

# Energie – das Problem und die Wende





Edition  
Harri   
Deutsch 

# **Energie – das Problem und die Wende in Physik, Technik und Umwelt**

von

**Klaus Stierstadt**

unter Mitwirkung von Günther Fischer

I. Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsseldorf, Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 57808

## Der Autor

Prof. Dr. Dr. h.c. Klaus Stierstadt war Professor für Experimentalphysik an der Ludwig-Maximilians-Universität München und zudem lange Jahre in der Lehrerfortbildung tätig.

1. Auflage 2015

Druck 5 4 3 2 1

ISBN 978-3-8085-5780-8

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

Der Inhalt des Werkes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autor und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

© 2015 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG,  
42781 Haan-Gruiten

<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Birgit Cirksena · Satzfein, 13158 Berlin

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald  
unter Verwendung einer Zeichnung vom Zeichenbüro des  
Verlages Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern

Druck: Medienhaus Plump GmbH, 53619 Rheinbreitbach

# Inhalt

Vorwort .....	7
<b>Kapitel 1 Das Energieproblem .....</b>	<b>11</b>
1.1 Energiewende und Energieformen .....	11
Was ist Energie? .....	12
Erscheinungsformen der Energie und ihre Umwandlung .....	13
Energieerhaltung .....	15
Energie-Einheiten .....	15
Das Energieproblem .....	16
1.2 Energiebedarf .....	17
1.3 Energievorräte .....	23
1.4 Treibhauseffekt und Klimawandel .....	25
1.5 Atommüll .....	31
1.6 Noch nicht realisierbare Methoden der Energieumwandlung ..	35
Kernfusion .....	35
Brutreaktor .....	36
Methanhydrat .....	38
Zusammenfassung .....	39
<b>Kapitel 2 Die Sonnenenergie .....</b>	<b>41</b>
2.1 Die Sonne .....	41
2.2 Umwandlung der Sonnenenergie .....	46
2.3 Potenziale der Sonnenenergie .....	48
2.4 Flächenbedarf der Sonnenenergie .....	50
Zusammenfassung .....	52
<b>Kapitel 3 Thermodynamik, die Physik der Wärme .....</b>	<b>53</b>
3.1 Temperatur und Wärme .....	54
3.2 Erster Hauptsatz der Thermodynamik .....	56
3.3 Die Temperatur näher betrachtet .....	60
3.4 Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik .....	61
3.5 Die Entropie näher betrachtet .....	64
3.6 Historisches zur Thermodynamik .....	70
Zusammenfassung .....	72

---

<b>Kapitel 4 Technische Energiewandler</b> . . . . .	<b>73</b>
4.1 Wirkungsgrad der Energiewandler . . . . .	73
4.2 Motoren und Turbinen . . . . .	77
Verbrennungsmotoren . . . . .	77
Turbinen . . . . .	84
4.3 Direktumwandlung von Sonnenenergie . . . . .	98
Solarkollektoren . . . . .	98
Sonnenkraftwerke . . . . .	100
Solarzellen und Photovoltaik . . . . .	106
4.4 Indirekte Umwandlung von Sonnenenergie . . . . .	110
Windkraftwerke . . . . .	110
Flusskraftwerke . . . . .	116
Wellenkraftwerke . . . . .	117
Meeresströmungs-Kraftwerke . . . . .	120
Meereswärme-Kraftwerke . . . . .	121
Wasserstoff und Brennstoffzellen . . . . .	122
4.5 Raumklimatisierung . . . . .	130
4.6 Erdwärme und Gezeiten . . . . .	137
Zusammenfassung . . . . .	143
<b>Kapitel 5 Zusammenfassende Beurteilung von Umwandlung, Transport und Speicherung von Energie</b> . . . . .	<b>145</b>
5.1 Wirkungsgrade, Potenziale und Bewertung . . . . .	145
5.2 Speicherung und Transport von Energie . . . . .	153
Zusammenfassung . . . . .	160
<b>Kapitel 6 Energieumwandlung in der belebten Natur</b> . . . . .	<b>161</b>
6.1 Photosynthese . . . . .	163
6.2 Muskelkraft und Muskelarbeit . . . . .	168
Zusammenfassung . . . . .	173
<b>Nachwort</b> . . . . .	<b>175</b>
<b>Zum Weiterlesen</b> . . . . .	<b>176</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .	<b>177</b>

## Vorwort

Das Schlagwort **Energiewende** ist in aller Munde. Der Bürger hat aber oft keine rechte Vorstellung, was Energiewende überhaupt bedeutet und was da auf ihn zukommt. Er weiß nur soviel: Die Devise heißt »weg von den alten Energieträgern« (Kohle, Öl, Gas, Atomkernenergie) und »hin zu den neuen, alternativen« (Sonne, Wind, Wasser, Erdwärme, Gezeiten). Für die alternativen Energien hat sich die Bezeichnung »erneuerbar« eingebürgert. Das ist jedoch irreführend, denn weder die Sonne noch Wind und Wellen sind erneuerbar. Das richtige Wort dafür ist **alternativ** oder auch **nachhaltig**.

