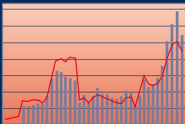


Panos Konstantin

Praxisbuch Energiewirtschaft

Energieumwandlung, -transport
und -beschaffung im liberalisierten Markt

2. Auflage



 Springer

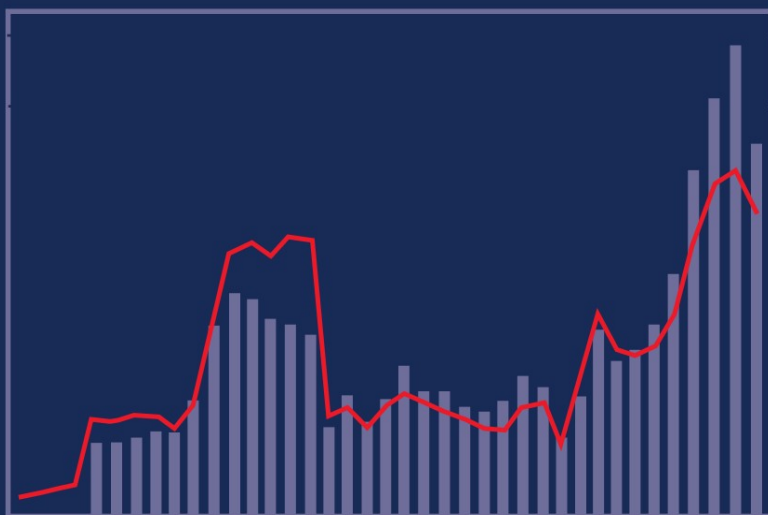
VDI

Panos Konstantin

Praxisbuch Energiewirtschaft

Energieumwandlung, -transport
und -beschaffung im liberalisierten Markt

2. Auflage



 Springer

VDI

Panos Konstantin

Praxisbuch Energiewirtschaft

Panos Konstantin

Praxisbuch Energiewirtschaft

Energieumwandlung, -transport
und -beschaffung im liberalisierten Markt

2. bearbeitete und aktualisierte Auflage

 Springer

Dipl.-Ing. Panos Konstantin
Panoramastr. 4/1
71576 Burgstetten
pakomako@t-online.de

ISBN 978-3-540-78591-0

e-ISBN 978-3-540-78592-7

DOI 10.1007/978-3-540-78592-7

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2009, 2007 Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Herstellung: le-tex publishing services oHG, Leipzig
Einbandgestaltung: WMXDesign GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier

9 8 7 6 5 4 3 2 1

springer.de

Geleitwort

Seit die Menschheit den Sprung in die Industriegesellschaft geschafft hat, steht die Nutzung von Energie als wesentlicher Produktionsfaktor im Mittelpunkt des Fortschritts. Die Bereitstellung von Energie für den täglichen Bedarf von Haushalten und Unternehmen ist für die Industrieländer zu einer Selbstverständlichkeit geworden, ein komfortables Niveau, das Schwellen- und Entwicklungsländer ebenfalls anstreben.

Vor diesem Hintergrund kommt der Energiewirtschaft als einer der herausragenden technisch-wirtschaftlichen Disziplinen eine besondere Bedeutung zu. Die hier zu lösenden Aufgaben beschränken sich nicht nur auf die technische Optimierung von Anlagen und Verfahren zur Energieumwandlung, sondern sie erstrecken sich weit hinein in betriebswirtschaftliche und volkswirtschaftliche Fragestellungen. Die besten Lösungen können nur in der engen Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren, Kaufleuten und Ökonomen gefunden werden. Am Beispiel eines privatfinanzierten Kraftwerksprojektes kann man deutlich machen, dass es ohne eine solche interdisziplinäre Zusammenarbeit keine vernünftige Realisierung gibt.

Das vorliegende Werk ist ein Versuch, aus der Sicht des Praktikers einen Leitfaden zu schaffen, der es auch dem Berufsanfänger gestatten soll, sich in die komplexe Materie einzuarbeiten. In seinen mehr als 27 Jahren Berufserfahrung in der Energiewirtschaft hat der Verfasser als Berater und verantwortlicher Projektleiter Erfahrungen und Kenntnisse gesammelt, die es wert sind, an eine zahlreiche Leserschaft weitergegeben zu werden.

