
Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation, Hintergrund und Forschungsfragen	1
1.2	Methodik und Struktur der Arbeit	3
2	Stromversorgungssysteme – Stand der Technik und Rahmenbedingungen	5
2.1	Allgemeine energiepolitische Ziele und Rahmenbedingungen	5
2.2	Stromerzeugung und -verbrauch vor dem Hintergrund der Energiewende	9
2.2.1	Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien	10
2.2.2	Flexibilität	16
2.2.3	Energie- bzw. Stromspeicher	19
2.2.4	Erzeugungsmanagement	21
2.2.5	Lastmanagement	22
2.2.6	Sektorkopplung mittels Power-to-X-Technologien	25
2.3	Stromversorgungsnetze	31
2.3.1	Aufbau	31
2.3.2	Netzbereitstellung	39
2.3.3	Netzverluste	44
2.3.4	Qualität und Sicherheit	46
2.3.5	Verantwortung der Netzbetreiber	53
2.3.6	Netzregeln	60
2.4	Systemdienstleistungen	62
2.4.1	Frequenzhaltung	64
2.4.2	Spannungshaltung	74
2.4.3	Betriebsführung	75
2.4.4	Netzwiederaufbau	76

2.5	Netzrechnungen	78
2.5.1	Leistungsflussrechnung	79
2.5.2	Sensitivitätsanalysen bzw. -faktoren	91
2.5.3	Optimierte Leistungsflussrechnung	94
2.5.4	Netzzustandserkennung	96
2.6	Regulierung der Netze	96
2.6.1	Liberalisierung	96
2.6.2	Anreizregulierung	100
2.6.3	Netzentgelte	107
2.6.4	Konzessionen	122
2.7	Bilanzkreis- und Ausgleichsenergiesystem	123
2.7.1	Rollenmodell für die Marktkommunikation	123
2.7.2	Gesonderte Bilanzkreise der Netzbetreiber	130
2.7.3	Erzeugungs- und Lastprognosen	134
2.7.4	Lastprofilverfahren	145
2.7.5	Fahrplananmeldung	147
2.7.6	Ausgleichsenergiesystem und -preise	148
2.7.7	Bilanzkreisabrechnung	150
2.8	Stromvermarktung	151
2.8.1	Marktdesign	153
2.8.2	Großhandel	172
2.8.3	Einzelhandel	179
2.8.4	Investitionsanreize und Vermarktungsmöglichkeiten für Erzeuger	186
2.9	Engpassmanagement	204
2.9.1	Strombelastbarkeit von Betriebsmitteln	211
2.9.2	Präventives Engpassmanagement	213
2.9.3	Einspeisemanagement	229
2.9.4	Redispatch und Countertrading	231
2.10	Zähl- und Messwesen	243
2.10.1	Konventionelle Messtechnik	245
2.10.2	Moderne Messeinrichtungen und intelligente Messsysteme	246
2.10.3	Smart Meter Gateways	250
2.10.4	Sternförmige Kommunikation	255
2.11	Energiemanagement in Smart Grids	256
2.11.1	Datenmanagement	262
2.11.2	Kommunikationsinfrastruktur	268
2.11.3	Netzleit- und Fernwirktechnik	272
2.11.4	Energiemanagement über die Smart Meter Gateway Infrastruktur	277
2.11.5	Energiemanagement in Smart Homes/Buildings	282

2.11.6	Lademanagement von Elektrofahrzeugen	286
2.11.7	Virtuelle Kraftwerke von Aggregatoren.	288
2.11.8	Microgrids	290
3	Lösungsansätze für Herausforderungen im Zuge der Energiewende	291
3.1	Koordinierungsfunktion auf Betriebsebene	291
3.2	Anpassung der Netzentgeltsystematik	292
3.3	Anpassung der Netzentgeltregulierung	303
3.4	Kapazitätsmechanismen.	304
3.5	Ampelkonzept	307
3.6	Smart Markets bzw. Flexibilitätsmärkte	308
3.7	Peer-to-Peer-Handel mittels Blockchain	313
3.8	Lokale Netzautomatisierung auf Niederspannungsebene	317
3.9	Zellularer Ansatz	317
4	Ableitung eines mit der Energiewende kompatiblen Energiemanagement-Konzeptes	321
4.1	Marktpreise als essenzielles Koordinationsinstrument für komplexe Systeme	322
4.1.1	Komplexe Stromversorgungssysteme	322
4.1.2	Märkte und Marktpreise	325
4.1.3	Energiemanagement mittels marktbasierter Regelung und Multi-Agenten-Systemen	327
4.2	Anpassungsbedarf des Strommarktdesigns	332
4.2.1	Kurz- und langfristige Preiseffekte der dargebotsabhängigen Stromerzeugung	334
4.2.2	Eignung des Energy-Only-Marktes	337
4.2.3	Behebung von Marktversagen	340
4.2.4	Vermeidung von Verzerrungen.	346
4.3	Anpassung der Netzentgeltsystematik für eine effiziente Nutzung der Netzinfrastuktur und eine verteilungsgerechte Kostenübernahme.	349
4.3.1	Netzentgelte als Instrument zur Allokation knapper Netzkapazitäten	349
4.3.2	Auslastungsabhängige Netzentgelte mittels zellularem Ansatz	354
4.3.3	Knotenpreise als Alternative	382
4.3.4	Ausgestaltungsvariante einer effizienten und verteilungsgerechten Netzentgeltsystematik	385
4.4	Umsetzbarkeit des Energiemanagement-Konzepts anhand bestehender Technologien	390

X	Inhaltsverzeichnis
5	Zusammenfassung und Ausblick 393
	Anhang A: Regulierung von Infrastrukturen 403
	Anhang B: Ausgewählte Maßnahmen zur Spannungshaltung 425
	Literatur 445
	Stichwortverzeichnis 489