Fragt man Fachleute, was wir von der Energiewende zu erwarten haben, so bekommt man sehr verschiedene Antworten. Unter den Fachleuten gibt es Atomkraftgegner und -befürworter, Windkraftgegner und -befürworter, Naturschützer, Stromproduzenten, Stromverbraucher, Kohleabbaugegner und -befürworter usw. Je nachdem, mit wem man spricht, kann die Expertenmeinung ganz verschieden ausfallen. Die Energiewende wird teils in den Himmel gelobt, teils verteufelt. Der Laie aber wundert sich, ist verwirrt und weiß nicht, was er glauben soll.

So gibt es zum Beispiel **Energieoptimisten**, die uns sagen, es gäbe noch für lange Zeit genug Erdöl, Kohle und Uran, um die Menschheit ausreichend damit zu versorgen. Die Kernenergie sei sauber und umweltfreundlich und müsse gefördert werden. Dann gibt es die **Energiepessimisten**. Sie versichern uns, dass Erdöl und Gas schon innerhalb einer Generation zu Ende gehen werden. Und sie sagen uns, die Kernenergie sei ein Teufelszeug, das nur die Verbreitung von Atomwaffen begünstigt und das lebensgefährliche Abfälle in großen Mengen produziert (womit sie nicht ganz Unrecht haben). Schließlich gibt es die **Energierealisten**. Sie erklären uns, dass die fossilen Brennstoffe zwar bald aufgebraucht sein werden. Es werden aber immer wieder neue Vorkommen entdeckt, deren Gewinnung allerdings ständig teurer wird, weil sie immer schwerer zugänglich sind: in der Tiefsee, in der Arktis und in der Antarktis. Die Kernenergie sei dagegen schon jetzt zu teuer, wenn man

Entwicklungs- und Entsorgungskosten einbezieht. Daher sollten wir rechtzeitig die Gewinnung von Sonnenenergie betreiben in ihren vielfältigen Erscheinungsformen als Licht, Wärme, Wind, Wasserkraft usw. Denn von der Sonne können wir zehntausendmal soviel Energie beziehen, wie wir brauchen. Im Jahr 2013 haben wir in Deutschland bereits 23,6 Prozent des gesamten Strombedarfs aus alternativen Energiequellen gewonnen.

Die Fachleute vermitteln uns also drei ganz verschiedene Meinungsbilder. Um diesem Dilemma zu entkommen, bedarf es sachlicher und unvoreingenommener Information über das Für und Wider der verschiedenen Aspekte der Energiewende. Und solche Information kann man nur erhalten, wenn man weiß, was Energie eigentlich ist, wodurch sich ihre verschiedenen Erscheinungsformen unterscheiden, wie diese ineinander umgewandelt werden können und welche Grenzen die Natur und ihre Gesetze hierfür festlegen. Das alles kann man in diesem Buch finden.

Es beginnt mit einem Kapitel über die Eigenschaften der Energie, ihre Erscheinungsformen als Licht, Wärme, Bewegung, Elektrizität usw. Hier werden die Umwandlungsmöglichkeiten dieser Energieformen beschrieben, ferner unser Bedarf und unsere Vorräte an energieliefernden Rohstoffen. Dabei kommen auch die negativen Aspekte der heutigen Energietechnik zur Sprache, der Klimawandel und der Atom Müll.

Im zweiten Kapitel machen wir uns mit der Sonne näher vertraut. Wir besprechen Art und Menge der Energie, die wir von ihr erhalten können. Die Sonnenenergie ist nach Meinung vieler Experten unser einziger Ausweg aus der Energiekrise. Der Flächenbedarf zu ihrer Nutzung ist recht bescheiden, etwa 1 Prozent der Festlandsfläche.

Bevor wir die verschiedenen Energieformen und ihre Umwandlungsmöglichkeiten im Einzelnen besprechen, müssen wir einen Ausflug in die Physik machen. Wir erfahren im dritten Kapitel, was die in der Energietechnik ständig benutzten Begriffe Temperatur, Wärme und Entropie bedeuten. Wenn wir das verstanden haben, dann wissen wir mehr als die triviale Feststellung: »Wenn man Wärme zuführt, dann steigt die Temperatur«. Wir wissen dann nämlich, warum sie steigt. Also keine Angst vor den Formeln! Sie geben nur all jenen, die Muße und Zeit aufwenden wollen, die Gelegenheit, das Gelesene nachzurechnen.



Den Argumenten kann man auch folgen, wenn man die Formeln einfach überliest.

Das vierte Kapitel bildet den Hauptteil des Buches. Hier werden die wichtigsten Methoden und Geräte zur Umwandlung der verschiedenen Energieformen ineinander besprochen. Das reicht von Windmühlen und Wasserrädern bis hin zu den modernen Automotoren und Solarzellen, zum Kühlschranks und zum Düsentriebwerk. Hier werden nicht nur die Funktionen der einzelnen Energiewandler erklärt, sondern vor allem auch ihr jeweiliger Wirkungsgrad, das heißt, ihr praktischer Nutzen. Auch werden die Beschränkungen besprochen, die der Energieumwandlung von den Naturgesetzen auferlegt sind.

