutigen Normung	21
2.2 Normen für Erdungen	22
2.2.1 DIN VDE 0100 (IEC 60364)	23
2.2.2 DIN VDE 0100 Teil 200	23
2.2.3 DIN VDE 0100 Teil 410	23
2.2.4 DIN VDE 0100 Teil 442	24
2.2.5 DIN VDE 0100 Teil 444	25
2.2.6 DIN VDE 0100 Teil 540	25
2.2.7 DIN VDE 0100 Teil 600	25
2.2.8 DIN VDE 0101-1 (EN 61936-1)	26
2.2.9 DIN VDE 0101-2 (EN 50522)	26
2.2.10 DIN VDE 0102 (EN 60909)	27
2.2.11 DIN VDE 0105 (EN 50110)	27
2.2.12 DIN VDE 0109-2	28
2.2.13 DIN VDE 0115-3 (EN 50122-1)	28
2.2.14 DIN VDE 0140-479-1 (IEC/TS 60479-1)	28
2.2.15 DIN VDE 0150 (EN 50162)	28
2.2.16 DIN VDE 0151	29
2.2.17 DIN VDE 0185-305 (EN 62305-305)	29
2.2.18 DIN VDE 0210-1 (EN 50341-1)	30
2.2.19 DIN VDE 0210-2-4 (EN 50341-2-4)	30
2.2.20 DIN VDE 0211	30
2.2.21 DIN VDE 0618	31
2.2.22 DIN VDE 0671 Teil 102 (EN 62271-102)	31
2.2.23 DIN VDE 0675 Teil 1 und 5 (EN 60099-1 und 5)	31

2.2.24	DIN VDE 0683 Teil 100 (EN 61230)	32
2.2.25	DIN VDE 0845-6-1 und 2	32
2.2.26	DIN 18014	33

3	Allgemeine Grundlagen	35
3.1	Gefährdung des Menschen durch den elektrischen Strom	35
3.1.1	Widerstand R_0 und Impedanz Z_T	35
3.1.2	Berührungsspannung U_T	38
3.1.3	Gesamtkörperwiderstand R_T	42
3.1.4	Gesamtkörperimpedanz Z_T	42
3.2	Sternpunktbehandlung in Drehstromnetzen	42
3.2.1	Theorie bei Erdschluss oder Erdkurzschluss	42
3.2.2	Isolierter Sternpunkt	45
3.2.3	Erdschlusskompensation	46
3.2.4	Niederohmige Sternpunktterdung	49
3.2.5	Vorübergehende niederohmige Sternpunktterdung	50
3.3	Niederspannungsnetzformen	51

4	Begriffsbestimmungen	57
4.1	Erdungsbegriffe	57
4.2	Schutz-, Funktions- und Blitzschutzterdung	63
4.2.1	Schutzterdung	63
4.2.2	Funktionsterdung	64
4.2.3	Offene Erdung	64
4.2.4	Blitzschutzterdung	65
4.2.5	Zentraler Erdungspunkt (ZEP)	67
4.2.6	Gesamtbetriebserde	67
4.3	Widerstandsarten	67
4.3.1	Spezifischer Erdwiderstand ρ_E	67

4.3.2	Ausbreitungswiderstand R_E	71
4.3.3	Erdungsimpedanz Z_E	72
4.3.4	Stoßerdungswiderstand R_{St}	72
4.4	Spannungen bei stromdurchflossenen Erdungsanlagen	73
4.4.1	Erdungsspannung U_E	73
4.4.2	Erdoberflächenpotential	73
4.4.3	Berührungsspannung U_T	76
4.4.4	Schrittspannung U_S	77
4.4.5	Potentialausgleich, Potentialsteuerung, Potentialverschleppung	77
4.5	Der Erdschluss und seine Ströme	81
4.5.1	Erdschluss	81
4.5.2	Erdfehlerstrom I_F	82
4.5.3	Erdungsstrom I_E	82

5	Korrosion von Erdern	87
5.1	Allgemeines	87
5.2	Eigenkorrosion (chemische Einflüsse)	87
5.3	Kontaktkorrosion (Elementbildung)	92
5.4	Streustromkorrosion	94

6	Diebstahlschutz von Erdungsanlagen	97
6.1	Risiken bei entwendeten Erden	97
6.1.1	Entwendete Erdungen an Freileitungsmasten	97
6.1.2	Entwendete Erdungsbrücken an Wandlern	98
6.1.3	Entwendete Erdungsbrücken an Ableitern	98
6.1.4	Entwendete Erdung von Antriebskästen und Sekundärschränken	98
6.1.5	Entwendete Verbindungen zum Maschennetz	98
6.1.6	Entwendete Verbindung an E-Spulen	99

6.2 Maßnahmen des Diebstahlschutzes	99
6.2.1 Werkstoff für oberirdische Erdverbindungen	99
6.2.2 Nutzen von Vergusstechnik	101
6.2.3 Konstruktive Anpassungen	102

