

Holger Rogall

# **100 %-Versorgung mit erneuerbaren Energien**

Bedingungen für eine globale, nationale  
und kommunale Umsetzung

Unter Mitarbeit von Stefan Klinski

Metropolis-Verlag  
Marburg 2014

### **Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

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

Metropolis-Verlag für Ökonomie, Gesellschaft und Politik GmbH

<http://www.metropolis-verlag.de>

Copyright: Metropolis-Verlag, Marburg 2014

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-7316-1090-8

# EINLEITUNG

## *Problemaufriss*

Die Fähigkeit Energie zu nutzen, die über die menschliche Arbeitsleistung hinausgeht, bestimmt ganz wesentlich den technisch-wirtschaftlichen Stand einer Zivilisation. So gab es in der Geschichte keine Zivilisation, die nicht tierische und weitere erneuerbare Energien (künftig mit EE abgekürzt) bzw. fossile Energien genutzt hat. Unser heutiges, insbesondere auf fossilen Energien basierendes Energiesystem birgt aber viele kurz- und langfristige Gefahren (Klimawandel, Ressourcenknappheit etc., detailliert in Kap. 1.2), sodass es nicht zukunftsfähig ist.

## *Ziel der Arbeit*

Der Autor des vorliegenden Buches und seine MitarbeiterInnen<sup>1</sup> möchten die Frage beantworten, welche Bedingungen existieren, um eine 100 %-Versorgung mit EE in den Industrie- und Schwellenländern bis 2050 zu ermöglichen. Dabei steht die Zahl 2050 als symbolischer Leuchtturm. Ob es einzelnen Ländern gelingt, dieses Ziel bereits 2040 zu erreichen oder erst 2060, erscheint uns weniger wichtig, ebenso wie das Ziel eine 100 %-Versorgung durch eine 110 %- (für Exportzwecke) oder eine 90 %-Versorgung (mit EE-Import) erreicht werden kann. Um die Bedingungen herauszuarbeiten, werden wir zunächst die energiepolitischen und technischen Bedingungen einer 100 %-Versorgung erläutern, um dann zu analysieren *welchen Beitrag* die verschiedenen Akteursgruppen von der globalen bis zur kommunalen Ebene mit ihren wichtigsten Akteuren (z. B. die Politiker und die Verwaltung sowie die Unternehmen und Bürger) für eine nachhaltige Energiepolitik leisten können. Dabei stehen die *Chancen* und *Hemmnisse* für den Umbau hin zu einer 100 %-Versorgung mit EE im Mittelpunkt der Arbeit, die auch Empfehlungen geben will, welche Maßnahmen die Akteure ergreifen können, um ihren Beitrag zur Energiewende zu erhöhen und diese so zu beschleunigen.

<sup>1</sup> Im weiteren Text verwenden wir zur besseren Lesbarkeit die männliche Schreibweise, hierbei ist immer die weibliche mitbeinhaltet.

### *Skizzierung des Untersuchungsgegenstandes*

#### *Nachhaltige Entwicklung*

Seit den 1970er Jahren wächst die Befürchtung, dass die derzeitige wirtschaftliche Entwicklung nicht dauerhaft aufrechtzuerhalten ist, d.h. der Menschheit keine menschenwürdige Zukunft mehr bietet. Insbesondere gilt dies für die ungebremste Zerstörung der natürlichen Lebensgrundlagen durch deren Übernutzung und Vergiftung (aber auch viele andere Formen der ungerechten Verteilung von Lebenschancen). Nachsorgende Techniken allein können die Probleme nicht lösen, vielmehr ist ein nachhaltiger Umbau (Transformation) der globalen Volkswirtschaften notwendig. Dieser Erkenntnis hat die Weltgemeinschaft Rechnung getragen, indem sie sich im Jahr 1992 auf der UN-Konferenz „Umwelt und Entwicklung“ in Rio de Janeiro auf das gemeinsame Entwicklungsleitbild *sustainable development* einigte (im Deutschen: Zukunftsfähige oder Nachhaltige Entwicklung). Für den Begriff existieren zahlreiche Definitionen. Die bekannteste ist durch die *Brundtland-Kommission* erfolgt: „Dauerhafte Entwicklung ist Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können“ (Hauff 1987: 46). Wir definieren sie wie folgt:

