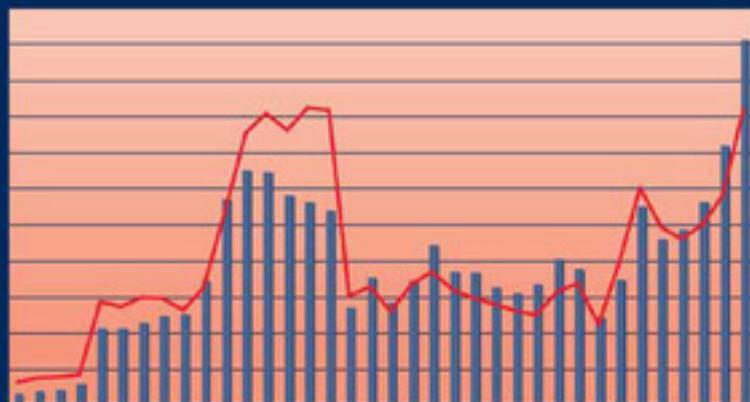


Panos Konstantin

# Praxisbuch Energiewirtschaft

Energieumwandlung, -transport  
und -beschaffung im liberalisierten Markt



 Springer

VDI

Panos Konstantin

---

Praxisbuch Energiewirtschaft

Panos Konstantin

# Praxisbuch Energiewirtschaft

Energieumwandlung, -transport  
und -beschaffung im liberalisierten Markt

Mit 140 Abbildungen, 116 Tabellen und 67 Beispielen

 Springer

Dipl.-Ing. Panos Konstantin  
Panoramastr. 4/1  
71576 Burgstetten  
*panos.konstantin@email.de*

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

ISBN-10 3-540-35377-1 Springer Berlin Heidelberg New York  
ISBN-13 978-3-540-35377-5 Springer Berlin Heidelberg New York

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.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media  
[springer.de](http://springer.de)

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007

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. Text und Abbildungen wurden mit größter Sorgfalt erarbeitet. Verlag und Autor können jedoch für eventuell verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.

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 hinzuziehen.

Satz: Digitale Druckvorlage des Autors  
Herstellung: LE-TeX Jelonek, Schmidt & Vöckler GbR, Leipzig  
Einbandgestaltung: Struve & Partner, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier    SPIN: 11761716    7/3100/YL - 5 4 3 2 1 0

# 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

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 Primärenergiemarkt 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: Dr. Sigurdur Dagbjartsson, Bruno Fey, Birgit Jahraus, 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

<b>1. Der Primärenergiemarkt.....</b>	<b>1</b>
1.1 Energieformen .....	1
1.1.1 Klassifizierung der Energieformen.....	1
1.1.2 Maßeinheiten für Energie .....	2
1.2 Struktur des Energieverbrauchs in Deutschland.....	5
1.3 Herkunft u. Preisentwicklung der Primärenergieträger .....	8
1.3.1 Herkunft und Grenzübergangspreise von Rohöl .....	8
1.3.2 Herkunft und Grenzübergangspreise von Steinkohle....	12
1.3.3 Herkunft und Grenzübergangspreise von Erdgas.....	15
1.3.4 Herkunft und Preise von Kernbrennstoff .....	20
1.3.5 Vergleich der Preisentwicklung von Importenergien....	26
1.4 Entwicklung der Brennstoff-Verbraucherpreise .....	28
1.4.1 Preise von Kraftwerkskohle .....	28
1.4.2 Preise von Heizöl.....	29
1.4.3 Preise von Erdgas .....	31
1.5 Schlussfolgerungen.....	32
1.5.1 Lehren aus der Vergangenheit.....	32
1.5.2 Preisrelationen der Hauptenergieträger zum Rohöl.....	32
1.5.3 Preisansätze bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen .....	34
Literaturverzeichnis .....	34
<b>2. Beschaffung leitungsgebundener Energien .....</b>	<b>37</b>
2.1 Strombeschaffung.....	37
2.1.1 Merkmale eines liberalisierten Energiemarktes .....	37
2.1.2 Strombörse, Funktionsweise und Produkte .....	42
2.1.3 Netznutzungsentgelte .....	48
2.1.4 Strombeschaffung mit Portfoliomanagement.....	49
2.1.5 Strombezug mit Vollversorgungsvertrag .....	51
2.1.6 Entwicklung der Strompreise .....	55
2.2 Gasbeschaffung .....	57
2.2.1 Gas-zu-Gas-Wettbewerb .....	57
2.2.2 Gasbeschaffung im liberalisierten Markt .....	58