Georg Fichtner
Vorsitzender der Geschäftsführung

Stuttgart, im Sommer 2006

Vorwort zur zweiten Auflage

Der Wandel in der Energiewirtschaft sowohl im Hinblick auf die Technik als auch hinsichtlich der Energiegesetzgebung und Preisentwicklung nimmt zunehmend rasantere Formen an. Zwei Jahre nach der ersten Auflage erscheint nunmehr das „Praxisbuch Energiewirtschaft“ in der vollständig neu bearbeiteten zweiten Auflage. Text, Tabellen, Abbildungen und Beispiele wurden aktualisiert, und das Buch wurde durch neue Inhalte ergänzt. Dabei sind auch Anregungen von Kollegen, Kunden und Benutzern des Buches mit eingeflossen. Die Konzeption des Buches wird aber beibehalten. Hauptziel dabei ist die Zur-Verfügung-Stellung von praxisnahem technisch/wirtschaftlichen Wissen in prägnanter Form und in der notwendigen Breite und Tiefe für die Entwicklungsphase von Energieprojekten.

Verbrauchsstrukturen und Preisentwicklung aller Energieträger wurden in *Kapitel 1 und 2* bis zum Redaktionsschluss dargestellt und analysiert. In beiden Kapiteln wurden auch neue Inhalte aufgenommen. Der Primärenergiemarkt war in den letzten Jahren durch einen ununterbrochenen Preisanstieg gekennzeichnet. Mitte 2008 erreichte der Rohölpreis eine historische Rekordhöhe und ist dann nach Ausbruch der Finanzkrise in kurzer Zeit massiv eingebrochen. Diese Entwicklung bestätigte die These, dass Prognosen über Energiepreisentwicklung von der Realität immer wieder widerlegt werden.

In *Kapitel 3* wurden die Vergütungsregeln für Strom aus erneuerbaren Energien und aus Kraft-Wärme-Kopplung nach den novellierten Gesetzen in mehreren Tabellen übersichtlich dargestellt und die Ermittlung der EEG-Umlage neu aufgenommen. Im Teil über Klimaschutz wurde der EU-Emissionshandel wesentlich ausführlicher behandelt sowie die Auswirkungen der Regelungen des Zuteilungsgesetzes 2009 auf die Stromgestehungskosten in zahlreichen Beispielen demonstriert.

Die *Grundlagenkapitel 4, 5 und 6* wurden aktualisiert und teilweise ergänzt. Neu aufgenommen wurde in Kapitel 6 die Beschreibung des Entwicklungsstandes der Verfahren zur Reduzierung von CO₂-Emissionen bei Kraftwerken. Soweit derzeit möglich wurden auch die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Investitionen für Kraftwerke und auf die Stromgestehungskosten behandelt.

Der Bau von neuen Kraftwerken war seit dem Beginn der 80er Jahre fast zum Erliegen gekommen. Durch die weltweit enorm hohe Nachfrage nach neuen Kraftwerkskapazitäten und durch andere Markteffekte sind die Preise für Neuanlagen in den letzten drei Jahren drastisch gestiegen. In *Kapitel 7* wurden die Investitionen für alle Kraftwerkstypen dem aktuellen Stand angepasst und deren Stromgestehungskosten neu berechnet und analysiert. Auch die Auswirkungen der Kosten für Emissionsberechtigungen nach dem Zuteilungsgesetz 2009 wurden dabei berücksichtigt. Neu aufgenommen wurde der Abschnitt über Photovoltaik-Kraftwerke.

In *Kapitel 9* wurde der Zugang zu den Gasnetzen ergänzt sowie auf die Bestimmung der Netznutzungsentgelte nach der Anreizregulierung bei Strom und Gas eingegangen.

Wie in der ersten Auflage wurde bei jedem Abschnitt zuerst ein Entwurf vom Verfasser erstellt, und anschließend wurde dieser von Fachleuten geprüft und überarbeitet. In diesem Zusammenhang möchte ich stellvertretend folgenden Fichtner Kollegen für ihre Unterstützung und deren Beitrag zum Gelingen dieser zweiten Auflage des Buches danken: Georg Brakmann (Fichtner Solar), Johannes Laubach, Dr. Achim Stuible und Lena Kersten (Emissionshandel), Tjark Kohberg (Carbon Capture and Storage), Johannes Kretschmann (Thermische Solarkraftwerke), Okko Ulrichs (Photovoltaikanlagen).

Herzlich bedanke ich mich auch bei Silke Bohms von der Fichtner Bibliothek, die mich stets mit Informationen und Literatur versorgt hat, sowie bei Monika Riepl von le-tex publishing services, Leipzig für ihre immer freundliche Unterstützung bei der redaktionellen Gestaltung des Buches.