„Eine Nachhaltige Entwicklung will für alle heute lebenden Menschen und künftigen Generationen ausreichend hohe ökologische, ökonomische und sozial-kulturelle Standards in den Grenzen der natürlichen Tragfähigkeit erreichen und so das intra- und intergenerative Gerechtigkeitsprinzip durchsetzen“ (nach Rogall 2000: 100).

#### *Nachhaltige Ökonomie*

Wie beschrieben wird das Ziel einer Nachhaltigen Entwicklung seit über 20 Jahren verfolgt, ohne dass die traditionelle Ökonomie bislang eine Konsequenz hieraus gezogen hätte. Uns scheint es daher an der Zeit, die traditionelle Ökonomie zu einer Nachhaltigen Ökonomie weiterzuentwickeln, d.h. eine neue Grundlage des ökonomischen Denkens zu legen, das sich an den Prinzipien der Nachhaltigen Entwicklung orientiert. Im Mittelpunkt dieser neuen Wirtschaftsschule steht die Herausarbeitung der Bedingungen eines Wirtschaftens, das die Prinzipien und Managementregeln des nachhaltigen Wirtschaftens einhält. Hierbei werden in dem vorliegenden Buch die Bedingungen für eine nachhaltige Energiepolitik in den Fokus genommen.

## *Nachhaltige Energiepolitik*

Wir definieren eine nachhaltige Energiepolitik wie folgt: „Eine n.E. strebt eine ausreichende Versorgung mit Energiedienstleistungen für alle Menschen in den Grenzen der natürlichen Tragfähigkeit an. Zukunftsfähig ist hiernach eine Energiepolitik, die die Managementregeln der Nachhaltigkeit einhält, z. B. allen Menschen gleich hohe THG-Emissionen ermöglicht, aber die Natur nicht über ihre Tragfähigkeit hinaus belastet.“

## *Treibhausgasneutrale Industrieländer – 100 %-Versorgung mit EE*

Will die Menschheit dauerhaft auf der Erde leben, muss sie die natürliche Existenzgrundlage erhalten, d.h. die Grenzen der natürlichen Tragfähigkeit einhalten. Hierzu gehört es, die Steigerung der durchschnittlichen Oberflächentemperaturen auf max. 2°C begrenzen. Um dies zu gewährleisten, müssen die Industrieländer bis 2050 einen Transformationsprozess durchführen, der am Ende ein nahezu treibhausgasneutrales Leben und Wirtschaften ermöglicht (von uns auch nachhaltiger Umbau der Volkswirtschaften genannt). Hierzu müssen die heutigen Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen (inkl. aller nicht energetisch bedingten Emissionen) von z. B. in Deutschland 11 t CO<sub>2</sub>/Einwohner auf 1 Tonne reduziert werden, was einer 90 %-Reduzierung (gegenüber 1990) entspricht. Damit verfolgen wir das gleiche Ziel wie das Umweltbundesamt in seinem 2013 veröffentlichten Szenario (UBA 2013/10: 4). Die Erläuterung dieses Ziels mit seinen Bedingungen würde den Rahmen dieses Buches sprengen, daher wollen wir uns auf den Aspekt einer nachhaltigen Energiewirtschaft begrenzen. Wie wir im I. Abschnitt des Buches zeigen werden, ist das wichtigste Ziel einer nachhaltigen Energiepolitik eine 100 %-Versorgung mit EE in den Industrie- und Schwellenländern. Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, müssen der Energieverbrauch schrittweise durch Effizienz- und Suffizienzstrategien vermindert und der Einsatz von atomaren und fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energien (EE) ersetzt werden, so dass zur Mitte des Jahrhunderts eine 100 %-Energieversorgung durch EE erfolgt (die detaillierte Erläuterung dieser Definition erfolgt im Kapitel 2.2).