2.2.3	Netzzugang und Netznutzungsentgelte .....	59
2.2.4	Zugang zu Erdgasspeichern.....	60
2.2.5	Gasbezug über Vollversorgungsverträge .....	60
2.3	Beschaffung von Fernwärme.....	64
	Literaturverzeichnis .....	64
<b>3.</b>	<b>Energierrechtliche Rahmenbedingungen.....</b>	<b>67</b>
3.1	Definitionen und Überblick .....	67
3.1.1	EU-Recht .....	67
3.1.2	Deutsches Recht .....	68
3.1.3	Internationale Abkommen.....	69
3.2	Der deutsche energierechtliche Rahmen.....	69
3.2.1	Energiewirtschaftsrecht .....	69
3.2.2	Energiesteuergesetze .....	74
3.2.3	Gesetze zur Kraft-Wärme-Kopplung .....	80
3.2.4	Gesetze zur Förderung erneuerbarer Energien .....	84
3.2.5	Konzessionsabgabenverordnung .....	89
3.3	Klimaschutzrechtliche Rahmenbedingungen .....	90
3.3.1	Klimaschutz und EU-Emissionshandel .....	90
3.3.2	Umsetzung des Emissionshandels in Deutschland.....	94
	Literaturverzeichnis .....	98
<b>4.</b>	<b>Investitionsrechnung in der Energiewirtschaft.....</b>	<b>99</b>
4.1	Finanzmathematische Grundlagen.....	99
4.1.1	Der Zeitwert des Geldes, Aufzinsen, Abzinsen, Barwert .....	99
4.1.2	Zinssatz und Inflation.....	101
4.2	Zahlungsreihen .....	108
4.2.1	Aufbau von Zahlungsreihen .....	108
4.2.2	Anwendungsfälle und Beispiele.....	112
4.3	Investitionsrechnungsmethoden .....	116
4.3.1	Methodische Vorgehensweise.....	116
4.3.2	Dynamische Verfahren.....	117
4.3.3	Statische Verfahren .....	128
4.4	Planerfolgsrechnungsmodelle.....	131
4.5	Randbedingungen für Wirtschaftlichkeitsrechnungen.....	132
4.5.1	Begriffsfestlegungen .....	132
4.5.2	Kostenarten bei Energieprojekten .....	133
4.5.3	Randbedingungen für Wirtschaftlichkeitsrechnungen .....	135
	Literaturverzeichnis .....	137

