

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	18
0 Einleitung.....	19
1 Anwendungsbereich.....	20
2 Normative Verweisungen, Begriffe und Symbole.....	22
2.1 Normative Verweisungen	22
2.2 Begriffe	27
2.3 Symbole.....	38
3 Grundlagen für Auslegung und Bemessung	43
3.1 Einleitung.....	43
3.2 Anforderungen an Freileitungen.....	45
3.2.1 Grundlegende Anforderungen.....	45
3.2.2 Anforderungen an die Zuverlässigkeit.....	45
3.2.3 Anforderungen an die Betriebssicherheit.....	47
3.2.4 Anforderungen an die Personensicherheit.....	47
3.2.5 Abstimmung der Beanspruchbarkeit	47
3.2.6 Zusätzliche Betrachtungen.....	48
3.2.7 Bemessungslebensdauer	48
3.2.8 Dauerhaftigkeit	48
3.2.9 Qualitätssicherung.....	48
3.3 Grenzzustände	48
3.3.1 Allgemeines.....	48
3.3.2 Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	48
3.3.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	49
3.4 Einwirkungen	49
3.4.1 Einteilung in Hauptklassen.....	49
3.4.2 Einteilung der Einwirkungen gemäß ihrer zeitlichen Wirkung.....	49
3.4.3 Einteilung der Einwirkungen nach ihrer Art und/oder der Reaktion des Tragwerks	50
3.5 Charakteristische Werte	50
3.5.1 Charakteristische Werte einer Einwirkung	50
3.5.2 Charakteristischer Wert einer Werkstoffeigenschaft.....	51
3.6 Bemessungswerte.....	51
3.6.1 Allgemeines.....	51
3.6.2 Bemessungswert für eine Einwirkung	51
3.6.3 Bemessungswert einer Werkstoffeigenschaft.....	52
3.6.4 Kombinationswert für eine veränderliche Einwirkung	52
3.7 Methode der Teilsicherheitsbeiwerte und Bemessungsgleichung	52
3.7.1 Methode der Teilsicherheitsbeiwerte.....	52

	Seite
3.7.2	Grundlegende Bemessungsgleichung 53
3.7.3	Gesamtbemessungswert der Auswirkung von Kombinationen von Einwirkungen 53
3.7.4	Bemessungswert der Tragwerksbeanspruchbarkeit 54
4	Einwirkungen auf Freileitungen 54
4.1	Einführung 54
4.2	Ständige Lasten 57
4.3	Windlasten 57
4.3.1	Anwendungsbereich und Basiswindgeschwindigkeit 57
4.3.2	Mittlere Windgeschwindigkeit 57
4.3.3	Mittlerer Staudruck 59
4.3.4	Turbulenzintensität und Spitzenwert des Staudrucks 59
4.3.5	Windlasten auf eine Komponente einer Freileitung 60
4.4	Windlasten auf Freileitungskomponenten 61
4.4.1	Windlasten auf Leiter 61
4.4.2	Windlasten auf Isolator Ketten 67
4.4.3	Windlasten auf Gittermasten 67
4.4.4	Windlasten auf einstielige Masten 70
4.5	Eislasten 72
4.5.1	Allgemeines 72
4.5.2	Eislast an Leitern 72
4.6	Gleichzeitige Wind- und Eislasten 73
4.6.1	Verbundene Wahrscheinlichkeiten 73
4.6.2	Windwiderstandsbeiwerte und Eisdichten 75
4.6.3	Mittlerer Staudruck und Spitzenwert des Staudrucks 75
4.6.4	Äquivalenter Durchmesser D der Leiter mit Eisansatz 75
4.6.5	Windlasten auf Stützpunkte, herrührend von Leitern mit Eisansatz 76
4.6.6	Gleichzeitiges Wirken von Windgeschwindigkeiten und Eislasten 76
4.7	Temperatureinwirkungen 78
4.8	Betriebssicherheitslasten 78
4.8.1	Allgemeines 78
4.8.2	Torsionslasten 78
4.8.3	Längslasten 79
4.8.4	Mechanische Bedingungen für die Anwendung 79
4.9	Personensicherheitslasten 79
4.9.1	Lasten aus Errichtung und Instandhaltung 79
4.9.2	Lasten aus dem Gewicht von Monteuren 80
4.10	Kurzschlusslasten 80
4.11	Andere Sonderlasten 80
4.11.1	Lawinen, rutschender Schnee 80

