

Inhaltsverzeichnis

1	Planung	1
1.0	Formelzeichen	1
1.1	Wahl der elektrischen Spannung	1
1.2	Wahl der Seilbelegung	5
1.3	Wahl des Mastbildes	6
1.4	Baukosten	10
1.5	Literatur.	12
2	Trassenwahl, Geländearbeiten, leitungstechnische Berechnungen . . .	15
2.0	Formelzeichen	15
2.1	Leitungsplanung	16
2.1.1	Grundlagen	16
2.1.2	Vorplanung	18
2.1.2.1	Voraussetzungen	18
2.1.2.2	Leitungstechnische Gesichtspunkte	18
2.1.2.3	Einordnung in das Gelände.	19
2.2	Geländearbeiten	20
2.2.1	Vermessungsinstrumente	20
2.2.2	Fluchten.	21
2.2.3	Geländeaufnahme.	23
2.3	Planbearbeitung	23
2.3.1	Auswertung der Profilaufnahmen	23
2.3.2	Sicherheitsabstände	23
2.3.3	Bestimmung der Maststandorte, Masttypen und Masthöhen . . .	26
2.3.3.1	Maßgebende Einflußfaktoren	27
2.3.3.2	Mastaufteilung von Hand	27
2.3.3.3	Mastaufteilung mit Hilfe der Datenverarbeitung.	28
2.3.4	Dokumentation.	34
2.4	Zugkräfte und Durchhänge im Einzelfeld	38
2.4.1	Die Kettenlinie als Durchhangskurve	38
2.4.2	Die Parabel als Durchhangskurve	43
2.4.3	Spannfeld mit unterschiedlichen Aufhängehöhen	46
2.4.4	Die Zustandsgleichung.	48
2.4.5	Spannfeld mit zusätzlichen Einzellasten	51
2.4.6	Spannfeld mit Abspannisolatorketten an beiden Enden	53
2.5	Zugkräfte und Durchhänge im Abspannabschnitt	56
2.5.1	Änderung des Zustandes in Feldern mit längsbeweglichen Endpunkten	57

X Inhaltsverzeichnis

2.5.2	Zustandsgleichung für den Abspannabschnitt	60
2.5.3	Rechenprogramm für den Zustand im Abspannabschnitt	66
2.5.4	Ermittlung der Durchhänge bei Zusatzlast nur in einem Feld mit Näherungsformeln	66
2.6	Ermittlung der Abstände zwischen Leitern und Gelände oder gekreuzten Objekten	68
2.6.1	Berechnung des Abstandes der Leiter zum Boden	69
2.6.2	Berechnung des Abstandes der Leiter zu einer gekreuzten Straße	71
2.6.3	Ermittlung des Abstandes zu einer gekreuzten Leitung	73
2.7	Einsatz der Datenverarbeitung bei der Projektierung und Planverwaltung	78
2.7.1	Planerstellung	78
2.7.2	Planverwaltung	79
2.8	Literatur	79
3	Leiter	81
3.0	Formelzeichen	81
3.1	Ausführung der Leiter	83
3.1.1	Einwerkstoffleiter	84
3.1.2	Leiter mit Drähten aus zwei Werkstoffen	87
3.1.3	Verbundleiter	87
3.1.4	Bündelleiter	92
3.1.5	Sonderausführungen	93
3.2	Mechanische Bemessung der Leiter	94
3.2.1	Beanspruchung der Leiter bei extremen Belastungen	94
3.2.2	Beanspruchung der Leiter unter Alltagsbedingungen	95
3.2.3	Einfluß der Wahl der Seilzugspannung auf die Baukosten	99
3.2.4	Empfehlung für die Wahl der Seilzugspannung	100
3.3	Thermische Bemessung der Leiter	100
3.3.1	Belastung durch den Betriebsstrom	101
3.3.2	Belastung durch den Kurzschlußstrom	103
3.4	Elektrische Bemessung der Leiter	106
3.4.1	Auswahl des Leiterquerschnittes nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten	106
3.4.2	Optimaler Leiterquerschnitt	109
3.4.3	Koronasicherheit	110
3.5	Literatur	114
4	Isolatoren	117
4.1	Ausführungsformen der Isolatoren	117
4.2	Werkstoffe der Isolatoren	120
4.2.1	Porzellan	120
4.2.2	Steatit	122
4.2.3	Glas	122
4.2.4	Kunststoffe	123
4.3	Fertigung	123
4.3.1	Isolierkörper	123