## *Arbeitsmethoden und Aufbau der Arbeit*

*Wissenschaftstheoretisch* geht das Buch davon aus, dass die Hauptaufgabe der Wissenschaft künftig weniger in der Formulierung konsistenter, aber wirklichkeitsfremder Theorien liegt, als vielmehr in der Entwicklung pragmatischer Lösungen. Das Buch folgt daher einem Ansatz, der versucht, Bedingungen zu erläutern, unter denen Probleme erfolgreich gelöst werden können.

Hierzu verwenden wir einen *interdisziplinären Ansatz*, der es ermöglicht, die politisch-rechtlichen und technischen Bedingungen der Transformation des Energiesystems zu einer 100 %-Versorgung mit EE herauszuarbeiten. Die traditionelle Umweltökonomie sieht als Ursache für die Bedrohung der natürlichen Lebensgrundlagen die Fehlallokation (falsche Verwendung) der natürlichen Ressourcen an. Diese Fehlallokation wird mit partiellem Marktversagen erklärt und kann laut Theorie mit Hilfe von Internalisierungsstrategien behoben werden. Wie bei anderen ökonomischen Fragestellungen auch werden die Arbeiten anderer wissenschaftlicher Disziplinen – aus verschiedenen Gründen – selten herangezogen. Erstens erscheint dies vielen Autoren überflüssig, da ihrer Meinung nach das Umweltproblem ein rein ökonomisches Problem ist. Zweitens unterscheiden sich das methodische Vorgehen und die Begrifflichkeiten der Ökonomie von denen der anderen Disziplinen erheblich. Drittens fällt es schwer genug, einen Überblick über die Entwicklung in der eigenen Disziplin zu behalten. Die Operationalisierung eines neuen gesellschaftlichen Entwicklungsleitbildes (wie z. B. der Nachhaltigen Entwicklung) kann aber nicht durch eine einzelne Fachdisziplin erfolgen, vielmehr müssen hierzu viele Disziplinen mitwirken. Dabei wird nicht der Anspruch erhoben, umfassend die Erkenntnisse aller Disziplinen darzustellen, was wahrscheinlich nur zu einem Vorwurf des „Dilettantismus auf hohem Niveau“ führen würde. Jede dieser Disziplinen hat ihre eigenen wissenschaftlichen Methoden und Aufgaben, die die Ökonomie nicht ersetzen kann. Vielmehr soll versucht werden, die *Schnittstellen* zu anderen Disziplinen aufzuzeigen, die einen wichtigen Beitrag für eine zukunftsfähige Entwicklung leisten. Der Leser sollte sich bei dieser Herangehensweise bewusst sein, dass eine disziplinübergreifende Zusammenarbeit i.d.R. auf eine Art „Andock“- oder „Modulmodell“ hinausläuft. Die Entwicklung einer gemeinsamen theoretischen Grundlage aller sozial- und naturwissenschaftlichen Disziplinen steckt leider immer noch in den Kinderschuhen (Zundel 1998/02: 9).

Das Buch ist in vier Abschnitte I, II, III und IV sowie 17 Kapitel gegliedert: Nach der Einleitung werden im *Abschnitt I* die *Grundlagen* einer nachhaltigen Energiepolitik erläutert. Hierzu werden im 1. Kapitel die Probleme der heutigen Energieversorgung skizziert und im 2. Kapitel die Ziele einer nachhaltigen Energiepolitik erläutert und begründet, warum aus heutiger Sicht keine Alternative hierfür existiert.