7 Ausführung von Erdern und Bemessung von Erdungsanlagen	103
7.1 Grundsätzliches zu den verwendeten Erderarten	103
7.2 Planung von Erdungsanlagen	104
7.3 Oberflächenerder	105
7.3.1 Erder in gestreckter Verlegung	107
7.3.2 Strahlenerder	110
7.3.3 Ringerder	111
7.3.4 Maschenerder	112
7.4 Tiefenerder	112
7.5 Fundamenterder	116
7.6 Natürliche Erder	118
7.6.1 Kabel mit Erderwirkung	119
7.6.2 Metallmuffen	121
7.6.3 Rohrleitungen	122
7.7 Bemessung von Erdungsanlagen	123
7.7.1 Allgemeines	123
7.7.2 Bemessung der Erdungen im Hinblick auf Strombelastungen	124
7.7.3 Bemessung der Erdungen im Hinblick auf Spannungen	131

8 Erdung in Hochspannungsnetzen	139
8.1 Erdungsanlagen in Hochspannungsstationen	139
8.2 Erdungsanlagen in Netzstationen	146

8.3	Erdungsanlagen in Kabelnetzen _____	155
8.4	Erdungsanlagen in Freileitungsnetzen _____	157
8.4.1	HS-Freileitungsnetze _____	157
8.4.2	MS-/NS-Freileitungsnetze _____	159
8.5	Erdung von Anlagen für Netz- und Inselbetrieb _____	172
8.5.1	Inselnetzerkennung _____	173
8.5.2	Sternpunktnachbildung bei Netzersatzbetrieb _____	174
9	Erdungen in Niederspannungsnetzen _____	177
9.1	Spannungsbegrenzung bei Erdschluss eines Außenleiters _____	177
9.2	Erdungen im TN-System _____	180
9.2.1	Freileitungsnetz _____	180
9.2.2	Kabelnetz _____	184
9.3	Erdungen im TT-System _____	187
9.4	Erdung des Überspannungsschutzes im Niederspannungsnetz _____	188
9.4.1	Erdung von Überspannungsableitern im Freileitungsnetz _____	189
9.4.2	Erdung von Überspannungsableitern im Kabelnetz _____	191
9.4.3	Einbau von Überspannungsableitern in Verbraucheranlagen _____	191
9.5	Näherungen von Erdungsanlagen zu anderen Betriebsmitteln _____	192
9.5.1	Näherungen zwischen Blitzschutzanlagen und Dachständen _____	192
9.5.2	Näherungen von Erdungsleitungen einer Betriebserdung zur Blitzschutzanlage _____	196
9.5.3	Näherungen von Betriebserdern und Fernmeldekabeln _____	196
9.6	Erdung von Verbrauchs- und Einspeisepunkten im Niederspannungsnetz _____	196

9.6.1 Erdung in der Straßenbeleuchtung_____	196
9.6.2 Erdung von Photovoltaikanlagen _____	198
9.6.3 Erdung von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge _____	200
9.6.4 Erdung von Zähleranschlussäulen _____	202

10 Anschluss des Hoch- und Niederspannungsnetzes an gemeinsame Erdungsanlagen _____	203
10.1 Allgemeines _____	203
10.2 Versorgung von Niederspannungsanlagen innerhalb einer Hochspannungs-Erdungsanlage _____	204
10.3 Versorgung von Niederspannungsanlagen außerhalb einer Hochspannungs-Erdungsanlage _____	207
10.4 Potentialverschleppung _____	212

11 Messungen _____	213
11.1 Messverfahren _____	214
11.1.1 Strom-Spannungs-Messverfahren _____	214
11.1.2 Kompensations-Messverfahren _____	217
11.2 Messung des Ausbreitungswiderstandes eines Erders _____	219
11.2.1 Messung mittels Stromzange _____	220
11.2.2 Zehn-Punkt-Methode _____	221
11.2.3 Ein-Punkt-Methode _____	223
11.2.4 Winkelmethode (90°-Methode) _____	224
11.2.5 Messung nach DIN VDE 0100-600 _____	225
11.3 Messung des Gesamterdungswiderstandes im Niederspannungsnetz _____	226
11.4 Messung der Berührungs- und Erdungsspannung in Mittelspannungsanlagen _____	227
11.5 Messung des spezifischen Erdwiderstandes _____	230

11.6	Messung des scheinbaren spezifischen Erdwiderstandes als Funktion der Erdtiefe _____	231
	█	
12	Instandhaltung _____	237
12.1	Überwachung und Inspektion von Erdungsanlagen _____	237
12.2	Überprüfung der Wirksamkeit eines Erders im Niederspannungsnetz _____	238
	█	
13	Temporäre Erdung und ortsveränderliche Betriebserden _____	241
13.1	Erdung von mobilen Netzersatzanlagen _____	241
13.2	Erdung von Baustromverteilern _____	243
13.3	Auslegung von ortsveränderlichen Betriebserden _____	244
	█	
14	Literaturverzeichnis _____	247
	█	
15	Stichwortverzeichnis _____	251