



*E*nergie,  
die deine Welt bewegt

# Energie, die deine Welt bewegt

## Vorwort

Diese Broschüre ist Teil des Bildungsprojekts "Couldn't be without it" von EIROFORUM, einer europäischen Initiative, die Informationen der führenden Forschungsinstitute an Schulen und Universitäten weitergeben möchte. Für das Alltagsleben der Schüler sind manche Technologien selbstverständlich und werden sogar als unverzichtbar empfunden, wie Computer, Handy, Stereoanlage etc. "Couldn't be without it!" will den Zusammenhang von Forschung und diesen Technologien erklären.

In "Energie Bewegt Deine Welt" dreht sich alles um Energie: wo und wie wir sie nutzen, woher sie kommt und wie wir unseren Energiebedarf in Zukunft decken könnten. Die Zukunft der Energie beginnt schon heute: Wichtige Entscheidungen müssen getroffen, und es muss noch viel geforscht werden, damit unser Energiebedarf in den kommenden Jahren gesichert ist. Außerdem müssen Umwelt- und Gesundheitsschäden eingedämmt werden. Diese Broschüre präsentiert verschiedene Aspekte zum Thema Energie und soll dabei Lehrer von 15- bis 18-jährigen Schülern mit nützlichem Unterrichtsmaterial versorgen.

Jedes einzelne Kapitel beinhaltet Kästen mit detaillierten Informationen, abschließenden Zusammenfassungen, Aufgaben für Schüler und eine Liste von Internetseiten, die zusätzliche Informationen zum jeweiligen Thema liefern. Alle Internetseiten sind auf ihren didaktischen Wert hin überprüft worden und enthalten nützliche und weiterführende Informationen für Schüler und Lehrer.

Die vollständige Broschüre gibt es als download unter: [www.efda.org/multimedia/booklets\\_and\\_articles](http://www.efda.org/multimedia/booklets_and_articles) auch in englischer, holländischer, französischer, italienischer und spanischer Sprache. Fast alle Internetseiten, die in dieser Broschüre erwähnt werden, sind in englischsprachig. Lehrer dürfen das Material der Broschüre für nichtkommerzielle Unterrichtszwecke an Schulen kopieren, solange die Urheber von Text, Illustrationen und Fotos erwähnt werden.

Wir danken an dieser Stelle Chris Warrick, Jennifer Hay und Niek Lopez Cardozo für ihre hilfreiche Unterstützung. Wir hoffen, die Leser erhalten durch die Broschüre nützliche und pädagogisch wertvolle Informationen über die dynamische Welt der Energie. Die Autoren und Mitarbeiter freuen sich auf konstruktive Vorschläge und Kommentare, die zur inhaltlichen Verbesserung der Broschüre beitragen.

## Autoren:

Mark-Tiele Westra (FOM), [m.t.westra@rijnh.nl](mailto:m.t.westra@rijnh.nl)  
Simon Kuyvenhoven (FOM), [kuyven@rijnh.nl](mailto:kuyven@rijnh.nl)

## Unter Mitarbeit von:

F. Casci (EFDA), [federico.casci@efda.org](mailto:federico.casci@efda.org)

Umschlagbild: Nächtliches Lichtermeer auf der Erde.  
Das Bild setzt sich aus verschiedenen Satellitenfotos zusammen. Mit freundlicher Genehmigung der NASA.

Energie, die deine Welt bewegt

Originaltitel: Energy, Powering Your World

Produziert für EFDA vom FOM-Institut für Plasmaphysik Rijnhuizen, Niederlande.