Stuttgart, im Herbst 2008

Panos Konstantin

Vorwort zur ersten Auflage

Die *Energiewirtschaft* ist ein Wirtschaftszweig und ein Fachgebiet. Als Fachgebiet ist die Energiewirtschaft eine Kombination aus Ökonomie und Technik und hat sich zum Ziel gesetzt, die Versorgung der Endkunden mit einer kostengünstigen, sicheren, ressourcenschonenden und umweltfreundlichen Energie zu gewährleisten. Um das zu erreichen, erforscht und analysiert die Energiewirtschaft die gesamte Kette der Energiebereitstellung von der rationellen Gewinnung, Umwandlung und Verteilung bis hin zu einer effizienten Anwendung von Energieformen unterschiedlichster Art.

Das *Hauptziel* dieses Buches ist die praxisnahe Zur-Verfügung-Stellung des technisch/wirtschaftlichen Wissens, vor allem für die Entwicklungsphase von Energieprojekten, in der notwendigen Breite und Tiefe, ohne das in den meisten Fachbüchern dargestellte umfangreiche fachspezifische Detailwissen.

Zielgruppen für das Buch sind Energiewirtschaftler, national und international tätige Energie-Consultants, Mitarbeiter von Ingenieurbüros, Energiedienstleistungsunternehmen, Energieversorgungsunternehmen, Industriebetrieben, Verbänden und Behörden, die in ihrer beruflichen Praxis mit energiewirtschaftlichen Aufgaben betraut werden.

Energiewirtschaftler können von der Ausbildung her Ingenieure oder Ökonomen, nach der Liberalisierung zunehmend auch Juristen, sein. Sie müssen aber in allen drei Gebieten soweit den Überblick haben, dass sie die technisch-wirtschaftlichen Zusammenhänge und Wechselwirkungen erkennen, bewerten und optimieren können. Sie müssen bereit und fähig sein, sich auch in das Nachbargebiet einzuarbeiten. Dies geschieht meistens in Form des training-on-the-job. Gefragt ist vor allem übergreifendes Wissen und der Blick für das Wesentliche. Fachgebietsexperten mit Spezialwissen werden vor allem während der Realisierungsphase eingeschaltet.

Der *Inhalt des Buches* ist, was die Breite der behandelten Themen betrifft, umfangreich; es wird aber versucht, die Darstellung auf das Notwendige zu begrenzen. Es umfasst 10 Kapitel: Das Thema des ersten Kapitels ist der Primärenergemarkt und befasst sich mit der Gewinnung und Herkunft von Primärenergien sowie der Preisbildung und Entwicklung von Grenzübergangs- und Verbraucherpreisen im Wettbewerbsmarkt. Im zweiten Kapitel werden die Beschaffung von leitungsgebundenen Energien im liberalisierten Markt und die Funktionsweise der Energiebörse erläutert. In Kapitel 3 wird ein Abriss der wichtigsten rechtlichen Rahmenbedingungen in verkürzter Form und, soweit möglich, in tabellarischer Darstellung wiedergegeben, sofern diese für

die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen von Energieprojekten relevant sind. Kapitel 4 und 5 vermitteln das notwendige Grundwissen über Investitionsrechnung sowie physikalisch/technische Vorgänge, insbesondere für Berufseinsteiger in der Energiewirtschaft. Kapitel 6 widmet sich der Technik der Energieumwandlung und ihrer Folgen für die Umwelt sowie den Techniken zur Reduzierung von Emissionen. In Kapitel 7 und 8 werden Kraftwerke und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sowohl aus technischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht behandelt. Kapitel 9 befasst sich mit dem Energietransport und der Energieverteilung sowie deren Kostenstrukturen und Kapitel 10 mit der Abwicklung von Energieprojekten.

Die Energiewirtschaft hat die Landesgrenzen schon längst überschritten und ist zu einem globalen Business geworden. Die Geschäftssprache ist dabei Englisch, weswegen die wichtigsten Fachbegriffe im Buch auch in englischer Sprache angegeben werden (*kursiv in Klammern*).

Mein besonderer Dank gilt meinem Arbeitgeber, Fichtner GmbH & Co KG, Stuttgart, für die Unterstützung und für den uneingeschränkten Zugang zu allen technischen und menschlichen Ressourcen des Unternehmens während der Arbeit am Buch.

