

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Herausforderungen der künftigen Energieversorgung</b> .....	1
1.1 Ressourcen und Klimawandel .....	1
1.2 Indikatoren der Energieeffizienz .....	5
1.3 Ziele und Handlungsfelder der Energiewende .....	8
1.3.1 Ziele der Energiewende in Deutschland .....	8
1.3.2 Handlungsfelder der Energiewende .....	11
1.4 Strukturwandel in der Energieversorgung .....	17
1.4.1 Energiemarkt .....	17
1.4.2 Rechtliche Rahmenbedingungen .....	22
1.4.3 Kommunale Energieversorgungssysteme .....	28
1.5 Zusammenfassung .....	30
Literatur .....	31
<b>2 Energetische Grundlagen</b> .....	33
2.1 Energiewandlung .....	33
2.1.1 Energiebegriff .....	33
2.1.2 Energieumwandlung .....	36
2.2 Thermische Energie .....	43
2.2.1 Zustandsgrößen .....	43
2.2.2 Wärmeübertragung .....	47
2.2.3 Wasserdampf .....	50
2.3 Elektrische Energie .....	52
2.4 Energetische Kennwerte .....	57
2.5 Zusammenfassung .....	63
Literatur .....	65
<b>3 Energieverbundsysteme</b> .....	67
3.1 Energie im Querverbund .....	67
3.2 Konventionelle Energiesysteme .....	73
3.2.1 Klassifizierung .....	73
3.2.2 Dampfkraftwerke .....	75
3.2.3 Gasturbinenkraftwerke .....	86

3.3	Kraft-Wärme-Kopplung .....	87
3.3.1	Technologien der Kraft-Wärme-Kopplung .....	87
3.3.2	Energetische Kennzahlen der Kraft-Wärme-Kopplung .....	90
3.3.3	Kraft-Wärme-Kopplung in Dampfkraftwerken .....	93
3.3.4	Kombinationskraftwerke .....	98
3.3.5	Blockheizkraftwerke .....	101
3.3.6	Brennstoffzellen .....	109
3.3.7	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung .....	112
3.4	Ausgewählte regenerative Energiesysteme .....	116
3.4.1	Fotovoltaik .....	116
3.4.2	Solarthermie .....	118
3.4.3	Wärmepumpen .....	121
3.4.4	Nutzung von Biomasse .....	124
3.5	Energiespeicher .....	125
3.5.1	Klassifizierung .....	125
3.5.2	Wärmespeicher .....	127
3.5.3	Auslegung und Kennwerte von Energiespeichern .....	130
3.6	Virtuelle Kraftwerke .....	133
3.6.1	Aufbau und Funktionen .....	133
3.6.2	Energiemanagement .....	137
3.7	Zusammenfassung .....	140
	Literatur .....	143
<b>4</b>	<b>Energiesystemanalyse .....</b>	<b>145</b>
4.1	Systemanalyse .....	145
4.1.1	Ziele und Aufgaben .....	145
4.1.2	Simulationsaufgaben für ausgewählte Energiesysteme .....	147
4.2	Mathematische Modellierung .....	156
4.2.1	Modellbildung .....	156
4.2.2	Problemanalyse und Systementwicklung .....	165
4.2.3	Modellvalidierung .....	171
4.3	Regressionsanalyse .....	173
4.3.1	Regressionsmodelle .....	173
4.3.2	Parameterschätzung .....	178
4.3.3	Statistische Analyse .....	185
4.3.4	Regressionsanalyse von Energiesystemen .....	192
4.4	Künstliche neuronale Netze .....	196
4.4.1	Konstruktion eines neuronalen Netzes .....	196
4.4.2	Lernverfahren .....	201
4.4.3	Simulation auf der Basis neuronaler Netze .....	203
4.5	Zusammenfassung .....	205
	Literatur .....	208

