
Praxisbuch Energiewirtschaft

Panos Konstantin · Margarete Konstantin

Praxisbuch Energiewirtschaft

Energieumwandlung, -transport und
-beschaffung, Übertragungsnetzausbau
und Kernenergieausstieg

5., aktualisierte Auflage

 Springer Vieweg

Panos Konstantin
Burgstetten, Deutschland

Margarete Konstantin
Burgstetten, Deutschland

ISBN 978-3-662-67334-8 ISBN 978-3-662-67335-5 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-67335-5>

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

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2007, 2009, 2013, 2017, 2023

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung: Dr. D. Fröhlich

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort zur fünften Auflage

Inhalt und Geleitwort

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.

Die Konzeption und das übergeordnete Ziel des Buches wurden auf dieser Basis im **Geleitwort** von Georg Fichtner, Vorsitzender der Geschäftsführung der Fichtner GmbH & Co KG für die erste Auflage im Jahr 2006 kurz und prägnant definiert. Obwohl sich die Energiewirtschaft ständig im Wandel befindet, bleiben diese weiterhin zutreffend und haben volle Gültigkeit.

Bei den Inhalten selbst trifft es aber nicht mehr zu. Es war dem Autor bewusst, dass eine weitreichende Aktualisierung fällig war. Allerdings hatten manche der Kapitel ihren Ursprung vor mehreren Jahren und haben den rasanten Wandel in der Energiewirtschaft nicht mehr mitvollziehen können. Das fing bereits beim Einband an. Bei der ersten Auflage 2006 war der Übergang zum liberalisierten Markt noch die eigentliche Herausforderung, und stand als Untertitel auf dem Einband. Inzwischen sind die "Integration der erneuerbaren Energien in das Gesamtsystem", "Kernenergieausstieg", "Um- und Ausbau des Stromnetzes" und die noch laufende "Neugestaltung des Gasmarktes" die aktuellen Herausforderungen. Das bedeutet, das übergeordnete Ziel des Buches bleibt bestehen, die inhaltlichen Schwerpunkte haben sich verschoben. Die Grundkonzeption des Buches wird aber beibehalten.

Zielsetzung

Hauptziel ist und bleibt die Zur-Verfügung-Stellung von praxisnahem technisch/wirtschaftlichen Wissen in prägnanter Form und in der notwendigen Breite und Tiefe für die Entwicklungsphase von Energieprojekten.

Das im Buch dargestellte Wissen kommt überwiegend aus realer Projektarbeit, in die der Autor und die Fachleute involviert waren.

Die zahlreichen *Anwendungsbeispiele* sind für das Verständnis der Inhalte des Buches unerlässlich, einige sind allerdings in der Druckversion des Buches nicht leicht nachvollziehbar. Deshalb stehen diese auf der Website des Autors als Softkopien zum Download verfügbar. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich hier um einen freiwilligen und kostenlosen Service des Autors und seiner Kollegen handelt.

Von den Nutzern wird erwartet und gehofft, dass sie durch Anregungen und Hinweise zur Optimierung der Inhalte beitragen.

Zum Schluss noch eine **persönliche Anmerkung**: Die Welt der Energiewirtschaft hat sich in den letzten Jahrzehnten mehrmals gewandelt und befindet sich weiterhin im Wandel. Aus dieser Erfahrung werden alle Kapitel im Buch völlig neutral, basierend ausschließlich auf Fakten und Praxiswissen, ohne jegliche politische Wertung oder persönliche Sicht verfasst. Selbstverständlich habe ich als Autor auch meine eigene Meinung. Sie wird am Ende von bestimmten Kapiteln unter der Überschrift

„Autors Sichtweise – aktueller Stand & Perspektiven“

zum Ausdruck gebracht. Dabei stütze ich mich auf eigene Erfahrungen und das Erlebte während meiner mehr als 35-jährigen Tätigkeit als Consultant weltweit und nicht auf Literaturrecherchen.

Vorgehensweise

Die Vorgehensweise bleibt wie in den vorherigen Auflagen grundsätzlich dieselbe. Zuerst wird für jedes Kapitel eine komplette Version vom Verfasser, Panos Konstantin, selbst erstellt, und anschließend wird diese von Fachleuten überprüft und wo nötig überarbeitet. Diese Vorgehensweise hat sich bewährt und garantiert eine prägnante Form der Darstellung und fachlich gute Qualität. Für bestimmte Themenbereiche werden auch Rohfassungen von Fachleuten geliefert und vom Autor überarbeitet und angepasst.

Dank für die Unterstützung

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

Danken möchte ich meinen Fichtner-Kollegen für ihre fachliche Unterstützung aus Erfahrungen bei realen Projekten, die sie sowohl bei früheren Auflagen als auch bei dieser 5. Auflage zur Verfügung gestellt haben:

Zu allererst bedanke ich mich bei meinem direkten Vorgesetzten Herrmann Bayerlein; dank der Zusammenarbeit mit ihm konnte ich alle Erfahrungen aus Projektarbeit sammeln, die in das Buch einfließen.

Dr. Liliana Oprea und ihr Team für das Schwerpunktthema "Stromnetzausbau", *Markus Schüller* „Windkraft“.

Als einen besonderer Glücksfall hat sich erwiesen, *Herbert Wenzel* als Fachberater zum Schwerpunktthema "Kernenergieausstieg" zu gewinnen, wo er sein Praxiswissen als ehemaliger Betriebsingenieur bei der Stilllegung des Kernkraftwerkes Philippsburg einbringen konnte.