Mein Dank gebührt den fünf Gutachtern, Prof. Rainer F. Elsässer, Dr. Ing. Friedrich-Werner Möllenkamp, Dipl.-Ing. Jürgen Naukamm, Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Tietz und Dipl.-Ing, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Arno Wilke, die einen ersten Entwurf des Buches begutachtet und mich ermutigt haben, an dem komplexen Thema der Energiewirtschaft weiterzuarbeiten. Herrn Wilke möchte ich zusätzlich auch für seine Unterstützung und seine zahlreichen Anregungen während der Arbeit am Buch danken.

Beim Verfassen des Inhalts wurde für jeden Abschnitt zuerst ein Entwurf vom Autor selbst erstellt, und anschließend wurde dieser von Fachleuten geprüft und ggf. überarbeitet. In diesem Zusammenhang möchte ich stellvertretend folgenden derzeitigen und früheren Fichtner-Kollegen für ihre Beiträge danken: Georg Brakmann, Dr. Sigurdur Dagbjartsson, Bruno Fey, Birgit Jahrtaus, Norbert Krebs, Johannes Laubach, Tobias Metzger, Wolfgang Schröder, Andreas Siegel, Dr. Achim Stuible, Nino Turek, Andreas Vondung, Hans-Friedrich Wülbeck.

Herzlich bedanke ich mich auch bei meinem früheren Kollegen Volker Döringer für seine kritische Durchsicht und redaktionelle Überarbeitung.

Kommentare zum Inhalt bzw. Anregungen für eine Verbesserung der Thematik werden vom Autor dankend entgegengenommen und bei späteren Ausgaben berücksichtigt.

Inhaltsverzeichnis

1. Der Primärenergiemarkt	1
1.1 Energieformen	1
1.1.1 Klassifizierung der Energieformen	1
1.1.2 Maß- und Handelseinheiten für Energie	2
1.2 Struktur des Energieverbrauchs in Deutschland	5
1.2.1 Primärenergieverbrauch	5
1.2.2 Endenergieverbrauch	7
1.2.3 Energieträgereinsatz zur Stromerzeugung	8
1.2.4 Beitrag erneuerbarer Energien zur Energiebereitstellung	9
1.3 Herkunft u. Preisentwicklung der Primärenergieträger	10
1.3.1 Herkunft und Grenzübergangspreise von Rohöl	10
1.3.2 Herkunft und Grenzübergangspreise von Steinkohle	14
1.3.3 Herkunft und Grenzübergangspreise von Erdgas	18
1.3.4 Herkunft und Preise von Kernbrennstoff	23
1.3.5 Preisentwicklung von Importenergien im Vergleich	31
1.4 Entwicklung der Brennstoff-Verbraucherpreise	33
1.4.1 Preise von Kraftwerkskohle	33
1.4.2 Preise von Heizöl	34
1.4.3 Preise von Erdgas	36
1.5 Schlussfolgerungen	37
1.5.1 Lehren aus der Vergangenheit	37
1.5.2 Preisrelationen der Hauptenergieträger zum Rohöl	37
1.5.3 Preisansätze bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen	39
Literaturverzeichnis	39
2. Beschaffung leitungsgebundener Energien	41
2.1 Merkmale eines liberalisierten Energiemarktes	41
2.1.1 Mindestanforderungen	41
2.1.2 Marktteilnehmer	42
2.1.3 Börsenhandel, Funktionsweise und Produkte	43
2.2 Die Energiebörse European Energy Exchange „EEX“	44
2.2.1 Stromhandel an der EEX	45
2.2.2 Handel mit Emissionsberechtigungen an der EEX	51