4.3.2	Komplettierung	125
4.3.3	Technische Daten der Isolierstoffe	125
4.4	Prüfverfahren	126
4.4.1	Allgemeines	126
4.4.2	Elektrische Prüfungen	127
4.4.3	Mechanische Prüfungen	128
4.4.4	Temperaturwechselprüfung	128
4.4.5	Saugfähigkeitsprüfung	129
4.4.6	Ultraschallprüfung	129
4.4.7	Verzinkungsprüfung	131
4.5	Betriebsmäßiges Verhalten der Isolatoren unter Spannung und Verschmutzung	131
4.5.1	Beanspruchung durch die elektrische Spannung	131
4.5.2	Verhalten der unterschiedlichen Isolatortypen	134
4.5.3	Verhalten unter Fremdschichten	136
4.5.3.1	Entstehung von Fremdschichten	137
4.5.3.2	Nachbildung von Fremdschichten	137
4.5.3.3	Fremdschichtklassen	138
4.5.3.4	Ermittlung der Fremdschichtklassen durch Messungen vor Ort	139
4.5.3.5	Isolationserhaltende Maßnahmen	140
4.6	Bemessung der Isolatoren	141
4.6.1	Elektrische Bemessung	141
4.6.2	Mechanische Bemessung	147
4.7	Beispiel	148
4.8	Literatur	150
5	Armaturen	153
5.1	Definitionen	153
5.2	Allgemeine Anforderungen und Bemessungskriterien	153
5.3	Zubehörteile für Leiter	154
5.3.1	Leiterbefestigungen an Tragpunkten	154
5.3.1.1	Befestigungen an Stützen- und Schäkelisolatoren	154
5.3.1.2	Befestigungen an Isolatortragketten	155
5.3.2	Leiterbefestigungen an Abspannpunkten	158
5.3.3	Verbinder	159
5.4	Zubehörteile für Isolatorketten	160
5.4.1	Bemessung	160
5.4.2	Werkstoffe und Ausführung	161
5.5	Aufbau der Isolatorketten	161
5.5.1	Tragketten	162
5.5.2	Abspannketten	163
5.6	Prüfungen	163
5.6.1	Typprüfung	164
5.6.2	Stichprobenprüfung	164
5.6.3	Stückprüfung	164
5.7	Literatur	165

6	Leiterschwingungen und ihre Auswirkungen	167
6.0	Formelzeichen	167
6.1	Schwingungsarten	167
6.2	Kármán-Schwingungen	168
6.2.1	Entstehung	168
6.2.2	Eigenfrequenzen und Schwingungsamplituden	170
6.2.3	Schwingungsintensität, Schwingungsfestigkeit und Biegegeweihselspannung	174
6.2.4	Auswirkungen auf die Leitungsprojektierung, Abhilfemaßnahmen	177
6.3	Teilfeldschwingungen	181
6.3.1	Entstehung	181
6.3.2	Abhilfemaßnahmen	181
6.4	Seiltanzen	182
6.4.1	Entstehung und Auswirkungen	182
6.4.2	Abhilfemaßnahmen	182
6.5	Literatur	184
7	Erdungen und Erdseilschutz	187
7.0	Formelzeichen	187
7.1	Allgemeines	187
7.2	Schutzerdung	190
7.3	Betriebserdung	193
7.4	Blitzschutzerdung	193
7.5	Wirkung der Erdseile	195
7.6	Messungen und Berechnungen	196
7.7	Richtlinien für die Praxis	201
7.8	Literatur	202
8	Maste	203
8.0	Formelzeichen	203
8.1	Lastannahmen	205
8.1.1	Ständige Lasten	206
8.1.2	Zusatzzlasten	206
8.1.2.1	Windlasten	207
8.1.2.2	Eislasten	218
8.1.2.3	Gleichzeitige Wirkung von Wind und Eis	223
8.1.2.4	Lasten infolge Montage und Unterhaltung	224
8.1.2.5	Lasten nach einem Schaden an einem Bauteil	225
8.2	Mastarten und ihre Anwendung	226
8.2.1	Tragmaste	226
8.2.2	Winkeltragmaste	227
8.2.3	Winkelmaste	227
8.2.4	Abspann- und Winkelabspannmaste	228
8.2.5	Endmaste	228
8.2.6	Sondermaste	228
8.3	Lastfälle	228
8.3.1	Normalbelastung	229

