

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	9
<b>1 Aufbau von Verteilungsnetzen .....</b>	<b>17</b>
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
<b>2 Betriebsmittel .....</b>	<b>25</b>
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 Erdschlusslöschspulen .....	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	Batterieranlagen	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	123
2.7.1.3	AMZ-Schutz	124
2.7.2	Distanzschutz	124
2.7.3	Differentialschutz	125
2.7.4	Erdschlusschutz	127
2.7.4.1	Erdschlusswischer-Relais	127
2.7.4.2	Wattmetrische Erdschlusserfassung	128
2.7.5	Transformatorschutz	128
2.7.6	Schutzprüfungen	131
2.8	Netzleit- und Fernwirktechnik	132
2.8.1	Netzleitstelle	132
2.8.2	Stationsleittechnik	133
2.8.3	Fernwirktechnik	135

<b>3</b>	<b>Planung und Berechnung von Verteilungsnetzen</b>	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	Zuverlässigkeitsberechnung	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	Resonanzsternpunkterdung	183
3.6.1.3	Niederohmige Sternpunkterdung	185
3.6.1.4	Kurzzeitig niederohmige Sternpunkterdung	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
<b>4</b>	<b>Netzbau .....</b>	<b>193</b>
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
<b>5</b>	<b>Netzdokumentation .....</b>	<b>205</b>
5.1	Dokumentation des Leitungsnetzes .....	205
5.2	Planauskunft .....	210
5.3	Dokumentation von Anlagen .....	211
<b>6</b>	<b>Konzessionsverträge und Leitungsrechte .....</b>	<b>213</b>
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
<b>7</b>	<b>Straßenbeleuchtung .....</b>	<b>223</b>
7.1	Betriebsführungsmodelle .....	223
7.2	Aufbau von Straßenbeleuchtungsanlagen .....	224
7.3	Steuerung der Straßenbeleuchtung .....	226
7.4	Instandhaltung der Straßenbeleuchtung .....	227
<b>8</b>	<b>Netzanschlüsse von Verbrauchern .....</b>	<b>229</b>
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
<b>9</b>	<b>Betriebsführung</b>	<b>243</b>
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
<b>10</b>	<b>Asset Management</b>	<b>263</b>
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	Zuverlässigkeitsorientierte Instandhaltung	268
10.4.5	Risikobasierte Instandhaltung	269
10.4.6	Prioritätenorientierte Instandhaltung	270
10.5	Wirtschaftlichkeitsberechnung	270
<b>11</b>	<b>Netzwirtschaft</b>	<b>273</b>
11.1	Lieferantenwechsel und Marktkommunikation	273
11.1.1	Marktrolle	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
11.2.2.3	Steuern, Erträge und Gewinn	283
11.2.3	Kalkulation von Netzentgelten	284
11.2.4	Sonderformen der Netznutzung	287
11.2.4.1	Individuelle Netzentgelte (§ 19 Abs. 2 StromNEV)	287
11.2.4.2	Monatsleistungspreise	289
11.2.4.3	Entgelte für singular 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	Deltazeitreihe . . . . .	332
<b>12</b>	<b>Technisches Sicherheitsmanagement . . . . .</b>	<b>333</b>
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	Persönliche 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
<b>13</b>	<b>Dezentrale Energieerzeugung am Netz</b>	<b>359</b>
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
<b>14</b>	<b>Intelligente Netze, Energiespeicher und Elektromobilität</b>	<b>395</b>
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
	<b>Abkürzungsverzeichnis . . . . .</b>	<b>415</b>
	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>423</b>
	<b>Quellenverzeichnis . . . . .</b>	<b>428</b>
	<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>429</b>