

Inhalt

Geleitwort	11
Vorwort der Autoren	13
1 Geschichte und Grundlagen der elektrischen Energieübertragung	15
1.1 Historie der Stromübertragung	15
1.2 Entwicklung der Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen	20
1.3 Entwicklung der Hoch- und Höchstspannungskabel	23
1.4 Gleich- und Drehstrom in der Energieübertragung	27
1.5 Aufgaben und Strukturen elektrischer Energienetze	30
1.6 Grundlagen der Netzplanung	33
1.7 Netzbetrieb	36
2 Gestaltung von Freileitungs- und Kabeltrassen	41
2.1 Freileitungstrassen	41
2.1.1 Mastformen und Landschaft	43
2.1.2 Kompakte Doppelfreileitungen	45
2.1.3 Kompakte Mehrfachfreileitungen	47
2.1.4 Schutzbereiche von Freileitungen	47
2.1.5 Landwirtschaftlich genutzte Bereiche	51
2.1.6 Waldflächen	51
2.1.7 Bereiche mit Höhenbeschränkungen	54
2.1.8 Siedlungsbereiche	55
2.2 Kabeltrassen	56
2.2.1 Drehstrom-Kabeltrassen	57
2.2.2 Gleichstrom-Kabeltrassen	59
2.2.3 Verlegearten	60
2.2.4 Muffen- und Übergangsanlagen	67
2.2.5 Kreuzungen	70
2.2.6 Trassen mit temporären Gestängen	72
2.2.7 Trassenausnutzung	72
3 Genehmigungsverfahren und Umweltverträglichkeit	75
3.1 Verfahren für Hochspannungsleitungen (110 kV)	75

3.2	Verfahren und Gesetze für vordringliche Höchstspannungsleitungen	77
3.2.1	Energieleitungsausbauigesetz (EnLAG)	77
3.2.2	Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG)	77
3.2.3	Bundesbedarfsplangesetz (BBPlG)	78
3.3	Verfahren für nicht vordringliche Höchstspannungsleitungen	82
3.4	Entwicklung des Europäischen Netzverbundes	82
3.5	Raumordnungsverfahren (ROV)	83
3.5.1	Aufgabe der Raumordnung	84
3.5.2	Ablauf eines Raumordnungsverfahrens	85
3.5.3	Raumordnerische Beurteilung	86
3.6	Bundesfachplanung (BFP)	87
3.7	Planfeststellungsverfahren (PFV)	89
3.7.1	Ablauf des Planfeststellungsvverfahrens	90
3.7.2	Der Planfeststellungsbeschluss	92
3.8	Das NOVA-Prinzip	93
3.9	Umweltverträglichkeit von Freileitungen und Kabeln	95
3.9.1	Strategische Umweltprüfung (SUP)	95
3.9.2	Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)	97
3.9.3	Beeinträchtigungen der Avifauna	100
3.9.4	Landschaftspflegerischer Begleitplan und Eingriffsausgleich	102
3.10	Entschädigungen	103
4	Freileitungstechnik	107
4.1	Bemessung von Freileitungen	107
4.1.1	Seilgewicht	108
4.1.2	Eislästen	108
4.1.3	Windlasten	108
4.1.4	Bemessung der Komponenten	109
4.1.5	Elektrische Anforderungen	109
4.2	Leiterseile	110
4.2.1	Typen und grundlegende Eigenschaften von Leiterseilen	111
4.2.2	Kriechen	112
4.2.3	Seilverhalten	113
4.2.4	Seildurchhang	114
4.2.5	Seilbelastung	115
4.2.6	Thermisches Verhalten	115
4.2.7	Korona	117
4.2.8	Bündelleiter	118
4.2.9	Erdseile	118
4.2.10	Hochtemperatur-Leiterseile	119

4.2.11	Freileitungs-Monitoring	121
4.2.12	Seilschwingungen	123
4.3	Isolatoren	127
4.3.1	Klassifizierung	128
4.3.2	Porzellanisolatoren	132
4.3.3	Glasisolatoren	133
4.3.4	Verbundisolatoren	133
4.4	Armaturen	137
4.4.1	Seilarmaturen	138
4.4.2	Isolatorkettenarmaturen	140
4.4.3	Schwingungsdämpfer	141
4.4.4	Abstandshalter	141
4.5	Tragwerke	142
4.5.1	Materialien	143
4.5.2	Mastarten	143
4.5.3	Entwurf der Tragwerks-Geometrie	144
4.5.4	Auf Tragwerke wirkende Belastungen	144
4.5.5	Blitzschutz	145
4.5.6	Erdung	145
4.5.7	Gründungen	146
4.6	Leitungsbau	147
4.6.1	Vermessung und Mastaufteilung	147
4.6.2	Vorbereitung der Baustelle	147
4.6.3	Gründungen	148
4.6.4	Mastbau	150
4.6.5	Seilverlegung	152
4.7	Inspektion und Wartung von Freileitungen	154
4.8	Verstärkung und Ertüchtigung von Freileitungen	155
4.8.1	Verstärkung	155
4.8.2	Ertüchtigung	155
5	Kabeltechnik	157
5.1	Kabelaufbau	157
5.2	Kabelkonstruktionen	162
5.3	Kabel für Mittel-, Hoch- und Höchstspannung	163
5.3.1	Mittelspannungskabel	164
5.3.2	Hochspannungskabel	165
5.3.3	Höchstspannungskabel	168
5.4	Gasisolierte Rohrleitungen	169
5.5	Kabel zur Hochspannungs-Gleichstromübertragung	171

5.6	Kabel-Garnituren	171
5.6.1	Muffen	173
5.6.2	Endverschlüsse	175
5.6.3	Steckbare Anschlussysteme	177
5.7	Kabel- und Bodenerwärmung	178
5.8	Einsatzgebiete	181
6	Freileitungen und Kabel im Versorgungsnetz	183
6.1	Elektrotechnische Aspekte	183
6.1.1	Vergleich der elektrischen Eigenschaften	184
6.1.2	Betriebsverhalten	185
6.1.3	Strombelastbarkeit	188
6.1.4	Verluste	188
6.1.5	Blindleistungsverhalten und übertragbare Leistung	189
6.2	Zuverlässigkeit und Lebensdauer	191
6.3	Elektrische und magnetische Felder (EMF)	192
6.4	Lastfluss- und Kurzschlussverhältnisse im Netz	196
6.5	Zwischenverkabelung	197
6.6	Integration von Gleichstromleitungen in ein bestehendes Drehstromnetz	199
6.7	Kostenvergleich zwischen Freileitungen und Kabeln	201
6.7.1	Kostenkomponenten einer Leitung	201
6.7.2	Kostenvergleich in der Hochspannungsebene	203
6.7.3	Kostenvergleich in der Höchstspannungsebene	204
7	Entwicklungstendenzen und Ausblick	207
7.1	Übertragungsnetz	208
7.2	Verteilnetze	209
7.3	Sektorenkopplung	210
7.4	Technische Entwicklungen im Netzbau	211
7.4.1	Hochtemperaturseile	211
7.4.2	Kompaktleitungen mit Verbundisolatoren	212
7.4.3	Gasisolierte Leitungen (GIL) für Drehstrom und Gleichstrom	212
7.4.4	Supraleiterkabel	213
7.4.5	Kabel zur Hochspannungs-Gleichstromübertragung – Overlay-Netz	214
Danke	217	
Literaturverzeichnis	219	
Register	231	

Abbildungsverzeichnis	235
Tabellenverzeichnis	242