

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Aufbau von Verteilungsnetzen	17
1.1 Spannungsebenen und Netzebenen	17
1.2 Netztopologie	19
1.2.1 Redundanz und $(n-1)$ -Kriterium	19
1.2.2 Netzformen	20
1.2.3 Netzeinbindungen von Stationen oder Netzkunden	23
2 Betriebsmittel	25
2.1 Transformatoren	25
2.1.1 Einleitung	25
2.1.2 Grundlagen und Kenngrößen	26
2.1.2.1 Benennung der Transformatoren	27
2.1.3 Aufbau	28
2.1.3.1 Kern	28
2.1.3.2 Wicklungen	30
2.1.3.3 Kessel	32
2.1.4 Wicklungsverschaltung	33
2.1.5 Verluste	35
2.1.5.1 Leerlaufverluste	35
2.1.5.2 Kurzschlussverluste	35
2.1.5.3 Verlustklassen	36
2.1.5.4 Wirkungsgrad	36
2.1.6 Geräusche	37
2.1.7 Kühlung und Isolierung	37
2.1.8 Be-/Überlastung und Lebensdauer	38
2.1.9 Einschalten des Transformators	39
2.1.10 Veränderung der Ausgangsspannung	40
2.1.10.1 Umsteller	40
2.1.10.2 Stufenschalter	41
2.1.11 Prüfungen an Transformatoren	44
2.1.12 Transport	47
2.1.13 Anschluss, Inbetriebnahme und Parallelschaltung	47
2.1.14 Gießharztransformatoren	48
2.1.15 Erdenschlusslöschspulen	49
2.2 Schaltgeräte	51
2.2.1 Physik der Kontakttrennung	52
2.2.2 Trennschalter	55
2.2.3 Erdungsschalter	56
2.2.4 Lasttrennschalter	57
2.2.5 Leistungsschalter	59
2.3 Schaltanlagen	64
2.3.1 Normative Regelungen und Klassifizierungen	65
2.3.2 Störlichtbogenschutz	67

2.3.3	Aufbau von Schaltanlagen	69
2.3.3.1	Sammelschienen	69
2.3.3.2	Schaltanlagen im Umspannwerk	73
2.3.3.3	Ortsnetz-/Kundenstationen und Kabelverteilerschränke ..	78
2.3.4	Batterieanlagen	80
2.3.5	Rundsteueranlagen	81
2.3.6	Elektromagnetische Felder	81
2.4	Kabel	86
2.4.1	Aufbauelemente	86
2.4.2	Mittelspannungskabel	90
2.4.3	Niederspannungskabel	90
2.4.4	Kabelgarnituren	91
2.4.5	Belastbarkeit	93
2.4.6	Kabelverlegung	94
2.4.7	Kabelmess- und -prüftechnik	98
2.5	Freileitungen	102
2.5.1	Komponenten	103
2.5.1.1	Maste	103
2.5.1.2	Seile	104
2.5.1.3	Isolatoren	104
2.5.1.4	Armaturen	105
2.5.2	Aufbau und Ausführungsformen	106
2.5.2.1	Niederspannung	106
2.5.2.2	Mittelspannung	107
2.5.2.3	Hoch- und Höchstspannung	107
2.5.3	Planung und Errichtung	107
2.6	Wandler	108
2.6.1	Schaltung von Wandlern	111
2.6.2	Besondere Anforderungen an Stromwandler	113
2.6.3	Besondere Anforderungen an Spannungswandler	114
2.6.4	Kapazitive Spannungsteiler zum Feststellen der Spannungsfreiheit	114
2.7	Schutztechnik	115
2.7.1	Zeitstaffelschutz	117
2.7.1.1	Sicherungen	117
2.7.1.2	UMZ-Schutz	122
2.7.1.3	AMZ-Schutz	124
2.7.2	Distanzschutz	124
2.7.3	Differentialschutz	125
2.7.4	Erdschlussenschutz	126
2.7.4.1	Erdschlusswischer-Relais	126
2.7.4.2	Wattnormative Erdschlusserfassung	127
2.7.5	Transformatorschutz	128
2.7.6	Schutzprüfungen	130
2.8	Netzleit- und Fernwirktechnik	131
2.8.1	Netzleitstelle	131
2.8.2	Stationsleittechnik	133
2.8.3	Fernwirktechnik	134