Ganz besonders möchte ich mich bedanken bei *Christian Nitsche* (Netze BW GmbH) für die Zurverfügungstellung seiner Fachkompetenz bei der Erarbeitung des Kapitels "Netzzugang und Netznutzung bei Gasnetzen".

Schließlich bedanke ich mich bei meinem Neffen *Till Aldinger* für seine Unterstützung zum Schwerpunktthema "Energie-Börsenhandel".

Ferner möchte ich dankend erwähnen die Kollegen *Dr. Achim Stuible*, *Christian Mayr*, und *Nino Turek* für ihre gelegentliche Unterstützung und Ratschläge bei zahlreichen Fragen während der Bearbeitung.

Die HelpDesk Görlitz GmbH stand mir immer zur Seite bei komplexen Formatierungen und Ausarbeitung von Formatvorlagen für das Buch. Für ihre stets bereitwillige Unterstützung bedanke ich mich insbesondere bei Michael Zimeck, Cornelia Wunsch und Barbara Nittel.

Eine unerlässliche Hilfe und Ergänzung für meine Bücher sind die Inhalte meiner Website. Diese wurde von Dr. Markus Groissböck erstellt und wird seit Jahren von ihm betreut. Er hat zusätzlich nach Ende der Zugangsberechtigung zum HelpDesk auch deren Aufgaben übernommen. Ihm gebührt mein Dank für seine uneigennütige Hilfsbereitschaft.

Herzlichen Dank an Herrn Dr. Thomas Spangehl vom Deutschen Wetterdienst für die Anfertigung und Lieferung von aussagekräftigen Graphiken über Windgeschwindigkeit und Windrichtung.

Last but not least möchte ich mich bedanken bei meiner Co-Autorin Margarete (Maggie) Konstantin, meiner Ehefrau, für ihre Unterstützung bei der redaktionellen Gestaltung des Buches, ihre weltweiten Recherchen und auch für ihr Verständnis für die langen Abende und Wochenenden, die wir am Computer verbracht haben.

Burgstetten, März 2023

der Autor Panos Konstantin

Inhalte, Ergänzungen, Erweiterungen, Exkurse

VIII Die Fünfte Auflage

Verzeichnisse	Seiten		Inhalt	Exkurs^{*)}
Vorwort zur 5. Auflage	V	VIII		
Downloads	IX	X		
Kapitelverzeichnis	XI	XII	Zweite Seite leer	
Inhaltsverzeichnis	XIII	XXVI		
Kap. 1	1	58	Bewertung und Analyse von Investitionsvorhaben	
Kap 2	59	130	Physikalisch-Technisches Basiswissen für Energiewirtschaftler	Emissionen Verkehrssektor, Synthetische Kraftstoffe
Kap. 3	131	202	Kraftwerke, Technologien und Kosten	Kernenergie, Austieg, Stilllegung von KKW, Endlagersuche
Kap. 4	203	298	Strom aus Erneuerbaren Energien, Technik und Kosten	Kostenentwicklung von PV-Anlagen
Kap. 5	299	350	Gekoppelte Energieerzeugung & Kostenaufteilung	Technologien für Meerwasserentsalzung
Kap. 6	351	428	Transport & Verteilung von leitungsgebundenen Energien	NordLink Interkonnektor, Erdgas, Netzzugang und Netznutzung
Kap. 7	429	474	Der Primärenergiemarkt, Beschaffung & Preisentwicklung	Lehren aus der Vergangenheit
Kap. 8	475	516	Beschaffung leitungsgebundener Energien	Strommix und Strompreisentwicklung in Europa
Kap. 9	517	570	Energierrechtliche Rahmenbedingungen	stark gestrafft
Kap. 10	571	588	Abwicklung von Energieprojekten	erweitert, Ausschreibung EU, BRD
Abkürzungsverzeichnis	589	596		Liste der Ministerien, Bundesämter und -behörden
Glossar Deutsch-Englisch	597	606		ergänzt
Sachverzeichnis	607	613		ergänzt
Summe: 632 Seiten, 201 Abbildungen, 104 Tabellen, 72 Anwendungsbeispiele, 3 Fallstudien				

Downloads, wichtige Anmerkungen zum Inhalt

Leser des Buches haben Zugang zur Website des Autors unter:

www.PK-Energie-Praxiswissen.com

und können verschiedene Arbeitshilfen herunterladen:

Softcopies aller Anwendungsbeispiele, Fallstudien, sowie Software-Tools für spezielle praktische Anwendungen in MS-Excel®. Diese werden auszugsweise auch als hardcopies in den zugehörigen Kapiteln im Textteil des Buches gezeigt.

Die Rechenbeispiele, Fallstudien und Software-Tools sind als Unterstützung für das Buch gedacht und haben ausschließlich den Zweck, dem Leser Hilfestellung zu bieten, um die Inhalte besser zu verstehen und den Rechengang nachzuvollziehen. Eine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität kann nicht übernommen werden.

Dazu gehört auch das **Software-Tool FluidEXL** für die Berechnung von thermodynamischen Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf in Excel. Die Entwickler des Tools: Hochschule Zittau/Görlitz, Fachgebiet Technische Thermodynamik. Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretschmar und sein Mitarbeiter Matthias Kunick stellen das Software-Tool den Lesern dieses Buches kostenlos zur Verfügung. Herzlichen Dank!

Sie finden einen Link zum Downloaden auf der Website des Autors zusammen mit Installations- und Anwendungsanleitung. Da nur eine begrenzte Anzahl von Lizenzen zur Verfügung steht, wird registrierten Lesern, die das Tool nutzen möchten, auf ausdrücklichen Wunsch eine Lizenznummer erteilt. Wir bitten um Verständnis.