---

<b>5. Physikalisch-technisches Grundwissen.....</b>	<b>139</b>
5.1 Das internationale Einheitensystem.....	139
5.1.1 SI-Einheiten.....	139
5.1.2 Regeln für die Schreibweise von Größen und Einheiten.....	142
5.1.3 Der richtige Umgang mit Einheiten in Formeln.....	143
5.2 Basiswissen Thermodynamik.....	144
5.2.1 Allgemeine Definitionen.....	144
5.2.2 Thermodynamik der Gase und Gasgemische.....	152
5.2.3 Wasserdampfthermodynamik.....	158
5.2.4 Brennstoffe, Brennstoffkennwerte, Verbrennungsrechnung.....	161
5.2.5 Kreisprozesse.....	171
5.3 Basiswissen Elektrotechnik.....	174
5.3.1 Stromarten und Stromkreise.....	174
5.3.2 Drehstrommaschinen.....	185
Literaturverzeichnis.....	191
<b>6. Energieumwandlung und Emissionen.....</b>	<b>193</b>
6.1 Energieumwandlungsanlagen.....	193
6.1.1 Typen von Energieumwandlungsanlagen.....	193
6.1.2 Kessel.....	193
6.1.3 Arten von Feuerungen.....	198
6.2 Luftverunreinigende Schadstoffemissionen.....	200
6.2.1 Arten von Emissionen.....	200
6.2.2 Emissionsgrenzwerte.....	201
6.3 Emissionsminderungsmaßnahmen.....	203
6.3.1 Primärmaßnahmen zur Emissionsreduzierung.....	203
6.3.2 Sekundärmaßnahmen zur Emissionsminderung.....	205
6.4 Kohlendioxidemissionen und Treibhauseffekt.....	210
Literaturverzeichnis.....	214
<b>7. Kraftwerke, Technik und Kosten.....</b>	<b>215</b>
7.1 Begriffsdefinitionen und Kennzahlen.....	215
7.1.1 Kraftwerkstypen.....	215
7.1.2 Definition der verwendeten Kennzahlen und Begriffe.....	216
7.2 Fossilthermische Kraftwerke.....	218
7.2.1 Dampfkraftwerke.....	218
7.2.2 Gasturbinenkraftwerke.....	226
7.2.3 Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerke.....	230
7.2.4 Verbrennungsmotor-Kraftwerke.....	231

7.2.5	Anschaffungs- u. Betriebskosten fossilthermischer Kraftwerke.....	232
7.2.6	Stromgestehungskosten fossilthermischer Kraftwerke.....	234
7.3	Kernkraftwerke .....	242
7.3.1	Typen und Funktionsweise von Kernreaktoren.....	242
7.3.2	Kernenergieausstieg oder Ausbau .....	243
7.3.3	Der neue European Pressurized Reactor EPR.....	245
7.3.4	Stilllegung von Kernenergieanlagen .....	245
7.3.5	Stromgestehungskosten von Kernkraftwerken.....	247
7.4	Solarthermische Kraftwerke .....	249
7.4.1	Das Energieangebot der Sonne.....	249
7.4.2	Kollektorsysteme für Solarthermische Kraftwerke ....	250
7.4.3	Typen von solarthermischen Kraftwerken .....	252
7.4.4	Investitionsausgaben und Stromgestehungskosten.....	257
7.5	Wasserkraftwerke .....	260
7.5.1	Physikalische Grundlagen .....	260
7.5.2	Typen von Wasserkraftwerken.....	261
7.5.3	Bauarten von Wasserturbinen .....	263
7.5.4	Anlagenbestand, Stromerzeugung, Ausbauperspektiven .....	264
7.5.5	Investitionsausgaben und Betriebskosten.....	265
7.6	Windkraftanlagen .....	266
7.6.1	Physikalische Grundlagen .....	266
7.6.2	Anlagentechnik.....	267
7.6.3	Ermittlung des Energieertrages .....	271
7.6.4	Investitionsausgaben und Stromgestehungskosten.....	275
7.6.5	Ausbauperspektiven der Windenergie.....	279
	Literaturverzeichnis .....	282
<b>8.</b>	<b>Kraft-Wärme-Kopplung, Technik, Kostenaufteilung .....</b>	<b>283</b>
8.1	Thermodynamisch-technische Grundlagen .....	283
8.1.1	Das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung .....	283
8.1.2	Bauarten von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen.....	285
8.1.3	Aufbau und Fahrweise von Heizkraftwerken.....	286
8.1.4	Anwendungsmöglichkeiten und Betreiber .....	287
8.2	Heizkraftwerke .....	288
8.2.1	Verbrennungsmotor-Blockheizkraftwerke .....	288
8.2.2	Gasturbinen-Heizkraftwerke .....	291
8.2.3	Dampfturbinen-Heizkraftwerke .....	292
8.2.4	Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerke.....	295
8.2.5	Wärmeauskopplung aus Großkraftwerken .....	296

