

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	5
1 Aufbau von Verteilungsnetzen	19
1.1 Arten von Energieversorgungsnetzen und Abgrenzung zu Kundenanlagen	19
1.2 Spannungsebenen und Netzebenen	21
1.3 Netztopologie	26
1.3.1 Redundanz und $(n-1)$ -Kriterium	26
1.3.2 Netzformen	27
1.3.3 Netzeinbindungen von Stationen oder Netzkunden ..	30
2 Betriebsmittel	33
2.1 Transformatoren	33
2.1.1 Einleitung	33
2.1.2 Grundlagen und Kenngrößen	34
2.1.2.1 Benennung der Transformatoren	35
2.1.3 Aufbau	36
2.1.3.1 Kern	36
2.1.3.2 Wicklungen	38
2.1.3.3 Kessel	40
2.1.4 Wicklungsverschaltung	41
2.1.5 Verluste	43
2.1.6 Geräusche	45
2.1.7 Kühlung und Isolierung	45
2.1.8 Be-/Überlastung und Lebensdauer	46
2.1.9 Einschalten des Transformators	48
2.1.10 Veränderung der Ausgangsspannung	48
2.1.10.1 Umsteller	48
2.1.10.2 Stufenschalter	49
2.1.11 Prüfungen an Transformatoren	52
2.1.12 Transport und Aufstellung	57
2.1.13 Isolieröl als wassergefährdender Stoff	58
2.1.14 Anschluss, Inbetriebnahme und Parallelschaltung ...	60
2.1.15 Gießharztransformatoren	60
2.1.16 Erdschlusslöschspulen	62
2.2 Schaltgeräte	63
2.2.1 Physik der Kontakttrennung	64
2.2.2 Trennschalter	68
2.2.3 Erdungsschalter	69
2.2.4 Lasttrennschalter	69
2.2.5 Leistungsschalter	72
2.3 Schaltanlagen	77
2.3.1 Normative Regelungen und Klassifizierungen	78
2.3.2 Störllichtbogenschutz	80
2.3.3 Aufbau von Schaltanlagen	82

2.3.3.1	Sammelschienen	82
2.3.3.2	Schaltanlagen im Umspannwerk	86
2.3.3.3	Ortsnetz-/Kundenstationen und Kabelverteilerschränke	93
2.3.4	Batterieanlagen	96
2.3.5	Rundsteueranlagen	97
2.3.6	Elektromagnetische Felder	98
2.4	Kabel	102
2.4.1	Aufbauelemente	102
2.4.2	Mittelspannungskabel	106
2.4.3	Niederspannungskabel	107
2.4.4	Kabelgarnituren	108
2.4.5	Belastbarkeit	110
2.4.6	Kabelverlegung	111
2.4.7	Kabelmess- und -prüftechnik	115
2.5	Freileitungen	119
2.5.1	Komponenten	120
2.5.1.1	Maste	120
2.5.1.2	Seile	122
2.5.1.3	Isolatoren	123
2.5.1.4	Armaturen	124
2.5.2	Aufbau und Ausführungsformen	125
2.5.2.1	Niederspannung	125
2.5.2.2	Mittelspannung	125
2.5.2.3	Hoch- und Höchstspannung	126
2.5.3	Planung und Errichtung	126
2.5.4	Verbot neuer Hochspannungs-Freileitungstrassen	127
2.6	Wandler	127
2.6.1	Schaltung von Wandlern	131
2.6.2	Besondere Anforderungen an Stromwandler	133
2.6.3	Besondere Anforderungen an Spannungswandler	133
2.6.4	Kapazitive Spannungsteiler zum Feststellen der Spannungsfreiheit	134
2.7	Schutztechnik	135
2.7.1	Zeitstaffelschutz	137
2.7.1.1	Sicherungen	137
2.7.1.2	UMZ-Schutz	142
2.7.1.3	AMZ-Schutz	144
2.7.2	Distanzschutz	144
2.7.3	Differentialschutz	145
2.7.4	Erdschlusschutz	146
2.7.4.1	Erdschlusswischer-Relais	146
2.7.4.2	Wattmetrische Erdschlusserfassung	147
2.7.5	Transformatorschutz	148
2.7.6	Schutzprüfungen	150
2.8	Netzleit- und Fernwirktechnik	151
2.8.1	Netzleitstelle	151
2.8.2	Stationsleittechnik	152
2.8.3	Fernwirktechnik	155
2.8.4	Informationssicherheits-Managementsystem (ISMS)	156