Copyright © 2007, FOM-Rijnhuizen

Autoren: M.T. Westra, S. Kuyvenhoven

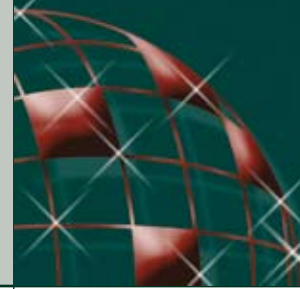
Illustrationen: M.T. Westra

Layout: M.T. Westra

Deutsche Übersetzung: D. Lutz-Lanzinger

Druck: Bavaria Druck, München

# Inhaltsverzeichnis



## 1 Einführung ..... 2

Was ist Energie und warum brauchen wir sie? ... 2

Wie wird Energie erzeugt? ..... 3

## 2 Kleine Geschichte der Energie ..... 4

Altertum ..... 4

Energie im 17. Jahrhundert ..... 5

Energie im 18. Jahrhundert ..... 5

Energie im 19. Jahrhundert: das Zeitalter der  
Dampfmaschine ..... 5

Energie im 20. Jahrhundert: das Zeitalter des  
Verbrennungsmotors ..... 8

Heute ..... 9

## 3 Unser Energieverbrauch ..... 12

Wie misst man Energie? ..... 14

Was ist Leistung ..... 15

Energie in deinem Haushalt ..... 16

Wieviel Energie verbrauchst du? ..... 18

Primärenergieverbrauch ..... 20

Wie man Energie effizient nutzt ..... 21

## 4 Die Energiequellen ..... 24

Energie aus fossilen Brennstoffen ..... 24

Wie wir fossile Brennstoffe nutzen ..... 26

Kernspaltung ..... 28

Kernfusion ..... 30

Wasserkraft ..... 32

Energie aus dem Meer: Wellen und Gezeiten .. 34

Sonnenenergie ..... 35

Windenergie ..... 37

Energie aus Biomasse ..... 38

Geothermische Energie ..... 39

## 5 Energie, Umwelt und Gesundheit ..... 42

Im Haushalt ..... 42

Auf kommunaler Ebene ..... 44

Regional ..... 45

Global ..... 46

Möglichkeiten der Energiegewinnung  
und der Treibhauseffekt ..... 49

## 6 Schon heute an die Energie von morgen denken ..... 50

Erneuerbare Energiequellen ..... 51

Nachhaltige Energie ..... 51

Welche Energiequelle ist die richtige? ..... 52

Forschung heute für die Energie von morgen .. 56

Wasserstoff – der Energieträger der Zukunft? .. 58

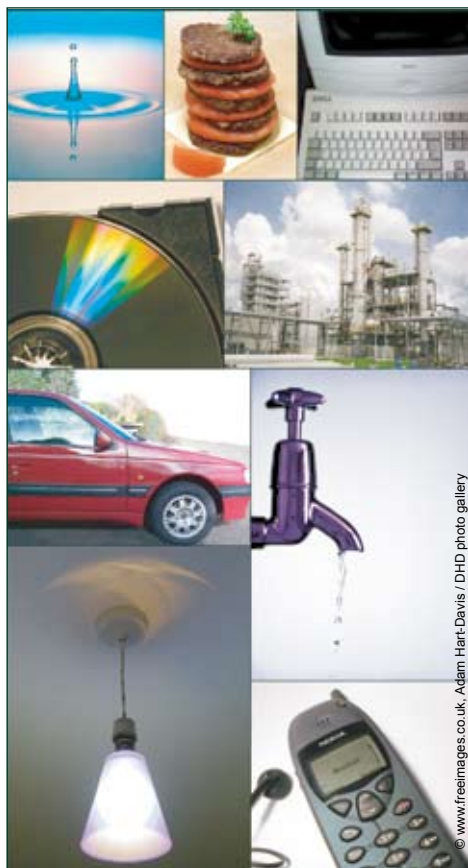
Schlussbemerkung ..... 59

# 1 Einführung

In fast allen Lebenssituationen sind wir heute auf Energie angewiesen. Da sie uns rund um die Uhr und nahezu überall zur Verfügung gestellt wird, ist sie für uns so selbstverständlich geworden, dass wir uns kaum mehr Gedanken darüber machen. Doch was wäre ein Tag ohne Energie? Wenn wir morgens heiß duschen, verbrauchen wir Energie. Auch die Herstellung der Seife und des Handtuchs verbraucht Energie. Und dann sind da auch noch die Ziegelsteine, der Beton und die Fenster im Badezimmer, für deren Herstellung Energie eingesetzt wurde, ebenso wie für die Kleider und die Schuhe, in die wir schlüpfen, bevor wir das Haus verlassen. Und das ist erst der Start in den Tag!

## Energieleistungen:

*Trinkwassergewinnung, Kochen, Produktherstellung, Musik, Klimaanlage, Transport, Licht, heißes Wasser, Telekommunikation.*



© www.freeimages.co.uk, Adam Hart-Davis / DHD photo gallery

Ohne Energie wäre unser Leben viel mühevoller. Stell dir vor, du müsstest dein Feuerholz zum Heizen oder Kochen selber suchen, dein Wasser selber holen, überallhin zu Fuß gehen... und natürlich gäbe es kein Radio, keinen Fernseher, keinen Computer, kein Telefon. Unsere Gesellschaft lebt von und mit der Energie.

Und wir verbrauchen jede Menge davon! Wenn man den Energiebedarf eines Bewohners der westlichen Welt nur mit Muskelkraft decken würde (Strom und Benzin für den Transport eingeschlossen) müssten 100 Menschen oder 10 starke Pferde für ihn arbeiten – 24 Stunden täglich, 7 Tage in der Woche. Der Strom, der durch die Steckdosen bei dir zu Hause fließt, ersetzt die Muskelkraft einer ganzen Herde von Pferden.

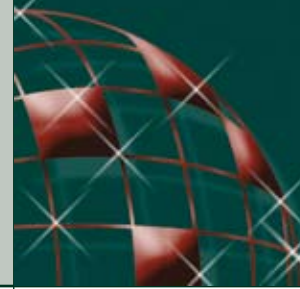
Wir nehmen den Überfluss und die dauernde Verfügbarkeit von Energie als selbstverständlich hin. Nur wenn mal der Strom ausfällt, bemerken wir, wie abhängig wir geworden sind.

In dieser Broschüre geht es daher um Energie: Wir fragen, woher sie kommt, wie wir sie verwenden, wo unsere Energie in Zukunft herkommen wird und wie sie sich auf unsere Umwelt, Gesundheit und Gesellschaft auswirkt.

## Was ist Energie und warum brauchen wir sie?

Energie kommt in vielen Formen vor, z.B. als Bewegung, Wärme, Licht, chemische Verbindungen und Strom. Energie ist in Holz, Wind, Nahrung, Gas, Kohle, Öl und Atomkernen gebunden. All diese unterschiedlichen Energieformen haben eines gemeinsam – mit ihnen können wir eine ganze Menge anfangen. Wir benutzen Energie um Gegenstände zu bewegen, Temperaturen zu verändern, Licht und Geräusche zu produzieren. Das heißt: Energie ist die Fähigkeit, nützliche Arbeit zu verrichten.

Energie ist für uns so wichtig, weil wir mit ihr unseren Lebensstandard verbessern können. Energieleistungen sind Vorgänge wie Kühlen und Gefrieren, Heizen und Kochen, das Aufbereiten von Wasser, der Betrieb von Handys, Auto- und Motorradfahren, Licht und Geräusche erzeugen, die Herstellung von Produkten, und vieles mehr. Für jede Leistung brauchen wir Energie in einer speziellen Form, am richtigen Ort, zur richtigen Zeit.



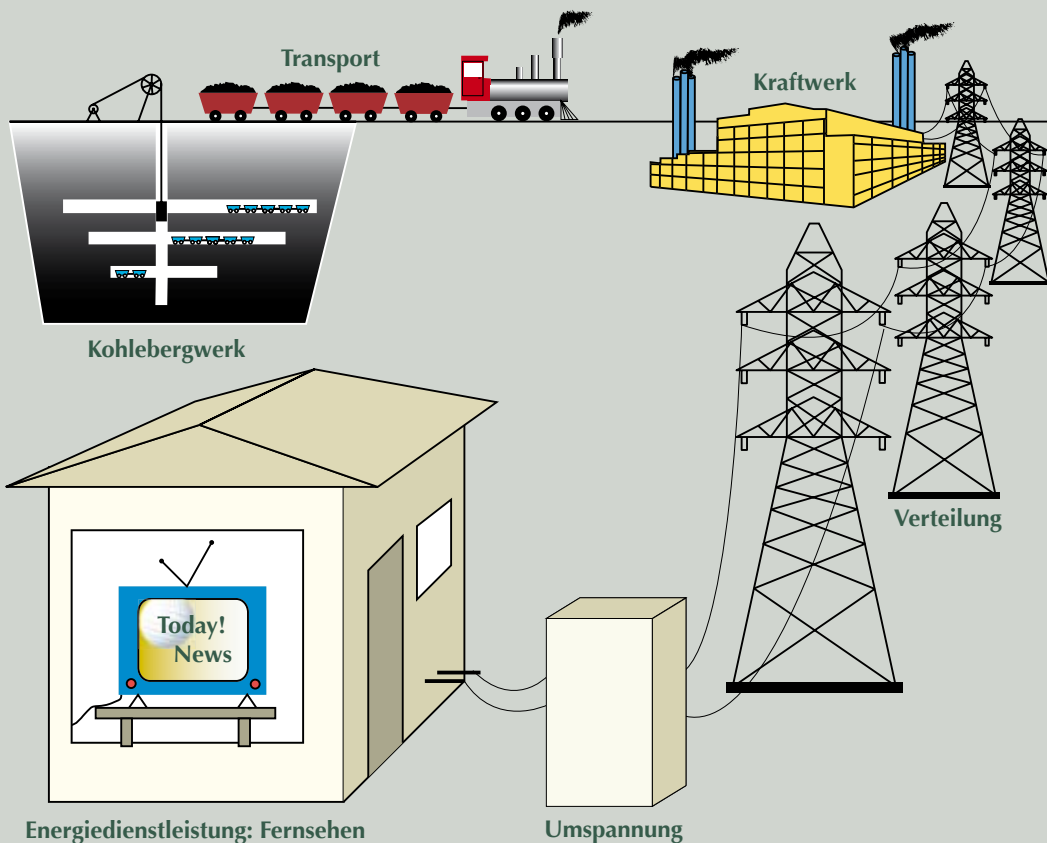
## Wie wird Energie erzeugt?