Nachdem wir die modernen Energieumwandlungs-Methoden kennengelernt haben, vergleichen wir sie im fünften Kapitel hinsichtlich ihrer Wirkungsgrade sowie ihrer ökonomischen und ökologischen Vor- und Nachteile. Außerdem besprechen wir hier die verschiedenen Möglichkeiten für das Speichern und den Transport von Energie.

Im sechsten Kapitel behandeln wir die Energieumwandlung in Lebewesen. Hier betrachten wir die beiden wichtigsten Methoden, welche die Natur dafür entwickelt hat, die Photosynthese in den Pflanzen und die Muskelbewegung der Tiere. Diese Prozesse gehören zwar bis heute noch nicht zu unserem eigentlichen Thema, der Energiewende. Wir widmen ihnen trotzdem ein Kapitel, weil sie uns vermitteln, »wie die Natur es macht«, und weil wir heute versuchen, das technisch nachzuvollziehen. Wir werden sehen, dass die Energiewandler in der belebten Natur einen ganz anderen Aufbau haben als diejenigen der Technik. Während letztere aus mechanisch oder elektrisch konstruierten makroskopischen Geräten bestehen, handelt es sich bei den natürlichen Wandlern um chemische Prozessketten. Die »Geräte« sind hier molekulare Maschinen, mikroskopische Gebilde von Nanometer bis Mikrometer Größe.

**Resümee:** Wer dies alles gelesen und größtenteils verstanden hat, der kann beruhigt in jede Diskussion mit Fachleuten gehen. Weder die Energieoptimisten noch die Energiepessimisten können ihm dann noch etwas vormachen. Der Autor will sich den Energierealistern zuordnen, was in diesem Buch zum Ausdruck kommen wird.

**Noch ein Wort zum Buch:** Es enthält viele Zahlen. Sie entstammen Hunderten verschiedener Quellen. Dabei findet man große Abweichungen voneinander. Das hat zwei Gründe, einen sachlichen und einen unsachlichen. Der sachliche beruht auf der Notwendigkeit von Annahmen und Schätzungen für viele Angaben, vor allem für großräumige und weltweite Mittelwerte. Der unsachliche beruht auf der teilweisen Voreingenommenheit von Experten, deren Zahlen dann manchmal entsprechend frisiert sind. Ich habe mich bemüht, die zuverlässigsten Zahlen herauszusuchen, die ich finden konnte. Beim Vergleich mit den Quellen wird man aber Abweichungen von bis zu 30 Prozent und mehr für manche Werte finden. Das liegt in der Natur der Sache.

**Mein Dank:** Günther Fischer hat diesem Buch in jeder Phase seiner Entstehung mit wertvollen Ideen zur Vollendung verholfen. Bernd Schöne hat den gesamten Text gelesen und mit konstruktiver Kritik zu seiner Verbesserung beigetragen. Hermann Gaub hat besonders das Kapitel über die biologischen Energiewandler begutachtet und mir wertvolle Einsichten in die biologischen Vorgänge vermittelt. Jochen Bard und Michael Specht haben bei der Beschaffung von Abbildungen geholfen, Matthias Tischler bei der EDV. Klaus Horn vom Verlag hat den gesamten Text kritisch durchgesehen und mit zahlreichen Verbesserungsvorschlägen für eine gute Lesbarkeit gesorgt. Ihnen allen sei herzlich gedankt.

Klaus Stierstadt

**Fragen, Kommentare und Anregungen senden Sie bitte an:**

Autoren und Verlag Europa-Lehrmittel  
Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsselberger Straße 23  
42781 Haan-Gruiten  
lektorat@europa-lehrmittel.de  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

# Kapitel I

## Das Energieproblem

Nutzbare Energie gibt es weltweit zu wenig und sie ist für viele Menschen zu teuer. Um diese »Energiekrise« zu meistern, vollziehen einige Länder eine Energiewende: Weg von den heute genutzten Energiequellen und hin zur Sonne, das heißt zur Sonnenenergie in all ihren Erscheinungsformen. Die Verantwortlichen reden zumindest darüber. Damit wir mitreden können, liefert das erste Kapitel Antworten auf einige grundlegende Fragen: Was ist Energie überhaupt? In welcher Form kann sie auftreten und welche Möglichkeiten gibt es, diese Energieformen ineinander umzuwandeln? Wie hoch ist der Energiebedarf heute und wie wird er sich bis zur Mitte des Jahrhunderts aufgrund des Bevölkerungswachstums entwickeln? Wie wirkt sich der steigende Pro-Kopf-Bedarf der Menschen in den Entwicklungs- und Schwellenländern aus? Wie lange reichen die gesicherten Vorräte des Reaktorbrennstoffs Uran und der fossilen Brennstoffe Kohle, Öl und Gas noch? Lassen sich in Zukunft durch neue Methoden – Stichwort Fracking – noch weniger ergiebige Quellen ausbeuten? Wie wirkt sich das bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehende Kohlendioxid auf das Klima aus? Was machen wir mit den in den Kernkraftwerken anfallenden radioaktiven Abfällen, dem »Atommüll«? Könnten Methoden der Energieumwandlung, die heute noch im Versuchsstadium sind, wie zum Beispiel die kontrollierte Kernfusion, das Energieproblem lösen?