3	Planung und Berechnung von Verteilungsnetzen.	159
3.1	Netzberechnung und deren elektrotechnische Grundlagen	159
3.1.1	Elektrotechnische Grundlagen	159
3.1.1.1	Darstellung sinusförmiger Größen.	159
3.1.1.2	Impedanzen	163
3.1.1.3	Drehstromsystem.	164
3.1.1.4	Symmetrische Komponenten	168
3.1.1.5	Messung der symmetrischen Komponenten	171
3.1.2	Verfahren der Netzberechnung	174
3.1.3	Lastflussberechnung	174
3.1.4	Kurzschlussstromberechnung.	177
3.1.4.1	Gestörter und ungestörter Betrieb eines Energieversorgungssystems	177
3.1.4.2	Generatorferner und generatornaher Kurzschluss	179
3.1.4.3	Fehlerarten im Drehstromsystem	181
3.1.4.4	Standardisiertes Berechnungsverfahren	182
3.1.5	Zuverlässigkeitsberechnung.	184
3.2	Betriebsmittelbelastbarkeit	185
3.2.1	Thermische Wirkung des Laststroms	185
3.2.2	Mechanische Wirkung des Kurzschlussstromes	185
3.2.3	Thermische Wirkung des Kurzschlussstromes	187
3.2.4	Zeitweilige Überspannungen	188
3.2.5	Transiente Überspannungen.	189
3.2.6	Isolationskoordination	191
3.2.7	Blitzschutz und Überspannungsbegrenzung	191
3.3	Spannungshaltung.	193
3.3.1	Spannungstoleranzbänder	193
3.3.2	Spannungsfälle im Netz	194
3.3.3	Möglichkeiten zur Spannungsregelung.	194
3.3.4	Möglichkeiten zur statischen Spannungshaltung	196
3.4	Netzverluste und deren Bewertung	196
3.4.1	Verlustbewertung	197
3.4.1.1	Spannungsabhängige Verluste	197
3.4.1.2	Stromabhängige Verluste	198
3.4.2	Anerkennung der Verlustenergie-Beschaffungskosten in der Regulierung	198
3.5	Erdung und Erdungsanlagen	199
3.5.1	Grundlagen	199
3.5.2	Erder und Erdungsanlagen	202
3.5.3	Messung des Erdungswiderstands	203
3.5.4	Berührungs- und Schrittspannung	204
3.5.5	Erdungsspannung	205
3.6	Sternpunktbehandlung	206
3.6.1	Sternpunktbehandlung in Hochspannungsnetzen.	206
3.6.1.1	Isolierter Sternpunkt	207
3.6.1.2	Resonanzsternpunkterdung	208
3.6.1.3	Niederohmige Sternpunkterdung.	210
3.6.1.4	Kurzzeitig niederohmige Sternpunkterdung	211
3.6.1.5	Erdschlussortungsverfahren.	212

3.6.2	Sternpunktbehandlung in Niederspannungsnetzen. . . .	212
3.6.2.1	TN-Netz	213
3.6.2.2	TT-Netz.	215
3.6.2.3	IT-Netz	216
4	Netzbau.	219
4.1	Projektmanagement	219
4.1.1	Ausschreibung und Vergabe.	219
4.1.2	Rahmenverträge	223
4.1.3	Großprojekte.	224
4.1.4	AVA.	225
4.2	Leitungstiefbau	226
4.2.1	Aufbau von Straßen.	226
4.2.2	Aufgrabungen in bestehenden Straßen.	227
4.2.3	Absicherung von Baustellen.	228
4.2.4	Leitungsverlegung in offener Bauweise	229
4.2.5	Grabenlose Verfahren zur Leitungsverlegung.	233
4.2.5.1	Pflugverfahren.	233
4.2.5.2	Bodenverdrängungsverfahren	234
4.2.5.3	Horizontal-Spülbohrverfahren	234
4.2.6	Mitverlegung von Leerrohren für das Glasfasernetz. . .	235
5	Netzdokumentation.	237
5.1	Dokumentation des Leitungsnetzes	237
5.2	Planauskunft.	242
5.3	Dokumentation von Anlagen	243
6	Konzessionsverträge und Leitungsrechte	245
6.1	Kosten des Leitungsbaus	246
6.2	Konzessionsabgabe	247
6.3	Weitere Leistungen des Netzbetreibers an die Kommune.	249
6.4	Vergabeverfahren für Konzessions- und Netzpachtverträge.	249
6.5	Rekommunalisierung	252
6.6	Übergabe und Entflechtung von Netzen	253
6.7	Dingliche Sicherung	256
7	Straßenbeleuchtung	259
7.1	Betriebsführungsmodelle.	259
7.2	Aufbau von Straßenbeleuchtungsanlagen	261
7.3	Steuerung der Straßenbeleuchtung	263
7.4	Instandhaltung der Straßenbeleuchtung	264
8	Netzanschlüsse von Verbrauchern	265
8.1	Anschlüsse am Niederspannungsnetz	265
8.1.1	Aufbau und Bestandteile	266
8.1.2	Netzanschlusskosten	273
8.1.3	Netzanschlusskapazität und Baukostenzuschuss	273
8.1.4	Duldungspflicht von Leitungen	275