8.3.1.1	Leiter mit Zusatzlast	229
8.3.1.2	Wind rechtwinklig zur Leitungsrichtung	229
8.3.1.3	Wind in Leitungsrichtung	229
8.3.1.4	Wind über Eck	229
8.3.1.5	Wind auf vereiste Leiter	230
8.3.1.6	Differenzkräfte	230
8.3.2	Ausnahmebelastung	230
8.3.2.1	Torsion	231
8.3.2.2	Differenzkräfte	231
8.3.2.3	Lasten aus Montage und Unterhaltung sowie infolge von Schäden an Bauteilen	232
8.4	Mastkopfgeometrie	232
8.4.1	Abstand zwischen den Leitern	232
8.4.2	Abstände am Mast	236
8.5	Berechnung und Ausführung	239
8.5.1	Ermittlung der äußeren Lasten	239
8.5.2	Stahlgittermaste	241
8.5.2.1	Bestimmung der Stabkräfte	241
8.5.2.1.1	Kräfte in den Eckstielen	241
8.5.2.1.2	Kräfte in den Diagonalen, Belastung durch horizontale Kräfte	243
8.5.2.1.3	Kräfte in den Diagonalen, Belastung durch unsymmetrische Vertikallasten	244
8.5.2.1.4	Kräfte in den Diagonalen, Belastung durch Torsionsmomente	244
8.5.2.1.5	Kräfte in den Horizontalstäben am Mastknick	246
8.5.2.1.6	Kräfte in den Querverbänden im Mastschaft	247
8.5.2.1.7	Kräfte in den Schrägfüßen	247
8.5.2.1.8	Kräfte in den Querträgern	248
8.5.2.2	Bemessung der Stäbe und Anschlüsse	250
8.5.2.2.1	Zulässige Spannungen	250
8.5.2.2.2	Bemessung zugbeanspruchter Stäbe	250
8.5.2.2.3	Bemessung mittig-gedrückter Stäbe	252
8.5.2.2.4	Bemessung ausmittig-gedrückter Stäbe	257
8.5.2.2.5	Bemessung gegen Beulen und Biegedrillknicken	257
8.5.2.2.6	Bestimmung der Knicklängen	258
8.5.2.2.7	Bemessung der Anschlüsse	259
8.5.2.2.8	Bemessung für Biegung infolge von vertikalen Lasten	260
8.5.2.3	Ermittlung der Fundamentbelastungen	261
8.5.2.4	Einsatz der Datenverarbeitung bei der Berechnung von Stahlgittermasten	263
8.5.2.5	Durchbiegung	265
8.5.2.6	Konstruktion und Ausführung	267
8.5.2.6.1	Ausführung der Stäbe	267
8.5.2.6.2	Anschlüsse	268
8.5.2.6.3	Verkehrswege	270
8.5.2.6.4	Fertigung	270
8.5.2.6.5	Korrosionsschutz	270
8.5.2.7	Statische Berechnung eines 110-kV-Stahlgittertragmastes	271