Normalerweise denken wir nicht daran, was hinter der Steckdose oder der Zapfsäule passiert – solange unser Radio läuft und wir unser Auto betanken können. Doch so ohne weiteres fließt der Strom nicht aus der Steckdose, kommt das Benzin nicht in die Zapfsäule. Dazu braucht es mitunter aufwendige Technologie und Know how.

Die Energiekette beginnt mit der Gewinnung von Energie in ihrer ursprünglichen Form, z.B. Gas, Öl, Kohle, Sonnenlicht oder Wind. Diese sogenannten primären Energieträger sind für uns erst einmal nicht nutzbar. Sie müssen in Sekundärenergie, z.B. Strom oder Benzin, umgewandelt werden. Anschließend werden sie transportiert, verteilt und an die Verbraucher ausgeliefert.

Glühlampen, Fernseher, Öfen und Fahrzeuge nutzen schließlich die sekundäre Energie und versorgen uns mit Energieleistungen. In der Abbildung unten findest du ein Beispiel für eine mögliche Energiekette: sie beginnt mit der Förderung von Kohle und endet mit der Ausstrahlung einer Fernsehsendung.

Energie in Form von Kraftstoff oder Strom steht am Anfang aller unserer Aktivitäten. Die Energieketten sind folglich sehr lang: Vom Bergwerk oder der Bohrinselform wird Kohle und Öl über Schiffe und Pipelines in alle Welt verteilt, zu Kraftwerken und Tankstellen, von dort aus über Stromleitungen oder Zapfsäulen zum Endverbraucher. Zusammen bilden diese Energieketten ein komplexes System, das wir Energiesystem nennen.



*Beispiel für eine Energiekette: vom Kohlebergwerk zum Fernsehen.*

# 2 Kleine Geschichte der Energie

Ohne heißes Wasser, Auto, Telefon und vieles andere mehr könnten wir im täglichen Leben nur noch schwer auskommen. Doch diese Annehmlichkeiten des Alltags verbrauchen Energie. Gut, dass der Mensch im Laufe seiner langen Geschichte immer neue Energiequellen entdeckt und gelernt hat, sie für sein Wohlbefinden und seine Bequemlichkeit zu nutzen. So gesehen ist die Historie unseres Energieverbrauchs bemerkenswert. Wobei ein klarer Trend erkennbar ist: Wir verbrauchen immer mehr Energie.

## Altertum

Von archäologischen Funden her wissen wir, dass die Menschen schon vor sehr langer Zeit, vielleicht schon 500.000 Jahre vor Christus oder früher, gelernt haben, das Feuer zu kontrollieren. In dieser prähistorischen Zeit war der Energiebedarf der Menschheit noch gering. Die Sonne lieferte Wärme, und wenn sie mal nicht schien, wärmten sich die Menschen



© Bruno Girin / DHD photo gallery

*Mit Windenergie kann man den Ozean überqueren.*

*In Indien nutzt man heute noch die Zugkraft von Tieren.*

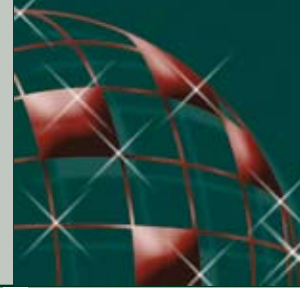


© Ross Taylor (Images of the World)

an Feuern aus Holz, Stroh oder getrocknetem Mist. Von Höhlenzeichnungen her wissen wir, dass Männer und Frauen bereits in der Steinzeit (etwa vor 30.000 Jahren) Feuerholz zum Kochen, Heizen und zur Beleuchtung ihrer Höhlen und Behausungen benutzten. Die Namen der unterschiedlichen Zeitalter – Steinzeit, Eisenzeit, Bronzezeit – wurden aus der Fähigkeit der Menschen abgeleitet, Energie zu nutzen um Metalle zu bearbeiten und daraus Werkzeuge und Waffen herzustellen.

Als die Menschen ihr Nomadenleben aufgaben und sesshaft wurden, veränderte sich die Art der Energienutzung: Sie lernten, Ackerbau zu betreiben und verwandelten auf diese Weise Sonnenenergie direkt in Nahrung.

Die Muskelkraft von Tieren stellt eine weitere frühe Energiequelle dar, die auch heute noch – vor allem in Entwicklungsländern – von Bedeutung ist. Pferde, Ochsen, Ka-



mele, Esel und Elefanten – ihre Körperkraft wurde und wird für den Transport, den Ackerbau, in Getreidemühlen und zum Wasserpumpen eingesetzt.

Auch die menschliche Körperkraft wurde früher genutzt: die Römer ließen ihre Kriegsschiffe im Jahre 260 vor Christus von 170 Ruderern antreiben. Eine Flotte bestand oft aus mehreren hundert solcher Schiffe!

Schon 5000 vor Christus wurde Windenergie genutzt, um Schiffe auf dem Nil anzutreiben. Mit Hilfe von Windmühlen pumpten die Chinesen einige Jahrhunderte vor Christus bereits Wasser. Ebenfalls in Windmühlen wurde in Persien um 600 v. Chr. Korn gemahlen.

Auch die Nutzung der Wasserkraft hat eine lange Geschichte. Etwa 4000 vor Christus wurden in Griechenland Wasserräder benutzt um kleine Kornmühlen anzutreiben, Trinkwasser für die Dörfer zu fördern und eine Vielzahl von Maschinen anzutreiben, wie z.B. Sägemühlen, Pumpen, Blasebalge in Schmieden usw.

Sonnenenergie wurde erstmals im militärischen Bereich angewendet: Angeblich hat Archimedes während des Angriffs auf Syrakus (etwa 240 vor Christus) einen großen Spiegel benutzt, um römische Kriegsschiffe in Brand zu setzen.

Unter den fossilen Brennstoffen hat Kohle die wohl längste Geschichte. Die Chinesen nutzten sie schon vor 3.000 Jahren, und vermutlich haben auch die Römer um 100-200 v. Chr. während der Besetzung Englands Kohle zum Befeuern ihrer Kochstellen verwendet. Im Jahre 1298 veröffentlichte der berühmte Entdecker und Abenteurer Marco Polo ein Buch über seine Reisen durch China, in dem er über „große schwarze Steine, die...wie Holzkohle brennen“ berichtet. Jahrhundertlang war Kohle einer der wichtigsten Brennstoffe.