### I.1 Energiewende und Energieformen

Die **Energiewende** ist zu einem politischen Schlagwort geworden, nicht nur bei uns, sondern weltweit. Warum ist das so und was versteht man darunter? Wie einleitend schon gesagt, bedeutet Wende eine Umkehr: Bisher haben wir unsere Energie hauptsächlich aus Kohle, Erdöl und Erdgas bezogen. Das soll anders werden, und wir werden in Zukunft

stattdessen die Sonne, den Wind und das Wasser nutzen, um unseren Energiehunger zu stillen – ergänzt noch durch etwas Erdwärme.

Die Energiewende ist aus drei Gründen notwendig. Erstens: Die Vorräte aus fossilen Energiequellen, Kohle, Öl und Erdgas, gehen allmählich zu Ende. Zweitens: Der Klimawandel, verursacht durch das Verbrennen dieser Vorräte, führt zur Erwärmung unserer Umwelt und als Folge davon zu Klimaverschiebungen, zu einem Anstieg des Meeresspiegels und zum Verlust von Lebensraum. Der dritte Grund liegt in den Gefahren, die von der Kernenergienutzung ausgehen. Das sind Reaktorunfälle und die ungelöste Entsorgungsfrage für radioaktive Abfälle. Um diesen Gefahren aus dem Weg zu gehen, wäre es notwendig, bei der Energiegewinnung von den fossilen Brennstoffen und vom Uran wegzukommen und stattdessen die Sonnenenergie in all ihren Erscheinungsformen zu nutzen, als Strahlung, Wind, Wasserkraft usw.

Allerdings ist eine solche Wende politisch schwer durchsetzbar. Mächtige finanzielle Interessen stehen dem entgegen. Man denke an die Gewinne der Ölindustrie, der Kernindustrie und der großen internationalen Energiekonzerne. Oder man denke an den schon beschlossenen, dann wieder aufgehobenen und dann erneut beschlossenen Atomausstieg in Deutschland. Auch in Japan herrscht nach der Fukushima-Katastrophe große Unsicherheit bezüglich der Zukunft der Energieversorgung. Die Regierung möchte die Kernenergie weiter nutzen, die Bevölkerung ist dagegen.

## **Was ist Energie?**

Bevor wir das Problem weiter diskutieren, sollten wir zunächst wissen, was Energie eigentlich ist. Jeder von uns hat eine bestimmte Vorstellung davon, doch wenn man danach fragt, dann tun sich selbst Experten, Physiker und Ingenieure, schwer, die Energie zu erklären. Das ist kein Wunder, denn **Energie** kommt in einer großen Zahl verschiedener **Erscheinungsformen** vor: Wärmeenergie, Lichtenergie, mechanische, elektrische und chemische Energie, Kernenergie, Sonnenenergie usw. Eine der einfachsten Definitionen für die Energie kennen wir aus der Schule: »Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu leisten«. So ist zum

Beispiel Muskelenergie die Fähigkeit, ein Gewicht zu heben. Eine andere Definition wäre: »Energie ist alles, was in Wärme verwandelt werden kann«; zum Beispiel Elektrizität im Heizofen, Benzin im Automotor, Kernenergie im Reaktor. Befriedigend ist dies alles nicht, denn es wird keine der Energie innewohnende Eigenschaft als allgemein verbindliches Kennzeichen genannt. Aber so ein Kennzeichen gibt es eben nicht, wie schon der große Physiklehrer Richard Feynman (1918–1988) erklärt hat. Wir müssen uns also damit begnügen, die Energie durch die Fülle ihrer Erscheinungsformen zu charakterisieren (s. Abb. 1.1). Die Natur tut uns nicht den Gefallen, unserem Erklärungsbedürfnis auf bequemere Weise entgegen zu kommen.

## Erscheinungsformen der Energie und ihre Umwandlung

Nachdem wir nun wissen, was Energie ist, wollen wir ihre Erscheinungsformen näher kennenlernen. Dazu betrachten wir die Abbildung 1.1. In der obersten Reihe stehen die **primären Energieformen**. Das sind die »Quellen«, aus denen alle anderen in Natur und Technik vorkommenden Erscheinungsformen abgeleitet sind bzw. aus denen diese entstehen können. In den einfach rechteckig umrahmten Feldern stehen die wichtigsten **sekundären Energieformen**. Und in den ovalen Feldern stehen die wichtigsten **Energiewandler**, mit denen eine Energieform in eine andere transformiert werden kann. Die Energieumwandlung in Lebewesen geschieht, abgesehen von den beiden in der Abbildung skizzierten Prozessen Photosynthese und Muskeln, mittels einer Fülle enzymatisch geregelter Redoxvorgänge im Inneren der organischen Zellen. In Abbildung 1.1 erkennen wir schon die zentrale Rolle, welche die Wärme bei der Energieumwandlung spielt. (In der Physik spricht man bei der Wärme oft von thermischer Energie.) Sie ist das Bindeglied zwischen den Primärenergien und den beiden sekundären Formen, Bewegung und Elektrizität. Sie ist auch, wie der Name sagt, die zentrale Größe der Thermodynamik, wie wir im Kapitel 3 sehen werden. In der Abbildung 1.1 gehören die häufig genannten fossilen Energien Kohle, Erdöl und Erdgas zur chemischen Energie, die sich aus der Sonnenenergie entwickelt hat. Schon hier sei gesagt, dass man viele Energieformen voll-