	Seite
4.11.2 Erdbeben	80
4.12 Lastfälle	80
4.12.1 Allgemeines	80
4.12.2 Standardlastfälle	81
4.13 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen	84
5 Elektrische Anforderungen	85
5.1 Einleitung	85
5.2 Ströme	87
5.2.1 Betriebsstrom	87
5.2.2 Kurzschlussstrom	87
5.3 Isolationskoordination	87
5.4 Einteilung der Spannungen und Überspannungen	88
5.4.1 Allgemeines	88
5.4.2 Repräsentative betriebsfrequente Spannungen	88
5.4.3 Repräsentative zeitweilige Überspannungen	89
5.4.4 Repräsentative langsam ansteigende Überspannungen	90
5.4.5 Repräsentative schnell ansteigende Überspannungen	90
5.5 Mindestabstände in Luft zur Vermeidung von Überschlägen	91
5.5.1 Allgemeines	91
5.5.2 Anwendung der im Anhang E enthaltenen theoretischen Methode	91
5.5.3 Empirische Methode auf Grundlage von Erfahrungen in Europa	95
5.6 Lastfälle für die Berechnung von Abständen	96
5.6.1 Belastungszustände	96
5.6.2 Höchste Leitertemperatur	96
5.6.3 Windlasten für die Festlegung von elektrischen Abständen	97
5.6.4 Eislasten für die Festlegung von elektrischen Abständen	97
5.6.5 Gleichzeitige Wind- und Eisbelastung	98
5.7 Abstimmung der Lage der Leiter und der Isolationsbeanspruchung	98
5.8 Innere Abstände im Feld und am Stützpunkt	99
5.9 Äußere Abstände	102
5.9.1 Allgemeines	102
5.9.2 Äußere Abstände zum Boden in Gebieten abseits von Gebäuden, Straßen usw.	103
5.9.3 Äußere Abstände zu Wohn- und anderen Gebäuden	104
5.9.4 Äußere Abstände zu gekreuzten Verkehrswegen	105
5.9.5 Äußere Abstände zu angrenzenden Verkehrswegen	107
5.9.6 Äußere Abstände zu anderen Freileitungen oder Fernmeldeleitungen	108
5.9.7 Äußere Abstände zu Erholungsflächen (Spielplätze, Sportflächen usw.)	109
5.10 Auswirkungen der Korona	110
5.10.1 Funkstörungen	110

	Seite
5.10.2	Koronageräusche..... 111
5.10.3	Koronaverluste 111
5.11	Elektrische und magnetische Felder 112
5.11.1	Elektrische und magnetische Felder unter einer Freileitung..... 112
5.11.2	Induktion infolge elektrischer und magnetischer Felder 112
5.11.3	Beeinflussung von Fernmeldestromkreisen..... 113
6	Erdungsanlagen 113
6.1	Einleitung..... 113
6.1.1	Zweck..... 113
6.1.2	Anforderungen an die Bemessung von Erdungsanlagen 113
6.1.3	Erdungsmaßnahmen gegen Blitzauswirkungen 114
6.1.4	Potentialverschleppungen..... 114
6.2	Auslegung im Hinblick auf Korrosion und mechanische Festigkeit 114
6.2.1	Erder..... 114
6.2.2	Erdungs- und Verbindungsleiter 115
6.3	Auslegung im Hinblick auf thermische Festigkeit..... 115
6.3.1	Allgemeines..... 115
6.3.2	Auslegung im Hinblick auf den Strom 115
6.4	Auslegung bezüglich Personensicherheit 116
6.4.1	Zulässige Werte für Berührungsspannungen 116
6.4.2	Grenzwerte der Berührungsspannungen an unterschiedlichen Standorten..... 116
6.4.3	Grundlegende Auslegung der Erdungsanlage bezüglich zulässiger Berührungsspannungen..... 118
6.4.4	Maßnahmen in Anlagen mit isoliertem Sternpunkt oder mit Erdschlusskompensation..... 120
6.5	Inspektion von Erdungsanlagen vor Ort und Dokumentation 120
7	Stützpunkte 121
7.1	Einführende Überlegungen zur Bemessung 121
7.1.1	Einführung 121
7.1.2	Bemessungswert der Tragwerksbeanspruchbarkeit eines einstieligen Masts 121
7.1.3	Knickbeanspruchbarkeit..... 121
7.2	Werkstoffe 121
7.2.1	Stahlwerkstoffe, Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben, Schweißwerkstoffe 121
7.2.2	Kaltverformter Stahl 122
7.2.3	Anforderungen an zum Verzinken geeignete Stahlgüten 122
7.2.4	Ankerschrauben 122
7.2.5	Beton und Bewehrungsstahl 122
7.2.6	Holz 122
7.2.7	Werkstoffe für Abspannungen 122
7.2.8	Andere Werkstoffe 122

	Seite
7.3	Stahlgittermasten..... 122
7.3.1	Allgemeines 122
7.3.2	Grundlagen für Auslegung und Bemessung 123
7.3.3	Werkstoffe 123
7.3.4	Dauerhaftigkeit 123
7.3.5	Tragwerksberechnung..... 123
7.3.6	Grenzzustände der Tragfähigkeit..... 124
7.3.7	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit 126
7.3.8	Beanspruchbarkeit der Verbindungen..... 126
7.3.9	Versuchsgestützte Bemessung..... 126
7.3.10	Ermüdung 126
7.4	Einstielige Stahlmasten 127
7.4.1	Allgemeines 127
7.4.2	Grundlagen für die Bemessung und Konstruktion (EN 1993-1-1:2005, Abschnitt 2) 127
7.4.3	Werkstoffe (EN 1993-1-1:2005, Abschnitt 3) 127
7.4.4	Dauerhaftigkeit (EN 1993-1-1:2005, Abschnitt 4) 127
7.4.5	Tragwerksberechnung (EN 1993-1-1:2005, Abschnitt 5)..... 127
7.4.6	Grenzzustände der Tragfähigkeit (EN 1993-1-1:2005, Abschnitt 6)..... 128
7.4.7	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (EN 1993-1-1:2005, Abschnitt 7) 128
7.4.8	Beanspruchbarkeit der Verbindungen..... 128
7.4.9	Versuchsgestützte Bemessung..... 130
7.5	Holzmasten..... 130
7.5.1	Allgemeines 130
7.5.2	Grundlagen für Auslegung und Bemessung 131
7.5.3	Werkstoffe 131
7.5.4	Dauerhaftigkeit 131
7.5.5	Grenzzustände der Tragfähigkeit..... 131
7.5.6	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit 133
7.5.7	Beanspruchbarkeit von Verbindungen 133
7.5.8	Versuchsgestützte Bemessung..... 133
7.6	Betonmasten 133
7.6.1	Allgemeines 133
7.6.2	Grundlagen für Berechnung und Konstruktion..... 134
7.6.3	Werkstoffe 134
7.6.4	Grenzzustände der Tragfähigkeit..... 134
7.6.5	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit 134
7.6.6	Versuchsgestützte Bemessung..... 135
7.7	Abgespannte Tragwerke 135
7.7.1	Allgemeines 135