Der *II. Abschnitt* erläutert zwei zentrale *Strategiepfade* einer nachhaltigen Energiepolitik: die Effizienzstrategie (Kap. 3) und die Konsistenzstrategie, hier verstanden als erneuerbare Energien (Kap. 4). Das Kapitel 5 beschäftigt sich mit der notwendigen Infrastruktur (Systemdienstleistungen), die eine 100 %-Versorgung mit EE benötigt. Das 6. Kapitel bewertet zusammenfassend die technischen Bedingungen einer 100%-Versorgung mit EE.

Der *Abschnitt III.* setzt sich mit den *direkten Akteuren* auseinander (alle, die Rechtsnormen erlassen und überprüfen), von der globalen Ebene bis zu den Bundesländern. Ihre Chancen und Hemmnisse, eine nachhaltige Energiepolitik umzusetzen, werden untersucht. Hierzu werden im 7. Kapitel zunächst die möglichen politisch-rechtlichen *Instrumente* skizziert, die den direkten Akteuren zur Verfügung stehen, um im Sinne von ökologischen Leitplanken die Entwicklung der Industrie- und Schwellenländer in Richtung einer 100 %-Versorgung mit EE zu ermöglichen. Das Kapitel 8 erläutert die theoretischen Grundlagen der Akteursanalyse. Das 9. Kapitel beschäftigt sich mit der globalen, das Kapitel 10 mit der supranationalen (hier EU) und die Kapitel 11 und 12 mit der nationalen und Bundesländerebene.

Der *IV. Abschnitt* erläutert die Chancen der *indirekten Akteure* (alle wichtigen Akteursgruppen, die Rechtsnormen nicht beschließen, aber beeinflussen können), eine nachhaltige Energiepolitik zu fördern und die vielfältigen Hemmnisse dies in der Realität zu tun. Hierzu werden die Hauptakteursgruppen untersucht: die überregionalen Unternehmen und ihre Verbände (Kap. 13), die Kommunen (Kap. 14), die Stadtwerke (Kap. 15), Energiegenossenschaften (Kap. 16) sowie Einzelakteure wie private Haushalte und Landwirte (Kap. 17).

Das Buch endet mit einer Zusammenfassung und einem Fazit.

### *Arbeitshinweise*

Das vorliegende Buch wendet sich an wissenschaftlich interessierte Menschen (z. B. Wissenschaftler, Lehrende und Studierende) und Menschen, die einen praktischen Beitrag für eine nachhaltige Energieversorgung leisten wollen und hierfür eine Hilfestellung suchen. Damit haben wir es mit unterschiedlichen Interessen und sehr unterschiedlichen Vorkenntnissen zu tun. Um das Buch für alle Gruppen lesbar zu halten, haben wir Grundlagen und Begriffe, die zum Verständnis der Problematik wesentlich, dem „fortgeschrittenen“ Leser aber ausreichend bekannt sind, in *grau unterlegten Kästen* zusammengefasst. Sie sollen Definitionen und möglichst wertfreie Erläuterungen der Grundlagen bieten. Andere Textteile, die zusammengehören aber den Textfluss beim Lesen stören könnten (z.B. die Kernaussagen der Nachhaltigen Ökonomie oder die Managementregeln), haben wir in Kästen ohne farblichen Hintergrund (*weiße Kästen*) gefasst.

Um unsere Positionen und Wertungen leichter von denen anderer Autoren unterscheiden zu können, die in der Literatur als Mehrheitsmeinungen vertreten werden, haben wir unseren Positionen den Begriff „*Bewertung*“ vorangestellt.

### *Abgrenzungen*

Wie geschildert, geht es in dem vorliegenden Buch um den Transformationsprozess der Industrie- und Schwellenländer zu einer nachhaltigen Energiewirtschaft. Diese wird – wie wir im 2. Kapitel erläutern – mit einer 100 %-Versorgung mit EE gleichgesetzt. Das heißt, weite Teile der nicht-energiebedingten THG-Emissionen der Industrie, der Landwirtschaft u.a. werden nicht behandelt. Dabei wollen wir uns auf die nächsten Jahrzehnte beschränken, da sich nach den Erkenntnissen der Zukunftsforschung keine detaillierten Aussagen bezüglich der Entwicklung von Technik, Wirtschaft und Gesellschaft über einen längeren Zeitraum treffen lassen (Popp, Schüll 2009).