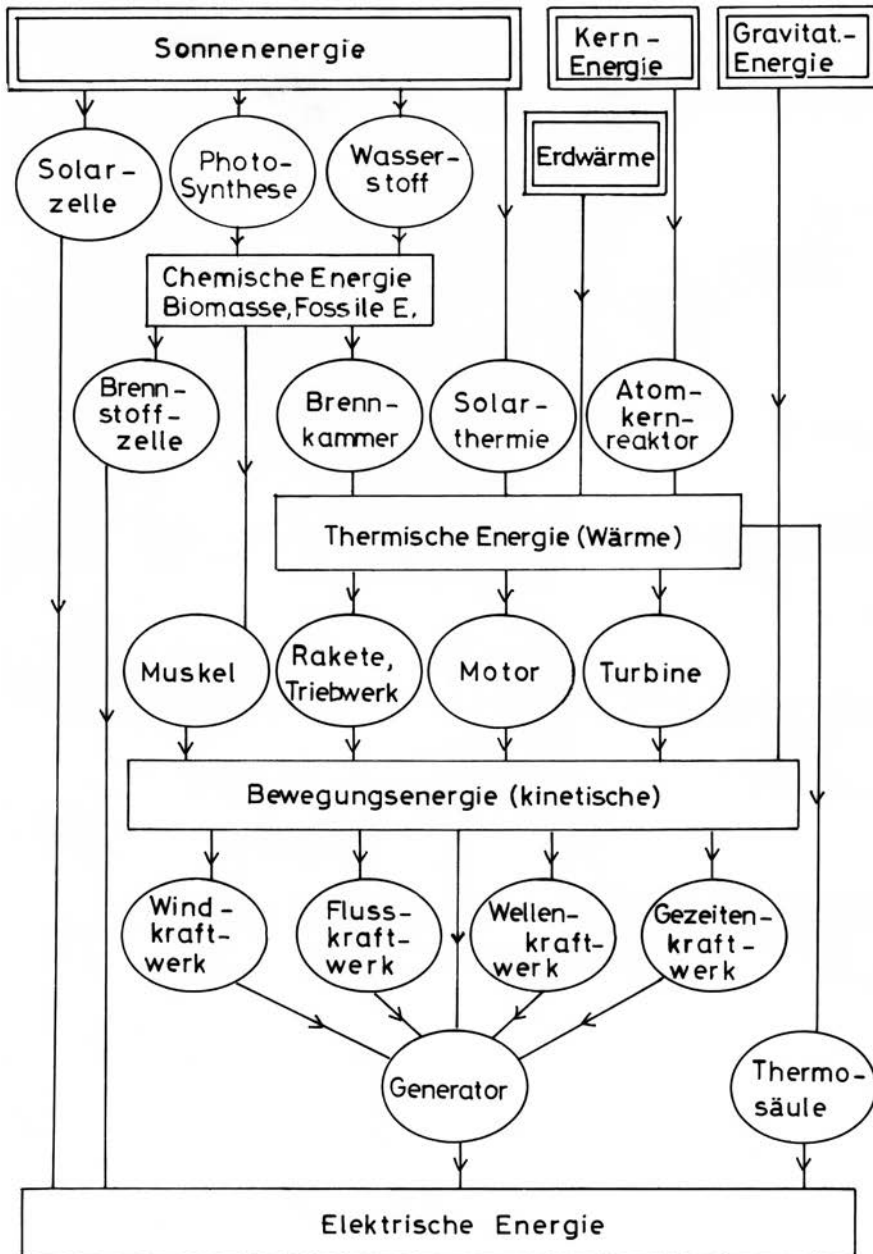


Abb. 1.1 Energieformen (im Rechteck) und Energiewandler (im Oval). Die primären Energiequellen sind doppelt eingerahmt. Hier sind nur die Umwandlungen von oben nach unten dargestellt.

ständig ineinander umwandeln kann. Das gilt aber nicht für die Wärme. Sie lässt sich nicht vollständig in andere Formen transformieren und das ist für die Technik der Energiewandler sehr wichtig. In der Abbildung 1.1 sind der Übersichtlichkeit halber nur die Umwandlungen von oben nach unten dargestellt, von den Primärenergien zu den Nutzenergien. In vielen Fällen gibt es aber auch das Umgekehrte, zum Beispiel beim Elektromotor die Umwandlung von elektrischer in Bewegungsenergie, bei der Elektroheizung von elektrischer in thermische Energie usw.