	Seite
7.7.2 Grundlagen der Bemessung und Konstruktion	135
7.7.3 Werkstoffe	135
7.7.4 Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	136
7.7.5 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	138
7.7.6 Auslegung und Bemessung der Anker Ausführungen	138
7.8 Andere Tragwerke.....	140
7.9 Korrosionsschutz und Endbehandlung	140
7.9.1 Allgemeines.....	140
7.9.2 Verzinkung	140
7.9.3 Metallspritzverzinkung.....	140
7.9.4 Beschichtung verzinkter Teile in der Werkstatt (Duplex-System).....	140
7.9.5 Farbliche Endbehandlung	141
7.9.6 Verwendung von wetterfesten Stählen	141
7.9.7 Schutz von Holzmasten	141
7.10 Instandhaltungseinrichtungen	141
7.10.1 Besteigen	141
7.10.2 Instandhaltbarkeit.....	142
7.10.3 Anforderungen an die Personensicherheit.....	142
7.11 Belastungsprüfungen	142
7.12 Zusammenbau und Errichtung.....	142
8 Gründungen	142
8.1 Einführung.....	142
8.2 Grundlagen der geotechnischen Bemessung (EN 1997-1:2004, Abschnitt 2).....	143
8.2.1 Allgemeines.....	143
8.2.2 Geotechnische Bemessung durch Berechnung.....	143
8.2.3 Bemessung mit praktisch bewährten Methoden.....	145
8.2.4 Belastungsprüfungen und Prüfungen an experimentellen Modellen	145
8.3 Baugrunderkundungen und geotechnische Angaben (EN 1997-1:2004, Abschnitt 3).....	145
8.4 Überwachung der Einbringung, des Verhaltens im Betrieb und der Instandhaltung (EN 1997-1:2004, Abschnitt 4).....	145
8.5 Schüttungen, Wasserhaltung, Bodenverbesserung und Bodenbewehrung (EN 1997-1:2004, Abschnitt 5)	146
8.6 Zusammenwirken zwischen Tragwerksgründungen und Boden	146
9 Leiter und Erdseile	146
9.1 Einleitung.....	146
9.2 Leiter mit Aluminium als Leitmaterial	147
9.2.1 Kennwerte und Maße.....	147
9.2.2 Elektrische Anforderungen.....	147
9.2.3 Leiterbetriebstemperaturen und Eigenschaften des Fetts	148
9.2.4 Mechanische Anforderungen	148

	Seite
9.2.5	Korrosionsschutz 148
9.2.6	Prüfungsanforderungen..... 149
9.3	Leiter aus Stahldrähten 149
9.3.1	Kennwerte und Maße 149
9.3.2	Elektrische Anforderungen 149
9.3.3	Leiterbetriebstemperaturen und Kennwerte des Fetts 149
9.3.4	Mechanische Anforderungen 149
9.3.5	Korrosionsschutz 150
9.3.6	Prüfanforderungen 150
9.4	Leiter aus Kupferdrähten 150
9.5	Leiter und Erdseile mit optischen Fasern für Telekommunikationskreise 150
9.5.1	Kennwerte und Maße 150
9.5.2	Elektrische Anforderungen 150
9.5.3	Leiterbetriebstemperatur 151
9.5.4	Mechanische Anforderungen 151
9.5.5	Korrosionsschutz 151
9.5.6	Prüfanforderungen 151
9.6	Allgemeine Anforderungen 151
9.6.1	Vermeiden von Beschädigungen 151
9.6.2	Teilsicherheitsbeiwert für Leiter..... 151
9.6.3	Kleinste Querschnitte 151
9.6.4	Spannungs-Durchhangs-Berechnungen 152
9.7	Prüfberichte und -zertifikate 152
9.8	Auswahl, Lieferung und Verlegung von Leitern 152
10	Isolatoren 152
10.1	Einführung 152
10.2	Genormte elektrische Anforderungen 153
10.3	Anforderungen an die Funkstörfestigkeit und Koronaaussetzspannung 153
10.4	Anforderungen an das Verhalten unter Verschmutzung 153
10.5	Anforderungen an das Leistungslichtbogenverhalten 154
10.6	Anforderungen an das Geräuschverhalten 154
10.7	Mechanische Anforderungen 154
10.8	Anforderungen an die Dauerhaftigkeit..... 154
10.8.1	Allgemeine Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Isolatoren..... 154
10.8.2	Schutz gegen Vandalismus 154
10.8.3	Schutz der Eisenteile..... 155
10.8.4	Zusätzlicher Korrosionsschutz 155
10.9	Werkstoffwahl und -festlegung 155
10.10	Kennwerte und Maße von Isolatoren 155

