

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung des Buches: Regenerative Systemeffizienz	1
1.1	Energiebedarf, Potenziale und Ressourcen	1
1.2	Energiewirtschaft der Effizienz und Suffizienz	6
1.3	Speichertechnologien	7
1.4	Netze	8
1.5	Dezentrale Energieversorgung	8
1.6	Gebäude und Heizungsbedarf	9
1.7	Nachhaltige Mobilität	10
1.8	Sektorenkopplung	11
2	Energiebedarf, Potenziale und Ressourcen	13
2.1	Entwicklung des Energiebedarfs	13
2.2	Entwicklungsziele der erneuerbaren Energieversorgung	16
2.3	Potenziale der erneuerbaren Energie	19
2.3.1	Grenzen der Potenziale	19
2.3.2	Windenergie	20
2.3.3	Photovoltaik	23
2.3.4	Wasserkraft	26
2.3.5	Biomasse (nachwachsende Rohstoffe – NaWaRo)	28
2.4	Bedeutung der Biomasse in der regenerativen Energieversorgung	32
2.5	Zusammenfassung	34
	Literatur	34
3	Energiewirtschaft der Effizienz	37
3.1	Entwicklung der Erzeugungskosten und Netztarife bis 2050	37
3.2	Photovoltaik und das Mieterstrommodell	41
3.3	Effizienz und Leistbarkeit	43
3.4	Energiewirtschaftliche Bewertung der Effizienz	45
3.5	Contracting	46
3.6	Effizienzmaßnahmen und Monitoring	48

3.7	Der Rebound-Effekt	51
3.8	Graue Energie und <i>Energy-Payback-Time</i>	52
3.9	Analyse und Monitoring der Energieeffizienz	53
3.10	Energiemanagement	57
3.11	Zusammenfassung	58
	Literatur	59
4	Effizienz und Suffizienz	61
4.1	Bedeutung der Effizienz	61
4.2	Erzeugungseffizienz	61
4.3	Nutzungseffizienz	67
4.4	Betriebseffizienz	67
4.5	Ressourceneffizienz	68
4.6	Lebenszyklusanalyse (LCA)	68
4.7	Erntefaktor und Erntezeit, bezogen auf die graue Energie	69
4.7.1	Definitionen	69
4.7.2	Erntefaktor von Erzeugungsanlagen	70
4.7.3	Erntefaktor von Endnutzungsanlagen	73
4.8	Energierückgewinnungszeit (<i>Energy-Payback-Time-Period</i>)	74
4.9	Suffizienz und Leistbarkeit	75
4.10	Zusammenfassung	78
	Literatur	78
5	Effizienz von Speichertechnologien	81
5.1	Speichertechnologien	81
5.2	Aufgaben der Speicher	82
5.3	Pumpspeichertechnologie	85
5.3.1	Wandel der Pumpspeicher für die regenerative Energieversorgung	85
5.3.2	Energiewirtschaft der Pumpspeicher im regenerativen Umfeld	87
5.4	Druckluftspeicher	91
5.5	Vergleich der Speichertechnologien	94
5.6	Akkumulatoren	96
5.7	Lastverschiebung (Load Levelling) mit Speichern	100
5.8	Spitzenlastvermeidung (Peak Shaving)	102
5.9	Zusammenfassung	104
	Literatur	104
6	Effizienz von Netzen	107
6.1	Aufgaben der Elektrizitätsnetze	107
6.2	Theorie der Leitungsübertragung	109
6.3	Betriebsverhalten von Freileitungen	111

