

Inhaltsverzeichnis

1	Rahmenbedingungen der Elektrizitätswirtschaft	1
1.1	Ziele der Elektrizitätspolitik	2
1.1.1	Elektrizitätspolitik als sektorale Strukturpolitik	2
1.1.2	Energiepolitisches Zieldreieck – Zielkonflikte und Entwicklung	3
1.1.3	Geschwindigkeit der Dekarbonisierung	4
1.2	Liberalisierung und Regulierung	6
1.2.1	Netze als natürliches Monopol	6
1.2.2	Regulierung des natürlichen Monopols	7
1.2.3	Märkte als Koordinationsinstrument	9
1.3	Versorgungssicherheit als staatliche Aufgabe	11
1.3.1	Messung von Versorgungssicherheit	12
1.3.2	Optimaler Grad an Versorgungssicherheit	12
1.3.3	Die Rolle des Staates bei der Versorgungssicherheit	13
1.4	Energieumwandlung und Energieeffizienz	16
1.4.1	Abgrenzung von Primär-, End- und Nutzenergie	17
1.4.2	Energieeffizienz und Suffizienz	18
1.4.3	Instrumente zur Steigerung der Energieeffizienz	19
1.5	Elektrifizierung und Sektorkopplung	20
1.5.1	Elektrifizierung der Wärmebereitstellung (power-to-heat)	21
1.5.2	Elektrifizierung der Mobilität (power-to-mobility)	22
1.5.3	Elektrifizierung der chemischen Grundstoffindustrie (power-to-chemicals)	23
1.5.4	Sektorkopplung	23
1.6	Dezentralisierung, Digitalisierung und Demokratisierung	25
1.6.1	Dezentralisierung des Systems	25
1.6.2	Digitale Transformation	26
1.6.3	Demokratisierung der Energieversorgung	27
	Literatur	29

2 Verbrauch, Erzeugung und Speicherung von Elektrizität	31
2.1 Verbrauch von Elektrizität und Lastmanagement	32
2.1.1 Messdienstleistungen und Smart Meter	35
2.1.2 Kosten von Versorgungsunterbrechungen: Value of Lost Load (VoLL)	37
2.1.3 Funktionsweise von Lastmanagement	39
2.1.4 Lastmanagementpotenziale	40
2.2 Erzeugung von Elektrizität	42
2.2.1 Thermische Kraftwerke zur Stromerzeugung	42
2.2.2 Direkte Stromerzeugung aus Wind, Wasser und PV	44
2.2.3 Fixe und variable Kosten der Stromerzeugung	47
2.2.4 Statische Kostenvergleichsrechnung (Screening-Kurven)	50
2.2.5 Dynamische Investitionsrechnung und LCOE	53
2.2.6 Externe Kosten der Stromerzeugung	60
2.3 Speicherung von Elektrizität	62
2.3.1 Kennzahlen von Stromspeichern	63
2.3.2 Technologien der Stromspeicherung	63
2.3.3 Kosten der Speicherung und Levelized Cost of Storage (LCOS)	67
Literatur	69
3 Aufbau und Betrieb von Stromnetzen	71
3.1 Struktur der Stromnetze	72
3.1.1 Spannungsebenen	72
3.1.2 Zusammenarbeit von Netzbetreibern	74
3.1.3 Systemdienstleistungen	76
3.2 Bilanzkreise und Fahrpläne	77
3.2.1 Bilanzkreise	77
3.2.2 Fahrplananmeldung	79
3.2.3 Fahrplanlieferungen zwischen Bilanzkreisen	79
3.2.4 Gate-Closure-Time (GCT)	80
3.2.5 Ausgleichsenergiemechanismus	82
3.2.6 Abgrenzung: Regel- und Ausgleichsenergie	83
3.2.7 Preisbildung für Ausgleichsenergie	84
3.3 Netzentwicklung und Netzausbau	86
3.3.1 Optimierung, Verstärkung und Ausbau der Stromnetze	88
3.3.2 Flexibilität und Netzbedarf	90
3.4 Netznutzungsentgelte	93
3.4.1 Anforderungen an die Netzentgeltstruktur	93
3.4.2 Vertikale und horizontale Wälzung der Netzentgelte	94
Literatur	96