8.1.5	Duldungspflicht von öffentlichen Transformatorstationen	276
8.1.6	Nutzung des Netzanschlusses	277
8.1.7	Haftung des Netzbetreibers bei Schäden	278
8.1.8	Ausnahmen von der Anschlusspflicht	279
8.1.9	Zusammenarbeit mit dem Elektrohandwerk	279
8.2	Anschlüsse am Mittel- und Hochspannungsnetz	280
9	Betriebsführung	281
9.1	Schalthandlungen und Bereitschaftsdienst	281
9.1.1	Schalthandlungen	281
9.2	Bereitschafts- und Entstörsdienst	282
9.2.1	Meldestelle	282
9.2.2	Entstörungsdienst	283
9.2.3	Krisenvorsorge für das Szenario Blackout	284
9.3	Störungsbeseitigung und Fehlerortung	287
9.4	Versorgungsqualität und Störungstatistik	294
9.4.1	Begriffsdefinitionen	294
9.4.2	Versorgungszuverlässigkeit	295
9.4.3	Qualitätsregulierung	298
9.4.4	Spannungsqualität	300
9.4.4.1	Langsame Spannungsänderungen	300
9.4.4.2	Schnelle Spannungsänderungen	300
9.4.4.3	Flicker	301
9.4.4.4	Oberschwingungen	302
9.4.5	Kurzunterbrechungen und Spannungseinbrüche	305
9.5	Unsymmetrie	306
9.6	Blindleistungsmanagement	306
9.7	Systemdienstleistungen im Verteilungsnetz	313
9.8	Unterfrequenz-Lastabwurf	314
9.9	Redispatch 2.0	315
9.10	Abschaltbare Lasten und manueller Lastabwurf	317
9.10.1	Abschaltbare Lasten	317
9.10.2	Kaskade	318
10	Asset Management	319
10.1	Begriffsdefinition	319
10.2	Erneuerungsstrategie	320
10.2.1	Nutzungsdauer und Altersstrukturen	320
10.2.2	Substanzerhalt durch Erneuerung	321
10.3	Zustandsbewertung	321
10.3.1	Badewannenkurve	321
10.3.2	Diagnoseverfahren	322
10.3.3	Wiederholungsprüfungen in elektrischen Versorgungsnetzen	323
10.4	Instandhaltungsstrategien	323
10.4.1	Ereignisorientierte Instandhaltung	324
10.4.2	Turnusorientierte Instandhaltung	324

10.4.3	Zustandsorientierte Instandhaltung	325
10.4.4	Zuverlässigkeitsorientierte Instandhaltung.	325
10.4.5	Risikobasierte Instandhaltung	326
10.4.6	Predictive Maintenance	327
10.5	Wirtschaftlichkeitsberechnung	327
11	Netzwirtschaft.	331
11.1	Lieferantenwechsel und Marktkommunikation.	331
11.1.1	Markttrollen.	331
11.1.2	Standardisierte Geschäftsprozesse	331
11.1.3	Grund- und Ersatzversorgung	333
11.1.4	Marktkommunikation.	334
11.1.5	Prozessidentität und Mandantentrennung	334
11.2	Netzentgelte	335
11.2.1	Kostenwälzung	336
11.2.2	Netzkosten	338
11.2.2.1	Kapitalkosten	338
11.2.2.2	Aufwandsgleiche Kosten	342
11.2.2.3	Steuern, Erträge und Gewinn.	342
11.2.3	Kalkulation von Netzentgelten	343
11.2.3.1	Steuerbare Verbrauchseinrichtungen	346
11.2.4	Sonderformen der Netznutzung.	346
11.2.4.1	Individuelle Netzentgelte (§ 19 Abs. 2 StromNEV) ...	346
11.2.4.2	Monatsleistungspreise	349
11.2.4.3	Entgelte für singulär genutzte Betriebsmittel	349
11.2.5	Pooling von Entnahmestellen.	350
11.2.6	Pancaking	351
11.2.7	Entgelte für vermiedene Netznutzung	352
11.3	Anreizregulierung	353
11.3.1	Cost-Plus-Regulierung als Vorläufer der Anreizregulierung	354
11.3.2	Grundprinzip der Anreizregulierung	354
11.3.3	Regulierungsformel und Erlösobergrenze.	356
11.3.4	Dauerhaft nicht beeinflussbare Kosten.	357
11.3.5	Kapitalkostenabgleich	358
11.3.6	Volatile Kosten	359
11.3.7	Regulierungskonto	360
11.3.8	Effizienz-Benchmarking.	361
11.3.8.1	DEA	362
11.3.8.2	SFA	363
11.3.8.3	Strukturmerkmale	363
11.3.8.4	Strukturelle Besonderheiten	364
11.3.8.5	Härtefallregelung.	365
11.3.9	Investitionsmaßnahmen (Investitionsbudgets)	365
11.3.10	Vereinfachtes Verfahren.	366
11.3.11	Regulierungsstrategie.	367
11.3.12	Veröffentlichung von Netzkosten, Effizienzwerten, Erlösobergrenzen und Strukturmerkmalen.	368