Die Nutzung der Software ist exklusiv nur für die Anwendungen in diesem Buch erlaubt. Für kommerzielle Anwendungen ist eine Speziallizenz vom Entwickler des Tools, Hochschule Zittau/Görlitz, erforderlich.

Wichtige Anmerkungen zum Buch

Das Buch beschreibt die Energieversorgung auf globaler Ebene und beschränkt sich nicht nur auf Deutschland.

Das Buch enthält zahlreiche praktische Anwendungsbeispiele, Fallstudien, und Software-Tools für Berechnungen. Diese sind als Unterstützung für das Buch gedacht und haben ausschließlich den Zweck, dem Leser Hilfestellung zu bieten, um die Inhalte besser zu verstehen und den Rechengang nachzuvollziehen. Eine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität kann nicht übernommen werden. Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt, eine Vervielfältigung ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des gültigen Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland zulässig.

Fast alle Beispiele und Fallstudien sind MS-Excel®-Kalkulationstabellen entwickelt, wie bei realen Projekten aus der Praxis. Sie werden als Bild in den Textteil eingefügt. Es wurde versucht, sie relativ einfach zu gestalten, dennoch ist es meistens nicht möglich, aus der Hardcopy den Rechengang nachzuvollziehen. Die Leser haben aber die Möglichkeit, Softcopies aus der Website des Autors herunterzuladen.

Sowohl in den Softcopies auf der Website als auch in den Hard copies im Buch sind zur Unterscheidung Eingabewerte mit schwarzen Ziffern und berechnete Werte mit roten Ziffern gekennzeichnet.

Es wird ausschließlich das *Standard International Einheitensystem SI* verwendet (basierend auf dem MKS-System: Meter, Kilogramm, Sekunde). In der Europäischen Union ist seine Verwendung für öffentliche Projekte ohnehin Pflicht. In den meisten Ländern gilt es auch als Standard Einheitensystem. Das alte *Technische System*¹⁾ (kp, kcal) sowie das *Imperial* oder *US-Customary Measurement System* werden nicht verwendet.

Bei *Investitionsrechnungen* (in Deutschland oft bezeichnet als Wirtschaftlichkeitsberechnungen) wird dagegen parallel und bevorzugt die amerikanische Terminologie angewandt. Sie hat sich bei internationalen Projekten als der Standard etabliert, und ihre Kenntnis ist für praktische Anwendungen unerlässlich.

¹⁾ in manchen Osteuropäischen Ländern wird es weiterhin genutzt

Kapitelverzeichnis

Vorwort zur fünften Auflage	V
Downloads, Inhalt	IX
Kapitelverzeichnis	XI
1. Grundlagen zu Investitionsrechnungen	1
2. Physikalisch-Technisches Basiswissen	59
3. Kraftwerke, Technologien und Kosten	131
4. Strom aus Erneuerbaren Energien, Technik und Kosten	203
5. Gekoppelte Energieerzeugung & Kostenaufteilung	299
6. Transport und Verteilung leistungsgebundener Energien	351
7. Primärenergiemarkt, Beschaffung und Preisentwicklung	429
8. Beschaffung leitungsgebundener Energien	475
9. Energierechtliche Rahmenbedingungen	517
10. Abwicklung von Energieprojekten	571
Abkürzungsverzeichnis	589
Glossar	597
Sachverzeichnis	607

Inhaltsverzeichnis

1. Grundlagen zu Investitionsrechnungen	1
1.1 Gegenstand und Zielsetzung	1
1.2 Finanzmathematische Grundlagen.....	2
1.2.1 Der Zeitwert des Geldes	2
1.2.2 Aufzinsen und Abzinsen einer Einmalzahlung.....	3
1.2.3 Aufzinsen und Abzinsen von Zahlungsreihen	4
1.2.4 Anwendungsfälle und Beispiele	9
1.2.4.1 Ermittlung von Bauzinsen	9
1.2.4.2 Bildung finanzmathematischer Mittelwerte	10
1.3 Inflation, Preisindizes, Zinssätze und Ertragsteuern	11
1.3.1 Inflation und Preisindizes	11
1.3.2 Zinssatz und Inflation	13
1.3.3 Der reale Zinssatz	15
1.3.4 Der effektive Zinssatz.....	18
1.3.5 Der kalkulatorische Zinssatz.....	18
1.3.6 Ertragsteuern in Deutschland.....	21
1.4 Investitionsanalyse und Methoden.....	22
1.4.1 Die Kapitalwertmethode	24
1.4.2 Die interne Zinssatzmethode	26
1.4.2.1 IRR auf Gesamtkapital IRROI	27
1.4.2.2 Interner Zinssatz auf Eigenkapital – IRROE.....	28
1.4.3 Die Annuitätenmethode	32
1.4.4 Diskontierter Mittelwert von spez. Kosten – LEC.....	34
1.4.4.1 Ermittlung der LEC mit der Kapitalwertmethode	34
1.4.4.2 Ermittlung der LEC mit der Annuitätenmethode	37
1.4.5 Barwert und Annuität eskalierender Zahlungsreihen	38
1.4.6 Amortisationsrechnung – Payback-Periode.....	40
1.4.7 Rentabilitätsrechnung	43
1.5 Finanzanalyse von Investitionsvorhaben	44
1.5.1 Methoden Übersicht.....	44
1.5.2 Investitionsrechnung.....	44
1.5.3 Finanzanalyse und Planerfolgsrechnung	45
1.5.4 Ökonomische Analyse	47