Die Skizzierung der Energietechniken muss sich auf das Wesentliche beschränken. Diese Vorgehensweise oder Eingrenzung lässt den Experten aus den jeweiligen Gebieten sicherlich eine Fülle von Details schmerzlich vermissen, aber das Ziel dieses Buches kann nicht die Vermittlung von ingenieurs- und rechtswissenschaftlichem Detailwissen sein. Die notwendigen Abgrenzungen werden am Beginn der jeweiligen Kapitel vorgenommen.

Obgleich für die Verhinderung der Klimaerwärmung über das 2°C-Ziel unverzichtbar, muss in dem vorliegenden Buch eine Reihe von Handlungsfeldern unberücksichtigt bleiben, weil sie den Rahmen des Buches gesprengt hätten. Hierzu gehören u.a. der Mobilitätssektor, die nachhaltige Produktgestaltung von Konsumgütern und die Managementsysteme von Unternehmen zur Durchführung von Effizienzstrategien. Auch die für eine nachhaltige Energiepolitik unverzichtbare Suffizienzstrategie steht nicht im Fokus des vorliegenden Buches.

Schließlich werden zwar alle Akteursebenen behandelt, gleichwohl aber immer wieder Beispiele aus dem deutschsprachigen Raum angeführt.



# **ABSCHNITT I:**

## **GRUNDLAGEN**

Im Abschnitt I geht es um die Vermittlung der energiepolitischen Grundlagen. Hierfür skizzieren wir im 1. Kapitel die Bedeutung von Energie in der Geschichte, erläutern einige Grundbegriffe und behandeln die zentralen Probleme, die durch die heutige Art der Energienutzung global entstehen. Im 2. Kapitel beschäftigen wir uns mit den Zielen, Kriterien und Managementregeln einer nachhaltigen Energiepolitik, weiterhin setzen wir uns mit den möglichen Alternativen auseinander.



# 1. Problemaufriss<sup>1</sup>

## 1.1 Bedeutung von Energie in der Geschichte

Der technische Stand von Gesellschaften wurde immer auch durch die vorhandenen Energieumwandlungstechniken charakterisiert. Die Umwandlung von Primärenergie in End- und Nutzenergie basierte bis vor 250 Jahren fast ausschließlich auf erneuerbaren Energien (künftig mit EE abgekürzt). Die Verfeuerung von Holz und anderen an der Oberfläche sammel- und brennbarer *Naturmaterialien* begann in der *Frühgeschichte* vor etwa 700.000 Jahren, in Form von offenen Feuerstellen zur Wärmegegewinnung, Essenszubereitung und Abschreckung von Tieren. Im *Altertum* traten weitere EE (Öle und Fette) hinzu. Der Wirkungsgrad dieser Formen der Energieumwandlung war außerordentlich schlecht. Dennoch blieben die Umweltbelastungen aufgrund der niedrigen Bevölkerungszahl und des geringen Materialeinsatzes überschaubar. Allerdings sind lokale Abholzungen schon aus dem alten China, Persien und dem Mittelmeerraum bekannt. Sie beruhten aber meist nicht auf der Übernutzung der Wälder zur Energiegewinnung, sondern weil Holz neben Steinen das wichtigste Baumaterial für den Gebäude- und Schiffsbau war. Im *Mittelalter* nahm die Ressourcennutzung, aufgrund des wirtschaftlichen Zusammenbruchs nach Ende des weströmischen Reiches, zunächst ab.

