

Dezentrale Energiesysteme

Neue Technologien
im liberalisierten Energiemarkt

von
Jürgen Karl

Oldenbourg Verlag München Wien

Inhalt

1	Einführung	1
1.1	Strukturen der Strom- und Wärmeerzeugung.....	1
1.2	Gesellschaftliche, wirtschaftliche und ökologische Randbedingungen der Energiewandlung.....	5
1.2.1	Energiebedarf und Weltbevölkerung.....	5
1.2.2	Reichweite und Risiken fossiler Energieträger.....	7
1.2.3	Der Treibhauseffekt.....	9
1.2.4	Die Entwicklung der internationalen Strommärkte.....	12
1.3	Probleme beim dezentralen Einsatz konventioneller Technologien.....	13
1.3.1	Technologien für dezentrale Stromerzeugung.....	13
1.3.2	Einfluss der Anlagengröße auf die Wirtschaftlichkeit.....	15
1.3.3	Einfluss der Anlagengröße auf die thermodynamische Effizienz.....	16
1.3.4	Einfluss der Anlagengröße auf die Flexibilität.....	16
1.3.5	Einfluss der Anlagengröße auf die Ökologie.....	17
2	Thermodynamische Grundlagen der Energiewandlung	19
2.1	Wirkungsgrade bei der Energiewandlung.....	19
2.1.1	Die Energiebilanz.....	21
2.1.2	Der ideale Kreisprozess.....	25
2.1.3	Die Exergiebilanz.....	29
2.2	Die thermodynamische Berechnung thermischer Prozesse.....	36
2.2.1	Die thermische Konversion von Brennstoffen.....	36
2.2.2	Zustandsänderungen in Energiesystemen.....	69
2.2.3	Numerische Berechnung thermischer Prozesse.....	78
2.2.4	Thermodynamische Bewertung der Energiewandlung.....	85
3	Energiesysteme für die Strom- und Wärmeerzeugung	93
3.1	Wärmeerzeugung.....	93
3.1.1	Konzepte zur Wärmeversorgung.....	94
3.1.2	Feuerungskonzepte.....	98
3.1.3	Wirkungsgrade bei der Erzeugung von Nutzwärme.....	102
3.2	Stromerzeugung in Wärmekraftwerken.....	115
3.2.1	Das klassische Dampfkraftwerk.....	117
3.2.2	Gasturbinen-Kraftwerke.....	128
3.2.3	Kombinierte Kraftwerke.....	140

3.3	Kraft-Wärme-Kopplung.....	143
3.3.1	Energiebilanz der Kraft-Wärme-Kopplung.....	143
3.3.2	Thermodynamische Bewertung der Kraft-Wärme-Kopplung.....	151
3.3.3	Wirtschaftliche Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung.....	163
3.3.4	Arbeitsmaschinen für die Kraft-Wärme-Kopplung.....	165
3.4	Strom- und Wärmeerzeugung mit integrierter Vergasung.....	176
3.4.1	Die Vergasung von Festbrennstoffen.....	176
3.4.2	Brenngasaufbereitung und Systemintegration.....	197
4	Grundsätze für die Entwicklung dezentraler Energiesysteme	203
4.1	Prinzipien für die Entwicklung thermodynamisch effizienter Energiesysteme.....	203
4.1.1	Optimierung des Carnot-Faktors.....	204
4.1.2	Minimierung von Rauchgasverlusten.....	209
4.1.3	Umgehung des Carnot-Wirkungsgrades.....	232
4.1.4	Optimierung der thermodynamischen Systemintegration.....	256
4.1.5	Zusammenfassung der Prinzipien für thermodynamisch effiziente Energiesysteme.....	267
4.2	Prinzipien für die Entwicklung flexibler Energiesysteme.....	269
4.2.1	Bedeutung der Flexibilität eines Energiesystems für die Versorgungssicherheit.....	269
4.2.2	Lastmanagement und Anlageneinsatzplanung.....	270
4.2.3	Energiesysteme mit günstigem Teillastverhalten.....	278
4.2.4	Leistungssteigernde Maßnahmen bei Dampfturbinen-Prozessen.....	289
4.2.5	Leistungssteigernde Maßnahmen bei Gasturbinen.....	291
4.2.6	Flexibilisierung durch die Kraft-Wärme-Kopplung.....	295
4.2.7	'Virtuelle Kraftwerke'.....	299
4.2.8	Erweiterung des Brennstoffbandes.....	301
4.2.9	Zusammenfassung der Prinzipien für flexible Energiesysteme.....	311
4.3	Prinzipien für die Entwicklung ökonomisch effizienter Energiesysteme.....	313
4.3.1	Wirtschaftliche Randbedingungen dezentraler Anlagen.....	313
4.3.2	Maßnahmen zur Minimierung der Energieerzeugungskosten.....	338
4.3.3	Maßnahmen zur Erhöhung der Anlagenauslastung.....	343
4.3.4	Peak-Shaving.....	346
4.3.5	Wirtschaftliche Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung.....	352
4.3.6	Erwirtschaftung von Zusatzerlösen.....	356
4.3.7	Vermeidung von Planungsfehlern.....	358
4.3.8	Zusammenfassung der Prinzipien für wirtschaftlich effiziente Energiesysteme.....	375
4.4	Prinzipien für die Entwicklung ökologischer Energiesysteme.....	378
4.4.1	Minderung der spezifischen CO ₂ -Emissionen.....	378
4.4.2	Verwendung regenerativer Energieträger.....	381
4.4.3	Minimierung der Umweltbelastung durch Emissionen.....	389

4.4.4	Minimierung der Umweltbelastungen durch Transport und Verteilung.....	397
4.4.5	Zusammenfassung der Prinzipien für nachhaltige Energiesysteme.....	399
5	Zusammenfassung und Ausblick	401
5.1	Die Notwendigkeit der Entwicklung dezentraler Energiesysteme.....	401
5.2	Zusammenfassung der Prinzipien für die Entwicklung dezentraler Energiesysteme.....	403
5.3	Lösungsansätze für die Umsetzung notwendiger Entwicklungsarbeiten.....	405
6	Literatur	409
7	Anhang	417
7.1	Tabellenverzeichnis.....	417
7.2	Abbildungsverzeichnis.....	418
7.3	Stichwortverzeichnis.....	424