1.6	Unsicherheitsanalyse von Projekten	48
1.6.1	Sensitivitätsanalyse	48
1.6.2	Break-even-point Analyse	49
1.6.3	Szenarien-Analyse	50
1.6.4	SWOT-Analyse.....	50
1.6.5	Überschreitungswahrscheinlichkeit	51
1.7	Randbedingungen für Wirtschaftlichkeitsrechnungen.....	53
1.7.1	Begriffsfestlegungen.....	53
1.7.2	Kostenarten bei Energieprojekten.....	55
1.7.3	Randbedingungen für Wirtschaftlichkeitsrechnungen.....	56
	Literaturverzeichnis.....	58
	Inhalt	187
2.	Physikalisch-Technisches Basiswissen.....	59
2.1	Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen	59
2.2	Das internationale Einheitensystem	60
2.2.1	SI-Einheiten	60
2.2.2	Regeln für die Schreibweise von Größen und Einheiten	63
2.2.3	Der richtige Umgang mit Einheiten in Formeln	64
2.3	Basiswissen Thermodynamik	65
2.3.1	Allgemeine Definitionen	65
2.3.1.1	Energie und Arbeit	65
2.3.1.2	Thermodynamisches System	65
2.3.1.3	Zustandsgrößen, Prozessgrößen, Gleichgewicht	66
2.3.1.4	Prozess und Kreisprozess	67
2.3.1.5	Normzustand, Betriebszustand	67
2.3.1.6	Masse, Massenstrom, Kraft und Gewicht.....	67
2.3.1.7	Volumen, spez. Volumen, Dichte, Volumenstrom.....	68
2.3.1.8	Der Erste Hauptsatz, innere Energie, Enthalpie	69
2.3.1.9	Der Zweite Hauptsatz, Entropie, Exergie und Anergie	71
2.3.2	Thermodynamik der Gase und Gasmische	74
2.3.2.1	Die Zustandsgleichung des idealen Gases	74
2.3.2.2	Molmasse und Molvolumen von Gasen	74
2.3.2.3	Zustandsänderungsprozesse idealer Gase.....	75
2.3.2.4	Gasmische, Luft.....	78
2.3.3	Wasserdampfthermodynamik	80
2.3.3.1	Der Verdampfungsprozess	80
2.3.3.2	Zustandsgrößen des Wasserdampfes	82
2.3.4	Brennstoffkennwerte.....	83

2.3.4.1	Kennwerte ausgewählter Brennstoffe.....	83
2.3.4.2	Brennwert und Heizwert.....	84
2.3.5	Verbrennungsrechnung.....	86
2.3.5.1	Heizwertermittlung.....	86
2.3.5.2	Verbrennungsluft- und Abgasmenge.....	88
2.3.5.3	Maximaler CO ₂ -Gehalt, CO ₂ - Emissionsfaktoren	90
2.3.5.4	Luftverhältniszahl aus dem O ₂ -Gehalt.....	91
2.3.5.5	Stoffeigenschaften.....	93
2.4	Kreisprozesse.....	94
2.4.1	Definitionen.....	94
2.4.2	Der Carnot Kreisprozess.....	96
2.5	Schadstoffemissionen und Reduzierungsmaßnahmen	97
2.5.1	Emissionsarten in der Energiewirtschaft und Industrie	98
2.5.2	Emissionsgrenzwerte	99
2.5.3	Emissionsminderungsmaßnahmen.....	99
2.5.3.1	Primärmaßnahmen für Staubemissionen.....	100
2.5.3.2	Primärmaßnahmen für SO ₂ -Emissionen.....	100
2.5.3.3	Primärmaßnahmen für NO _x -Emissionen.....	100
2.5.4	Sekundärmaßnahmen zur Emissionsminderung.....	101
2.5.4.1	Entstaubung und Entaschung	101
2.5.4.2	Die Rauchgasentschwefelung.....	102
2.5.4.3	Die Rauchgas-Entstickung	104
2.5.5	Emissionen im Verkehrssektor.....	105
2.5.6	Emissionen und Reduzierungsmaßnahmen in Sektoren....	107
2.5.7	Synthetische Kraftstoffe	108
2.5.8	Wasserstoff.....	109
2.6	Basiswissen Elektrotechnik	110
2.6.1	Stromarten und Stromkreise	110
2.6.1.1	Der Gleichstrom	110
2.6.1.2	Der Wechselstrom	113
2.6.1.3	Der Drehstrom.....	117
2.6.2	Drehstrommaschinen.....	120
2.6.2.1	Drehstromgeneratoren.....	120
2.6.2.2	Drehstrom-Asynchronmotoren.....	123
2.6.2.3	Transformatoren	125
	Literaturverzeichnis.....	128
3.	Kraftwerke, Technologien und Kosten	131
3.1	Gegenstand und Zielsetzung.....	131

