

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	2
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	3
1 Anwendungsbereich	12
2 Normative Verweisungen	12
3 Begriffe	13
4 Allgemeine Grundsätze für die Anwendung von Überspannungsableitern.....	23
5 Grundlagen und Anwendungshinweise für Überspannungsableiter	24
5.1 Geschichtliche Entwicklung von Überspannungsschutzeinrichtungen	24
5.2 Verschiedene Typen und Bauarten sowie deren elektrische und mechanische Kennwerte	25
5.2.1 Allgemeines	25
5.2.2 Metalloxidableiter ohne Funkenstrecken nach IEC 60099-4	26
5.2.3 Metalloxid-Überspannungsableiter mit internen Serienfunkenstrecken nach IEC 60099-6	36
5.2.4 Leitungsableiter mit externer Funkenstrecke (EGLA) nach IEC 60099-8	38
5.2.5 Überlegungen zur Anwendung.....	41
6 Isolationskoordination und Anwendung von Überspannungsableitern	54
6.1 Allgemeines	54
6.2 Überblick über die Isolationskoordination.....	55
6.2.1 Allgemeines	55
6.2.2 Verfahren der Isolationskoordination nach IEC.....	55
6.2.3 Überspannungen	55
6.2.4 Isolationskoordination für Leitungen: Vorgehensweise für den Einsatz von Ableitern	61
6.2.5 Isolationskoordination für Schaltanlagen: Vorgehensweise für den Einsatz von Ableitern	66
6.2.6 Untersuchung zur Isolationskoordination	70
6.3 Auswahl von Ableitern	73
6.3.1 Allgemeines	73
6.3.2 Allgemeines Verfahren zur Auswahl von Überspannungsableitern	73
6.3.3 Auswahl von Übertragungsleitungs-Überspannungsableitern, LSA	87
6.3.4 Auswahl von Überspannungsableitern zum Kabelschutz	96
6.3.5 Auswahl von Ableitern für Verteilungsnetze – besondere Hinweise.....	98
6.3.6 Anwendung und Koordination von Abtrennvorrichtungen.....	99
6.3.7 Auswahl von Ultrahochspannungsableitern	101
6.4 Standard-Betriebsbedingungen und besondere Betriebsbedingungen	102
6.4.1 Standard-Betriebsbedingungen.....	102
6.4.2 Besondere Betriebsbedingungen	103
7 Überspannungsableiter für besondere Anwendungen.....	106
7.1 Überspannungsableiter an Transformator-Sternpunkten.....	106
7.1.1 Allgemeines	106
7.1.2 Überspannungsableiter an vollisolierten Transformator-Sternpunkten.....	107
7.1.3 Überspannungsableiter an Transformator-Sternpunkten mit abgestufter Isolierung	107
7.2 Überspannungsableiter zwischen den Phasen	107

	Seite
7.2.1 Allgemeines.....	107
7.2.2 Sechs-Ableiter-Anschluss	107
7.2.3 Vier-Ableiter-Anschluss (Neptun-Schaltung)	108
7.3 Überspannungsableiter für rotierende Maschinen.....	109
7.4 Parallel betriebene Überspannungsableiter.....	110
7.4.1 Allgemeines.....	110
7.4.2 Kombinieren verschiedener Ableiterbauarten.....	111
7.5 Überspannungsableiter für Kondensatorschaltvorgänge.....	111
7.6 Überspannungsableiter für Reihenkondensatorbänke	113
8 Anlagenmanagement für Überspannungsableiter	114
8.1 Allgemeines.....	114
8.2 Behandlung von Überspannungsableitern im Netz.....	114
8.2.1 Bestandsdatenbank	114
8.2.2 Technische Spezifikationen	114
8.2.3 Strategische Reserven.....	114
8.2.4 Transport und Lagerung.....	115
8.2.5 Inbetriebnahme	115
8.3 Wartung.....	115
8.3.1 Allgemeines.....	115
8.3.2 Verschmutzte Ableitergehäuse	116
8.3.3 Beschichtung des Ableitergehäuses.....	116
8.3.4 Kontrolle von Abtrennvorrichtungen an Überspannungsableitern	117
8.3.5 Übertragungsleitungs-Überspannungsableiter	117
8.4 Betriebseigenchafts- und Diagnosewerkzeuge.....	117
