

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Planung</b>	<b>1</b>
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
<b>2</b>	<b>Trassenwahl, Geländearbeiten, leitungstechnische Berechnungen</b>	<b>15</b>
2.0	Formelzeichen	15
2.1	Leistungsplanung	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	Mastauteilung von Hand	27
2.3.3.3	Mastauteilung 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

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
<b>3</b>	<b>Leiter . . . . .</b>	<b>81</b>
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
<b>4</b>	<b>Isolatoren . . . . .</b>	<b>117</b>
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
<b>5</b>	<b>Armaturen . . . . .</b>	<b>153</b>
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 Schäkellisolatoren . . . . .	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

<b>6</b>	<b>Leiterschwingungen und ihre Auswirkungen</b>	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 Biegewechselspannung	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
<b>7</b>	<b>Erdungen und Erdseilschutz</b>	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
<b>8</b>	<b>Maste</b>	203
8.0	Formelzeichen	203
8.1	Lastannahmen	205
8.1.1	Ständige Lasten	206
8.1.2	Zusatzlasten	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

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	Holzmaße . . . . .	307
8.6	Literatur . . . . .	310
<b>9</b>	<b>Gründungen</b> . . . . .	<b>313</b>
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	Baugrunderkundung . . . . .	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 Reißbreite 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 Pfahllänge aus Drucksondierungsergebnissen . . . . .	376
9.4.3.4.16	Zugversuche an Bauwerks- und Probepfählen . . . . .	376

9.4.3.4.17	Beispiel: Pfahlgründung für einen 110-kV-Endmast . . . . .	378
9.5	Literatur . . . . .	380
<b>10</b>	<b>Montage . . . . .</b>	<b>383</b>
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	Probelastung . . . . .	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
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>		<b>421</b>