3.2	Begriffsdefinitionen und Kennzahlen	132
3.2.1	Kraftwerkstypen	132
3.2.2	Definition der verwendeten Kennzahlen und Begriffe	133
3.3	Fossilthermische Kraftwerke	136
3.3.1	Dampfkraftwerke	136
3.3.1.1	Aufbau von Dampfkraftwerken.....	136
3.3.1.2	Hauptkomponenten von Dampfkraftwerken	136
3.3.1.3	Der Dampfkraftprozess	142
3.3.1.4	Maßnahmen zur Prozessverbesserung.....	146
3.3.1.5	Dampf-KW mit überkritischen Dampfparametern.....	147
3.3.1.6	Brennstoffe	149
3.3.2	Gasturbinenkraftwerke	149
3.3.2.1	Aufbau und Funktionsweise von Gasturbinen-KW....	149
3.3.2.2	Der Gasturbinenprozess.....	151
3.3.2.3	Emissionsminderungsmaßnahmen	152
3.3.3	Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerke.....	154
3.3.3.1	Aufbau und Funktionsweise	154
3.3.3.2	Der Dampf-und-Gasturbinen Kreisprozess	155
3.3.4	Verbrennungsmotor-Kraftwerke.....	156
3.3.4.1	Technologiebeschreibung.....	156
3.3.4.2	Betriebsweise von Verbrennungsmotor-Kraftwerken	157
3.3.4.3	Wartung	159
3.3.4.4	Emissionen	159
3.3.5	Investitionsausgaben fossilthermischer Kraftwerke	160
3.3.6	Fallstudien	162
3.3.7	Fossile Brennstoffe und Klima	165
3.4	Kernkraftwerke	167
3.4.1	Typen und Funktionsweise von Kernreaktoren	167
3.4.2	Heizwert von Kernbrennstoff	168
3.5	Der European Pressurized Reactor EPR	170
3.5.1	Technisches Konzept	170
3.5.2	Investitionsausgaben und Betriebskosten von KKW.....	171
3.5.3	Technisch-Wirtschaftliches Modell für KKW	171
3.5.4	Stilllegungsprozess von Kernkraftwerken	174
3.5.5	Deutschland, Herausforderung Kernenergieausstieg.....	176
3.6	Status und Perspektiven der Kernenergie International	191
3.6.1	Der internationale Kernenergiemarkt	191
3.6.2	Österreich, Kernenergieausstieg vor dem Einstieg.....	192
3.6.3	Schweiz, schrittweiser Kernenergieausstieg.....	193

3.7	Autors Sichtweise – aktueller Stand & Perspektiven.....	196
3.7.1	Hintergrund und Lösungsansätze.....	196
3.7.2	Stromerzeugung aus fossilen Energien.....	196
3.7.3	Stromerzeugung aus Kernenergie.....	197
3.7.4	Lösung durch Übergang zur kleineren Einheiten?	199
3.7.5	Kernenergieausstieg.....	199
	Literaturverzeichnis.....	200
4.	Strom aus Erneuerbaren Energien, Technik und Kosten	203
4.1	Gegenstand und Zielsetzung.....	203
4.2	Wasserkraftwerke	204
4.2.1	Physikalische Grundlagen	204
4.2.2	Typen von Wasserkraftwerken.....	205
4.2.3	Bauarten von Wasserturbinen.....	207
4.3	Solarstrom-Technologieübersicht	210
4.3.1	Das Energieangebot der Sonne.....	210
4.3.2	Sonne-Erde Geometrie.....	213
4.3.2.1	Die Rotation der Erde um die Sonne.....	214
4.3.2.2	Bestimmung des Anlagenstandortes.....	215
4.3.2.3	Winkel zur Bestimmung der Position der Sonne.....	216
4.3.3	Technologieübersicht von Solarkraftwerken.....	218
4.4	Kraftwerke mit Parabolrinnen Technologie.....	220
4.4.1	Historischer Rückblick	220
4.5	Technisches Konzept von Parabolrinnen-Kraftwerken	223
4.5.1	Technische Konzeption und Funktionsweise	223
4.5.2	Das Solarfeld	224
4.5.3	Der Solarkollektor	226
4.5.4	Das HTF-System	227
4.5.5	Der Wärmespeicher	229
4.5.6	Der Solarkraftwerksblock.....	230
4.6	Integrierte Parabolrinnen Solar-GuD-Kraftwerke.....	231
4.7	Kraftwerke mit Fresnel-Technologie.....	233
4.7.1	Technisches Konzept.....	233
4.7.2	Das Fresnel-Solarfeld	234
4.7.3	Der Fresnel Kollektor	235
4.8	Kraftwerke mit Solarturm-Technologie.....	236
4.8.1	Technisches Konzept.....	236
4.8.2	Das Solarfeld	237
4.8.3	Die Heliostaten	238

4.8.4	Der Receiver	238
4.8.5	Thermischer Energiespeicher und Kraftwerkblock	239
4.9	Die Parabol­schüssel­Technologie	240
4.10	Photovoltaik Anlagen	241
4.10.1	Physikalisch-technische Grundlagen	241
4.10.2	Aufbau und Funktionsweise von Solarzellen.....	242
4.10.3	Typen von Solarzellen	243
4.10.4	PV-Module – Funktionsweise, Kenngrößen	245
4.10.5	Aufbau von Photovoltaikanlagen.....	248
4.10.6	Nennleistung von PV-Anlagen	249
4.10.7	Größter Photovoltaik Park Europas	252
4.10.8	Ausrichtung und Neigungswinkel von PV-Modulen	252
4.10.9	Floating Solar Photovoltaik	253
4.11	Windkraftanlagen	254
4.11.1	Physikalische Grundlagen.....	254
4.11.2	Windpotential.....	255
4.11.3	Anlagentechnik	259
4.11.4	Kenngrößen von Windkraftanlagen	261
4.11.5	Klassifizierung von Windkraftanlagen	262
4.11.6	Ermittlung des Energieertrages für eine WKA	264
4.11.7	Ermittlung des Energieertrages für Windparks	269
4.12	Biomasse	270
4.12.1	Technologie-Übersicht.....	270
4.12.1.1	Stromerzeugung durch direkte Verbrennung	272
4.12.1.2	Stromerzeugung durch anaeroben Abbau	274
4.13	Investitionen und Stromgestehungskosten	276
4.13.1	Technisch-wirtschaftliche Randbedingungen	276
4.13.1.1	Einflussparameter auf Stromgestehungskosten.....	276
4.13.1.2	Überschreitungswahrscheinlichkeit des Ertrages.....	278
4.13.2	Kosten von Wasserkraftwerken	279
4.13.2.1	Randbedingungen.....	279
4.13.2.2	Stromgestehungskosten von Wasserkraftwerken.....	280
4.13.3	Kosten von Parabolrinnen-Solarkraftwerken	281
4.13.4	Kosten von Solarturm-Kraftwerken.....	282
4.13.5	Kosten von Photovoltaik-Anlagen	284
4.13.5.1	Preistrends.....	284
4.13.5.2	Stromgestehungskosten von PV-Anlagen.....	285
4.13.6	Kosten von Windkraftanlagen.....	286
4.13.7	Kosten von Biomasse-Kraftwerken	289