11.4	Regulierungsmanagement	368
11.4.1	Genehmigung des Netzbetriebs	368
11.4.2	Regulierungsbehörden	369
11.4.3	Unbundling	369
11.4.3.1	Buchhalterisches Unbundling	370
11.4.3.2	Informationelles Unbundling	371
11.4.3.3	Gesellschaftsrechtliches Unbundling	372
11.4.3.4	Operationelles Unbundling	373
11.4.4	Berichts- und Veröffentlichungspflichten	374
11.4.5	Feststellung des Grundversorgers	375
11.4.6	Schlichtungsstelle Energie	375
11.5	Zählung und Messung	376
11.5.1	Bauarten	376
11.5.2	Anschluss, Montage und Plombierung	381
11.5.3	Eichrechtliche Anforderungen	383
11.5.4	Ablesung	385
11.5.5	Sperrung	385
11.6	Energiedatenmanagement	386
11.6.1	Grundlagen Lastgänge	386
11.6.2	Gewinnung von Lastgängen	387
11.6.2.1	Registrierende Lastgangmessung (RLM)	388
11.6.2.2	Standardlastprofile (SLP)	388
11.6.3	Elektronische Verarbeitung von Lastgängen	390
11.6.4	Lastgang-/Lastdauerlinie, Benutzungsdauer	390
11.6.5	Stromhandelsprodukte	391
11.6.5.1	Terminmarkt	392
11.6.5.2	Spotmarkt	392
11.7	Netzbilanzierung	393
11.7.1	Bilanzkreise	393
11.7.2	MaBiS	394
11.7.3	Netzbilanzkreis	396
11.7.4	Lastprofilverfahren	397
11.7.4.1	Synthetisches Lastprofilverfahren	397
11.7.4.2	Analytisches Lastprofilverfahren	397
11.7.4.3	Mehr-Mindermengen-Abrechnung	398
11.7.5	Netzzeitreihen	398
11.7.5.1	Verlustzeitreihe	398
11.7.5.2	Differenzzeitreihe	399
11.7.5.3	Deltazeitreihe	400
12	Technisches Sicherheitsmanagement	401
12.1	Organisation des Stromnetzbetriebs	402
12.1.1	Organisation des Unternehmens	402
12.1.1.1	Technische Führungs- und Fachkräfte	402
12.1.1.2	Anlagenbetreiber	404
12.1.1.3	Verantwortliche Elektrofachkraft	405
12.1.2	Pflichtenübertragung	405