3	Planung und Berechnung von Verteilungsnetzen	137
3.1	Netzberechnung und deren elektrotechnische Grundlagen	137
3.1.1	Elektrotechnische Grundlagen	137
3.1.1.1	Darstellung sinusförmiger Größen	137
3.1.1.2	Impedanzen	140
3.1.1.3	Drehstromsystem	141
3.1.1.4	Symmetrische Komponenten	145
3.1.1.5	Messung der symmetrischen Komponenten	148
3.1.2	Verfahren der Netzberechnung	151
3.1.3	Lastflussberechnung	152
3.1.4	Kurzschlussstromberechnung	153
3.1.4.1	Gestörter und ungestörter Betrieb eines Energieversorgungssystems	153
3.1.4.2	Generatorferner und generatornaher Kurzschluss	155
3.1.4.3	Fehlerarten im Drehstromsystem	157
3.1.4.4	Standardisiertes Berechnungsverfahren	158
3.1.5	Zuverlässigkeitberechnung	160
3.2	Betriebsmittelbelastbarkeit	161
3.2.1	Mechanische Wirkung des Kurzschlussstromes	161
3.2.2	Thermische Wirkung des Kurzschlussstromes	163
3.2.3	Zeitweilige Überspannungen	164
3.2.4	Transiente Überspannungen	161
3.2.5	Isolationskoordination	166
3.2.6	Blitzschutz und Überspannungsbegrenzung	167
3.3	Spannungshaltung	169
3.3.1	Spannungstoleranzbänder	169
3.3.2	Spannungsfälle im Netz	169
3.3.3	Möglichkeiten zur Spannungsregelung	170
3.3.4	Möglichkeiten zur statischen Spannungshaltung	171
3.4	Netzverluste und deren Berechnung	172
3.4.1	Verlustbewertung	173
3.4.1.1	Spannungsabhängige Verluste	173
3.4.1.2	Stromabhängige Verluste	173
3.5	Erdung und Erdungsanlagen	174
3.5.1	Grundlagen	174
3.5.2	Erder und Erdungsanlagen	177
3.5.3	Messung des Erdungswiderstands	178
3.5.4	Berührungs- und Schrittspannung	179
3.5.5	Erdungsspannung	180
3.6	Sternpunktbehandlung	181
3.6.1	Sternpunktbehandlung in Hochspannungsnetzen	181
3.6.1.1	Isolierter Sternpunkt	182
3.6.1.2	Resonanzsternpunktterdung	183
3.6.1.3	Niederohmige Sternpunktterdung	185
3.6.1.4	Kurzzeitig niederohmige Sternpunktterdung	186
3.6.1.5	Erdschlussortungsverfahren	186
3.6.2	Sternpunktbehandlung in Niederspannungsnetzen	187
3.6.2.1	TN-Netz	188

3.6.2.2	TT-Netz	190
3.6.2.3	IT-Netz	191
4	Netzbau	193
4.1	Projektmanagement	193
4.1.1	Rahmenverträge	193
4.1.2	Großprojekte	194
4.1.3	AVA	195
4.2	Leitungstiefbau	195
4.2.1	Aufbau von Straßen	195
4.2.2	Aufgrabungen in bestehenden Straßen	197
4.2.3	Absicherung von Baustellen	198
4.2.4	Leitungsverlegung in offener Bauweise	199
4.2.5	Grabenlose Verfahren zur Leitungsverlegung	202
4.2.5.1	Pflugverfahren	203
4.2.5.2	Bodenverdrängungsverfahren	203
4.2.5.3	Horizontal-Spülbohrverfahren	204
5	Netzdokumentation	205
5.1	Dokumentation des Leitungsnetzes	205
5.2	Planauskunft	210
5.3	Dokumentation von Anlagen	211
6	Konzessionsverträge und Leitungsrechte	213
6.1	Kosten des Leitungsbaus	214
6.2	Konzessionsabgabe	215
6.3	Weitere Leistungen des Netzbetreibers an die Kommune	216
6.4	Vergabeverfahren für Konzessionsverträge	217
6.5	Rekommunalisierung	218
6.6	Übergabe und Entflechtung von Netzen	219
6.7	Dingliche Sicherung	221
7	Straßenbeleuchtung	223
7.1	Betriebsführungsmodelle	223
7.2	Aufbau von Straßenbeleuchtungsanlagen	224
7.3	Steuerung der Straßenbeleuchtung	226
7.4	Instandhaltung der Straßenbeleuchtung	227
8	Netzanschlüsse von Verbrauchern	229
8.1	Anschlüsse am Niederspannungsnetz	229
8.1.1	Aufbau und Bestandteile	229
8.1.2	Netzanschlusskosten	236
8.1.3	Netzanschlusskapazität und Baukostenzuschuss	237
8.1.4	Duldungspflicht von Leitungen	238
8.1.5	Duldungspflicht von öffentlichen Transformatorstationen	239
8.1.6	Nutzung des Netzanschlusses	239
8.1.7	Haftung des Netzbetreibers bei Schäden	240