4.14	Fallstudien	291
4.15	Autors Sichtweise – aktueller Stand & Perspektiven	294
	Literaturverzeichnis	295
5.	Gekoppelte Energieerzeugung & Kostenaufteilung	299
5.1	Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen	299
5.2	Das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung	300
5.2.1	Bauarten von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen	302
5.2.2	Aufbau und Fahrweise von Heizkraftwerken	302
5.2.3	Anwendungsmöglichkeiten und Betreiber	304
5.3	Heizkraftwerke	304
5.3.1	Verbrennungsmotor-Blockheizkraftwerke	304
5.3.1.1	Aufbau und Funktionsweise	304
5.3.1.2	Investitionen und Betriebskosten	305
5.3.2	Gasturbinen-Heizkraftwerke	307
5.3.2.1	Aufbau und Funktionsweise	307
5.3.2.2	Investitionen und Betriebskosten	308
5.3.3	Dampfturbinen-Heizkraftwerke	309
5.3.3.1	Aufbau und Funktionsweise	309
5.3.4	Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerke	310
5.3.4.1	Aufbau und Funktionsweise	310
5.3.4.2	Investitionen und Betriebskosten für GuD-Anlagen ..	311
5.3.5	Wärmeauskopplung aus Großkraftwerken	312
5.4	Kennzahlen der gekoppelten Energieerzeugung	313
5.4.1	Rechnerische Trennung KWK- und Kond.-Strom	313
5.4.2	Wirkungsgrad und Energienutzungsgrad	314
5.4.3	Die Stromkennzahl	316
5.4.4	Die Stromverlust-Kennziffer	318
5.4.5	Äquivalente Kondensationsleistung	319
5.4.6	Beziehungen zwischen den Kennzahlen	320
5.4.7	Kennzahlen von Dampf-Heizkraftwerken	322
5.4.7.1	Kennzahlen von GuD-HKW	324
5.4.8	Kennzahlen von Motor- und Gasturbinen HKW	324
5.4.9	Kostenaufteilungsverfahren	325
5.4.10	Das Stromäquivalenzverfahren	326
5.4.10.1	Wärmeauskopplung aus Großkraftwerken	326
5.4.10.2	Wärmeauskopplung aus Entnahme-Kond.-HKW	329
5.4.11	Das Exergie-Verfahren	331
5.4.12	Das kalorische Verfahren	332

5.4.13	Das Restwertverfahren	334
5.4.13.1	Beschreibung des Verfahrens	334
5.5	Wahl des Kostenaufteilungsverfahrens	339
5.6	Autors Sichtweise – Stand & Perspektiven	342
5.7	Exkurs, Technologien für Meerwasserentsalzung	342
5.7.1	Das MSF-Verfahren – Multi Stage Flash	343
5.7.2	Das Duale Kraftwerk-MSF-System	346
5.7.3	Umkehrosmose	347
	Literaturverzeichnis	350
	Inhalt	147

6. Transport und Verteilung leitungsgebundener Energien 351

6.1	Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen	351
6.2	Stromübertragung und -verteilung	352
6.2.1	Drehstromübertragung und -verteilung	352
6.2.2	Gleichstromübertragungssysteme	355
6.3	Das Europäische Verbundnetz	359
6.3.1	Strukturmerkmale	359
6.3.2	Grenzüberschreitender Stromaustausch im Verbundnetz..	361
6.3.3	Weiterentwicklung des Verbundnetzes, Smart Grid.....	363
6.3.4	Die Vision eines Europäischen Supergrids.....	365
6.4	Systemkomponenten von elektrischen Netzen.....	366
6.4.1	Transformatoren	366
6.4.2	Schaltanlagen	367
6.4.3	Freileitungen	370
6.4.4	Stromkabel	371
6.4.5	Gegenüberstellung Freileitung – Kabel	371
6.5	Netzzugang und Netznutzung bei Stromnetzen	372
6.5.1	Aufgaben und Pflichten der Übertragungsnetzbetreiber....	373
6.5.2	Grundlagen der Netznutzung – Bilanzkreise	375
6.5.3	Regel- und Ausgleichsenergie	375
6.5.4	Ausschreibung und Abrechnung von Regelenergie.....	378
6.5.5	Genehmigung der NNE – Anreizregulierung	379
6.5.6	Auswirkungen und Maßnahmen im Verteilnetz	380
6.6	Kostenorientierte Bestimmung der Netznutzungsentgelte.....	381
6.7	Herausforderung, Netzausbau für die Energiewende.....	387
6.7.1	Anlass und Zielsetzung	387
6.7.2	Gesetzesrahmen	388
6.7.3	Prozessablauf zum Bundesbedarfsplan.....	388