8.5 Lebensdauerende	117
8.5.1 Allgemeines.....	117
8.5.2 GIS-Ableiter.....	118
8.6 Entsorgung und Verwertung	118
Anhang A (informativ) Bestimmung zeitweiliger Überspannungen infolge von Erdfehlern.....	119
Anhang B (informativ) Gängige Praxis	123
Anhang C (informativ) Ableitermodellierungsverfahren für Untersuchungen unter Berücksichtigung von Isolationskoordination und Energieanforderungen.....	124
C.1 Ableitermodelle für Stoßsimulationen	124
C.2 Anwendung für Untersuchungen zur Isolationskoordination	125
C.3 Übersicht über die empfohlenen Ableitermodelle für Stoßanwendungen	125
Anhang D (informativ) Diagnosegeräte für Metalloxid-Überspannungsableiter im Betrieb	127
D.1 Allgemeines.....	127
D.1.1 Überblick	127
D.1.2 Ausfallanzeigen.....	127
D.1.3 Abtrennvorrichtungen.....	127
D.1.4 Ansprechzähler	127

	Seite
D.1.5	Kontrollfunkenstrecken 128
D.1.6	Temperaturmessungen 128
D.1.7	Leckstrommessungen an Metalloxidableitern ohne Funkenstrecke 128
D.2	Messung des Gesamtleckstroms 133
D.3	Messung des resistiven Leckstroms oder der Verlustleistung 133
D.3.1	Allgemeines 133
D.3.2	Methode A1 – Verwendung des angelegten Spannungssignals als Referenz 134
D.3.3	Methode A2 – Kompensation der kapazitiven Komponente unter Verwendung eines Spannungssignals 135
D.3.4	Methode A3 – Kompensation der kapazitiven Komponente ohne Verwendung eines Spannungssignals 136
D.3.5	Methode A4 – Kapazitive Kompensation durch Überlagern der Leckströme der drei Phasen 136
D.3.6	Methode B1 – Analyse der Oberschwingung dritter Ordnung 137
D.3.7	Methode B2 – Analyse der Oberschwingung dritter Ordnung mit Kompensation der Oberschwingungen in der Netzspannung 137
D.3.8	Methode B3 – Analyse der Oberschwingung erster Ordnung 138
D.3.9	Methode C – Direkte Bestimmung der Verlustleistung 138
D.4	Informationen des Ableiterherstellers zum Leckstrom 138
D.5	Zusammenfassung der Diagnoseverfahren 139
Anhang E (informativ)	Daten, die vom Ableiterhersteller für eine sachgerechte Auswahl von Überspannungsableitern benötigt werden 141
Anhang F (informativ)	Typische Höchstwerte für Restspannungen von Metalloxidableitern ohne Funkenstrecken nach IEC 60099-4 142
Anhang G (informativ)	Verringerung der Steilheit von einlaufenden Überspannungen mit zusätzlicher Stoßkapazität an der Leitungsklemme 143
G.1	Allgemeines 143
G.2	Steilheitsfaktor 143
G.3	Äquivalente Kapazität in Verbindung mit einer einlaufenden Stoßwellenstirn 145
G.3.1	Allgemeines 145
G.3.2	Beispiele für die Änderung der Steilheit der einlaufenden Überspannung f_s mit typischen Systemparametern von 550 kV und 245 kV 147
G.3.3	Änderung der Koordinations-Stehspannung U_{cw} mit dem Steilheitsfaktor f_s 147
G.4	EMTP- und Kondensatorauflademodelle für Vergleiche der Änderung der Steilheit an offenen Leitungsklemmen 147
G.5	Typische Steilheit ($S_0 = 1\,000\text{ kV}/\mu\text{s}$), Vergleich der Änderungen mit C_0 und C_s 149
G.6	Kürzere Steilheit ($2\,000\text{ kV}/\mu\text{s}$), Vergleich der Änderungen mit C_0 und C_s 151
Anhang H (informativ)	Vergleich des alten Energieeinteilungssystems, basierend auf Leitungsentladungsklassen mit dem neuem Klassifizierungssystem, basierend auf thermischen Nenn-Energieaufnahmefähigkeiten für Arbeitsprüfungen und wiederholten Nenn-Ladungsableitvermögen für wiederholte Einzelenergieereignisse 153
H.1	Allgemeines 153