2.2.3	Erdgashandel an der EEX	51
2.3	Strombeschaffung.....	53
2.3.1	Vertragliche Ausgestaltung.....	53
2.3.2	Zusammensetzung der Stromverbraucherpreise	55
2.3.3	Strombeschaffung mit Portfoliomanagement	61
2.3.4	Strombezug mit Vollversorgungsvertrag	62
2.3.5	Entwicklung der Strompreise.....	67
2.4	Gasbeschaffung	68
2.4.1	Historischer Überblick – Gas-zu-Gas-Wettbewerb	68
2.4.2	Vertragliche Ausgestaltung.....	69
2.4.3	Zusammensetzung der Gasverbraucherpreise.....	70
2.4.4	Zugang zu Erdgasspeichern	73
2.4.5	Gaslieferungsverträge	74
2.5	Beschaffung von Fernwärme	77
	Literaturverzeichnis	79
3.	Energierrechtliche Rahmenbedingungen.....	81
3.1	Definitionen und Überblick.....	81
3.1.1	EU-Recht.....	81
3.1.2	Deutsches Recht.....	82
3.1.3	Internationale Abkommen.....	83
3.2	Der deutsche energierechtliche Rahmen	83
3.2.1	Energiewirtschaftsrecht.....	84
3.2.2	Energiesteuergesetze.....	88
3.2.3	Gesetze zur Kraft-Wärme-Kopplung.....	95
3.2.4	Gesetze zur Förderung erneuerbarer Energien.....	101
3.2.5	Konzessionsabgabenverordnung.....	115
3.3	Klimaschutzrechtliche Rahmenbedingungen	116
3.3.1	Internationale Klimaschutzabkommen.....	116
3.3.2	Das EU-Emissionshandelssystem - EU ETS	121
3.3.3	Umsetzung des Emissionshandels in Deutschland	123
3.3.4	Berechnungsgrundlagen, Rechenbeispiele und Analysen..	130
3.3.5	Geplante Änderungen für die 3. Handelsperiode.....	141
	Literaturverzeichnis	145
4.	Investitionsrechnung in der Energiewirtschaft	147
4.1	Finanzmathematische Grundlagen	147
4.1.1	Der Zeitwert des Geldes, Aufzinsen, Abzinsen, Barwert ..	147
4.1.2	Zinssatz und Inflation.....	149
4.1.3	Ertragsteuern – Kalkulatorischer Zinssatz	152
4.2	Zahlungsreihen	156

4.2.1	Aufbau von Zahlungsreihen.....	156
4.2.2	Anwendungsfälle und Beispiele.....	160
4.3	Investitionsrechnungsmethoden.....	164
4.3.1	Methodische Vorgehensweise.....	164
4.3.2	Dynamische Verfahren.....	165
4.3.3	Statische Verfahren.....	176
4.4	Planerfolgsrechnungsmodelle.....	179
4.5	Randbedingungen für Wirtschaftlichkeitsrechnungen.....	180
4.5.1	Begriffsfestlegungen.....	180
4.5.2	Kostenarten bei Energieprojekten.....	181
4.5.3	Randbedingungen für Wirtschaftlichkeitsrechnungen.....	183
	Literaturverzeichnis.....	185
5.	Physikalisch-technisches Grundwissen.....	187
5.1	Das internationale Einheitensystem.....	187
5.1.1	SI-Einheiten.....	187
5.1.2	Regeln für die Schreibweise von Größen und Einheiten ...	190
5.1.3	Der richtige Umgang mit Einheiten in Formeln.....	191
5.2	Basiswissen Thermodynamik.....	192
5.2.1	Allgemeine Definitionen.....	192
5.2.2	Thermodynamik der Gase und Gasgemische.....	200
5.2.3	Wasserdampfthermodynamik.....	206
5.2.4	Brennstoffkennwerte.....	209
5.2.5	Verbrennungsrechnung.....	212
5.2.6	Kreisprozesse.....	219
5.3	Basiswissen Elektrotechnik.....	222
5.3.1	Stromarten und Stromkreise.....	222
5.3.2	Drehstrommaschinen.....	233
	Literaturverzeichnis.....	240
6.	Energieumwandlung und Emissionen.....	241
6.1	Energieumwandlungsanlagen.....	241
6.1.1	Typen von Energieumwandlungsanlagen.....	241
6.1.2	Kessel.....	241
6.1.3	Arten von Feuerungen.....	247
6.2	Luftverunreinigende Schadstoffemissionen.....	249
6.2.1	Arten von Emissionen.....	249
6.2.2	Emissionsgrenzwerte.....	250
6.3	Emissionsminderungsmaßnahmen.....	251
6.3.1	Primärmaßnahmen zur Emissionsreduzierung.....	251
6.3.2	Sekundärmaßnahmen zur Emissionsminderung.....	253
6.4	Verfahren zur Reduzierung von CO ₂ -Emissionen.....	258