	Seite
10.11 Anforderungen an Typprüfungen	156
10.11.1 Genormte Typprüfungen	156
10.11.2 Wahlfreie Typprüfungen	156
10.12 Anforderungen an die Stichprobenprüfung	156
10.13 Anforderungen an die Stückprüfung	157
10.14 Zusammenfassung der Prüfanforderungen	157
10.15 Prüfberichte und -zertifikate	157
10.16 Auswahl, Lieferung und Einbau von Isolatoren	157
11 Armaturen	158
11.1 Einführung	158
11.2 Elektrische Anforderungen	158
11.2.1 Für alle Armaturen geltende Anforderungen	158
11.2.2 Für stromfeste Armaturen geltende Anforderungen	158
11.3 Anforderungen an Funkstörspannungen und Koronaaussetzspannungen	158
11.4 Magnetische Eigenschaften	158
11.5 Anforderungen hinsichtlich Kurzschluss- und Lichtbogenfestigkeit	159
11.6 Mechanische Anforderungen	159
11.7 Anforderungen an die Dauerbeständigkeit	159
11.8 Werkstoffauswahl und -spezifikation	159
11.9 Kennwerte und Maße von Armaturen	160
11.10 Anforderungen an Typprüfungen	160
11.10.1 Genormte Typprüfungen	160
11.10.2 Wahlfreie Typprüfungen	160
11.11 Anforderungen an Stichprobenprüfungen	160
11.12 Anforderungen an Stückprüfungen	160
11.13 Prüfberichte und Zertifikate	161
11.14 Auswahl, Lieferung und Einbau von Armaturen	161
12 Qualitätssicherung, Prüfungen und Abnahmen	161
12.1 Qualitätssicherung	161
12.2 Prüfungen und Abnahmen	162
Anhang A (informativ) Abstimmung der Beanspruchbarkeit	163
A.1 Empfohlene Auslegungskriterien	163
A.2 Vorschlag für die Abstimmung der Beanspruchbarkeit	163
Anhang B (informativ) Umrechnung der Windgeschwindigkeiten und Eislasten	165
B.1 Definitionen der in diesem Anhang verwendeten Symbole	165
B.2 Auswertung von extremen Windgeschwindigkeiten	165
B.3 Auswertung der Daten über extreme Eislast	167
B.4 Statistische Eisparameter	168
B.4.1 Grundeislast I_B	168

	Seite
B.4.2 Größte jährliche Eislast I_m	168
B.4.3 Größte Eislast während mehrerer Jahre I_{max}	168
B.4.4 Mittelwert I_{mm} der größten jährlichen Eislasten	168
B.4.5 Variationskoeffizient v_1 für größte jährliche Eislasten	168
B.5 Auswertung der größten Eislasten, die aus unterschiedlichen Datenquellen stammen	168
B.5.1 Datenquellen für die statistische Auswertung	168
B.5.2 Jährliche Größtwerte der Eislasten I_m während einer Periode von wenigstens 10 Jahren sind verfügbar	169
B.5.3 Nur die größte Eislast I_{max} ist für eine bestimmte Anzahl von Jahren bekannt.....	169
B.5.4 Ermittlung der größten jährlichen Eislast I_m durch Auswertung von meteorologischen Daten.....	169
Anhang C (informativ) Anwendungsbeispiele für Windlasten – Sonderlasten	170
C.1 Anwendungsbeispiele für die Berechnung von Windlasten nach den Festlegungen in 4.3 und 4.4.....	170
C.1.1 Beispiel 1: Typischer 24-kV-Holztragmast	170
C.1.2 Beispiel 2: Typischer 225-kV-Traggittermast	172
C.2 Sonderlasten	175
C.2.1 Definition der in diesem Abschnitt C.2 verwendeten Symbole.....	175
C.2.2 Lasten infolge von Kurzschlüssen.....	175
C.2.3 Lawinen, rutschender Schnee	176
C.2.4 Erdbeben	176
Anhang D (informativ) Statistische Daten für die Gumbel-Extremwertverteilung.....	177
D.1 Definition der in diesem Anhang verwendeten Symbole.....	177
D.2 Gumbel-Verteilung.....	177
D.3 Beispiel für die Verwendung von C_1 und C_2	181
D.4 Berechnung von C_1 und C_2	181
Anhang E (normativ) Theoretisches Verfahren zur Berechnung der Mindestabstände in Luft.....	185
E.1 Definition der in diesem Anhang verwendeten Symbole.....	185
E.2 Isolationskoordination.....	186
E.2.1 Entwicklung theoretischer Gleichungen für die Berechnung elektrischer Abstände.....	186
E.2.2 Repräsentative Spannungen und Überspannungen U_{rp}	188
E.2.3 Koordinationsstehspannung U_{cw}	189
E.2.4 Erforderliche Stehspannung der Funkenstrecke U_{rw}	189
E.2.5 Beziehung zwischen der erforderlichen Stehspannung und der Länge der Funkenstrecke.....	190
E.2.5.1 Statistischer Ansatz.....	190
E.2.5.2 Abweichungsfaktoren	191
E.2.5.3 Funkenstreckenfaktoren.....	191
E.2.5.4 Isolationsverhalten bei Überspannungen.....	192
E.3 Berechnungsgleichungen für die kleinsten Funkenstrecken in Luft.....	193