---

8.3	Kennzahlen der gekoppelten Energieerzeugung.....	297
8.3.1	Thermodynamisches Modell KWK- und Kond.-Anlagen .....	297
8.3.2	Wirkungsgrad und Energienutzungsgrad .....	298
8.3.3	Die Stromkennzahl .....	300
8.3.4	Die Stromverlust-Kennziffer .....	301
8.3.5	Äquivalente Kondensationsleistung .....	302
8.3.6	Beziehungen zwischen den Kennzahlen .....	303
8.3.7	Richtwerte für Kennzahlen von KWK-Anlagen .....	305
8.3.8	Auflistung verwendeter Symbole bei den Kennzahlen .....	311
8.4	Kostenaufteilungsverfahren.....	312
8.4.1	Das Stromäquivalenzverfahren (Arbeitswertverfahren) .....	312
8.4.2	Das Exergie-Verfahren.....	317
8.4.3	Das kalorische Verfahren .....	319
8.4.4	Das Restwertverfahren .....	321
8.5	Wahl des Kostenaufteilungsverfahrens .....	326
	Literaturverzeichnis .....	328
<b>9.</b>	<b>Energietransport und -verteilung.....</b>	<b>329</b>
9.1	Stromübertragung und -verteilung.....	329
9.1.1	Technischer Aufbau der Stromnetze .....	329
9.1.2	Systemkomponenten von elektrischen Netzen.....	332
9.1.3	Das Deutsche und das Europäische Verbundnetz .....	338
9.1.4	Netzbetrieb, Fahrpläne; Standardlastprofile .....	341
9.1.5	Regel- und Ausgleichsenergie.....	344
9.1.6	Netzzugang und Bestimmung der Netznutzungsentgelte .....	348
9.2	Erdgastransport und -verteilung .....	352
9.2.1	Technischer Aufbau von Erdgasnetzen .....	352
9.2.2	Das deutsche und europäische Erdgas-Verbundnetz.....	355
9.2.3	Auslegung und Betrieb von Erdgasnetzen .....	357
9.2.4	Grundsätze für Netzzugang und Netznutzung.....	362
9.2.5	Erschließungskosten für Erdgasnetze.....	363
9.3	Fernwärmeverteilung .....	365
9.3.1	Technischer Aufbau von Fernwärmenetzen.....	365
9.3.2	Grundbegriffe der Fernwärmeversorgung.....	367
9.3.3	Ausgewählte Merkmale der Fernwärmeversorgung....	368
9.3.4	Auslegung und Betrieb von Fernwärmenetzen .....	368

9.3.5 Systemkomponenten von Fernwärmenetzen .....	371
9.3.6 Erschließungskosten der Fernwärmenetze .....	377
Literaturverzeichnis .....	382
<b>10. Abwicklung von Energieprojekten.....</b>	<b>385</b>
10.1 Phasen der Projektabwicklung.....	385
10.1.1 Projektstart .....	386
10.1.2 Planung und Vergabe .....	388
10.1.3 Bau und Inbetriebnahme .....	392
10.2 Betrieb der Anlage.....	392
Literaturverzeichnis .....	393
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>395</b>
<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>399</b>