4	Märkte für Regelernergie	97
4.1	Nachfrage auf dem Regelerenergiemarkt	97
4.1.1	Regelernergieprodukte	98
4.1.2	Bedarfsermittlung	100
4.2	Anbieter auf dem Regelerenergiemarkt	102
4.2.1	Anforderungen an Regelernergieanbieter	103
4.2.2	Kosten der Regelernergiebereitstellung	104
4.3	Ausgestaltung von Regelernergieauktionen	104
4.3.1	Gemeinsame Ausschreibung von Regelleistung und Regelarbeit	105
4.3.2	Getrennte Ausschreibung von Regelleistung und Regelarbeit	106
4.3.3	Kostenwälzung der Regelernergie	106
	Literatur	108
5	Stromsysteme mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien	111
5.1	Ausgleich von Angebot und Nachfrage	111
5.1.1	Kurzfristiger Ausgleich von Angebot und Nachfrage	112
5.1.2	Ausgleich saisonaler Schwankungen	114
5.2	Angemessenheit der Erzeugungskapazitäten	115
5.2.1	Leistungskredit erneuerbarer Energien	118
5.2.2	Verfügbarkeit des thermischen Kraftwerksparks	120
5.2.3	Kostenminimale Bereitstellung gesicherter Leistung	121
5.3	Bereitstellung von Systemdienstleistungen	123
5.3.1	Regelernergie durch erneuerbare Energien	125
5.3.2	Regelernergiebereitstellung durch Nachfrage und Speicher	126
5.3.3	Pooling in virtuellen Kraftwerken	127
	Literatur	129
6	Spotmärkte für Elektrizität	131
6.1	Aufgaben und Ausgestaltung von Spotmärkten	131
6.1.1	Handel an der Börse und OTC	133
6.1.2	Spotmärkte in Deutschland	135
6.2	Preisbildung im Merit-Order-Modell	136
6.2.1	Ableitung der Angebotskurve aus den Grenzkosten	136
6.2.2	Ableitung der Nachfragekurve aus der Zahlungsbereitschaft	139
6.2.3	Preisbildung im Merit-Order-Modell	141
6.3	Gebotsabgabe bei Spotmarkt-Auktionen	142
6.3.1	Ausgestaltung der Auktion: Einheits- und Gebotspreisverfahren	143
6.3.2	Preisunelastische Marktteilnehmer	144
6.3.3	Intertemporale Optimierung der Erzeuger	145
6.3.4	Opportunitätskosten von Anbietern und Nachfragern	147
6.3.5	Strategische Gebotsabgabe	148
6.3.6	Preisauflschläge von Grenzkraftwerken	149

6.4	Preisbildung bei Spotmarktauktionen	150
6.4.1	Aggregierte Angebotskurve	150
6.4.2	Aggregierte Nachfragekurve	151
6.4.3	Matching von Angebot und Nachfrage	152
6.5	Marktergebnisse auf dem Spotmarkt	153
6.5.1	Merit-Order-Effekt	154
6.5.2	Volatilität der Preise	155
6.5.3	Saisonalität der Preise	156
6.5.4	Preisspitzen	156
6.5.5	Negative Marktpreise	158
6.5.6	Besonderheiten des Intraday-Marktes	158
6.6	Auswirkungen von Kapazitätsmechanismen	160
6.6.1	Strategische Reserve (Kapazitätsreserve)	162
6.6.2	Kapazitätsmarkt	163
6.6.3	Ordnungspolitische Eingriffe	165
6.7	Preisbildung bei hohen Anteilen erneuerbarer Energien	166
6.7.1	Transformation stabilisiert Preise am Energy-Only-Markt	166
6.7.2	Grundlegende Reformen der Preisbildung	168
	Literatur	169
7	Engpassmanagement und Allokationssignale	171
7.1	Grundlagen Engpassmanagement	171
7.1.1	Preisdifferenzen durch Engpässe	172
7.1.2	Anforderungen an effiziente Engpassmanagementsysteme	174
7.1.3	Kategorisierung von Engpassmanagementverfahren	176
7.2	Engpassmanagement zwischen Preiszonen	178
7.2.1	Explizite Auktionen	178
7.2.2	Implizite Auktionen (Market Coupling)	179
7.3	Engpassmanagement innerhalb von Preiszonen	180
7.3.1	Kostenbasiertes Redispatch	182
7.3.2	Marktbasiertes Redispatch (Flexibilitätsmärkte)	184
7.4	Allokationssignale im Preiszonen-Marktmodell	187
7.4.1	Market Splitting	187
7.4.2	Regionale Fördermechanismen	188
7.4.3	Regionale Netznutzungsentgelte	189
7.5	Nodal Pricing	189
7.5.1	Das Single-Buyer- oder Pool-Modell	190
7.5.2	Bewertung des Nodal Pricing	191
	Literatur	192
8	Terminmärkte für Elektrizität	195
8.1	Handelsstrategien an Terminmärkten	195
8.1.1	Absicherung von Marktrisiken (hedging)	196
8.1.2	Arbitrage	198