8.1.8	Ausnahmen von der Anschlusspflicht	240
8.1.9	Zusammenarbeit mit dem Elektrohandwerk	241
8.2	Anschlüsse am Mittel- und Hochspannungsnetz	241
8.3	Blindleistungsbezug und -lieferung	242
9	Betriebsführung	243
9.1	Schalthandlungen und Bereitschaftsdienst	243
9.1.1	Schalthandlungen	243
9.2	Bereitschafts- und Entstördienst	244
9.2.1	Meldestelle	244
9.2.2	Entstörungsdienst	245
9.3	Störungsbeseitigung und Fehlerortung	246
9.4	Versorgungsqualität und Störungsstatistik	253
9.4.1	Begriffsdefinitionen	253
9.4.2	Versorgungszuverlässigkeit	254
9.4.3	Qualitätsregulierung	255
9.4.4	Spannungsqualität	256
9.4.4.1	Langsame Spannungsänderungen	256
9.4.4.2	Schnelle Spannungsänderungen	257
9.4.4.3	Flicker	257
9.4.4.4	Oberschwingungen	258
9.4.5	Kurzunterbrechungen und Spannungseinbrüche	260
10	Asset Management	263
10.1	Begriffsdefinition	263
10.2	Erneuerungsstrategie	263
10.2.1	Nutzungsdauer und Altersstrukturen	263
10.2.2	Substanzerhalt durch Erneuerung	265
10.3	Zustandsbewertung	265
10.3.1	Badewannenkurve	265
10.3.2	Diagnoseverfahren	266
10.3.3	Wiederholungsprüfungen in elektrischen Versorgungsnetzen	266
10.4	Instandhaltungsstrategien	267
10.4.1	Ereignisorientierte Instandhaltung	267
10.4.2	Turnusorientierte Instandhaltung	268
10.4.3	Zustandsorientierte Instandhaltung	268
10.4.4	Zuverlässigkeitssorientierte Instandhaltung	268
10.4.5	Risikobasierte Instandhaltung	269
10.4.6	Prioritätenorientierte Instandhaltung	270
10.5	Wirtschaftlichkeitsberechnung	270
11	Netzwirtschaft	273
11.1	Lieferantenwechsel und Marktkommunikation	273
11.1.1	Marktrollen	273
11.1.2	Standardisierte Geschäftsprozesse	273
11.1.3	Grund- und Ersatzversorgung	274
11.1.4	Marktkommunikation	275