12.1.3	Verantwortliche Personen bei Arbeiten an elektrischen Anlagen	405
12.1.3.1	Anlagenverantwortlicher	406
12.1.3.2	Arbeitsverantwortlicher	406
12.1.4	Organisations- und Betriebshandbuch	407
12.1.5	Qualifikationsprofile im Elektrofach	407
12.1.5.1	Elektrofachkraft	407
12.1.5.2	Elektrotechnisch unterwiesene Person	408
12.1.5.3	Elektrotechnischer Laie	408
12.2	Arbeitsschutz, Abfall und Gefahrstoffe	409
12.2.1	Arbeitsschutz als Arbeitgeberaufgabe	409
12.2.2	Berufsgenossenschaft	413
12.2.3	Prüfung von Betriebs- und Arbeitsmitteln	414
12.2.4	Persönliche Schutzausrüstung (PSA)	415
12.2.5	Abfall	416
12.2.6	Gefahrstoffe	416
12.2.7	Arbeitsschutz auf Baustellen	418
12.2.8	Betrieb von Firmenfahrzeugen	419
12.2.9	Zertifizierung des Technischen Sicherheitsmanagements	420
12.3	Arbeitsmethoden	421
12.3.1	Arbeiten im spannungsfreien Zustand	421
12.3.1.1	Freischalten	422
12.3.1.2	Gegen Wiedereinschalten sichern	422
12.3.1.3	Spannungsfreiheit feststellen	422
12.3.1.4	Erden und Kurzschließen	423
12.3.1.5	Schutz zu benachbarten, spannungsführenden Teilen	423
12.3.1.6	Durchführungserlaubnis	423
12.3.2	Arbeiten in der Nähe spannungsführender Teile	424
12.3.3	Arbeiten unter Spannung	426
12.4	Technisches Risikomanagement	428
13	Dezentrale Energieerzeugung am Netz	429
13.1	EEG-Netzbetreiberaufgaben	429
13.1.1	Ziele und Grundprinzipien des EEG	429
13.1.2	Netzanschluss von EEG-Anlagen	431
13.1.2.1	Netzverträglichkeitsprüfung	434
13.1.2.2	Aufbau eines Anschlusses	437
13.1.2.3	Auslösekriterien des NA-Schutzes bzw. Entkopplungsschutzes	438
13.1.2.4	Verhalten von EEG-Anlagen am Netz	439
13.1.2.5	Zertifizierung von Erzeugungsanlagen	443
13.1.3	Vergütung	444
13.1.3.1	Wasserkraft	446
13.1.3.2	Biomasse	448
13.1.3.3	Deponie-, Klär-, Grubengas	451
13.1.3.4	Solarenergie	451

13.1.3.5	Windkraft	453
13.1.4	Eigenverbrauch	455
13.1.5	Messung an EEG-Anlagen	460
13.1.6	Anlagenverklammerung	462
13.1.7	Clearingstelle EEG KWKG	462
13.1.8	Marktintegration erneuerbarer Energie	463
13.1.8.1	Direktvermarktung	464
13.1.8.2	Marktintegrationsmodell für Solarstrom	465
13.2	KWKG-Netzbetreiberaufgaben	465
13.2.1	Ziele und Grundprinzipien des KWKG	466
13.2.2	Netzanschluss von KWK-Anlagen	467
13.2.3	Üblicher Preis und Zuschlag	467
13.2.4	KWK-Aufschlag auf die Netzentgelte	469
13.2.5	Wechsel von KWKG- in die EEG-Förderung	469
14	Intelligente Netze, Energiespeicher und Elektromobilität	471
14.1	Konventioneller Netzausbau	472
14.2	Neuartige Betriebsmittel und Technologien	473
14.2.1	Freileitungsmonitoring	473
14.2.2	Regelbare Ortsnetztransformatoren	473
14.2.3	Spannungs-Blindleistungsregelung	474
14.3	Intelligentes Energieversorgungsnetz	475
14.3.1	Intelligente Messsysteme und moderne Messeinrichtungen	475
14.3.2	Smart Home	480
14.4	Speicher	481
14.4.1	Pumpspeicherkraftwerke	483
14.4.2	Druckluftspeicher	484
14.4.3	Schwungmassenspeicher	484
14.4.4	Elektrochemische Energiespeicher	485
14.4.4.1	Grundlagen	485
14.4.4.2	Bleiakkus	486
14.4.4.3	Alkalische Akkus	487
14.4.4.4	Lithium-Ionen-Akkus	487
14.4.4.5	Redox-Flow	488
14.4.4.6	Hochtemperatur-Akkus	489
14.4.4.7	Bewertung der verfügbaren Technologien	489
14.4.5	Doppelschichtkondensator	489
14.4.6	Power to Gas	491
14.4.7	Power to Liquid	492
14.4.8	Power to Heat	493
14.5	Elektromobilität	493
14.5.1	Übersicht	493
14.5.2	Lade-Infrastruktur	494
14.5.3	Fahrzeugkonzepte	496
14.5.4	Elektrofahrzeuge als verteilte Speicher am Netz	498
	Abkürzungsverzeichnis	501

Literaturverzeichnis	509
1. Weiterführende Literatur	509
2. Weblinks	511
3. Normen und Richtlinien	512
Quellenverzeichnis	514
Stichwortverzeichnis	515