

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung – klimapolitische Ziele der nachhaltigen Energieversorgung	1
1.1 Warum brauchen wir ein Gesamtenergiesystem (GES)?	1
1.1.1 Weltbevölkerung, Energieressourcen und die „volle Welt“	1
1.1.2 Energieverbrauch und CO ₂ -Ausstoß: von Kyoto-Protokoll über Pariser Abkommen bis zu Green Deal	7
1.1.3 Sektorenkopplung – was ist das?	15
1.2 Paradigmenwechsel in der elektrischen Energieversorgung bedingt durch regenerative Erzeugung	22
1.2.1 Leistung, Energie und Wirkungsgrad	22
1.2.2 Potenziale der regenerativen Erzeugung	28
1.2.3 Dunkelflauten und andere Besonderheiten	34
Literatur	44
2 Methodik und Modellaufbau zur Sektorenkopplung im Gesamtenergiesystem (GES)	49
2.1 Modellierung eines GES	49
2.1.1 Energy-Hub-Modell	49
2.1.2 Zeitliche Auflösung von Energieflüssen	56
2.1.3 Substituieren von Energieträgern	59
2.2 Optimierung eines GES	61
2.2.1 Allgemeine Bemerkungen	61
2.2.2 Ansätze zur Systemoptimierung	64
Literatur	79
3 Energienutzungssektoren und deren Energieverbrauch	81
3.1 Allgemeine Bemerkungen	81
3.2 Energiebereitstellung (Gas, Strom, Wärme) sowie Rolle des Wasserstoffs (H ₂)	86
3.3 Industrie: Net-Zero-Factory	90
3.4 Haushalt	94
3.5 Verkehr: Elektromobilität	97

3.6 Gewerbe – Handel – Dienstleistungen (GHD)	100
Literatur.....	104
4 Methodologie der Modellierung der Energiehubkomponenten	105
4.1 Einführung	105
4.2 Methodologie der Modellierung von Erzeugungssektoren	108
4.2.1 Strom	108
4.2.2 Gas	118
4.2.3 Wärme	124
4.2.4 Energiemarktgestaltung, Marktrollen	128
Literatur.....	131
5 Flexibilität eines Gesamtenergiesystems (GES)	133
5.1 Sicherer Betrieb des Gesamtenergiesystems (GES)	133
5.2 Energiespeicher	140
5.3 Bewertung der Flexibilität	148
5.3.1 Einführung	148
5.3.2 Flexgraphen	148
5.3.3 Puffercharakteristiken	150
5.3.4 Variable und fixe Leistungsprofile	151
5.3.5 15-min-Energiewerte	151
5.4 Rechtlicher Rahmen.....	154
5.4.1 Einführung	154
5.4.2 Abschaltbare Lasten.....	158
5.4.3 Unterbrechbare Verbrauchseinheiten	158
5.4.4 Zukünftige Flexibilität, systemseitige Bedarfsanalyse	158
Literatur.....	162
6 Rolle der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) – Digitalisierung der Energiewirtschaft	165
6.1 Entwicklung der Bilanzierung im Energiesystem am Beispiel Strom.....	165
6.2 Aktuelle Bilanzierung für Strom, Gas und Wärmemärkte.....	169
6.2.1 Grundlagen der Energiebilanzierung am Beispiel Strom	169
6.2.2 Messstellenbetrieb: Rolle des Smart-Meter-Rollouts	183
6.2.3 Marktkommunikation und Messdatenanalyse	190
6.2.4 Bilanzierung: Vergleich zwischen Gas und Strom.....	193
6.3 Rolle der IKT und weiterer Innovationen in der Systemführung (Strom) der Zukunft	197
Literatur.....	206
7 Perspektiven des Gesamtenergiesystems (GES)	207
7.1 Einführung	207
7.2 Europäische Perspektive	208
7.3 China Perspektive	212

7.4	USA Perspektive	216
7.5	Aufbau einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft (Beispiel EU/Deutschland)	217
7.5.1	Einführung	217
7.5.2	Konzept für Deutschland	220
7.5.3	Regionale Konzepte am Beispiel des Landes Sachsen-Anhalt	221
	Literatur	222
	Anhang 1	225
	Stichwortverzeichnis	233