XIV Inhaltsverzeichnis

8.5.2.7.1	Vertikale Lasten	272
8.5.2.7.2	Horizontale Lasten	274
8.5.2.7.3	Lastfälle	277
8.5.2.7.4	Bemessung eines Querträgers	277
8.5.2.7.5	Bemessung eines Mastschusses	280
8.5.2.7.6	Fundamentkräfte	286
8.5.2.7.7	Berechnung mit Datenverarbeitung	291
8.5.3	Stahlvollwandmaste	292
8.5.3.1	Ermittlung der Beanspruchung	293
8.5.3.2	Bemessung	294
8.5.3.3	Konstruktion und Ausführung	296
8.5.3.4	Beispiel für einen konischen Stahlvollwandmast	298
8.5.4	Stahlbetonmaste	300
8.5.4.1	Schleuderbetonmaste	300
8.5.4.2	Rüttelbetonmaste	301
8.5.4.3	Bemessung	302
8.5.4.4	Bauliche Durchbildung	305
8.5.4.5	Herstellung	306
8.5.5	Holzmaste	307
8.6	Literatur	310
9	Gründungen	313
9.0	Formelzeichen	313
9.1	Arten des Baugrundes	314
9.1.1	Gewachsener Boden	315
9.1.1.1	Nichtbindige Böden	315
9.1.1.2	Bindige Böden	315
9.1.1.3	Organische Böden	316
9.1.2	Fels	317
9.1.3	Geschütteter Boden	317
9.2	Baugrundkundung	317
9.2.1	Verfahren zur Gewinnung von Bodenproben	318
9.2.1.1	Schürfgruben	318
9.2.1.2	Probebohrungen	318
9.2.1.3	Sondierbohrungen	320
9.2.2	Sonden	320
9.2.2.1	Rammsonden	320
9.2.2.2	Standard Penetration Test	321
9.2.2.3	Flügelsonden	322
9.2.2.4	Drucksonden	322
9.2.3	Auswertung der Baugrunduntersuchung	324
9.2.3.1	Verfahren zum Benennen und Beschreiben der Bodenarten	324
9.2.3.2	Verfahren zum Bestimmen der Konsistenz	327
9.2.3.3	Verfahren zum Beschreiben von Fels	327
9.2.3.4	Betonangreifende Wässer und Böden	327
9.2.4	Schichtenverzeichnis	330
9.2.5	Zeichnerische Darstellung	334

9.2.6	Bodenkennwerte	334
9.3	Arten der Gründungen	335
9.3.1	Kompaktgründungen	335
9.3.2	Aufgeteilte Gründungen	335
9.4	Entwurf und Bemessung der Gründungen	335
9.4.1	Allgemeines	335
9.4.2	Kompaktgründungen	336
9.4.2.1	Einblockgründungen	336
9.4.2.2	Berechnung der Einblockgründungen ohne Stufe	336
9.4.2.2.1	Berechnung unter Berücksichtigung des Erdwiderstandes	337
9.4.2.2.2	Berechnung nach dem Verfahren von Sulzberger	338
9.4.2.2.3	Berechnung nach dem Verfahren von Bürklin	343
9.4.2.2.4	Weitere Berechnungsverfahren	343
9.4.2.3	Berechnung der Einblockgründungen mit Stufe	343
9.4.2.4	Plattengründungen	344
9.4.2.5	Schwellen-Plattengründungen	347
9.4.2.6	Einpfahlgründungen	348
9.4.2.6.1	Elastische Bettung	349
9.4.2.6.2	Verfahren nach Blum für den Bruchzustand	349
9.4.2.7	Gründung von Holzmasten	353
9.4.3	Aufgeteilte Gründungen	354
9.4.3.1	Stufenfundamente	354
9.4.3.1.1	Berechnung der Stufenfundamente	355
9.4.3.1.2	Entwurf der Stufenfundamente	356
9.4.3.1.3	Eckstielverankerung	357
9.4.3.1.4	Beschränkung der Rißbreite des Betons	358
9.4.3.2	Bohr- und Schachtfundamente	362
9.4.3.2.1	Nachweis der Standsicherheit	363
9.4.3.2.2	Bemessung der Bewehrung	367
9.4.3.3	Schwelleneinzelfundamente	369
9.4.3.4	Pfahlfundamente	370
9.4.3.4.1	Rammpfähle	370
9.4.3.4.2	Nackte Stahlpfähle	370
9.4.3.4.3	Ummantelte Stahlpfähle	371
9.4.3.4.4	Ortbetonrammpfähle	372
9.4.3.4.5	Vorgefertigte Betonpfähle	372
9.4.3.4.6	Bohrpfähle	372
9.4.3.4.7	Allgemeines zur Bemessung der Pfahlfundamente	372
9.4.3.4.8	Mindestlänge der Pfähle	373
9.4.3.4.9	Anordnung der Pfähle	373
9.4.3.4.10	Tragfähigkeit der Pfähle	373
9.4.3.4.11	Berechnungsannahmen und Sicherheitsbedingungen	374
9.4.3.4.12	Längenbemessung der Pfähle	374
9.4.3.4.13	Mantelreibwerte nackter Stahlpfähle	375
9.4.3.4.14	Mantelreibwerte ummantelter Stahlpfähle	375
9.4.3.4.15	Ermittlung der Pfahlänge aus Drucksondierungsergebnissen	376
9.4.3.4.16	Zugversuche an Bauwerks- und Probepfählen	376