### Energie im 17. Jahrhundert

Als die Europäer entdeckten, wie gut sich Kohle zum Heizen eignet, begannen sie danach zu suchen – und fanden sie überall. Um 1660 war der Kohlehandel in England zu einem florierenden Geschäftszweig geworden und das schwarze Gold wurde in alle Welt exportiert.

Durch das Verbrennen großer Kohlemengen wurde die Luft in den englischen Städten stark verschmutzt. Doch die Engländer waren auf diese Energiequelle angewiesen, da sie ihr Holz zur Herstellung von Holzkohle und den Bau von Kriegsschiffen benötigten. Holzkohle wurde in großen Mengen zum Schmelzen von Eisen und bei der Verarbeitung anderer Metalle verbrannt.

Die erste Energiekrise in der Geschichte begann im Jahre 1630, als das Holz und damit auch die Holzkohle knapp wurde. Kohle aus dem Bergbau konnte die Holzkohle nicht ersetzen, weil sie zu viel Wasser und Schwefel enthielt und daher beim Verbrennen nicht so hohe Temperaturen erreichte. Um dieses Problem zu lösen wurden große Teile der schwedischen und russischen Wälder gerodet und in Holzkohle verwandelt. 1709 entdeckte der Eisenschmied Abraham Darby I aus dem kleinen Dorf Coalbrookdale in England, dass der Schwefel aus der fossilen Kohle zu entfernen war, wenn er sie in Koks verwandelte. Darby war der erste, dem es gelang, mit Hilfe von Kohlefeuer Gusseisen zu produzieren.

### Energie im 18. Jahrhundert

Zu dieser Zeit hatten die Europäer, allen voran die Engländer, einen Großteil ihrer Wälder bereits abgeholzt. Da Kohle nun als Brennstoff verwendbar wurde, stieg die Nachfrage schnell an. Ein anderer Grund hierfür war die Erfindung der Dampfmaschine durch Thomas Newcomen im Jahre 1712, mit deren Hilfe das Grundwasser aus der Tiefe der Kohleminen gepumpt werden konnte. Zuvor musste das Wasser eimerweise auf dem Rücken von

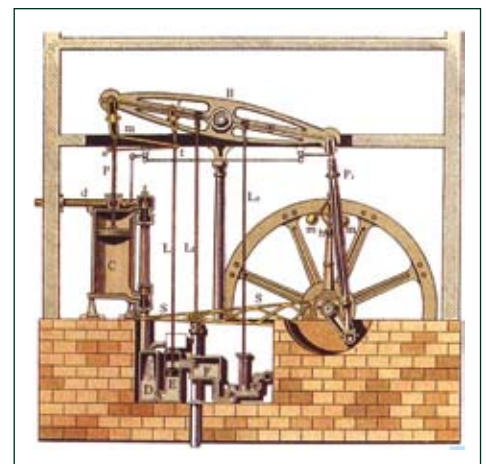
Pferden aus den Minen transportiert werden. James Watt verbesserte die Dampfmaschine im Jahre 1765. Nun eignete sie sich nicht nur zum Wasserpumpen, sondern auch für den Antrieb anderer Maschinen.

Ein großer Vorteil der Dampfmaschine war, dass zum ersten Mal die sogenannte thermische Energie, die durch den Verbrennungsvorgang freigesetzt wird, in Bewegungsenergie verwandelt wurde. Dadurch ließen sich auch solche Maschinen mit Hilfe von Kohle antreiben, die zuvor nur mit Wind- oder Wasserkraft in Gang gesetzt werden konnten. Weil Kohle im Überfluss zur Verfügung stand, stieg die Zahl der Maschinen sehr schnell.

1799 erfand der Italiener Alessandro Volta eine Batterie, die erstmals eine ununterbrochene Versorgung mit elektrischem Strom ermöglichte. Voltas Name wird auch heute noch verwendet: Strom kommt, je nach Land, mit 230 oder 110 Volt (V) Spannung aus der Steckdose.

### Energie im 19. Jahrhundert: das Zeitalter der Dampfmaschine

Im 19. Jahrhundert begann der technische Fortschritt. Eine einzige Dampfmaschine konnte zu dieser Zeit die Arbeitskraft von 200 Männern ersetzen.



*Die Dampfmaschine von James Watt (1765).*



### Die Entdeckung des elektrischen Stroms

Der elektrische Strom wurde vom griechischen Philosophen Thales entdeckt, der vor 2.500 Jahren lebte. Er stellte damals folgendes fest: Wird ein Stück Fell an einem Bernstein gerieben, zieht dieser anschließend Teilchen leichten Materials, wie z.B. trockene Blätter oder Heu, an. Das griechische Wort für Bernstein ist „electron“. Hieraus entstand das Wort „Elektrizität“. Heute wissen wir, dass diese Anziehungskraft von statischer Elektrizität verursacht wird.

### James Watt und die Dampfmaschine

Eine einzige Dampfmaschine kann die Arbeitskraft einer ganzen Herde von Pferden ersetzen. Damit versuchte James Watt ihre Leistung zu beschreiben: Verrichtet eine Maschine die Arbeit von 20 Pferden, hat sie folglich 20 *Pferdestärken (PS)*. Ursprünglich wurde eine Pferdestärke von Watt als diejenige Energie definiert, die dazu gebraucht wird, um ein Gewicht von 33.000 Pfund innerhalb einer Minute über eine Strecke von einem Fuß zu befördern.

Watt rechnete aus, wieviel Geld ein Betrieb, der bisher Pferde arbeiten ließ, durch den Einsatz seiner Dampfmaschine einsparen würde. Der Betrieb musste ihm dann 25 Jahre lang ein Drittel dieses Betrags abtreten.

Überall in England schossen Fabriken aus dem Boden, die mit Hilfe von Dampfmaschinen arbeiteten. Sie produzierten in großen Mengen Stoffe, Möbel und viele andere Gegenstände, die bis zu diesem Zeitpunkt in mühsamer Handarbeit hergestellt worden waren. Aufgrund der Massenproduktion konnten sich immer mehr Leute diese Waren leisten. Das wiederum ließ die Märkte anwachsen und den Export aufblühen. Die Zeit des enormen wirtschaftlichen Wachstums wird industrielle Revolution genannt, und sprang von England schnell auf den westlichen europäischen Kontinent und Nordamerika über.