H.2	Beispiele 156
Anhang I (informativ)	Schätzung von Gesamtladungen und -energien von Ableitern während des Schaltens von Leitungen 161

	Seite
I.1 Vereinfachtes Verfahren der Schätzung von Leitungsschaltenergien von Ableitern.....	161
I.1.1 Einleitung.....	161
I.1.2 Berechnungsschritte des vereinfachten Verfahrens	163
I.1.3 Typische Wellenwiderstände der Leitung mit Leiterbündeln	164
I.1.4 Unbeeinflusste Schaltüberspannungen	165
I.1.5 Anwendung von IEC 60099-4:2009, um Werte für den Wellenwiderstand und unbeeinflusste Überspannungen zu erhalten.....	165
I.2 Beispiel für Ladung und Energie, unter Verwendung von Leitungsparametern berechnet	167
I.3 Beispiele für die Ableiterenergie bei Leitungsschaltung	170
I.3.1 Allgemeines.....	170
I.3.2 Fall 1 – 145 kV	174
I.3.3 Fall 2 – 242 kV	174
I.3.4 Fall 3 – 362 kV	174
I.3.5 Fall 4 – 420 kV	175
I.3.6 Fall 5 – 550 kV	175
Anhang J (informativ) Lebensdauerende und Austausch von alten SiC-Ableitern mit Funkenstrecke.....	187
J.1 Überblick	187
J.2 Auslegung und Betrieb von SiC-Ableitern.....	187
J.3 Fehlerursachen und Alterungserscheinungen	187
J.3.1 Allgemeines.....	187
J.3.2 Dichtigkeitsprobleme.....	188
J.3.3 Ausgleich des inneren und äußeren Drucks und der Atmosphäre	188
J.3.4 Erosion der Funkenstreckenelektrode	189
J.3.5 Alterung von Steuerelementen.....	189
J.3.6 Geänderte Netzbedingungen	189
J.3.7 Angestiegene Fremdschichtklasse	189
J.4 Möglichkeit, den Zustand des Ableiters zu überprüfen	189
J.5 Vorteil eines vorausschauenden Austauschplans	190
J.5.1 Allgemeines.....	190
J.5.2 Verbesserte Zuverlässigkeit.....	190
J.5.3 Kostenvorteile.....	190
J.5.4 Gestiegene Sicherheitsanforderungen	190
J.6 Hinweise zum Austausch	191
J.6.1 Allgemeines.....	191
J.6.2 Ermitteln der Austauschpriorität.....	191
J.6.3 Auswahl von MO-Ableitern für Austauschinstallationen	191
Literaturhinweise	192
Bilder	
Bild 1 – Beispiel für GIS-Ableiter aus drei mechanischen/einer elektrischen Säule (Mitte) und Ein-Säulen-Ausführung (links) und Strompfad der Ausführung mit drei mechanischen/einer elektrischen Säule (rechts).....	31
Bild 2 – Typischer berührungssicherer Überspannungsableiter	32

	Seite
Bild 3 – Bauarten von Metalloxid-Überspannungsableitern mit interner Funkenstrecke.....	37
Bild 4 – Komponenten eines EGLA nach IEC 60099-8.....	38
Bild 5 – Typische Anordnung eines 420-kV-Ableiters.....	43
Bild 6 – Beispiele für Ultrahoch- und Hochspannungsableiter mit Steuer- und Koronaringen.....	44
Bild 7 – Derselbe Ableitertyp montiert auf einem Stiel stehend (links), von einem geerdeten Stahltragwerk hängend (Mitte) und von einem Leiterseil hängend (rechts).....	45
Bild 8 – Anlagen ohne Maschenerder (Verteilungsnetze).....	46
Bild 9 – Anlagen mit Maschenerder (Hochspannungsschaltanlagen).....	47
Bild 10 – Definition von mechanischen Lasten nach IEC 60099-4:2014.....	49
Bild 11 – Mittelspannungsableiter mit Abtrennvorrichtung und Isolationswinkel.....	50
Bild 12 – Beispiele für gute und schlechte Erdungsausführungen für Mittelspannungsableiter.....	52
Bild 13 – Beispiel für typische Spannungen und Dauer in unterschiedlich geerdeten Netzen.....	56
Bild 14 – Typische Leiter-Erde-Überspannungen, die in Netzen auftreten.....	57
Bild 15 – Spannung-Strom-Kennlinie eines Ableiters.....	58
Bild 16 – Direkteinschlag in einen Phasenleiter mit LSA.....	63