XVI Inhaltsverzeichnis

9.4.3.4.17	Beispiel: Pfahlgründung für einen 110-kV-Endmast	378
9.5	Literatur	380
10	Montage	383
10.0	Formelzeichen	383
10.1	Vorbemerkung	383
10.2	Montageplanung	384
10.3	Transporte	385
10.4	Herstellen von Gründungen	386
10.4.1	Betonherstellung	386
10.4.1.1	Zement	386
10.4.1.2	Zuschlagstoffe	386
10.4.1.3	Zugabewasser	387
10.4.1.4	Betongüte	387
10.4.2	Betonieren	388
10.4.3	Stufenfundamente und Plattengründungen	389
10.4.4	Bohrfundamente	389
10.4.5	Rammfundamente	390
10.4.5.1	Nackte Stahlpfähle	391
10.4.5.2	Ummantelte Stahlpfähle	391
10.4.5.3	Ortbetonrammpfähle	391
10.4.5.4	Probefeststellung	392
10.4.6	Schwellenfundamente	392
10.5	Erdungen	392
10.6	Einrichten der Mastfüße	393
10.7	Mastmontage	393
10.7.1	Mastmontage mit Kran	394
10.7.2	Stocken der Maste	394
10.7.2.1	Stocken mit Außenbaum	394
10.7.2.2	Stocken mit Innenbaum in Mastmitte	395
10.7.2.3	Stocken mit Innenbaum am Eckstiel	396
10.7.2.4	Hochziehen der Querträger mit Stockbaum	397
10.7.3	Mastmontage mit Hubschrauber	397
10.8	Seilzug	397
10.8.1	Seilzuggeräte	399
10.8.1.1	Vorseilwinden	399
10.8.1.2	Vorseile	400
10.8.1.3	Seilverbindungen	401
10.8.1.4	Stock- und Regulierwinden	402
10.8.1.5	Seilbremsmaschinen	402
10.8.1.5.1	Motorische Bremsen	403
10.8.1.5.2	Hydraulikbremsen	403
10.8.1.5.3	Mechanische Bremsen	403
10.8.1.6	Trommelböcke	403
10.8.1.7	Seilräder	404
10.8.2	Seilzugarbeiten	404
10.8.2.1	Vorbereitungen	404

10.8.2.2	Ziehen der Seile	405
10.8.2.3	Bestimmung der Montagedurchhänge	406
10.8.2.3.1	Lage der Seile in Rollen und in Klemmen	406
10.8.2.3.2	Einfluß des Seilkriechens	411
10.8.2.3.3	Beispiel einer 110-kV-Leitung im Gebirge	414
10.8.2.4	Regulieren der Leiterseile	416
10.8.2.5	Abspannen der Leiterseile	418
10.8.2.6	Einklemmen der Leiterseile in Tragklemmen	418
10.8.2.7	Stromschlaufenmontage	419
10.8.2.8	Einbau von Feldbündelabstandshaltern	419
10.8.2.9	Seilauswechselungen	419
10.9	Literatur	420
	Sachverzeichnis	421