

Inhalt

Grußwort	11
Geleitwort	13
Vorwort	15
1 Grundlagen der elektrischen Energieübertragung	17
1.1 Transformation und Blindleistung	17
1.1.1 Trafoprinzip	17
1.1.2 Blindleistung	18
1.2 Historie der Stromübertragung	21
1.2.1 Freileitungsentwicklung	25
1.2.2 Kabelentwicklung	28
1.3 Gleich- und Drehstrom in der Energieübertragung	33
1.4 Aufgaben und Strukturen elektrischer Energienetze	35
1.4.1 Verbundnetze und Netzverbünde	36
1.4.2 Netzstrukturen	38
1.4.3 Schalt- und Umspannanlagen	39
1.5 Einführung in die Netzplanung	41
1.5.1 Planungsgrundsätze	41
1.5.2 Das (n-1)-Kriterium	42
1.5.3 Planungsarten	44
1.6 Einführung in den Netzbetrieb	45
1.6.1 Leistungsgleichgewicht	46
1.6.2 Bedeutung der Frequenz	47
1.6.3 Regelleistung	48
1.6.4 Automatische Frequenzentlastung	50
1.6.5 Netzzustände	51
1.7 Literatur	53
2 Trassengestaltung	55
2.1 Freileitungstrassen	55
2.1.1 Mastformen und Landschaft	57
2.2 Schutzbereiche von Freileitungen	61
2.2.1 Beschränkungen innerhalb einer Freileitungstrasse	62

2.2.2	Schutzstreifen	66
2.2.3	Trassenführung und Raumnutzung	67
2.2.4	Bereiche mit Höhenbeschränkungen	70
2.2.5	Siedlungsbereiche	71
2.3	Kabeltrassen	72
2.3.1	Drehstrom-Kabeltrassen	72
2.3.2	Gleichstrom-Kabeltrassen	75
2.4	Legetechniken	76
2.4.1	Offene Bauweise	76
2.4.2	Einpflügen	80
2.4.3	Legung in Mantelrohren und Infrastrukturröhren	81
2.4.4	Legung im Infrastrukturkanal	85
2.5	Muffen und Übergangsanlagen	87
2.5.1	Muffenlegung	87
2.5.2	Übergangsanlagen Kabel-Freileitung	88
2.6	Trassenausnutzung	90
2.7	Kreuzungen	91
2.8	Trassen mit temporären Gestängen	93
2.9	Nachtrassierung	95
2.10	Literatur	96
3	Genehmigungsverfahren und Umweltverträglichkeit	99
3.1	Verfahren für Hochspannungsleitungen	100
3.2	Verfahren für nicht vordringliche Höchstspannungsleitungen	101
3.3	Verfahren und Gesetze für vordringliche Höchstspannungsleitungen	101
3.3.1	Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG)	101
3.3.2	Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG)	102
3.3.3	Bundesbedarfsplangesetz (BBPlG)	102
3.3.4	Entwicklung des Europäischen Netzverbundes	107
3.4	Raumordnungsverfahren (ROV)	108
3.4.1	Aufgabe der Raumordnung	109
3.4.2	Ablauf eines Raumordnungsverfahrens	110
3.4.3	Raumordnerische Beurteilung	111
3.5	Bundesfachplanung (BFP)	112
3.6	Planfeststellungsverfahren (PFV)	114
3.6.1	Ablauf des Planfeststellungsverfahrens	115
3.6.2	Der Planfeststellungsbeschluss	116
3.7	Das NOVA-Prinzip	118
3.8	Umweltverträglichkeit von Freileitungen und Kabeln	120
3.8.1	Strategische Umweltprüfung (SUP)	120
3.8.2	Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)	122

3.8.3	Beeinträchtigungen der Avifauna	125
3.8.4	Landschaftspflegerischer Begleitplan und Eingriffsausgleich	127
3.9	Entschädigungen	128
3.10	Literatur	131
4	Freileitungstechnik	133
4.1	Einleitung	133
4.2	Bemessung von Freileitungen	134
4.2.1	Lastannahmen	135
4.2.2	Bemessung der Komponenten	141
4.3	Leiterseile	144
4.3.1	Typen und grundlegende Eigenschaften von Leiterseilen	144
4.3.2	Mechanisches Verhalten von Al/St-Seilen	151
4.3.3	Seildurchhang	152
4.3.4	Zustandsgleichung	153
4.3.5	Strombelastbarkeit	156
4.3.6	Korona	158
4.3.7	Bündelleiter	159
4.3.8	Erdseile	160
4.3.9	Hochtemperatur-Leiterseile	160
4.3.10	Monitoring	163
4.3.11	Seilschwingungen	165
4.4	Isolatoren	173
4.4.1	Klassifizierung	173
4.4.2	Porzellanisolatoren	180
4.4.3	Glasisolatoren	181
4.4.4	Verbundisolatoren	182
4.5	Armaturen	193
4.5.1	Seilarmaturen	194
4.5.2	Isolatorkettenarmaturen	201
4.5.3	Bemessung von Seil- und Kettenarmaturen	204
4.6	Tragwerke	209
4.6.1	Materialien und Gestaltung	210
4.6.2	Mastarten	211
4.6.3	Bemessung	211
4.6.4	Mastkopfgeometrie	212
4.6.5	Belastungen	212
4.6.6	Ermittlung der Stabkräfte	213
4.6.7	Festigkeitsberechnung	214
4.6.8	Kompaktleitungen	215
4.6.9	Blitzschutz	216