	Seite
E.4 Beispiele für die Berechnung von D_{el} , D_{pp} und $D_{50\text{ Hz}}$ für unterschiedliche Spannungen U_s (informativ)	195
E.4.1 Bereich I: 90-kV-Freileitung, ausgerüstet mit Isolatorketten aus 6 Kappenisolatoren	195
E.4.2 Bereich I: 90-kV-System, ausgerüstet mit Isolatorketten aus 9 Kappenisolatoren	196
E.4.3 Bereich II: 400-kV-Freileitung	197
Anhang F (informativ) Empirische Methode zur Berechnung der Mindestabstände in der Feldmitte	199
F.1 Empirische Methode zur Bestimmung von Mindestabständen im Feld	199
F.2 Näherungsmethode für Abstände bei Leitern mit unterschiedlichen Querschnitten, Werkstoffen oder Durchhängen	200
F.3 Einfluss der Isolatorkette bei der Ermittlung der Abstände an Stützpunkten	200
Anhang G (normativ) Berechnungsmethoden für Erdungsanlagen	202
G.1 Definition der in diesem Anhang verwendeten Symbole	202
G.2 Mindestmaße von Erdern	203
G.3 Berechnung der Stromtragfähigkeit	204
G.4 Berührungsspannung und Körperstrom	206
G.4.1 Zusammenhang zwischen Berührungsspannung und Körperstrom	206
G.4.2 Berechnung mit Berücksichtigung zusätzlicher Widerstände	208
Anhang H (informativ) Einbau und Messungen von Erdungsanlagen	210
H.1 Definition der in diesem Anhang verwendeten Symbole	210
H.2 Grundlagen für den Nachweis	211
H.2.1 Spezifischer Bodenwiderstand	211
H.2.2 Erdausbreitungswiderstand	211
H.3 Einbau von Erdern und Erdungsleitern	213
H.3.1 Einbau von Erdern	213
H.3.1.1 Erder	213
H.3.1.2 Oberflächenerder	214
H.3.1.3 Lotrecht oder schräg eingetriebene Tiefenerder	214
H.3.1.4 Verbindung der Erder	214
H.3.2 Einbau von Erdungsleitern	214
H.3.2.1 Allgemeines	214
H.3.2.2 Verlegen von Erdungsleitern	214
H.3.2.3 Verbinden von Erdungsleiter	215
H.4 Messungen für und an Erdungsanlagen	215
H.4.1 Messung der spezifischen Bodenwiderstände	215
H.4.2 Messung von Berührungsspannungen	215
H.4.3 Messung von Ausbreitungswiderständen und Erdungsimpedanzen	216
H.4.4 Bestimmung der Erdpotentialerhöhung	217
H.4.5 Reduktionsfaktor durch Erdseile von Freileitungen	217
H.4.5.1 Allgemeines	217

	Seite
H.4.5.2 Werte für den Reduktionsfaktor von Freileitungen.....	218
Anhang J (normativ) Winkelprofile in Stahlgittermasten.....	219
J.1 Definition der in diesem Anhang verwendeten Symbole.....	219
J.2 Allgemeines	220
J.3 Zugbeanspruchbarkeit von Winkelprofilen, die mit einem Schenkel angeschlossen sind (siehe 7.3.6.2).....	221
J.4 Knickbeanspruchbarkeit von Winkelprofilen unter Druckbelastung (siehe 7.3.6.3).....	222
J.4.1 Biegeknickbeanspruchbarkeit	222
J.4.2 Wirksamer Schlankheitsgrad für die Biegeknickbeanspruchbarkeit	223
J.4.2.1 Allgemeines	223
J.4.2.2 Schlankheit λ	225
J.4.2.3 Dimensionslose Schlankheit $\bar{\lambda}$	225
J.4.2.4 Wirksamer dimensionsloser Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{\text{eff}}$	225
J.4.3 Schlankheit von Stäben.....	227
J.4.3.1 Allgemeines.....	227
J.4.3.2 Eckstiele und Gurte	227
J.4.3.3 Anordnungen von Diagonalstäben	227
J.4.3.4 Mehrteilige Gitterstäbe	230
J.4.4 Sekundäre (oder redundante) Füllstäbe.....	231
J.5 Bemessungsbeanspruchbarkeit für Schraubverbindungen (siehe 7.3.8)	231
J.5.1 Allgemeines	231
J.5.2 Widerstand gegen Blockversagen von Schraubverbindungen	233
Anhang K (normativ) Einstielige Stahlmasten	234
K.1 Definitionen der in diesem Anhang verwendeten Symbole.....	234
K.2 Klassifizierung von Querschnitten (EN 1993-1-1:2005, 5.5).....	235
K.3 Querschnitte der Klasse 4 (EN 1993-1-1:2005, 6.2.2.5, und EN 1993-1-5:2006, Abschnitt 4)	235
K.4 Beanspruchbarkeit von kreisförmigen Querschnitten	236
K.5 Beanspruchbarkeit von polygonalen Querschnitten.....	236
K.5.1 Querschnitte der Klasse 3 (EN 1993-1-1:2005, 6.2.9.2).....	236
K.5.2 Querschnitte der Klasse 4 (EN 1993-1-1:2005, 6.2.9.3).....	237
K.6 Bemessung von Ankerschrauben	237
Anhang L (informativ) Bemessungsanforderungen für Stützpunkte und Gründungen	241
L.1 Das Tragwerk betreffende Anforderungen.....	241
L.2 Anforderungen an die Anordnung: Arten der Stützpunkte und ihr Verwendungszweck.....	241
L.3 Befestigung für Außenleiter und Erdseile.....	244
L.4 Einbindung der Stahlteile in die Gründung.....	244
L.5 Hilfsmittel für Errichtung und Instandhaltung.....	244
L.6 Einschränkungen bezüglich Massen und Maßen	244
Anhang M (informativ) Geotechnische und bautechnische Planung von Tragwerksgründungen	245