## Energieerhaltung

Wir müssen hier zunächst eine ganz wichtige Eigenschaft der Energie ansprechen: *Energie kann man weder erzeugen noch vernichten*. Das ist der **Energieerhaltungssatz** der Physik. Man kann Energie immer nur von einer ihrer Erscheinungsformen in eine andere umwandeln. Die Menge der Energie bleibt dabei immer dieselbe. Das ist ähnlich wie beim Geld; man kann dieselbe Menge in Münzen oder in Scheinen haben oder in Forderungen oder in Guthaben. Selbst wenn ich das Geld nicht mehr selbst besitze, ist es nicht weg, sondern es gehört eben jemand anderem. Der Ausdruck »Energieverbrauch« ist also falsch. Energie wird nicht *verbraucht*, sondern immer nur *gebraucht*, nämlich zum Beispiel als elektrische Energie oder als Bewegungsenergie. Bei diesem Gebrauch entsteht dann eine äquivalente Menge anderer Energieformen, Licht oder Wärme oder mechanische Energie.

## Energie-Einheiten

Um mit Energie umgehen zu können, müssen wir sie quantifizieren; wir brauchen ein Maß dafür. Energie wird heute allgemein in **Joule** gemessen (abgekürzt J), benannt nach James P. Joule (1818–1889). Um eine Vorstellung von der Größenordnung von Energiemengen zu bekommen, betrachten wir ein paar Beispiele: Machen wir eine Kniebeuge, so brauchen wir dafür ca. 100 Joule. Diese werden in unseren Muskeln von chemischer Energie in Bewegungsenergie umgewandelt (s. Abschn. 6.2).

Ein Fahrstuhl, der vier Personen zehn Meter hoch befördert, braucht dafür etwa 30 000 Joule (30 Kilojoule, kJ). Um einen Liter Wasser von 20°C bis zum Sieden zu erhitzen, braucht man 336 Kilojoule. Eine 100-Watt-Glühbirne benötigt in einer Stunde 360 Kilojoule elektrische Energie; und die kosten den Endverbraucher etwa 2 Cent.

Außer der Energie werden wir im Folgenden auch oft die **Leistung** betrachten. Das ist das Verhältnis aus Energie und der Zeit, während der diese Energie gebraucht wird. Die Leistung hat die Einheit Joule pro Sekunde (J/s) oder Kilojoule pro Stunde (kJ/h) usw. Man misst die Leistung in **Watt**, abgekürzt W (nach James Watt, 1736–1819), also  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ . Machen wir zum Beispiel 20 Kniebeugen in einer Minute, so leisten wir 33 Watt. Eine elektrische Kochplatte oder ein Bügeleisen leistet 1500 Watt (1,5 Kilowatt, kW), ein Personenkraftwagen leistet etwa 100 Kilowatt und ein großes Elektrizitätswerk 1 Gigawatt (GW, Milliarde Watt). Ein elektrischer Schnellzug braucht etwa 4 Megawatt (MW, Millionen Watt) Leistung, das sind 4 Millionen Joule pro Sekunde (s. auch Abb. 1.6). Diese kosten etwa 10 Cent; pro Stunde sind das 360 Euro.

## Das Energieproblem

Wir müssen nun fragen, warum Energie oft so knapp ist. Warum haben viele Menschen zu wenig davon, andere aber zuviel? Das kommt daher, weil wir nicht an jedem Ort, zu jeder Zeit und zu einem erschwinglichen Preis die gerade benötigte *Form* der Energie zur Verfügung haben. Wenn man sich in die Sonne legt, wird man warm, aber nicht satt. Wenn man Benzin verbrennt, gibt das Licht und Wärme, aber noch keine Bewegung. Wenn man Atomkerne spaltet, erhält man Wärme, aber noch keine Elektrizität. Hier haben wir offenbar ein Umwandlungs- und ein Verteilungsproblem vor uns. Denn Energie hätten wir mehr als genug, nämlich von der Sonne, wie wir später sehen werden. Aber wir nutzen diese Energie noch nicht genug und wir haben eben nicht überall die gerade benötigte Erscheinungsform der Energie zur Verfügung.



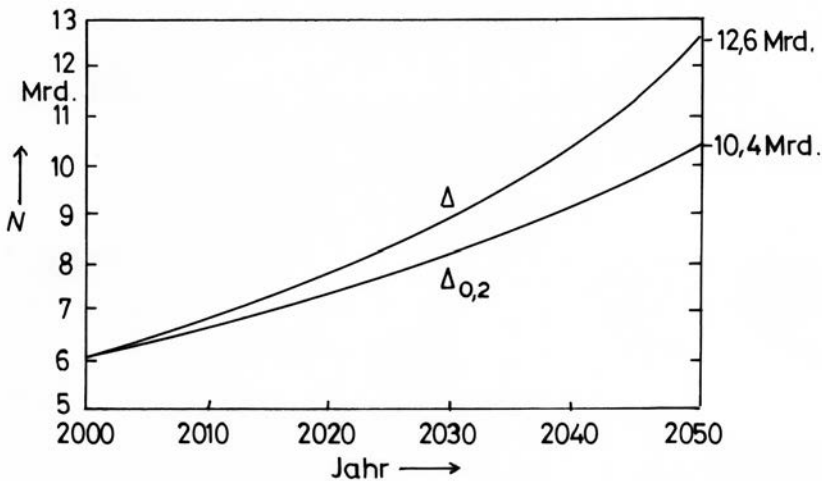


Abb. 1.2 Bevölkerungsentwicklung der Welt in den kommenden Jahren.  $N$  ist die Anzahl der Menschen in Milliarden. Die Kurve  $\Delta$  ist mit einem Wachstum von 1,5% pro Jahr berechnet,  $\Delta_{0,2}$  mit einer Reduktion desselben um 0,2 Prozentpunkte alle 10 Jahre, von 1,5% in 2000 bis auf 0,5% in 2050.