6.4.1	Hintergrund und Zielsetzung	258
6.4.2	Verfahren zur CO ₂ -Abscheidung	259
6.4.3	CO ₂ -Transport	265
6.4.4	CO ₂ -Speicherung	266
6.4.5	Vergleich der Verfahren, Energieeffizienz und Kosten	266
	Literaturverzeichnis	269
7.	Kraftwerke, Technik und Kosten.....	271
7.1	Begriffsdefinitionen und Kennzahlen	271
7.1.1	Kraftwerkstypen.....	271
7.1.2	Definition der verwendeten Kennzahlen und Begriffe	272
7.2	Fossilthermische Kraftwerke.....	274
7.2.1	Dampfkraftwerke	274
7.2.2	Gasturbinenkraftwerke.....	282
7.2.3	Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerke	286
7.2.4	Verbrennungsmotor-Kraftwerke	287
7.2.5	Stromgestehungskosten fossilthermischer Kraftwerke	287
7.3	Kernkraftwerke.....	295
7.3.1	Typen und Funktionsweise von Kernreaktoren	295
7.3.2	Kernenergieausstieg oder Ausbau.....	296
7.3.3	Der neue European Pressurized Reactor EPR.....	298
7.3.4	Stilllegung von Kernenergieanlagen.....	298
7.3.5	Stromgestehungskosten von Kernkraftwerken	300
7.4	Solarthermische Kraftwerke.....	303
7.4.1	Das Energieangebot der Sonne	303
7.4.2	Kollektorsysteme für Solarthermische Kraftwerke.....	303
7.4.3	Typen von solarthermischen Kraftwerken	306
7.4.4	Investitionsausgaben und Stromgestehungskosten	310
7.5	Photovoltaik Anlagen.....	312
7.5.1	Physikalisch-technische Grundlagen	312
7.5.2	PV-Module – Aufbau, Funktionsweise, Kenngrößen.....	315
7.5.3	Aufbau von Photovoltaik Anlagen.....	317
7.5.4	Kenngrößen von PV-Anlagen	319
7.5.5	Stromgestehungskosten.....	321
7.6	Wasserkraftwerke.....	323
7.6.1	Physikalische Grundlagen.....	323
7.6.2	Typen von Wasserkraftwerken	323
7.6.3	Bauarten von Wasserturbinen	325
7.6.4	Anlagenbestand, Stromerzeugung, Ausbauperspektiven ...	326
7.6.5	Investitionsausgaben und Betriebskosten	327
7.7	Windkraftanlagen.....	329

7.7.1	Physikalische Grundlagen.....	329
7.7.2	Anlagentechnik	330
7.7.3	Kenngrößen von Windkraftanlagen	331
7.7.4	Ermittlung des Energieertrages	333
7.7.5	Investitionsausgaben und Stromgestehungskosten	337
7.7.6	Ausbauperspektiven der Windenergie.....	342
	Literaturverzeichnis	345
8.	Kraft-Wärme-Kopplung, Technik, Kostenaufteilung.....	347
8.1	Thermodynamisch-technische Grundlagen	347
8.1.1	Das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung.....	347
8.1.2	Bauarten von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen	349
8.1.3	Aufbau und Fahrweise von Heizkraftwerken	350
8.1.4	Anwendungsmöglichkeiten und Betreiber	351
8.2	Heizkraftwerke	352
8.2.1	Verbrennungsmotor-Blockheizkraftwerke.....	352
8.2.2	Gasturbinen-Heizkraftwerke	355
8.2.3	Dampfturbinen-Heizkraftwerke	356
8.2.4	Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerke.....	359
8.2.5	Wärmeauskopplung aus Großkraftwerken.....	360
8.3	Kennzahlen der gekoppelten Energieerzeugung	361
8.3.1	Thermodynamisches Modell KWK- und Kond.-Anlagen	361
8.3.2	Wirkungsgrad und Energienutzungsgrad	362
8.3.3	Die Stromkennzahl.....	364
8.3.4	Die Stromverlust-Kennziffer.....	365
8.3.5	Äquivalente Kondensationsleistung	366
8.3.6	Beziehungen zwischen den Kennzahlen	367
8.3.7	Richtwerte für Kennzahlen von KWK-Anlagen	369
8.3.8	Auflistung verwendeter Symbole bei den Kennzahlen	375
8.4	Kostenaufteilungsverfahren	376
8.4.1	Das Stromäquivalenzverfahren (Arbeitswertverfahren)	376
8.4.2	Das Exergie-Verfahren	381
8.4.3	Das kalorische Verfahren	383
8.4.4	Das Restwertverfahren	385
8.5	Wahl des Kostenaufteilungsverfahrens	390
	Literaturverzeichnis	392
9.	Energietransport und -verteilung	393
9.1	Stromübertragung und -verteilung	393
9.1.1	Technischer Aufbau der Stromnetze	393
9.1.2	Systemkomponenten von elektrischen Netzen.....	396
9.1.3	Das Deutsche und das Europäische Verbundnetz.....	402