---

<b>5</b>	<b>Energiedatenmanagement</b>	209
5.1	Energieinformationssysteme	209
5.1.1	Aufbau und Funktionen	209
5.1.2	Hard- und Softwarevoraussetzungen	215
5.2	Datenmanagement	219
5.2.1	Messkonzept	219
5.2.2	Datenverarbeitung	223
5.2.3	Datenprüfung	225
5.2.4	Analyse von Messfehlern	227
5.3	Energiedatenanalyse	231
5.4	Smart Metering	234
5.4.1	Smart Meter	234
5.4.2	Management von Zählerdaten	239
5.4.3	Virtueller Energiemarktplatz	241
5.5	Zusammenfassung	243
	Literatur	245
<b>6</b>	<b>Energiecontrolling</b>	247
6.1	Energiecontrollingsysteme	247
6.2	Funktionen des Energiecontrollings	251
6.2.1	Energieplanung	251
6.2.2	Monitoring	255
6.2.3	Energieanalyse	258
6.3	Wirtschaftlichkeitsrechnung	268
6.3.1	Grundlagen	268
6.3.2	Annuitätenmethode	271
6.3.3	Wirtschaftlichkeitsrechnung zur BHKW-Planung	278
6.4	Kostenaufteilung der Kraft-Wärme-Kopplung	288
6.4.1	Thermodynamische Kennzahlen	288
6.4.2	Verfahren zur Kostenaufteilung der Kraft-Wärme-Kopplung	291
6.5	Energiecontrollingsystem für einen kommunalen Kraftwerksverbund	293
6.5.1	Verbundsystem	293
6.5.2	Kraftwerksbericht	299
6.5.3	Analyse des Kraftwerksbetriebs	303
6.6	Zusammenfassung	312
	Literatur	315
<b>7</b>	<b>Analyse und Modellierung des Energiebedarfs</b>	317
7.1	Analyse der Einflussfaktoren auf den Energiebedarf	317
7.1.1	Motivation	317
7.1.2	Einflussfaktoren	322
7.2	Mathematische Modellierung	327

7.2.1	Lastprognoseverfahren	327
7.2.2	Datenanalyse	333
7.2.3	Statistische Analyse	337
7.3	Regressionsanalyse des Energiebedarfs	339
7.3.1	Regressionsmodelle für den Energiebedarf	339
7.3.2	Modelle für den Wärmebedarf	342
7.3.3	Modelle für den Strombedarf	349
7.4	Lastprognose mit neuronalen Netzen	352
7.4.1	Prognosemodell	352
7.4.2	Stromlastprognose	355
7.4.3	Wärmelastprognose	358
7.5	Wärmebedarfsprognose für ein Fernwärmesystem	360
7.5.1	Modellentwurf	360
7.5.2	Regressionsmodell für den Wärmebedarf	365
7.6	Gasbedarfsprognose	368
7.7	Zusammenfassung	371
	Literatur	373
<b>8</b>	<b>Lastprofile und Lastmanagement</b>	<b>375</b>
8.1	Lastprofile in der Energieversorgung	375
8.2	Standardlastprofile	379
8.2.1	Strombedarfsprofile	379
8.2.2	Wärmebedarfsprofile	387
8.3	Synthetische Lastprofile	392
8.3.1	Lastprofilverfahren	392
8.3.2	Synthetisches Stromlastprofil	396
8.3.3	Simulation des Energiebedarfs mithilfe von Lastprofilen	398
8.4	Lastmanagement	401
8.4.1	Strategien	401
8.4.2	Demand-Side-Management	404
8.4.3	Demand Response Management	412
8.5	Zusammenfassung	414
	Literatur	416
<b>9</b>	<b>Optimierung von Verbundsystemen</b>	<b>419</b>
9.1	Mathematische Optimierungsmethoden	419
9.1.1	Optimierungsaufgaben in der Energiewirtschaft	419
9.1.2	Allgemeines Optimierungsmodell	422
9.1.3	Mathematische Optimierungsverfahren	427
9.1.4	Optimierungstools	438
9.2	Lineare Optimierung	439
9.2.1	Lineares Optimierungsmodell	439

---

9.2.2	Geometrische Interpretation .....	446
9.2.3	Simplex-Verfahren .....	448
9.3	Querverbundoptimierung .....	454
9.3.1	Querverbundunternehmen .....	454
9.3.2	Planungsaufgaben .....	457
9.4	Kraftwerkseinsatzplanung .....	471
9.4.1	Kraftwerkseinsatz nach dem Merit-Order-Prinzip .....	471
9.4.2	Kraftwerkseinsatz in Querverbundunternehmen .....	476
9.4.3	Mathematische Modellierung .....	481
9.4.4	Lösungsansätze für die mathematische Optimierung .....	486
9.5	Zusammenfassung .....	490
	Literatur .....	493
<b>10</b>	<b>Energiemanagementsysteme .....</b>	<b>495</b>
10.1	Aufbau und Funktionen .....	495
10.1.1	Die internationale Norm DIN EN 50001 .....	495
10.1.2	Funktionen von Energiemanagementsystemen .....	505
10.2	Lastenheft für die Entwicklung von Energiemanagementsystemen .....	508
10.2.1	Anforderungen an die Softwareentwicklung .....	508
10.2.2	Hardwarevoraussetzungen .....	513
10.3	Zusammenfassung .....	516
	Literatur .....	517
<b>11</b>	<b>Lösungen zu den Übungsaufgaben .....</b>	<b>519</b>
	<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>543</b>