Bild 17 – Blitzeinschlag in ein Erdseil oder einen Mast mit LSA.....	64
Bild 18 – Typisches Verfahren für eine Untersuchung zur Isolationskoordination von Überspannungsableitern.....	72
Bild 19 – Ablaufdiagramme für die Standardauswahl von Überspannungsableitern.....	75
Bild 20 – Beispiele für die TOV-Festigkeit von Ableitern.....	76
Bild 21 – Ablaufdiagramm für die Auswahl von NGLA.....	90
Bild 22 – Ablaufdiagramm für die Auswahl von EGLA.....	94
Bild 23 – Gebräuchliche Sternpunktanordnungen.....	99
Bild 24 – Typische Anordnungen für Phase-Phase-Ableiter und Phase-Erde-Ableiter.....	109
Bild A.1 – Erdfehlerfaktor k abhängig von X_0/X_1 für $R_1/X_1 = R_1 = 0$	119
Bild A.2 – Abhängigkeit zwischen R_0/X_1 und X_0/X_1 für konstante Werte des Erdfehlerfaktors k mit $R_1 = 0$	120
Bild A.3 – Abhängigkeit zwischen R_0/X_1 und X_0/X_1 für konstante Werte des Erdfehlerfaktors k mit $R_1 = 0,5 X_1$	120
Bild A.4 – Abhängigkeit zwischen R_0/X_1 und X_0/X_1 für konstante Werte des Erdfehlerfaktors k mit $R_1 = X_1$	121
Bild A.5 – Abhängigkeit zwischen R_0/X_1 und X_0/X_1 für konstante Werte des Erdfehlerfaktors k mit $R_1 = 2X_1$	121
Bild C.1 – Schematische Skizze einer typischen Ableiterinstallation.....	124
Bild C.2 – Anstieg der Restspannung als Funktion der vereinbarten Stirnzeit des Stroms.....	125
Bild C.3 – Ableitermodell für Untersuchungen zur Isolationskoordination – schnell ansteigende Überspannungen und vorläufige Berechnungen (Möglichkeit 1).....	126
Bild C.4 – Ableitermodell für Untersuchungen zur Isolationskoordination – schnell ansteigende Überspannungen und vorläufige Berechnungen (Möglichkeit 2).....	126
Bild C.5 – Ableitermodell für Untersuchungen zur Isolationskoordination – langsam ansteigende Überspannungen.....	126
Bild D.1 – Typischer Leckstrom eines nichtlinearen Metalloxidwiderstands unter Laborbedingungen.....	129

	Seite
Bild D.2 – Typische Leckströme von Ableitern unter Einsatzbedingungen.....	130
Bild D.3 – Typische Spannung-Strom-Kennlinien von nichtlinearen Metalloxidwiderständen.....	131
Bild D.4 – Typische normierte Spannungsabhängigkeit bei +20 °C	131
Bild D.5 – Typische normierte Temperaturabhängigkeit bei U_c	132
Bild D.6 – Einfluss des Anstiegs des resistiven Leckstroms auf den Gesamtleckstrom.....	133
Bild D.7 – Gemessene Spannung und gemessener Leckstrom sowie berechneter resistiver und kapazitiver Strom ($V = 6,3$ kV Effektivwert).....	135
Bild D.8 – Resultierender Strom nach Kompensation mit kapazitivem Strom bei U_c	136
Bild D.9 – Fehler bei der Bewertung der Oberschwingung dritter Ordnung im Leckstrom für verschiedene Phasenwinkel der Oberschwingung dritter Ordnung in der Netzspannung unter Berücksichtigung verschiedener Kapazitäten und Spannung-Strom-Kennlinien nichtlinearer Metalloxidwiderstände	137
Bild D.10 – Typische Informationen für die Umrechnung in „Standard“-Betriebsbedingungen für die Spannung	139
Bild D.11 – Typische Informationen für die Umrechnung in „Standard“-Betriebsbedingungen für die Umgebungstemperatur	139
Bild G.1 – Wellenformen der Überspannung in verschiedenen Abständen vom Einschlagort (0,0 km) infolge der Koronaentladung	145
Bild G.2 – Fall 1, EMTP-Modell: Spannungsquellenersatzschaltung, Leitung (Z, c) und Schaltanlagen-Sammelschiene (Z, c) und Kapazität (C_s)	148