Zum ersten Mal in der Geschichte stand Energie zu jeder Zeit, an jedem Ort und in jeder beliebigen Menge zur Verfügung. Zuvor waren die Menschen von Wind- und Wasserkraft abhängig um ihre Werkstätten mit Energie zu versorgen und die waren natürlich nicht immer und überall verfügbar. Doch nun wurde Energie ein fester Bestandteil des täglichen Lebens, wenn und wo man sie brauchte.

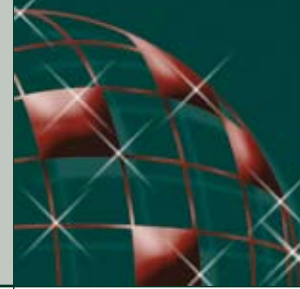
*Elektrizität entdecken*

*Eine Dampflokomotive*



© Brookhaven National Laboratory





Als die Energieversorgung der Betriebe gesichert war, nutzte man die Dampfmaschine auch in anderen Bereichen: 1804 wurde die erste Dampflokomotive gebaut, 1807 lief das erste Dampfschiff vom Stapel. Zur gleichen Zeit wurde das Kohlegas (ein Gas, das beim Erhitzen von Kohle freigesetzt wird) entdeckt und zur Beleuchtung von Fabriken, Straßen und Wohnhäusern verwendet. 1807 beleuchteten die ersten Kohleöllampen die Straßen Londons, 1823 wurden alle größeren Städte in England von Gaslampenlicht erhellt.

Zur selben Zeit wurde der Wirkungsgrad der Dampfmaschine weiter verbessert, bis ihre Leistung Ende des 19. Jahrhunderts die Arbeitskraft von 6.000 Männern ersetzen konnte.

Mitte des 19. Jahrhunderts begann man kleinere Dämme zu errichten, um Strom aus Wasserkraft zu erzeugen. Schließlich experimentierte man Ende des desselben Jahrhunderts auch mit Windmühlen.

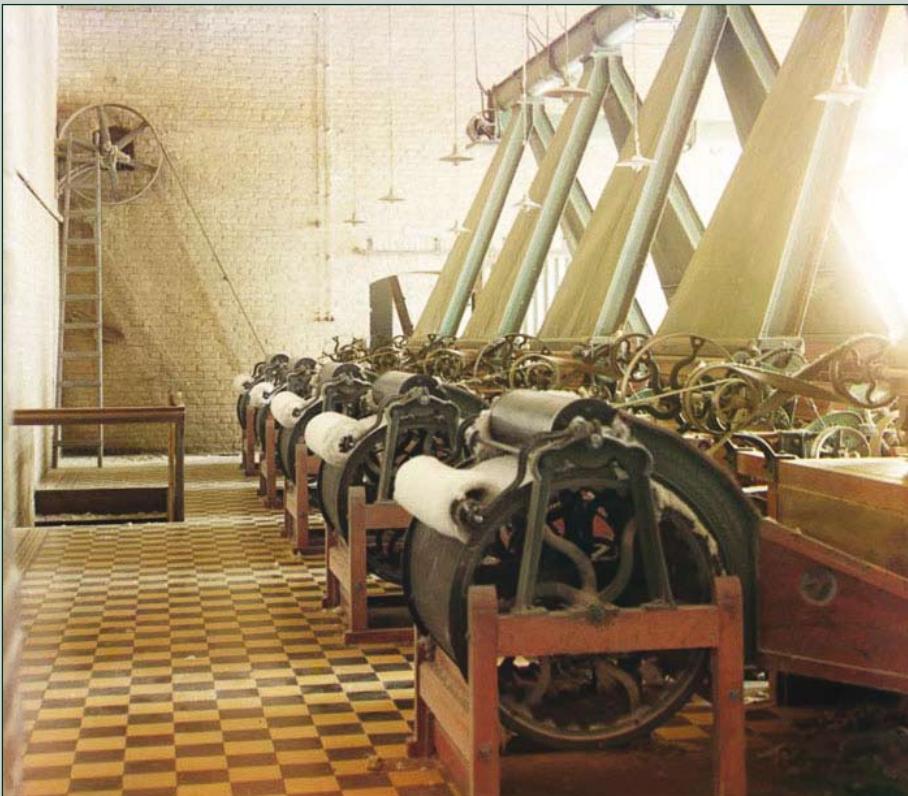
Der Franzose Auguste Mouchout entdeckte im Jahre 1860 als erster ein Verfahren, bei dem Energie aus konzentriertem Sonnenlicht gewonnen wurde: Der entstehende Dampf trieb eine kleine Dampfmaschine an. 1880 verband man eine kohlebetriebene Dampfmaschine mit dem ersten Stromgenerator der Welt. Das Kraftwerk von Thomas Alva Edison lieferte das erste elektrische Licht an die Wall Street und an die New York Times.

1859 pumpten die Amerikaner in Pennsylvania das erste Öl aus dem Boden. Lange Zeit war Erdöl ein lästiges Übel,

### Dampfenergie

Im 19. Jahrhundert lieferte oft eine zentrale Dampfmaschine mit großem Schwungrad die Energie für eine ganze Fabrik. Ein System von Lederriemen führte von der zentralen Anlage zu allen Maschinen. In der Abbildung unten ist der Antriebsriemen im Hintergrund sichtbar.

*Diese Baumwollspinnerei wurde von einer Dampfmaschine angetrieben.*



© S.M. Prokudin-Gorskii, Library of Congress

*Thomas Edisons erste elektrische Glühbirne (1879).*



© Charles Edison Fund



© DaimlerChrysler

*Gottlieb Daimlers erstes vierrädriges Auto (1886)*

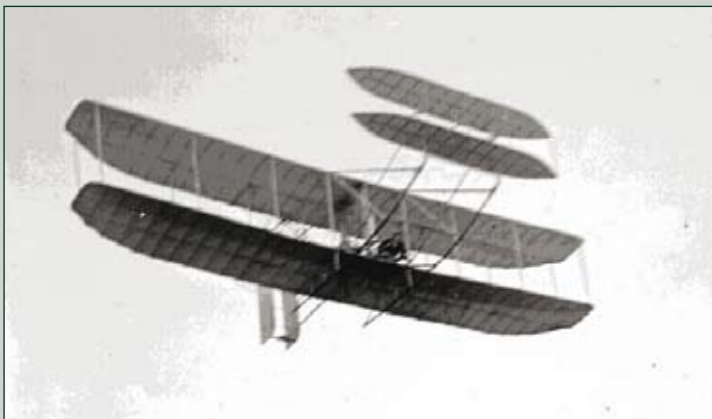
das Trinkwasserquellen verschmutzte. Kurzzeitig wurde es auch als Medizin verkauft. Die Menschen entdeckten jedoch schnell, wie gut es sich zum Heizen und zur Beleuchtung eignete. Es gelang ihnen schließlich auch, das Öl zu Benzin und Dieselmotor zu verfeinern und damit eine neue Erfindung zu voranzutreiben: den Verbrennungsmotor.