6.7.4	NordLink Interkonnektor.....	391
6.8	Netzzugang und Netznutzung von Erdgasnetzen.....	393
6.8.1	Technischer Aufbau von Erdgasnetzen	393
6.8.2	Das deutsche und europäische Erdgas-Verbundnetz	397
6.9	Auslegung und Betrieb von Erdgasnetzen.....	399
6.9.1	Rohrleitungen	399
6.9.2	Gas-Druckregel- und Messanlagen.....	401
6.9.3	Netzbetrieb.....	402
6.10	Netzzugang, Kooperationsvereinbarung	402
6.10.1	Grundlagen des Netzzugangs.....	403
6.10.2	Marktgebiete – virtueller Handelspunkt	404
6.10.3	Gasqualitätsübergreifender Erdgashandel.....	405
6.10.4	Marktgebietsführung	406
6.10.5	Buchung von Leitungskapazitäten	406
6.10.6	Handel von Leitungskapazitäten	407
6.10.7	Buchung und Handel von Speicherkapazitäten.....	408
6.10.8	Kapazitätsentgelte – Entgeltgenehmigung.....	409
6.10.9	Bilanzkreismanagement	410
6.10.10	Ausgleichs- und Regelenergie.....	411
6.11	Fernwärmeversorgung.....	413
6.11.1	Technischer Aufbau von Fernwärmenetzen.....	413
6.11.2	Grundbegriffe der Fernwärmeversorgung.....	414
6.11.3	Ausgewählte Merkmale der Fernwärmeversorgung	415
6.11.4	Auslegung und Betrieb von Fernwärmenetzen	416
6.11.5	Systemkomponenten von Fernwärmenetzen.....	419
6.11.5.1	Fernwärmeleitungen.....	419
6.11.5.2	Hausanschlüsse	423
6.11.5.3	Hausübergabestationen	423
	Literaturverzeichnis.....	426
7.	Primärenergiemarkt, Beschaffung und Preisentwicklung	429
7.1	Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen	429
7.2	Energieformen.....	430
7.2.1	Klassifizierung der Energieformen.....	430
7.2.2	Maß- und Handelseinheiten für Energie.....	431
7.3	Energieverbrauch und Energieeinsatz.....	434
7.3.1	Primärenergieverbrauch in Deutschland.....	434
7.3.2	Der Endenergieverbrauch in Deutschland	435
7.3.3	Energiebereitstellung durch erneuerbare Energien.....	437

7.3.4	Primärenergiemix in den Nachbarländern	438
7.4	Herkunft und Preisentwicklung der Primärenergieträger	442
7.4.1	Herkunft und Preisentwicklung von Rohöl	442
7.4.2	Herkunft und Grenzübergangspreise von Steinkohle	447
7.4.2.1	Steinkohleaufkommen	447
7.4.2.2	Preisentwicklung von Importkohle.....	449
7.4.2.3	Seefrachtraten für Steinkohle, Kohlenkette.....	449
7.4.2.4	Kosten der Kraftwerkskohle frei Kraftwerk	451
7.4.2.5	Handelsplattformen für Steinkohle.....	452
7.5	Herkunft und Grenzübergangspreise von Erdgas	453
7.5.1	Erdgasaufkommen in Deutschland	453
7.5.2	Entwicklung der Grenzübergangspreise von Erdgas	453
7.5.3	Das Prinzip der Preisanlegbarkeit.....	455
7.5.4	Replacement value und Net-Back-Calculation	456
7.6	Herkunft und Preise von Kernbrennstoff	457
7.6.1	Gewinnung und Aufbereitung	457
7.6.2	Energiegehalt von Kernbrennstoff.....	459
7.6.3	Kostenstruktur und Preise von Kernbrennstoff	460
7.6.4	Wärmekosten und Kernstrom-Brennstoffkostenanteil	463
7.6.5	Wiederaufbereitung von verbrauchtem Kernbrennstoff	466
7.7	Preisentwicklung von Primärenergien im Vergleich	466
7.8	Schlussfolgerungen	468
7.8.1	Lehren aus der Vergangenheit.....	468
7.8.2	Preisansätze bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen.....	470
7.9	Autors Sichtweise – aktueller Stand und Perspektiven.....	471
	Literaturverzeichnis.....	472
8.	Beschaffung leitungsgebundener Energien.....	475
8.1	Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen	475
8.2	Merkmale eines liberalisierten Energiemarktes	476
8.2.1	Historischer Überblick und Mindestanforderungen.....	476
8.2.2	Marktteilnehmer	477
8.2.3	Börsenhandel, Funktionsweise und Produkte	478
8.3	Die Energiebörsen.....	479
8.3.1	European Energy Exchange EEX, Leipzig.....	479
8.3.2	Stromhandel am EEX-Spotmarkt	481
8.3.3	Stromhandel am EEX- Terminmarkt.....	485
8.3.4	Veröffentlichung der Handelsergebnisse des EEX.....	488
8.4	Erdgashandel an der EEX	489