Bild G.3 – Fall 2, Aufladung des Kondensators über die Leitung Z : $u(t) = 2 \times U_{\text{surge}} \times (1 - \exp[-t / (Z \times C)])$	149
Bild G.4 – EMTP-Modell	150
Bild G.5 – Simulierte Überspannungen an der Kopplung zwischen Leitung und Schaltanlage.....	150
Bild G.6 – Simulierte Überspannungen am Transformator	151
Bild G.7 – EMTP-Modell	151
Bild G.8 – Simulierte Überspannungen an der Kopplung zwischen Leitung und Schaltanlage.....	152
Bild G.9 – Simulierte Überspannungen am Transformator	152
Bild H.1 – Spezifische Energie in kJ/kV Bemessungsspannung in Abhängigkeit vom Verhältnis der Restspannung bei Schaltstoßstrom (U_a) zum Effektivwert der Bemessungsspannung U_r des Ableiters	154
Bild I.1 – Einfaches Netz zur Berechnung der Leitungsentladung von Ableitern und zur Prüfung nach IEC 60099-4:2009	162
Bild I.2 – Linearisierte Ableitergleichung im üblichen Schaltstrombereich der Leitung (angegebene Spannungswerte gelten für einen auf 372 kV bemessenen Ableiter, der in einem 420-kV-Netz verwendet wird)	162
Bild I.3 – Grafische Darstellung des linearisierten Schaltzustands der Leitung und der linearisierten Ableiterkennlinie	164
Bild I.4 – Bereiche der 2-%-Werte langsam ansteigender Überspannungen am empfangenden Ende beim Einschalten und Wiedereinschalten der Leitung.....	165
Bild I.5 – Spannungen bei Ableitern der Klassen 2 und 3, berechnet mit EMTP-Berechnungen: $U_{\text{ps}2}$ und $U_{\text{ps}3} (V \times 10^5)$	168
Bild I.6 – Ströme bei Ableitern der Klassen 2 und 3, berechnet mit EMTP-Studien: $I_{\text{ps}2}$ und $I_{\text{ps}3} (A)$	169
Bild I.7 – Gesamtladungen bei Ableitern der Klassen 2 und 3, berechnet mit EMTP-Simulation: $Q_{\text{rs}2}$ und $Q_{\text{rs}3} (C)$	169

	Seite
Bild I.8 – Gesamte aufgenommene Energien bei Ableitern der Klasse 2 und 3, berechnet mit EMTP-Simulation: W_{s2} und W_{s3} (kJ/kV U_r).....	170
Bild I.9 – Übliches Netz für die Computersimulation der Leitungswiedereinschaltung	171
Bild I.10 – Üblicher Verlauf einer Wiedereinschaltüberspannung von 550 kV entlang einer Leitung von 480 km Länge	172
Bild I.11 – Ladungsableitung Q_{rs} nach IEC-Leitungsentladung (LD) mit verschiedenen Ableiter-Schutzfaktoren.....	173
Bild I.12 – Schaltenergie W_{th} nach IEC-Leitungsentladung (LD) mit verschiedenen Ableiter-Schutzfaktoren.....	173
Bild I.13 – U_{ps} für eine 145-kV-Netzsimulation ($V \times 10^5$)	177
Bild I.14 – I_{ps} für eine 145-kV-Netzsimulation (A)	177
Bild I.15 – Gesamtladung (Q_{rs}) für eine 145-kV-Netzsimulation (C)	178
Bild I.16 – Gesamtenergie (W_{th}) für eine 145-kV-Netzsimulation (kJ/kV U_r).....	178
Bild I.17 – U_{ps} für eine 245-kV-Netzsimulation ($V \times 10^5$)	179
Bild I.18 – I_{ps} für eine 245-kV-Netzsimulation (A)	179
Bild I.19 – Gesamtladung (Q_{rs}) für eine 245-kV-Netzsimulation (C)	180
Bild I.20 – Gesamtenergie (W_{th}) für eine 245-kV-Netzsimulation (kJ/kV U_r).....	180
Bild I.21 – U_{ps} für eine 362-kV-Netzsimulation ($V \times 10^5$)	181
Bild I.22 – I_{ps} für eine 362-kV-Netzsimulation (A)	181
Bild I.23 – Gesamtladung (Q_{rs}) für eine 362-kV-Netzsimulation (C)	182
Bild I.24 – Gesamtenergie (W_{th}) für eine 362-kV-Netzsimulation (kJ/kV U_r).....	182
Bild I.25 – U_{ps} für eine 420-kV-Netzsimulation ($V \times 10^5$)	183
Bild I.26 – I_{ps} für eine 420-kV-Netzsimulation (A)	183