11.1.5	Prozessidentität und Mandantentrennung	276
11.2	Netzentgelte	277
11.2.1	Kostenwälzung	278
11.2.2	Netzkosten	279
11.2.2.1	Kapitalkosten	279
11.2.2.2	Aufwandsgleiche Kosten	283
11.2.3	Steuern, Erträge und Gewinn	283
11.2.4	Kalkulation von Netzentgelten	284
11.2.4.1	Sonderformen der Netznutzung	287
11.2.4.2	Individuelle Netzentgelte (§ 19 Abs. 2 StromNEV)	287
11.2.4.3	Monatsleistungspreise	289
11.2.4.3	Entgelte für singulär genutzte Betriebsmittel	289
11.3	Anreizregulierung	290
11.3.1	Cost-Plus-Regulierung als Vorläufer der Anreizregulierung	291
11.3.2	Grundprinzip der Anreizregulierung	291
11.3.3	Regulierungsformel und Erlösobergrenze	292
11.3.4	Dauerhaft nicht beeinflussbare Kosten	294
11.3.5	Erweiterungsfaktor	295
11.3.6	Volatile Kosten	296
11.3.7	Regulierungskonto	297
11.3.8	Effizienz-Benchmarking	297
11.3.8.1	DEA	298
11.3.8.2	SFA	300
11.3.8.3	Strukturmerkmale	300
11.3.8.4	Strukturelle Besonderheiten	301
11.3.8.5	Härtefallregelung	302
11.3.9	Investitionsmaßnahmen (Investitionsbudgets)	302
11.3.10	Vereinfachtes Verfahren	303
11.4	Regulierungsmanagement	304
11.4.1	Genehmigung des Netzbetriebs	304
11.4.2	Unbundling	304
11.4.2.1	Buchhalterisches Unbundling	305
11.4.2.2	Informationelles Unbundling	306
11.4.2.3	Gesellschaftsrechtliches Unbundling	307
11.4.2.4	Operationelles Unbundling	307
11.4.3	Berichts- und Veröffentlichungspflichten	309
11.4.4	Feststellung des Grundversorgers	310
11.4.5	Schlichtungsstelle	310
11.5	Zählung und Messung	311
11.5.1	Bauarten	311
11.5.2	Anschluss, Montage und Plombierung	315
11.5.3	Eichrechtliche Anforderungen	317
11.5.4	Ablesung	319
11.6	Energiedatenmanagement	319
11.6.1	Grundlagen Lastgänge	319
11.6.2	Gewinnung von Lastgängen	321
11.6.2.1	Registrierende Lastgangmessung (RLM)	321

11.6.2.2	Standardlastprofile (SLP)	321
11.6.3	Elektronische Verarbeitung von Lastgängen	323
11.6.4	Lastgang-/Lastdauerlinie, Benutzungsdauer	323
11.6.5	Stromhandelsprodukte	324
11.6.5.1	Terminmarkt	325
11.6.5.2	Spotmarkt	325
11.7	Netzbilanzierung	326
11.7.1	Bilanzkreise	326
11.7.2	MaBiS	327
11.7.3	Netzbilanzkreis	329
11.7.4	Lastprofilverfahren	330
11.7.4.1	Synthetisches Lastprofilverfahren	330
11.7.4.2	Analytisches Lastprofilverfahren	330
11.7.5	Netzzeitreihen	331
11.7.5.1	Verlustzeitreihe	331
11.7.5.2	Differenzzeitreihe	332
11.7.5.3	Deltazeitreihen	332
12	Technisches Sicherheitsmanagement	333
12.1	Organisation des Stromnetzbetriebs	333
12.1.1	Organisation des Unternehmens	333
12.1.1.1	Technische Führungs- und Fachkräfte	333
12.1.1.2	Anlagenbetreiber	335
12.1.1.3	Verantwortliche Elektrofachkraft	335
12.1.2	Pflichtenübertragung	335
12.1.3	Verantwortliche Personen bei Arbeiten an elektrischen Anlagen	336
12.1.3.1	Anlagenverantwortlicher	336
12.1.3.2	Arbeitsverantwortlicher	336
12.1.4	Organisations- und Betriebshandbuch	337
12.1.5	Qualifikationsprofile im Elektrofach	337
12.1.5.1	Elektrofachkraft	338
12.1.5.2	Elektrotechnisch unterwiesene Person	338
12.1.5.3	Elektrotechnischer Laie	338
12.2	Arbeitsschutz, Abfall und Gefahrstoffe	339
12.2.1	Arbeitsschutz als Arbeitgeberaufgabe	339
12.2.2	Berufsgenossenschaft	344
12.2.3	Prüfung von Betriebs- und Arbeitsmitteln	344
12.2.4	Personliche Schutzausrüstung (PSA)	345
12.2.5	Abfall	346
12.2.6	Gefahrstoffe	346
12.2.7	Arbeitsschutz auf Baustellen	347
12.2.8	Betrieb von Firmenfahrzeugen	348
12.2.9	Technisches Sicherheitsmanagement	349
12.3	Arbeitsmethoden	350
12.3.1	Arbeiten im spannungsfreien Zustand	351
12.3.1.1	Freischalten	351
12.3.1.2	Gegen Wiedereinschalten sichern	351