In der beginnenden *Neuzeit* nahm die Nutzung natürlicher Ressourcen stark zu (vor allem in England, Deutschland sowie auf kolonialiserten tropischen Inseln). Quaschnig (2013: 15) geht davon aus, dass die Verschiebung des wirtschaftlichen und politischen Machtpotentials von Süd- nach Nordeuropa auch mit dem Holzmangel im Mittelmeerraum und dem Holzreichtum nördlich der Alpen zu tun hat. Bis Ende des 18. Jh. blieben die EE die wichtigste Energiequelle (vgl. Kap. 4).

Mit dem Beginn der *Industriellen Revolution* wurde *Kohle* in den Industriestaaten der wichtigste Energieträger. Die technische und wirtschaftliche Fähigkeit, verschiedene Formen von Energie zielgerichtet nutzen zu können, kann als einer der wichtigsten Faktoren für die schnelle Entwicklung hin zur 250 Jahre währenden globalen Vormachtstellung Europas und Nordamerikas angesehen werden.

Seit Ende der *1950er Jahre* wurde Kohle als wichtigster Energieträger vom *Erdöl* verdrängt. Hinzu trat *Erdgas* als vergleichsweise umweltfreundlicher

<sup>1</sup> Dieses Kapitel basiert auf der Veröffentlichung Rogall 2012, Kap. 10.1 und Kap. 11.1, und Rogall, Klausen, Haberland (2013) in Rogall u.a. (2013).

Energieträger. Seit den *1960er Jahren* wurde auch die *Kernenergie* genutzt, die aber nur etwa zwei Prozent des globalen Endenergieverbrauchs deckt (Mez 2012: 52). Heute basieren fast alle Handlungen, die wir mit dem modernen Leben verbinden, wie bspw. die Nutzung von Computern oder Zentralheizungen, auf der Erzeugung und Übertragung von Strom oder Motoren, Techniken, die Menschen noch nicht einmal 150 Jahre nutzen können (der elektrische Generator wurde von Werner von Siemens 1882 entwickelt). So steht die Menschheit vor folgendem Dilemma: ohne Energie kein modernes Leben (FES 2014/05: 3), aber die Nutzung atomarer und fossiler Energien bringt unvermeidbare Gefahren mit sich (detailliert nächstes Unterkapitel).

## 1.2 Grundbegriffe der Energiewirtschaft

Die Energiewirtschaft und -politik weisen eine Reihe von Begriffen und Zusammenhängen auf, die die Energieexperten als bekannt voraussetzen, die für viele interessierte Laien zunächst jedoch unbekannt sind. Im anschließenden grauen Kasten werden die wichtigsten physikalischen Grundbegriffe kurz erläutert.

*Energie:* E. ist die Fähigkeit einen Zustand zu verändern (Wärmeenergie erwärmt einen kalten Raum, Strom bringt einen E-Motor zum Arbeiten). E. wird meist in den Einheiten Joule oder Wattsekunde angegeben ( $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$ ). Wir unterscheiden folgende Energieformen:

- (1) *mechanische E.* (potentielle und kinetische, d.h. die Fähigkeit, aufgrund seiner Lage oder Bewegung mechanische Arbeit zu leisten);
- (2) *thermische E.* (Prozesswärme: Hochtemperaturwärme für die Industrie, Niedrigtemperaturwärme: Warmwasser, Raumwärme);
- (3) *elektrische E.* (*Strom* für Motoren, Licht, elektrische Geräte);
- (4) *chemische E.* (in chem. Verbindungen gespeicherte E.);
- (5) *Strahlungsenergie* (der Sonne);
- (6) *Kernenergie* (Kernspaltung und Kernfusion).

*Leistung:* Die L. gibt an, wieviel Energie ein Gerät oder eine Anlage in der kleinsten Zeiteinheit (Sekunde) maximal umwandeln kann (angegeben in Watt, z.B. hat ein Windkraftwerk oder ein BHKW eine Leistung von 3 MW). Die L. beinhaltet also keine Energiemenge.