Bild I.27 – Gesamtladung (Q_{rs}) für eine 420-kV-Netzsimulation (C)	184
Bild I.28 – Gesamtenergie (W_{th}) für eine 420-kV-Netzsimulation (kJ/kV U_r).....	184
Bild I.29 – U_{ps} für eine 550-kV-Netzsimulation ($V \times 10^5$)	185
Bild I.30 – I_{ps} für eine 550-kV-Netzsimulation (A)	185
Bild I.31 – Gesamtladung (Q_{rs}) für eine 550-kV-Netzsimulation (C)	186
Bild I.32 – Gesamtenergie (W_{th}) für eine 550-kV-Netzsimulation (kJ/kV U_r).....	186
Bild J.1 – SiC-Ableiterstapel	188
 Tabellen	
Tabelle 1 – Mechanische Mindestanforderungen (für Ableiter mit Porzellangehäuse).....	48
Tabelle 2 – Ableiterklassifizierung	80
Tabelle 3 – Definition des Faktors A in den Gleichungen (14) und (15) für verschiedene Freileitungen.....	85
Tabelle 4 – Beispiele für Schutzbereiche für Freiluftschaltanlagen, berechnet mit Gleichung (16).....	86
Tabelle 5 – Beispiel für die Berechnungsgrundlagen der Blitzstrombeanspruchung der EGLA in 77-kV-Übertragungsleitungen	93
Tabelle 6 – Wahrscheinlichkeit für einen Isolatorüberschlag nach Gleichung (18).....	96

	Seite
Tabelle D.1 – Zusammenfassung der Diagnoseverfahren.....	140
Tabelle D.2 – Eigenschaften von Vor-Ort-Leckstrommessverfahren.....	140
Tabelle E.1 – Ableiterdaten, die für die Auswahl eines Überspannungsableiters benötigt werden.....	141
Tabelle F.1 – Restspannungen für 20 000-A- und 10 000-A-Ableiter, bezogen auf die Bemessungsspannung.....	142
Tabelle F.2 – Restspannungen für 5 000-A- und 2 500-A-Ableiter, bezogen auf die Bemessungsspannung.....	142
Tabelle G.1 – Einfluss von C_s auf den Steilheitsfaktor f_s und die Steilheit S_n	146
Tabelle G.2 – Änderung der Koordinations-Stehspannung U_{cw}	147
Tabelle H.1 – Strom-Scheitelwerte für die Schaltstoßrestspannungsprüfung.....	153
Tabelle H.2 – Parameter für die Leitungsentladungsprüfung an 20 000-A- und 10 000-A-Ableitern.....	154
Tabelle H.3 – Vergleich der Einteilungssysteme nach IEC 60099-4:2009 und IEC 60099-4:2014.....	155
Tabelle I.1 – Übliche Schaltkennwerte von Ableitern (U_{ps} im Verhältnis zu I_{ps}).....	163
Tabelle I.2 – Typische Wellenwiderstände von Leitungen (Z_s) mit einzelnen und gebündelten Leitern.....	164
Tabelle I.3 – Durch die Prüfungen der Leitungsentladungsklasse nach IEC 60099-4:2009 vorgeschriebene Leitungsparameter.....	166
Tabelle I.4 – Wellenwiderstände der Leitung und unbeeinflusste Überspannungen aus Leitungsentladungsprüfparametern nach IEC 60099-4:2009 für verschiedene Netzspannungen und Ableiterbemessungen.....	166
Tabelle I.5 – Vergleich von Energie und Ladung nach Berechnung mit dem vereinfachten Verfahren mit Werten, die durch EMTP-Simulation berechnet wurden – Grundparameter aus Tabelle I.4, verwendet für das vereinfachte Verfahren und für die EMTP-Simulation.....	167
Tabelle I.6 – Vergleich von Energie und Ladung nach Berechnung mit dem vereinfachten Verfahren mit Werten, die durch EMTP-Simulation berechnet wurden – Berechnungen, die das vereinfachte Verfahren verwenden.....	167
Tabelle I.7 – Vergleich von Energie und Ladung nach Berechnung mit dem vereinfachten Verfahren mit Werten, die durch EMTP-Simulation berechnet wurden – Ergebnisse von EMTP-Studien.....	167
Tabelle I.8 – Ergebnisse von Berechnungen nach den verschiedenen, für unterschiedliche Netzspannungen und Ableiterauswahl beschriebenen Verfahren.....	176