	Seite
M.1 Typische Werte für geotechnische Parameter von Böden und Fels.....	245
M.1.1 Allgemeines.....	245
M.1.2 Definitionen.....	245
M.1.3 Symbole, Definitionen und Einheiten einiger Baugrundparameter.....	245
M.2 Beispiele für analytische Modelle für die Berechnung der Zugtragfähigkeit.....	248
M.2.1 Allgemeines.....	248
M.2.2 Berechnung von R_w	248
M.2.3 Berechnung von R_s	249
M.2.4 Rechnerische Ermittlung von R_d	251
M.3 Beispiel eines halbempirischen Verfahrens zur Ermittlung der Beanspruchbarkeit.....	252
M.3.1 Geotechnische Bemessung aufgrund von Berechnungen.....	252
M.3.1.1 Allgemeines.....	252
M.3.1.2 Einblockgründungen.....	253
M.3.1.3 Plattengründungen.....	255
M.3.1.4 Schwellen-Plattengründungen.....	256
M.3.1.5 Einpfahlgründungen.....	257
M.3.1.6 Aufgeteilte Stufengründungen, Pilzgründungen.....	257
M.3.1.7 Bohr- und Schachtgründungen.....	259
M.3.1.8 Schwellen-Einzelgründungen.....	260
M.3.1.9 Pfahlgründungen.....	260
M.3.2 Bautechnische Bemessung und Ausführung von Betongründungen.....	262
Anhang N (informativ) Leiter und Erdseile.....	263
N.1 Vorgaben für Leiter und Erdseile.....	263
N.1.1 Parameter, die die Vorgaben für Leiter und Erdseile beeinflussen.....	263
N.1.2 Betriebliche Einflüsse.....	263
N.1.3 Anforderungen hinsichtlich Instandhaltung.....	263
N.1.4 Umweltparameter.....	263
N.2 Leiter- und ErdseilAuswahl.....	264
N.3 Verpackung und Lieferung von Leitern und Erdseilen.....	264
N.4 Vorkehrungen während des Verlegens von Leitern und Erdseilen.....	264
Anhang P (informativ) Prüfungen an Freileitungsisolatoren und -isolatorketten.....	265
Anhang Q (informativ) Isolatoren.....	267
Q.1 Anforderungen an Isolatoren.....	267
Q.1.1 Faktoren, die die Anforderungen an Isolatoren beeinflussen.....	267
Q.1.2 Betriebliche Faktoren.....	267
Q.1.3 Anforderungen hinsichtlich Instandhaltung.....	267
Q.1.4 Umweltparameter.....	267
Q.2 Wahl der Isolatoren.....	268
Q.3 Verpackung und Lieferung von Isolatoren.....	268

	Seite
Q.4 Vorsichtsmaßnahmen während des Einbaus von Isolatoren	268
Anhang R (informativ) Armaturen	269
R.1 Festlegung und Auswahl von Armaturen	269
R.1.1 Faktoren, die die Armaturenauslegung und -auswahl beeinflussen	269
R.1.2 Betriebliche Einflussfaktoren	269
R.1.3 Anforderungen hinsichtlich der Instandhaltung	269
R.1.4 Umwelteinflüsse	269
R.2 Verpackung und Lieferung von Armaturen.....	270
R.3 Vorsichtsmaßnahmen während des Einbaus von Armaturen	270
 Bilder	
Flussdiagramm 1.1 – Aufbau der Europäischen Norm EN 50341-1	21
Flussdiagramm 3.1 – Struktur des Abschnitts 3 betreffend die Grundlagen für die Auslegung.....	44
Flussdiagramm 4.1 – Struktur von 4.3 betreffend Windlasten	56
Bild 4.1.a – Windlasten auf Leiter – Allgemeiner Fall	62
Bild 4.1.b – Windlasten auf Leiter – Windwirkung in Richtung der Winkelhalbierenden des Leitungswinkels	62
Bild 4.2 – Definitionen des Mastschusswand, des Querträgers und des Völligkeitsgrads χ	69
Bild 4.3 – Windwiderstandsbeiwert für rechtwinklige Masten, bestehend aus Stäben aus Winkelprofilen	69
Flussdiagramm 4.2 – Aufbau von Abschnitt 4.6 betreffend gleichzeitige Wind- und Eislasten.....	74
Bild 4.4 – Biegung in Querrichtung	83
Bild 4.5 – Biegung in Längsrichtung	83
Bild 4.6 – Biegung und Torsion.....	84
Flussdiagramm 5.1 – Aufbau des Abschnitts 5 betreffend elektrische Anforderungen.....	86
Bild 6.1 – Beispiele für die Grenzen der Berührungsspannung (Spannungsdifferenz U_D) in Abhängigkeit von der Wirkungsdauer t_F des Fehlerstroms.....	117
Bild 6.2 – Auslegung von Erdungsanlagen hinsichtlich zulässiger Berührungsspannungen	119
Bild 7.1 – Winkelquerschnittsmaße	125
Bild C.1 – Typischer 24-kV-Holztragmast.....	170
Bild C.2 – Typischer 225-kV-Traggittermast.....	173
Flussdiagramm E.1 – Aufbau von Anhang E zur theoretischen Ableitung für Mindestabstände in Luft	187
Bild F.1 – Lage des Leiters „2“ zur senkrechten Achse durch den Leiter „1“	200
Bild G.1 – Kurzschlussstromdichte G für Erdungsleiter und Erder in Abhängigkeit von der Fehlerstromdauer t_F	205
Bild G.2 – Dauerstrom I_d für Erdungsleiter mit rundem und rechteckigem Querschnitt.....	206
Bild G.3 – Ersatzschaltbild zur Berechnung der Berührungsspannungen und Körperströme	208
Bild H.1 – Erdausbreitungswiderstand R_E von Oberflächenerdern (bestehend aus Bändern, Rundstäben oder verseilten Leitern) für sternförmige oder ringförmige Anordnungen im homogenem Erdreich	212
Bild H.2 – Erdausbreitungswiderstand R_E von vertikalen Tiefenerdern in homogenem Erdreich	213