12.3.1.3	Spannungsfreiheit feststellen	352
12.3.1.4	Erden und Kurzschließen	352
12.3.1.5	Schutz zu benachbarten, spannungsführenden Teilen . .	353
12.3.1.6	Freigabe zur Arbeit	353
12.3.2	Arbeiten in der Nähe spannungsführender Teile	353
12.3.3	Arbeiten unter Spannung	355
12.4	Technisches Risikomanagement	356
13	Dezentrale Energieerzeugung am Netz	359
13.1	EEG-Netzbetreiberaufgaben	359
13.1.1	Ziele und Grundprinzipien des EEG	359
13.1.2	Netzanschluss von EEG-Anlagen	360
13.1.2.1	Netzverträglichkeitsprüfung	363
13.1.2.2	Aufbau eines Anschlusses	366
13.1.2.3	Auslösekriterien des NA-Schutzes	367
13.1.2.4	Verhalten von EEG-Anlagen am Netz	369
13.1.3	Vergütung	373
13.1.3.1	Wasserkraft	374
13.1.3.2	Biomasse	376
13.1.3.3	Deponie-, Klär-, Grubengas	378
13.1.3.4	Solarenergie	378
13.1.3.5	Windkraft	380
13.1.4	Eigenverbrauch	381
13.1.5	Messung an EEG-Anlagen	385
13.1.6	Anlagenverklammerung	386
13.1.7	Clearingstelle EEG	387
13.1.8	Marktintegration erneuerbarer Energie	387
13.1.8.1	Direktvermarktung	388
13.1.8.2	Marktintegrationsmodell für Solarstrom	389
13.2	KWKG-Netzbetreiberaufgaben	389
13.2.1	Ziele und Grundprinzipien des KWKG	389
13.2.2	Netzanschluss von KWK-Anlagen	390
13.2.3	Üblicher Preis und Zuschlag	391
13.2.4	KWK-Aufschlag auf die Netzentgelte	392
13.2.5	Wechsel von KWKG- in die EEG-Förderung	393
14	Intelligente Netze, Energiespeicher und Elektromobilität	395
14.1	Konventioneller Netzausbau	396
14.2	Neuartige Betriebsmittel und Technologien	396
14.2.1	Freileitungsmonitoring	397
14.2.2	Spannungs- und Blindleistungsregelung	397
14.3	Intelligentes Energieversorgungsnetz	397
14.3.1	Intelligente Zähler	398
14.3.2	Smart Home	400
14.4	Speicher	401
14.4.1	Pumpspeicherkraftwerke	403
14.4.2	Druckluftspeicher	404
14.4.3	Schwungmassenspeicher	404

14.4.4	Elektrochemische Energiespeicher	405
14.4.4.1	Grundlagen	405
14.4.4.2	Bleiakkus	406
14.4.4.3	Alkalische Akkus	407
14.4.4.4	Lithium-Ionen-Akkus	407
14.4.4.5	Redox-Flow	408
14.4.4.6	Hochtemperatur-Akkus	409
14.4.4.7	Bewertung der verfügbaren Technologien	409
14.4.5	Doppelschichtkondensator	409
14.4.6	Power to Gas	411
14.4.7	Power to Heat	412
14.5	Elektromobilität	412
14.5.1	Übersicht	412
14.5.2	Lade-Infrastruktur	413
14.5.3	Fahrzeugkonzepte	414
14.5.4	Elektrofahrzeuge als verteilte Speicher am Netz	416
	Abkürzungsverzeichnis	417
	Literaturverzeichnis	423
	Quellenverzeichnis	427
	Stichwortverzeichnis	428