

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, Markttrollen	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