### **Energie im 20. Jahrhundert: das Zeitalter des Verbrennungsmotors**

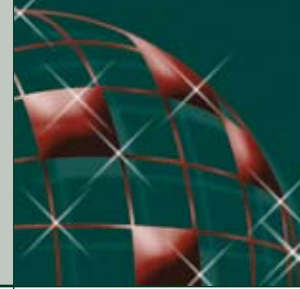
Der Franzose Etienne Lenoir erfand den ersten benzinbetriebenen „internen Verbrennungsmotor“. Durch das Verbrennen des neuen Kraftstoffs wurde ein Kolben im Motor angetrieben. 16 Jahre später entwickelte der Deutsche Nikolaus August Otto einen noch leistungsfähigeren Motor. 1885 baute der deutsche Ingenieur Benz diesen Otto-Motor in eine Art dreirädriger Kutsche ein und erfand so das erste Automobil. Im Jahr darauf baute der deutsche Ingenieur Daimler ein vier-rädriges Auto, das ebenfalls von einem Verbrennungsmotor angetrieben wurde. Natürlich waren diese ersten Autos noch sehr teuer und wurden überwiegend ein Spielzeug der Reichen.

Das änderte sich jedoch schnell. In den Vereinigten Staaten erfand Henry Ford das Fließband. Damit konnte in kurzer Zeit eine große Anzahl von Autos produziert werden. Ein Arbeiter stand den ganzen Tag am selben Platz und fügte immer dasselbe Teil an jede Karosserie, die vorbeikam. Bereits 1913 konnte eine Autofabrik 1.000 Autos pro Tag herstellen!

*Das erste Motorflugzeug der Brüder Wright (1903)*



© John T. Daniels, Library of Congress



Weil die Fahrzeuge durch die Massenproduktion billiger wurden, konnten sich immer mehr Menschen ein Auto leisten.

In Amerika montierten 1903 die Brüder Wilbur und Orville Wright einen Verbrennungsmotor in eine Flugmaschine und erfanden so das erste kraftstoffbetriebene Flugzeug. Etwa zur selben Zeit begann in Italien das erste geothermische Kraftwerk mit Wärme aus dem Erdinneren Strom zu produzieren.

1905 veröffentlichte Einstein seine bekannte Relativitätstheorie, die erklärt dass Masse in Energie verwandelt werden kann.

Mitte des 20. Jahrhunderts, also während und nach dem Zweiten Weltkrieg, fand man heraus, dass die Energie des Atoms nutzbar ist. Lise Meitner, eine österreichische Wissenschaftlerin, entdeckte den Prozess der Kernspaltung, bei dem ein schweres Atom in kleine Teile zerlegt wird. Dieser Vorgang setzt riesige Energiemengen frei. 1942 entwickelte der italienische Physiker Enrico Fermi den ersten Kernspaltungsreaktor in den USA und 1954 ging das erste Strom produzierende Kernkraftwerk in der UdSSR ans Netz.

Schon 1929 hatte man festgestellt, dass die Sonne ihre Energie aus der Kernfusion bezieht. Hierbei verschmelzen die Kerne kleiner Atome und setzen große Mengen an Energie frei. In den 50er Jahren begannen Wissenschaftler zu erforschen, wie sich diese Energiequelle auf der Erde erschließen ließ.

Der Energieverbrauch hat sich in unserem Jahrhundert alle 25 Jahre fast verdoppelt. Gleichzeitig sanken die Kosten der Energieproduktion, d.h. Energie ist in vielen westlichen Staaten und den USA reichlich und kostengünstig vorhanden. Energiesparen war aus diesem Grund lange Zeit kein Thema.

## Heute

### *Aktuelle Probleme...*

In gerade einmal 150 Jahren haben wir gelernt, wie wir Energie effizient für uns nutzen können. Das hat unser Leben für immer verändert. Wir sind dank vieler und preiswerter Energie mobiler und produktiver geworden. Doch wir haben auch gelernt, dass ständig verfügbare Energie ihren Tribut fordert.

1973 stoppten die arabischen Erdölproduzenten aus politischen Gründen ihre Öllieferungen an westlichen Industrienationen. Über Nacht verdreifachten sich die Ölpreise. Dies führte zu einer großen Energiekrise, bei der die Autofahrer an den Zapfsäulen Schlange standen. Die Menschen wurden sich möglicherweise zum ersten Mal bewusst, wie abhängig sie von Energie geworden waren, und wie wichtig es war, diese kostbaren Ressourcen mit Verstand zu verwenden. Ein zweiter Ölpreisschock folgte im Jahr 1979. Der Preis für ein Barrel Rohöl stieg auf 60\$. Zum Vergleich: 2003 kostete ein Barrel ungefähr 25 US\$! (zu im Jahre 2000 gültigen Währungsdaten).

1979 kam es im Atomkraftwerk Three Mile Island (USA) infolge einer Serie von mechanischen Fehlern und menschlichem Versagen beinahe zu einer unkontrollierten Kernschmelze. Nachdem der Bevölkerung jahrelang versichert worden war, dass ein nuklearer Unfall so gut wie ausgeschlossen sei, reagierte die Öffentlichkeit natürlich schockiert und das Krisengefühl verstärkte sich in den Menschen. 1986 folgte ein noch schwerer Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl (in der früheren UdSSR, heute Ukraine). Obwohl sich der Unfall aufgrund von schlechter Bauweise und Nichtbeachtung der Sicherheitsvorschriften ereignete und sich so nie in einem modernen Reaktor hätte ereignen können, bewirkte er schließlich, dass viele Menschen ihre Meinung über die Nutzung von Kernenergie als Energiequelle grundlegend änderten.

*Umweltverschmutzung hat verschiedene Ursachen: Ölfässer in der Antarktis*



© European Community, 2005



Auch fossile Energieträger können unserer Umwelt schaden. Werden Kohle, Öl und Gas verbrannt, verursachen sie eine erhebliche Luftverschmutzung. Einige der entstehenden Abgase, wie das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), bewirken den so genannten Treibhauseffekt: Sie bilden rund um den Globus eine isolierende Schicht und halten so die Wärme in der Atmosphäre zurück. Dadurch steigen die Temperaturen auf der Erde immer weiter an, mit allen negativen Auswirkungen. Seit der industriellen Revolution erwärmte sich unsere Atmosphäre bereits um 0,6 Grad Celsius. Andere Abgase verursachen Umweltverschmutzung und Smog in den Städten.

Problematisch ist auch, dass Energie nicht für alle Menschen gleichermaßen zur Verfügung steht. Etwa 1,6 Milliarden Person – ein Viertel der Weltbevölkerung – haben noch keinen Zugang zu modernen Energieformen. Daher fehlt es besonders in den Entwicklungsländern an Lebensqualität, medizinischer Versorgung, Mobilität und Produktivität.