6.4	Betriebsverhalten von Kabeln	114
6.4.1	Technische Eigenschaften von Kabeln	114
6.4.2	Thermisches Betriebsverhalten von Kabeln	115
6.4.3	Eigenschaften von Mittelspannungs- und Hochspannungskabeln	119
6.4.4	Dynamisches Betriebsverhalten von Kabeln	123
6.5	Anbindung von Windparks im Hoch- und Höchstspannungsnetz.	127
6.6	Sicherheit und Zuverlässigkeit bei Freileitungen und Kabeln.	131
6.7	Energiewirtschaft der Netze.	132
6.7.1	Genehmigungsverfahren und Umweltverträglichkeitsprüfung	132
6.7.2	Energiewirtschaftliche Analyse der Versorgungssicherheit	133
6.7.3	Energiewirtschaftliche Analyse des Engpassmanagements	136
6.8	Zusammenfassung	138
	Literatur.	138
7	Effizienz der dezentralen Energieversorgung	141
7.1	Herausforderungen der nachhaltigen Energieversorgung	141
7.2	Dezentrale Versorgungskonzepte	142
7.2.1	Smart Grid	142
7.2.2	Micro Grid und dezentrale Energiezellen	143
7.2.3	Vertikale Netznutzung und traditioneller Strommarkt.	144
7.2.4	Horizontale Netznutzung und Smart Market und Micro Market	147
7.3	Effizienz von dezentralen Energiezellen	149
7.3.1	Effizienzstrategie der dezentralen Energieversorgung.	149
7.3.2	Mögliche Deckungsgrade der dezentralen Energieversorgung	150
7.4	Erzeugungseffizienz durch Vernetzung von Regionen.	153
7.5	Eigenerzeugungsquote und Deckungsrate im Verteilnetz mit PV	155
7.6	Nachhaltige Elektromobilität im Verteilungsnetz	158
7.7	Nachhaltige Versorgungsstrategie im Verteilungsnetz.	162
7.8	Zukunft dezentraler Netzdienstleistungen	165
7.9	Zusammenfassung	167
	Literatur.	167

8	Effizienz der Gebäude und Heizungsbedarf	169
8.1	Wohngebäudebestand nach Effizienzklassen	169
8.2	Allgemeiner Energiebedarf der Gebäude	172
8.3	Heizenergiebedarf	174
8.4	Heizungskosten und Elektrizitätsbedarf	175
8.4.1	Monovalente und bivalente Gasheizungen mit Solarthermie	175
8.4.2	Wärmepumpen: Theorie und Bauformen	176
8.4.3	Auslegung von Wärmepumpen zur Raumheizung	181
8.5	Wärmepumpen zur Raumkühlung	183
8.6	Direkt- und Speicherheizungen	184
8.7	Zukünftige Anforderungen an Speicherheizungen	186
8.8	Effizienzpotenziale und Wirtschaftlichkeit von Heizungssystemen	190
8.8.1	Jahreskosten von Wärmepumpentypen im Vergleich	190
8.8.2	Elektrische Direkt- und Speicherheizungen	191
8.8.3	Elektrizitätsbedarf von Wärmepumpen und Direktheizungen	192
8.9	Effizienzpotenziale bei Raumheizungen bis 2050	193
8.10	Zusammenfassung	196
	Literatur	196
9	Effizienz der Mobilität	199
9.1	Kenndaten des Straßenverkehrs	199
9.2	Bauformen von Elektrofahrzeugen	201
9.3	Energiebedarf von Fahrzeugen	202
9.4	Energiebedarf und Reichweite von Elektrofahrzeugen	207
9.5	Vergleich von Elektro- und Verbrennungsantrieb	210
9.6	Neuer Europäischer Fahrzyklus und WLTP-Zyklus	211
9.7	Mobilitätsbedarf im städtischen und ländlichen Bereich	213
9.8	Effizienzpotenziale im Verkehrssektor	216
9.8.1	Effizienz durch Technologie	216
9.8.2	Effizienz durch Organisation und Digitalisierung	219
9.8.3	Effizienz durch Nutzerverhalten	221
9.9	Zusammenfassung	221
	Literatur	222
10	Effizienz durch Sektorenkopplung	225
10.1	Sektorenkopplung	225
10.2	Wärmesektor – Power-to-Heat	227
10.3	Gassektor – Power-to-Gas	233

10.4	Mobilitätssektor – Power-to-Mobility	234
10.5	Potenziale der Sektorenkopplung	237
10.6	Energiewirtschaft der Sektorenkopplung	239
10.7	Zusammenfassung	240
	Literatur	241
11	Handlungsoptionen	243
11.1	Handlungsoptionen der Effizienz von Gebäuden	243
11.2	Handlungsoptionen einer effizienten Mobilität	244
11.3	Handlungsoptionen in Industrie und Gewerbe	244
11.4	Handlungsoptionen im Haushalt	244
11.5	Handlungsoptionen der regenerativen Erzeugung	245
11.5.1	Windenergie	245
11.5.2	Photovoltaik	245
11.5.3	Wasserkraft und Pumpspeicher	246
11.5.4	Biomasse	246
11.6	Handlungsoptionen bei Energienetzen	246
11.7	Humanfaktoren	247