## I.2 Energiebedarf

Zunächst wollen wir den Bedarf der Menschheit an den verschiedenen Formen der Energie betrachten. Auf der Erde leben heute etwa 7 Milliarden Menschen. Durch Vermehrung wächst diese Zahl zurzeit um 1,5% pro Jahr (Abb. 1.2). Bis 2050 werden es, wenn die Entwicklung so weitergeht, rund 12 Milliarden sein. Würde das Wachstum aber durch Appelle an die Vernunft alle 10 Jahre um 0,2 Prozentpunkte reduziert, so kämen wir auf 10 Milliarden Menschen im Jahr 2050. Alle diese Menschen brauchen Energie in vielen verschiedenen Formen.

In Abbildung 1.3 ist dargestellt, wieviel Energie im Jahr 2010 aus welchen Quellen weltweit erzeugt und gebraucht wurde. Dies ist die sogenannte **Primärenergie**. In der Abbildung sind nicht Energien, sondern Leistungen angegeben, weil das den Vergleich mit der Literatur und mit den im Kapitel 4 behandelten Energiewandlern sehr erleichtert. (Will man die Energiebeträge in Joule pro Jahr wissen, so muss man die Leistungszahlen mit der Anzahl der Sekunden pro Jahr, 31,5 Millionen,

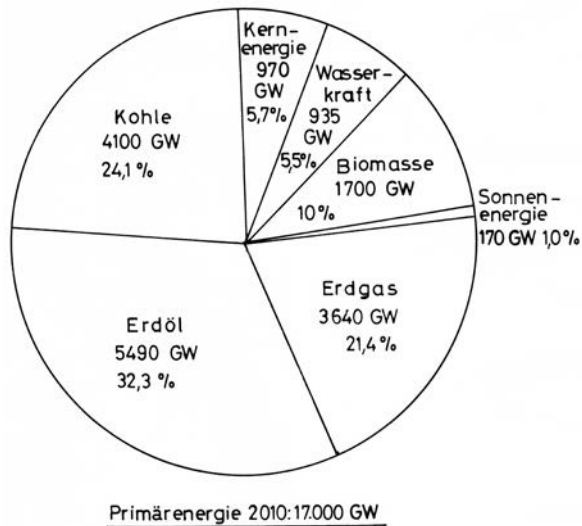


Abb. 1.3 Anteile der verschiedenen primären Energiequellen an der Gesamtleistung der Welt im Jahr 2010. Angaben in Gigawatt (GW) bzw. Milliarden Watt bzw. Millionen Kilowatt.

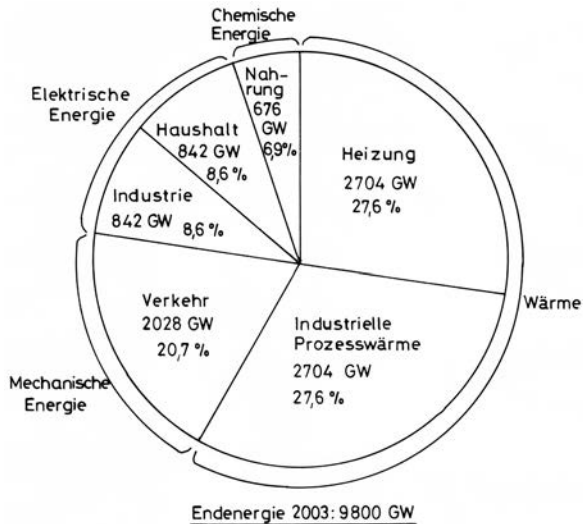


Abb. 1.4 Anteile der weltweit für verschiedene Zwecke benötigten Sekundärenergie («Endenergie») an der Gesamtleistung. Die Aufteilung auf die verschiedenen Verbrauchssektoren entspricht den Verhältnissen in hochindustrialisierten Ländern wie Deutschland im Jahr 2003. Die Anteile für Heizung und Prozesswärme werden ebenfalls zum Teil aus elektrischer Energie erzeugt, sodass deren Bruttoanteil etwa 2300 Gigawatt (23,5%) beträgt.