Unser Energiebedarf wächst sehr rasch. Rund neun Milliarden Menschen sollen 2050 auf der Erde leben, und sie alle werden Energie brauchen. Die Menschen in den Entwicklungsländern werden dann so viel Energie verbrauchen, wie wir es in den Industrieländern bereits heute tun. Experten erwarten deshalb, dass sich der Weltenergiebedarf mindestens verdoppeln wird. Wenn auch weiterhin hauptsächlich fossile Brennstoffe zur Energiegewinnung eingesetzt werden, hätte unsere Umwelt erheblich darunter zu leiden. Außerdem würden fossile Brennstoffe mit der Zeit

wesentlich teurer werden und irgendwann – wenn auch in ferner Zeit – werden die Ressourcen zu Ende gehen.

#### *Moderne Lösungen...*

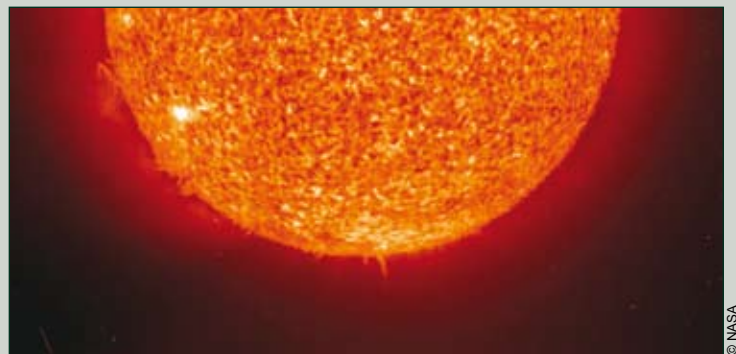
Beim Verbrennen fossiler Energieträger gelangt das Treibhausgas CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre. Es gäbe einen Weg, dies zu verhindern: Das CO<sub>2</sub> kann aufgefangen und in leere Gas- oder Ölfelder oder unterirdische wasserführende Schichten gepumpt werden. Dieses Verfahren wird Kohlenstoffsequestration genannt und könnte helfen, den Treibhauseffekt einzudämmen. Die Idee dahinter ist einfach: Wo Gas und Öl Jahrmillionen lang eingeschlossen war, kann auch CO<sub>2</sub> gelagert werden. Zur Zeit wird erforscht, ob dieses Verfahren sicher, praktikabel und nicht zu teuer ist. Dies ist ein Beispiel für eine ganze Reihe von Technologien, die darauf abzielen, fossile Brennstoffe auf umweltfreundliche Art und Weise zu nutzen. Sie werden daher auch „saubere fossile Technologien“ genannt.

*Hier wird aus Windkraft Strom produziert.*



© European Community, 2005

*Die Sonne gewinnt ihre Energie aus Kernfusion. Wissenschaftler wollen dieses Prinzip auf der Erde nutzbar machen.*

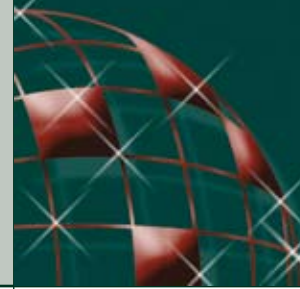


© NASA



*Photovoltaikanlagen produzieren Strom aus Sonnenenergie.*

© Warren Gretz (PIX DOENREI)



Strom CO<sub>2</sub>-frei zu produzieren ist ein wichtiges Ziel für die Zukunft. Momentan decken Wasserkraft, Kernkraft und Biomasse etwa 35% des weltweiten Strombedarfs ohne CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Neue Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen wie Sonne, Wind, Gezeiten und Geothermik decken gegenwärtig weniger als 0,7% unseres weltweiten Energiebedarfs. Diese Technologien entwickeln sich jedoch schnell weiter und sollen um 2050 wesentlich mehr Energie liefern.

Die Forschung beschäftigt sich gegenwärtig intensiv mit den Problemen der Kernspaltung — und auch mit der Endlagerung von radioaktivem Abfall und der Sicherheit bestehender Kernkraftwerke. Auch werden neue Generationen von Kernspaltungsreaktoren, die mehr Sicherheit bieten, entwickelt.

Auch durch die Verschmelzung von Atomen wird Energie freigesetzt. Die so genannte Kernfusion ist die Energiequelle der Sonne und könnte ab 2040 emissionsfreie sichere Energie produzieren. Im Moment beschäftigen sich nationale und internationale Forschungsprogramme intensiv mit dieser Art der Energieproduktion für unseren Planeten.

### Zusammenfassung

- Die Menschen nutzen Energie schon seit 500.000 v. Chr.
- Bereits im 17. Jahrhundert begann die Nutzung von Holzkohle und Kohle in großem Stil.
- Die Erfindung der Dampfmaschine im 18. Jahrhundert war revolutionär: Zum ersten Mal konnte Wärmeenergie in Bewegungsenergie umgewandelt werden.  
Die Entwicklung der Dampfmaschine führte im 19. Jhd. zur industriellen Revolution. In diesem Jahrhundert wurde auch die Elektrizität entdeckt.
- Im Mittelpunkt des 20. Jahrhunderts standen der Verbrennungsmotor, die Massenproduktion von Gütern, Flugzeuge und die Kernenergie.
- In den siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts wurde den Menschen bewusst, wie stark die moderne Welt von Energie abhängig ist und dass der Energieverbrauch Konsequenzen für die Umwelt nach sich zieht. In der Folgezeit wurden erneuerbare Energiequellen entwickelt.

*Werden fossile Brennstoffe verbrannt, entweichen Treibhausgase in die Atmosphäre.*



© European Community, 2005

### Schau doch mal ins Internet!

[www.energy.ca.gov/m+pco/history.html](http://www.energy.ca.gov/m+pco/history.html)

Hier findest du einen geschichtlichen Abriss der wichtigsten Erfindungen rund um die Energie.

[www.eia.doe.gov/kids/](http://www.eia.doe.gov/kids/)

Diese Seite präsentiert unter anderem die Meilensteine in der Geschichte der Energie.

[library.thinkquest.org/20331/history/](http://library.thinkquest.org/20331/history/)

Von Schülern erstellte Seiten mit historischen Fakten zum Thema Energie und vielem mehr.

[www.energyquest.ca.gov/story/](http://www.energyquest.ca.gov/story/)

Allgemeine Informationen zum Thema Energie, von Schülern zusammengestellt.