# 1. Der Primärenergiemarkt

## 1.1 Energieformen

### 1.1.1 Klassifizierung der Energieformen

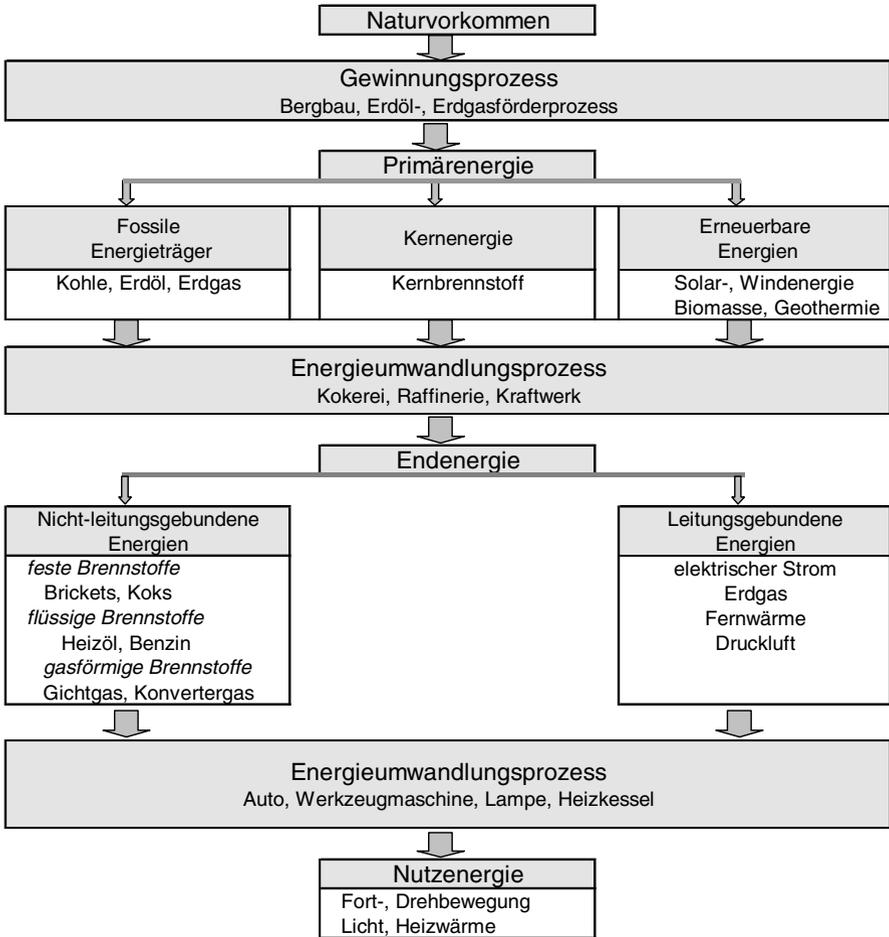
Energie ist in chemischer Form in Brennstoffen (Kohle, Heizöl) enthalten oder in *Energieträgern* (Dampf, Heißwasser) gespeichert. Die Einheit für Energie ist 1 J (Joule). Die Energieformen werden „physikalisch“ oder nach der „Energieumwandlung und -anwendung“ klassifiziert. Physikalisch wird nach folgenden Energieformen unterschieden:

- Mechanische Energie; sie kommt als kinetische (Bewegungsenergie) oder potenzielle (Höhenenergie) Energie vor
- Thermische Energie
- Chemische Energie, z. B. die in Brennstoffen enthaltene Energie
- Strahlungsenergie
- Kernenergie

Im Rahmen der Energieumwandlung und -anwendung unterscheidet man drei Hauptformen von Energie:

- Primärenergien sind Naturvorkommen, die noch keinerlei Umwandlung unterzogen wurden.
- Endenergien werden in einem Energieumwandlungsprozess (Raffinerie, Kraftwerk) aus Primärenergie gewonnen.
- Nutzenergie ist die Energie, die nach der letzten Umwandlung in den Geräten des Endverbrauchers zur Verfügung steht.

Diese Hauptformen werden in verschiedene Unterformen unterteilt. Eine Klassifizierung der Energieformen im Rahmen der Energieumwandlung und -anwendung ist in der Abb. 1.1 zu ersehen.



**Abb. 1.1:** Energieformen, nach Umwandlung und Anwendung

### 1.1.2 Maßeinheiten für Energie

Die offizielle Einheit für Energie nach ISO-Standard<sup>1</sup> ist 1 Joule „J“ (bzw. die Vielfachen kJ=10<sup>3</sup> J, MJ=10<sup>6</sup>, GJ=10<sup>9</sup>, TJ=10<sup>12</sup>). Auf dem Markt werden aber Energien in verschiedenen Natur- oder Handelseinheiten (Tonne, barrel, Hektoliter) verkauft. Die meisten dieser Einheiten sind historischen

<sup>1</sup> Als Einheitssystem für die physikalischen Größen ist in den meisten Ländern das „Standard Internationale Einheitensystem nach [ISO 1000], abgekürzt SI-Maßsystem in Gebrauch. Siehe Abschnitt 6.1 „Das internationale Einheitensystem“.