	Seite
Flussdiagramm J.1 – Aufbau von Anhang J betreffend Winkelprofile in Stahlgittermasten	221
Bild J.1 – Winkelprofil mit einem verbundenen Schenkel	222
Flussdiagramm J.2 – Aufbau von Abschnitt J.3 betreffend Zugstäbe.....	222
Flussdiagramm J.3 – Aufbau von J.4.1 betreffend die Biegeknickbeanspruchbarkeit eines Druckstabs	223
Bild J.2 – Symmetrische und versetzte Ausfachung für Eckstiele	227
Bild J.3 – Typischer Querverband	229
Bild J.4 – Schenkel an Schenkel liegende Winkelprofile.....	231
Bild J.5 – Über Eck gestellte Winkelprofile.....	231
Bild J.6 – Lage von Schrauben in einem Winkelstab, der mit einem Schenkel angeschlossen ist	231
Bild J.7 – Blockversagen von Winkelprofilen.....	233
Bild K.1 – Wirksame Querschnittswerte für Querschnitte der Klasse 4	235
Bild K.2 – Reduktionsfaktor ρ	236
Bild K.3 – Polygonale Querschnitte der Klasse 4 – Wirksames Widerstandsmoment W_{eff}	238
Bild K.4 – Polygonale Querschnitte der Klasse 4 – Wirksame Fläche A_{eff}	239
Bild M.1 – Betonstufengründungen	248
Bild M.2 – Betonstufengründungen mit Unterschneidung.....	249
Bild M.3 – Betonstufengründungen ohne Unterschneidung.....	250
Bild M.4 – Zulässige Fläche einer rechteckigen Sohlfläche der Gründung für die Position e_x, e_y der Kraft N , die aus der Gesamtvertikallast resultiert.....	256
Bild M.5 – Annahmen für die Bemessung von Betonstufengründungen, Bohr- und Schachtgründungen sowie aufgeteilte Schwellengründungen	258
 Tabellen	
Tabelle 3.1 – Zuverlässigkeitsstufen	45
Tabelle 3.2 – Wiederkehrdauer für provisorische Freileitungen.....	46
Tabelle 4.1 – Geländearten, Bodenrauigkeitslänge z_0 und Geländefaktor k_f	58
Tabelle 4.2 – Relative Luftdichte ρ als Funktion der Höhe H und der Temperatur T	59
Tabelle 4.3 – Bestimmung der Bezugshöhe der Leiter über Boden h – neun Methoden	63
Tabelle 4.4.a – Reaktionsbeiwerte für Leiter G_c für Geländeart 0.....	64
Tabelle 4.4.b – Reaktionsbeiwerte für Leiter G_c für Geländeart I	65
Tabelle 4.4.c – Reaktionsbeiwerte für Leiter G_c für Geländeart II.....	65
Tabelle 4.4.d – Reaktionsbeiwerte für Leiter G_c für Geländeart III.....	65
Tabelle 4.4.e – Reaktionsbeiwerte für Leiter G_c für Geländeart IV	66
Tabelle 4.5 – Windwiderstandsbeiwerte C_{cl} und Dichten ρ_l (kg/m^3) für unterschiedliche Eisarten	75
Tabelle 4.6 – Standardlastfälle (normativ).....	82
Tabelle 4.7 – Teilsicherheitsbeiwerte γ und Kombinationsbeiwerte ψ für Einwirkungen in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit.....	84
Tabelle 5.1 – Nennspannungen im Netz und zugeordnete höchste Netzspannungen und höchste Betriebsspannungen nach EN 60038	89