8.1.3	Market Making	199
8.1.4	Eigenhandel (Spekulation)	199
8.2	Futures und Forwards	200
8.2.1	Spezifikation der Kontrakte	202
8.2.2	Terminstrukturkurven	204
8.2.3	Erklärungsansätze für Terminmarktpreise	206
8.3	Erstellung von PFC aus Future-Preisen	209
8.3.1	Verfahren zur Erstellung von PFC	210
8.3.2	Anforderungen an eine PFC	212
8.4	Absicherungsstrategien mit Futures	213
8.4.1	Mengenneutrale Strukturierung	214
8.4.2	Wertneutrale Strukturierung	216
8.4.3	Stochastische Optimierung der Strukturierung	216
8.5	Optionen	217
8.5.1	Preisbildung bei Optionen	219
8.5.2	Risikoabsicherung mit Optionen (Delta-Hedging)	221
8.6	Weitere Derivate	222
8.6.1	Wetterderivate	223
8.6.2	Wind Future	223
8.6.3	Intraday-Cap und Floors	224
8.6.4	Contract for Differences (CfD)	224
8.6.5	Finanzielle Übertragungsrechte (FTR)	225
	Literatur	225
9	Stromhandel in Energieversorgungsunternehmen	227
9.1	Aufbau von Energieversorgungsunternehmen	228
9.1.1	Handel	229
9.1.2	Vertrieb	230
9.1.3	Erzeugung	231
9.1.4	Netzbetrieb	233
9.1.5	Messstellenbetrieb	233
9.1.6	Bilanzkreis- und Fahrplanmanagement	234
9.2	Risiko- und Portfoliomanagement in EVU	234
9.2.1	Risiken in EVU	234
9.2.2	Risikomanagement	237
9.2.3	Portfoliomanagement	238
9.3	SLP-Beschaffungsportfolio	243
9.3.1	Bedarfsprognose	243
9.3.2	Strukturierung und Tranchierung	245
9.3.3	Mengenlimits in der Beschaffungsstrategie	247
9.3.4	Preiskomponente in der Beschaffungsstrategie	249
9.3.5	Kurzfristige Portfoliobewirtschaftung	250

9.4	RLM-Beschaffungsportfolio	252
9.4.1	Back-to-Back-Beschaffung	252
9.4.2	Langfristige Portfoliobewirtschaftung	254
9.4.3	Kurzfristige Portfoliobewirtschaftung	254
9.5	Thermisches Erzeugungsportfolios	255
9.5.1	Langfristige Portfoliobewirtschaftung	256
9.5.2	Kurzfristige Portfoliobewirtschaftung und Kraftwerkseinsatzplanung	258
9.6	Fluktuierendes EE-Erzeugungsportfolio	259
9.6.1	Utility-Power-Purchase-Agreements (PPA)	259
9.6.2	Kurzfristige Portfoliobewirtschaftung	262
	Literatur	263
10	Endkunden im Energiesystem	265
10.1	Zusammensetzung der Endkundenpreise	266
10.1.1	Steuern und Abgaben	266
10.1.2	Netznutzungsentgelte	267
10.1.3	Messentgelte	269
10.1.4	Lieferantenpreis	269
10.2	Strombeschaffungsstrategien für Endkunden	270
10.2.1	Strombeschaffung für SLP-Kunden	272
10.2.2	Vollversorgungsverträge für RLM-Kunden	274
10.2.3	Portfoliomanagement bei stromintensiven Unternehmen	279
10.3	Grüne Strombeschaffung	280
10.3.1	Ökostromtarife	281
10.3.2	Beschaffung von HKN durch Endkunden	282
10.3.3	Green-Corporate-Power-Purchase-Agreements (PPA)	283
10.4	Eigenerzeugung und Prosumer	284
10.4.1	Auslegung der Anlagen für den Eigenverbrauch	286
10.4.2	Kritische Betrachtung des Eigenverbrauchs aus Systemsicht	287
10.5	Vermarktung nachfrageseitiger Flexibilität	288
10.5.1	Erlösmöglichkeiten	289
10.5.2	Anreizwirkung von Netznutzungsentgelten	290
10.6	Lokaler Energiehandel	294
10.6.1	Gemeinschaftliche Eigenversorgung im Quartier oder Microgrid	295
10.6.2	Dezentraler Handel und Preisbildung	297
10.6.3	Virtuelle Gemeinschaften	298
10.6.4	P2P und Blockchain für lokale Energiemärkte	299
	Literatur	300
	Stichwortverzeichnis	303