4.6.10	Erdung	216
4.6.11	Gründungen	218
4.7	Leitungsbau	223
4.7.1	Vermessung und Mastaufteilung	223
4.7.2	Vorbereitung der Baustelle	224
4.7.3	Gründungen	225
4.7.4	Mastbau	227
4.7.5	Seilzug	232
4.8	Inspektion und Wartung von Freileitungen	240
4.8.1	Häufige Defekte	241
4.9	Aufwertung und Ertüchtigung von Freileitungen	247
4.9.1	Aufwertung	247
4.9.2	Ertüchtigung	248
4.10	Hybridleitungen	250
4.11	Literatur	251
5	Kabeltechnik	261
5.1	Kabelaufbau	261
5.2	Konstruktionen	269
5.3	Kabel für Mittel-, Hoch- und Höchstspannung	270
5.3.1	Mittelspannungskabel	272
5.3.2	Hochspannungskabel	273
5.3.3	Höchstspannungskabel	275
5.4	Gasisolierte Leitungen	277
5.5	VPE-Kabel zur Hochspannungs-Gleichstromübertragung	278
5.6	Kabel-Garnituren	281
5.6.1	Muffen	282
5.6.2	Endverschlüsse	285
5.6.3	Garnituren für Hochspannungs-Gleichstromkabel (HVDC)	289
5.6.4	Steckbare Anschlusssysteme	289
5.7	Legung und Inbetriebnahme	292
5.7.1	Legarten	292
5.7.2	Kabel- und Bodenerwärmung	293
5.7.3	Inbetriebnahme von Hochspannungskabeln	300
5.8	Erdung bei Hochspannungskabelsystemen	300
5.8.1	Einseitige Erdung	301
5.8.2	Erdung mit <i>Cross-Bonding</i> an den Muffen	302
5.9	Monitoring und Diagnose von Kabelsystemen	304
5.9.1	Monitoring von Kabelsystemen	304
5.9.2	Diagnose von Kabelsystemen	306
5.10	Einsatzgebiete	308

5.11	Literatur	308
	Weiterführende Literatur	309
6	Freileitungen und Kabel im Versorgungsnetz	311
6.1	Elektrotechnische Aspekte	311
6.1.1	Vergleich der technischen Eigenschaften	312
6.1.2	Vergleich der elektrischen Eigenschaften	312
6.1.3	Betriebsverhalten	314
6.1.4	Strombelastbarkeit	322
6.1.5	Verluste	323
6.1.6	Blindleistungsverhalten und übertragbare Leistung	325
6.1.7	Zuverlässigkeit und Lebensdauer	327
6.1.8	Elektrische und magnetische Felder (EMF)	330
6.2	Sternpunktbeschaltung	335
6.2.1	Starre Sternpunktterdung	336
6.2.2	Isolierter Sternpunkt	337
6.2.3	Induktive Sternpunktterdung	338
6.3	Lastfluss- und Kurzschlussverhältnisse im Netz	340
6.4	Zwischenverkabelung	340
6.5	Integration von Gleichstromleitungen in ein bestehendes Drehstromnetz	343
6.6	Vergleich von Freileitungen und Kabeln während Bau und Betrieb ..	346
6.6.1	Freileitungen während der Bauzeit	346
6.6.2	Erdkabel während der Bauzeit	347
6.6.3	Freileitungen im Betrieb	347
6.6.4	Erdkabel im Betrieb	348
6.7	Kostenvergleich	349
6.7.1	Kostenvergleich in der Hochspannungsebene	351
6.7.2	Kostenvergleich in der Höchstspannungsebene	352
6.8	Literatur	354
	Weiterführende Literatur	355
7	Entwicklungstendenzen und Ausblick	357
7.1	Übertragungsnetz	358
7.2	Verteilnetze	359
7.3	Sektorenkopplung	360
7.4	Technische Entwicklungen im Netzbau	361
7.4.1	Hochtemperaturseile	361
7.4.2	Kompaktleitungen mit Verbundisolatoren	362
7.4.3	GIL für AC und DC	363

7.4.4	Supraleiterkabel	363
7.4.5	HGÜ-Kabel – Overlay-Netz	365
7.5	Literatur	366
	Weiterführende Literatur	366
	Danke	367
	Register	368
	Abbildungsverzeichnis	376
	Tabellenverzeichnis	389