	Seite
Tabelle 5.2 – Mindestabstände in Luft.....	91
Tabelle 5.3 – Mindestabstände in Luft D_{el} und D_{pp} , die Blitzüberspannungen standhalten.....	93
Tabelle 5.4 – Mindestabstände in Luft D_{el} und D_{pp} , die Schaltüberspannungen standhalten	94
Tabelle 5.5 – Mindestabstände in Luft im Hinblick auf die Stehspannung bei Betriebsfrequenz (zu verwenden bei extremer Windeinwirkung)	95
Tabelle 5.6 – Mindestabstände in Luft D_{el} und D_{pp}	96
Tabelle 5.7 – Abstimmung der Lage der Leiter und der elektrischen Beanspruchung	98
Tabelle 5.8 – Mindestwerte für die inneren Abstände im Feld und am Stützpunkt (für Freileitungen mit Nennspannung > 45 KV).....	100
Tabelle 5.9 – Mindestwerte für die inneren Abstände im Feld und auf dem Stützpunkt (für Freileitungen mit Nennspannung > 1 kV und ≤ 45 KV).....	101
Tabelle 5.10 – Mindestwerte für die äußeren Abstände zum Boden abseits von Gebäuden, Straßen, Eisenbahnen und schiffbaren Wasserstraßen	103
Tabelle 5.11 – Mindestabstände zu Wohn- und anderen Gebäuden.....	104
Tabelle 5.12 – Mindestabstände von Freileitungen zu gekreuzten Straßen, Eisenbahnen und schiffbaren Wasserwegen	105
Tabelle 5.13 – Mindestabstände von Freileitungen zu angrenzenden Straßen, Eisenbahnen und schiffbaren Wasserwegen	107
Tabelle 5.14 – Mindestabstände von Freileitungen zu anderen Freileitungen oder Fernmeldeleitungen.....	108
Tabelle 5.15 – Mindestabstände von Freileitungen zu Erholungsflächen.....	109
Tabelle 7.1 – Verlustfaktor K_e für die Beanspruchbarkeit der Abspanneinrichtung	137
Tabelle 8.1 – Teilsicherheitsbeiwerte für Bodenkenngrößen (nach EN 1997-1:2004, Anhang A).....	144
Tabelle 10.1 – Genormte elektrische Anforderungen	153
Tabelle A.1 – Typische Abstimmung der Beanspruchbarkeit.....	163
Tabelle B.1 – Umrechnungsfaktoren für unterschiedliche Wiederkehrdauern der Windgeschwindigkeit.....	167
Tabelle B.2 – Umrechnungsfaktoren für unterschiedliche Wiederkehrdauern für Eislasten.....	168
Tabelle B.3 – Variationskoeffizienten	169
Tabelle D.1 – Werte der Parameter C_1 und C_2	179
Tabelle D.2 – Zusammengehörige Werte für die Wiederkehrdauer T , das Überschreitensrisiko G und den Parameter y	180
Tabelle D.3 – Faktoren für die Berechnung von Bemessungswerten aus den Mittelwerten jährlicher Extremwerte	182
Tabelle D.4 – Umrechnungsfaktoren für die Berechnung von Bemessungswerten aus den Werten mit 50 Jahren Wiederkehrdauer	183
Tabelle D.5 – Berechnung und Summierung von z und z^2	184
Tabelle E.1 – Repräsentative Spannungen und Überspannungen	189
Tabelle E.2 – Atmosphärischer Faktor k_a , abhängig von der berücksichtigten Koordinationsstehspannung	190
Tabelle E.3 – Abweichungsfaktor K_z	191
Tabelle E.4 – Funkenstreckenfaktoren für langsam ansteigende Überspannungen	192

	Seite
Tabelle E.5 – Gleichungen für die Berechnung der Mindestabstände in Luft D_{el} , D_{pp} , $D_{50\text{ Hz}_p_e}$, $D_{50\text{ Hz}_p_p}$	194
Tabelle E.6 – Mindestabstände in Luft – 90-kV-Freileitung, ausgerüstet mit Isolator Ketten aus 6 Kappenisolatoren	196
Tabelle E.7 – Mindestabstände in Luft – 90-kV-Freileitung, ausgerüstet mit Isolator Ketten aus 9 Kappenisolatoren	197
Tabelle E.8 – Mindestabstände in Luft – 400-kV-System	198
Tabelle F.1 – Werte für den Beiwert k	200
Tabelle G.1 – Mindestmaße von Werkstoffen für Erder, die mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit sicherstellen	203
Tabelle G.2 – Werkstoffkonstanten	204
Tabelle G.3 – Faktoren für die Umrechnung von Dauerströmen für 300 °C Endtemperatur auf eine andere Endtemperatur	205
Tabelle G.4 – Zulässiger Körperstrom I_B in Abhängigkeit von der Fehlerdauer t_F	207
Tabelle G.5 – Gesamte Körperimpedanz Z_B in Abhängigkeit von der Berührungsspannung U_T für einen Strompfad von Hand zu Hand oder von Hand zum Fuß	207
Tabelle G.6 – Zusammenhang zwischen Fehlerdauer t_F und Berührungsspannung U_{Tp}	208
Tabelle G.7 – Werte für die Berechnung	208
Tabelle H.1 – Spezifischer Bodenwiderstand für Wechselströme (Bereich von Werten, die häufig gemessen wurden)	211
Tabelle J.1 – Auswahl der Knickfälle	226
Tabelle J.2 – Wirksamer Schlankheitsgrad	226
Tabelle J.3 – Bemessungsbeanspruchbarkeit für einzelne Verbindungsmittel, die einer Scher- und/oder Zugbeanspruchung ausgesetzt sind	232
Tabelle K.1 – Klassifizierung von Rohrquerschnitten unter Biegung	235
Tabelle K.2 – Bemessung von Ankerschrauben	240
Tabelle L.1 – Art und Verwendung des Stützpunkts	241
Tabelle L.2 – Umfang der Verlängerungen	241
Tabelle L.3 – Einzelheiten der Leitungsauslegung	242
Tabelle L.4 – Einzelheiten der Isolator Ketten	243
Tabelle L.5 – Räumliche Abstände	243
Tabelle M.1 – Üblicherweise angetroffene Bodenarten	246
Tabelle M.2 – Bodenmechanische Kennwerte einiger Standardböden (Definitionen wie in M.1.2 und M.1.3 angegeben)	247
Tabelle M.3 – Mechanische Kennwerte einiger Gesteinsarten (Definitionen wie in M.1.2 und M.1.3 angegeben)	247
Tabelle M.4 – Bodenkennwerte für die Berechnung von Gründungen nach M.3	254
Tabelle M.5 – Bemessungswerte für Scher- und Druckbeanspruchung bei der Verankerung von Stahlteilen in Beton	262
Tabelle P.1 – Liste der Prüfungen an Freileitungsisolatoren und -isolator Ketten aus Porzellan- und Glasisolierwerkstoffen	265