*Energiemenge:* Die E. gibt an, wieviel Energie in einer Zeiteinheit (meistens einer Stunde) erzeugt oder verbraucht wird (Produkt aus Leistung und Zeit). Bei der Strommenge wird von *Arbeit* gesprochen. Ein Nutzer (Unternehmen, Haushalt) verbraucht also keine Leistung, sondern eine Energiemenge oder Arbeit (z.B. 1.000 kWh).

Die *Strommenge* (Arbeit) wird meist als Wattstunde (Wh) angegeben. So wandelt z. B. eine Glühlampe mit einer Leistung von 20 W innerhalb einer Sekunde

20 Ws, innerhalb einer Stunde 20 Wh und nach 100 Stunden 2.000 Wh (oder 2 kWh). Dieser Zusammenhang gilt auch bei der Stromerzeugung: Wenn eine Stromerzeugungsanlage (z. B. ein Windkraftwerk) mit der Nennleistung von 5 MW für eine Stunde unter optimalen Bedingungen (viel Wind) betrieben wird, sind nach einer Stunde 5 MWh Strom (oder 5.000 kWh) „erzeugt“ worden.

*Energie nach Umwandlungsgrad*, wir unterscheiden (Förstner 2011):

- (1) *Primärenergieträger*: P. sind alle Energieträger, wie sie in der Natur vorkommen und noch keiner technischen Umwandlung unterworfen wurden (Kohle, Erdöl, Erdgas, Uran, Windkraft, Solarstrahlung). Der *Primärenergieverbrauch* wird mit PEV abgekürzt.
- (2) *Sekundärenergie*: S. ist die Energie, die nach Umwandlungsprozessen von Primärenergie in nutzbare Energieträger übrig bleibt (z. B. Koks, Heizöl, Strom, Fernwärme, Benzin).
- (3) *Endenergie*: E. ist die Energie, die der Endverbraucher nach ein oder mehreren Umwandlungen in technischen Anlagen zur Nutzung erhält (z. B. Heizöl im Tank, Fernwärme an der Hausübergangsstation, Strom, Benzin).
- (4) *Nutzenergie*: N. ist die Energiemenge, die der Endverbraucher nach allen Umwandlungsverlusten als Energiedienstleistung erhält (z. B. Raumwärme).

*Größenordnungen*: Ein Joule (meistens für Wärme angegeben) oder eine Wattsekunde (meistens für Strom angegeben) sind die im Wärme- und Stromsektor meistens benutzten Energieeinheiten. Da Industriegesellschaften sehr große Mengen an Energie umwandeln (umgangssprachlich verbrauchen), aber niemand gerne mit Zahlen arbeitet, die sehr viele Ziffern umfassen, wird vor die Energieeinheit die Größenordnung des Energieverbrauchs (jeweils in Tausender-Schritten) angegeben. So sind 1.000 Watt ein Kilowatt (kW), eine Mio. Watt ein Megawatt (MW), eine Mrd. Watt ein Gigawatt (GW), eine Billionen Watt ein Terrawatt (TW). Wir werden diese Werte im Buch sehr oft verwenden. Daher empfiehlt es sich, ein paar Größenordnungen präsent zu haben, z. B. verbraucht Deutschland jährlich etwa 600 TWh Strom, ein 4-Personen-Haushalt ca. 4.000 kWh.

*Erster Hauptsatz der Thermodynamik*: Energie kann in einem abgeschlossenen System nicht erzeugt oder verbraucht, sondern nur umgewandelt werden. Wir verwenden trotzdem die in der Umgangssprache gebräuchlichen Begriffe Erzeugung und Verbrauch.