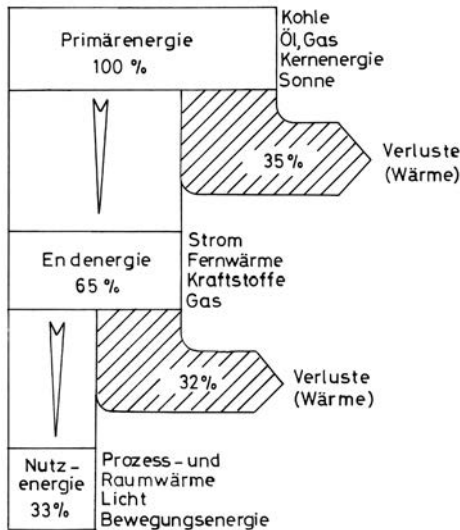


Abb. 1.5 Umwandlung von Primärenergie über Endenergie in Nutzenergie in Deutschland im Jahr 2000. Die gesamten Umwandlungsverluste betragen 67%. Das heißt, zwei Drittel der Energie werden ungenutzt verschwendet! (nach D. Hein, »Die Energiefrage«, 2001)

multiplizieren.) Man erkennt in Abbildung 1.3 den überwältigenden Anteil der fossilen Quellen Kohle, Erdöl und Erdgas.

Die Aufteilung auf die verschiedenen Verbrauchsarten, die **Sekundärenergie** oder **Endenergie**, zeigt Abbildung 1.4. Hier ist die Summe um rund 40% kleiner als bei den Primärenergien. Es sind für das Jahr 2003 nur rund 10 000 Gigawatt und extrapoliert auf 2010 etwa 11 000 GW. Ein Teil der Primärenergie geht nämlich bei der Umwandlung in Endenergie »verloren«, das heißt, er fließt bei den Kraftwerken als nutzlose Wärme in die Umwelt, in die Luft und ins Wasser. Die Endenergie ist also derjenige Teil der primären, der nach Umwandlung zur weiteren Nutzung zur Verfügung steht. Bei dieser Nutzung geht dann noch einmal die Hälfte »verloren«, das heißt, sie wird in nutzlose Wärme umgewandelt, bei der Beleuchtung, bei der Heizung, beim Verkehr usw. In Abbildung 1.5 ist dargestellt, welcher Anteil der Primärenergie am Ende wirklich verwendet wird, die sogenannte **Nutzenergie**, nämlich nur 33%! Gegen diese gigantische Energieverschwendung kann noch viel getan werden. Dazu muss man die Gesetze der Thermodynamik kennen (s. Kap. 3) und gute Ingenieure und Maschinenbauer beschäftigen (s. Kap. 4). Aber damit allein ist es noch nicht getan. Die beiden Drittel Verluste ließen sich nämlich durch **Sparmaßnahmen** auf jeweils die Hälfte verkleinern:

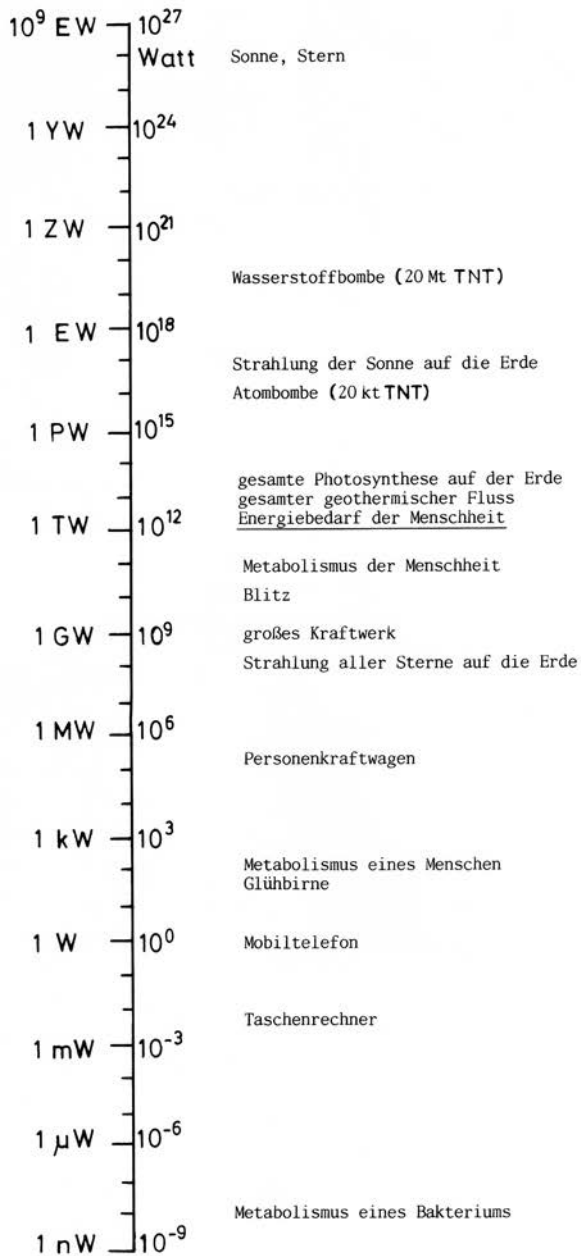


Abb. I.6 Leistungswerte in Natur und Technik. Die Buchstaben vor den Wateinheiten bedeuten: Y Yotta, Z Zetta, E Exa, P Peta, T Tera, G Giga, M Mega, k Kilo, m Milli,  $\mu$  Mikro, n Nano.