8.4.1	Marktgebiete und virtueller Handelspunkt	489
8.4.2	Spot- und Terminmarkt für Gas an der EEX	490
8.5	Sonstige Handelsplattformen am EEX	492
8.5.1	Handel mit Emissionsberechtigungen an der EEX.....	492
8.5.2	OTC-Handel	492
8.6	Strombeschaffung	494
8.6.1	Vertragliche Ausgestaltung	494
8.6.2	Zusammensetzung der Stromverbraucherpreise	496
8.6.3	Preis für die Strombeschaffung	496
8.6.3.1	Netznutzungsentgelte	497
8.6.3.2	Entgelte für Messung und Abrechnung.....	498
8.6.3.3	Steuern, Abgaben und Umlagen.....	498
8.6.4	Strombeschaffung mit Portfoliomanagement	500
8.6.5	Strombezug mit Vollversorgungsvertrag.....	501
8.7	Vom Monopol- zur liberalisierten Energiewirtschaft	505
8.7.1	Der Stromlieferungsvertrag in der Monopolwirtschaft.....	505
8.8	Gasbeschaffung.....	509
8.8.1	Historischer Überblick – Gas-zu-Gas-Wettbewerb	509
8.8.2	Zusammensetzung des Gaspreises für Haushaltskunden	510
8.8.3	Der klassische Vollversorgungsvertrag	510
8.9	Beschaffung von Fernwärme	513
8.10	Autors Sichtweise – aktueller Stand & Perspektiven	514
8.10.1	Marktwirtschaft im Energiemarkt	514
8.10.2	Förderung neuer und innovativer Technologien	514
8.10.3	Die EEG-Umlage	515
8.10.4	Fazit.....	515
	Literaturverzeichnis.....	516
9.	Energierrechtliche Rahmenbedingungen	517
9.1	Inhalt, Zielsetzung und Schlussfolgerungen	517
9.2	Rechtliche Rahmen im Überblick	518
9.2.1	EU-Recht	518
9.2.2	Gesetzliche Rangordnung.....	519
9.2.3	Der energierechtliche Rahmen.....	520
9.2.4	Internationale Abkommen	520
9.3	Das Energiewirtschaftsrecht	521
9.3.1	Das Energiewirtschaftsgesetz	521
9.3.2	Verordnungen zum EnWG	523
9.3.3	Konzessionsabgabenverordnung	524

9.4	Energiesteuergesetze.....	525
9.4.1	Historischer Hintergrund	525
9.4.2	Neuregelung der Besteuerung von Energieerzeugnissen... 526	
9.4.3	Das Stromsteuergesetz.....	530
9.5	Gesetze zur Kraft-Wärme-Kopplung	531
9.6	Förderung erneuerbarer Energien	533
9.6.1	Historischer Überblick.....	533
9.6.2	Kostenwälzung	533
9.6.3	Ermittlung der EEG-Umlage	535
9.6.4	Entwicklung der EEG-Umlage	536
9.6.5	Abschaffung der EEG-Umlage.....	537
9.7	Übersicht der Vergütungsregeln für EEG-Strom.....	538
9.7.1	Grundlagen	538
9.7.2	Marktintegration	539
9.7.3	Ausschreibung	541
9.7.3.1	Ausschreibung für PV-Anlagen	542
9.7.3.2	Ausschreibung von Windkraftanlagen an Land	543
9.7.4	Ausschreibung von Windkraftanlagen auf See.....	544
9.7.5	EE-Ausbau und Netzausbau	545
9.7.6	Direktvermarktung.....	545
9.7.7	Fördermöglichkeiten nach dem EEG-2017	545
9.8	Klimaschutzrechtliche Rahmenbedingungen.....	546
9.8.1	Internationaler Rahmen und Konventionen.....	546
9.8.2	Das Kyoto-Protokoll, Rahmen und Nachfolgekonferenzen.....	547
9.8.3	Treibhausgase im Kyoto-Protokoll.....	548
9.8.4	Flexible Mechanismen nach Kyoto-Protokoll	549
9.8.5	Zertifikate für Emissionsreduzierungen und Baseline	550
9.8.5.1	Der Projektablauf von CDM-Projekten.....	551
9.9	Das Pariser Klimaabkommen.....	553
9.9.1	Internationaler Rahmen und Zielsetzung	553
9.9.2	Kernpunkte des Pariser Abkommens.....	554
9.9.3	Nachfolgekonferenz in Glasgow	555
9.10	Das EU-Emissionshandelssystem - EU ETS.....	555
9.10.1	Grundlage und Handelsperioden.....	555
9.10.2	Prinzipielle Funktionsweise des EU-Emissionshandels.....	555
9.10.3	Ebenen und Akteure des EU-Emissionshandels	556
9.10.4	Umsetzung des Emissionshandels in Deutschland.....	558
9.10.5	Die dritte Handelsperiode 2013–2020	560
9.10.6	Zuteilungsregeln für die dritte Handelsperiode.....	562

9.10.8	Kosten für Emissionsberechtigungen pro MWh _{el}	567
9.11	Autors Sichtweise – aktueller Stand & Perspektiven	568
	Literaturverzeichnis	569
10.	Abwicklung von Energieprojekten	571
10.1	Energie-Audits	571
10.2	Projektentwicklung	572
10.3	VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen	573
10.4	Abwicklung von internationalen Projekten nach FIDIC	574
10.4.1	Projektstart	575
10.4.2	Anlass und Projekthintergrund	575
10.4.3	Projektdefinition	576
10.4.4	Die Studienphase	576
10.4.4.1	Anfrage für Beratungsleistungen	576
10.4.4.2	Konzeptstudie	577
10.4.4.3	Die Machbarkeitsstudie	577
10.4.5	Planung und Vergabe	578
10.4.5.1	Anfrage nach Bauleistungen	578
10.4.5.2	Vor- und Entwurfsplanung	578
10.4.5.3	Los- oder Generalunternehmervergabe	579
10.4.5.4	Ausschreibung und Vergabe	580
10.4.5.5	Ausführungsplanung	582
10.4.6	Bau und Inbetriebnahme	582
10.4.6.1	Bau und Montage	582
10.4.6.2	Inbetriebnahme und Probetrieb	582
10.4.7	Erstabnahme und Mängelprotokoll	583
10.4.8	Betrieb der Anlage	583
10.4.9	Gewährleistungsphase und Projektabschluss	584
10.5	Ausschreibung nach internationalem Baurecht	584
10.5.1	Anlass und Hintergrund	584
10.5.1.1	Die FIDIC Musterverträge im Überblick	585
	Literaturverzeichnis	587
	Glossar Deutsch-Englisch	597
	Sachverzeichnis	607