*Zweiter Hauptsatz* (im Kern): Energie fließt immer vom energetisch höheren zum energetisch niedrigeren Zustand, d.h. Wärme fließt immer von einem Körper hoher Temperatur zu einem Körper geringerer Temperatur und nie umgekehrt (dort findet sie zu einem neuen Gleichgewicht bzw. Durchschnittstemperatur). So wird ein warmer Raum seine Wärmeenergie stets an die kühlere Außenluft abgeben (und diese dabei geringfügig erwärmen). Kalte Luft kann also nicht von außen eindringen. Anders ausgedrückt heißt das auch, dass von Energie in einem hochkonzentrierten Niveau (z. B. chemisch gebunden in Form von Kohle) nach mehreren Umwandlungsprozessen am Ende neben der ge-

wünschten Energieform (bei Kohle i.d.R. Strom und/oder Wärme) immer nicht mehr nutzbare Abwärme übrig bleibt. Die Abnahme der Arbeitsfähigkeit eines Systems wird durch die Zustandsgröße Entropie beschrieben (bei abnehmender Arbeitsfähigkeit steigt die Entropie).

*Unterschiede in der Berechnung von Primär- und Endenergie:* Wird der fossile und atomare Primärenergieverbrauch angegeben, wird der theoretische Energiegehalt dieser Energieträger errechnet. Z. B. wird aufgrund des Wirkungsgrades von Atomkraftwerken 1 kWh Atomstrom Sekundärenergie mit 3 kWh Primärenergie angegeben. Bei Sonnen- und Windenergie wird aber nicht die potentielle Energie von Sonne und Wind als Primärenergieverbrauch angegeben, sondern die Endenergie dieser EE wird gleich dem PEV gesetzt, sodass der Anteil der EE am PEV immer perspektivisch verkleinert erscheint. Das BMU gab früher meistens den EE-Anteil vom Endenergieverbrauch (2012: 12,7 %), das BMWi meistens den EE-Anteil vom PEV an (2012: 11 %).

*Fossile Energieträger.* F. E. sind Materialien aus Biomasse, die in sehr langen Zeiträumen aus tierischen oder pflanzlichen Überresten entstanden sind. Aufgrund der langen Zeit, die ihre Erzeugung in Anspruch nimmt, gelten sie als nicht-erneuerbar. Chemisch gesehen sind sie organische Kohlenstoffverbindungen, bei deren Verbrennung (Oxidation) thermische Energie frei gesetzt wird. Wir unterscheiden zwischen:

- (1) *Kohle:* Braun- und Steinkohle sind Energieträger, von denen relativ große Mengen existieren, die aber aufgrund ihrer sehr hohen Treibhausgas-Emission (THG-Emissionen) bei der Verbrennung langfristig nicht von der Menschheit genutzt werden dürfen.
- (2) *Erdöl:* Ein sehr kostbarer Energieträger und Rohstoff (für die heutigen Kunststoffe), der mittelhohe THG-Emissionen aufweist. Aufgrund dieser Eigenschaften sehen einige Wissenschaftler die Zukunft dieses Rohstoffs nicht mehr als Brennstoff zur Strom- und Wärmeproduktion sowie als Kraftstoff, sondern nur noch zur Herstellung von Kunststoffen. Da die heutige Mobilität aber zum allergrößten Anteil (>90 %) von Mineralölprodukten abhängt und das Finden von Alternativen hier besonders schwierig ist, dürfte die Transformation zu einer 100 %-EE-Versorgung in diesem Sektor schwieriger als in der Stromversorgung werden.
- (3) *Erdgas:* E. ist ein relativ kohlenstoff- und emissionsarmer Brennstoff, der in KWK-betriebenen GuD-Kraftwerken oder BHKW eingesetzt, auf sehr hohe Wirkungsgrade kommt. Es bleibt aber ein fossiler Energieträger und damit in der Fördermenge endlich. Die erwähnten Anlagen können daher als gute Brückentechniken ins „Solarzeitalter“ angesehen werden (Schüwer u.a. 2010/08). Werden sie zunehmend mit Biogas oder Wasserstoff/Methan betrieben, können sie auch langfristig betrieben werden.
- (4) *Sonstige:* Zu den sonstigen fossilen Energieträgern gehört der energetisch relativ unwichtige Torf.