# 3 Unser Energieverbrauch

Wir verbrauchen ganz unterschiedliche Formen von Energie z.B. Gas, Strom oder Benzin. Wie wäre es, wenn wir für all unsere Energieleistungen nur eine Art von Energie, z.B. Strom, verwenden könnten? Nun, wie du an anderer Stelle sehen wirst, hat Strom manchmal auch Nachteile. Wir brauchen eben für jede Anwendung die richtige Energieform: Zum Wärmen (Haus, Nahrung, Wasser) und Kühlen (Nahrung, Räume), zur Herstellung von Gegenständen und Materialien (Industrie), für den Transport (Auto, LKW, Schiffe, Züge, Flugzeuge) und für Sonstiges (Musik hören, Beleuchtung, Computer...)

## Wärmen und Kühlen

Durch Heizen im Winter und Kühlen im Sommer wollen wir die Temperatur der Räume, in denen wir leben, angenehm gestalten. Im Winter heizen wir diese Räume und im Sommer kühlen wir sie ab. Es hängt nun davon ab, wo wir wohnen: Menschen in kälteren Regionen benutzen Gas, Öl oder Kohle natürlich viel häufiger zum Heizen, als Menschen in wärmeren Regionen. Sie wiederum ziehen eine Klimaanlage vor, um die Raumtemperatur niedrig zu halten.

Abgesehen von der Regulierung der Raumtemperatur nutzen wir Wärmeenergie auch zum Kochen, um ein warmes Bad zu nehmen oder heiß zu duschen. Wir konservieren unsere Nahrung in Kühlschränken und Gefriertruhen und kühlen Getränke. Auch die Industrie braucht Wärme- und Kühlprozesse.

Welche Art von Energie eignet sich also am besten zum Wärmen und Kühlen? Um Räume, Wasser und Nahrung zu erwärmen, verbrennen wir üblicherweise Gas, Öl oder Kohle in speziellen Öfen. Diese Öfen sehen ganz unterschiedlich aus: angefangen beim Küchenherd bis hin zu gasbefeuerten Heizkesseln für Gebäude.

Auch Strom kann zum Heizen verwendet werden, wie z.B. beim Wasserkocher oder Heizlüfter.

Kühlschränke, Kühltruhen und Klimaanlagen werden dagegen hauptsächlich mit Strom betrieben, nur vereinzelt gibt es Kühlschränke, die auch mit Gas funktionieren. Deshalb verschlingen Kühlanlagen wohl den meisten Strom im Haushalt.

## Transportenergie

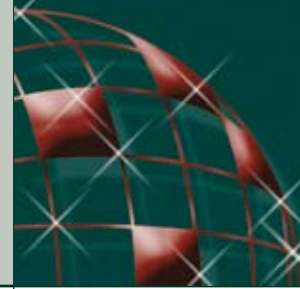
Wir transportieren Güter von einem Ort zum anderen. Wenn du eine Tasche trägst, ist dein Körper ein Transportmittel. Die Energie dafür beziehst du aus der Nahrung. Jeden Tag werden mehrere zehn Millionen Tonnen Güter mit Lastwagen, Zügen, Schiffen und Flugzeugen transportiert. Fast alle diese Transportmittel verbrauchen Benzin, Gas, Öl oder Kerosin. Nur ein Haupttransportmittel, nämlich der Schienenverkehr (und damit Systeme wie Tram- oder U-Bahnen), wird hauptsächlich mit Strom betrieben.

Elektromotoren braucht man in Fabriken, um Pumpen, Ventilatoren und viele andere Geräte zu betreiben. In deinem Haushalt findest du wahrscheinlich 20 bis 40 Elektromotoren, die alle möglichen Geräte in Gang setzen. Jeder Kühlschrank hat eine Pumpe, jeder Mikrowellenherd braucht

*Der Flugverkehr verbraucht große Mengen an Kerosin*



© European Community, 2005



zwei Motoren (einen für den Ventilator, einen für die Rotationsscheibe), deine Stereoanlage enthält möglicherweise sogar sieben kleine Elektromotoren und dein Computer acht.

### Industrielle Anwendung von Energie

Die Industrie stellt viele Gegenstände für den täglichen Gebrauch her, wie zum Beispiel Kleidung, Essen, Kunststoff und sauberes Wasser. Sie produziert jedoch auch Materialien für den Straßen-, Haus- oder Gleisbau – all dies verschlingt große Mengen an Energie in Form von Wärme (Dampf) und Strom. Weil Fabriken oft beides brauchen, wird Strom oft innerhalb des Betriebes produziert; die Abwärme aus der Energieproduktion kann für industrielle Prozesse genutzt werden. Das macht eine Fabrik oft sehr energieeffizient.

### Andere Anwendungen

Auch im Haushalt gibt es viele Tätigkeiten, für die man Energie braucht, und die entsprechenden Geräte funktionieren meist ausschließlich mit Strom: Der Computer, mit dem du im Internet surfst oder einen Text schreibst, deine Stereoanlage und der Fernseher, eure Waschmaschine, das Bügeln, der Staubsauger, aber auch vielleicht die Brotschneidemaschine, die Saftpresse, die elektrische Zahnbürste – ohne Strom geht nichts. Auch unsere Sicherheitssysteme sind vom Strom abhängig: Türöffner und Schließ- bzw. Alarmanlagen.

### Elektrizität

Elektrischer Strom ist die vielseitigste Energieform und kann daher fast überall verwendet werden. Dort wo Strom verbraucht wird, entstehen keine Geräusche oder Abgase. Du brauchst auch keinen Tank neben deinen Computer oder die Stereoanlage zu stellen. Strom ist sofort in der richtigen Form verfügbar, egal wo und wann man ihn braucht.

Strom hat aber auch Nachteile: Da er zentral erzeugt wird, muss er über weite Strecken transportiert werden, um in deinen Haushalt zu gelangen. Das erfordert ein

gut ausgebautes, teures Leitungsnetz, von dem die überlandlaufenden Hochspannungsleitungen der sichtbare Teil sind. Hier gehen unterwegs durchschnittlich etwa 10% der Energie verloren.

Ein weiterer Nachteil ist die Schwierigkeit, Strom in großen Mengen zu „lagern“. Um nur eine kleine Menge elektrischen Stroms zu speichern braucht man riesige, schwere Batterien. Müsste man solche Batterien auf Fahrzeugen mitnehmen, wären solche Vehikel für unser Transportsystem nicht geeignet. Der Schienenverkehr löst dieses Problem mit einem eigenen Oberleitungsnetz, das wie ein überdimensionales Verlängerungskabel funktioniert!

Der Energiebedarf wächst weltweit sehr schnell an. Wie die Internationale Energiebehörde mitteilt, wird sich der weltweite



© www.freerimages.co.uk

*Alle elektronischen Geräte wie Videorekorder, Fernseher oder Computer benötigen Strom.*



*Elektrizität ist die vielseitigste Form von Energie.*



Stromverbrauch zwischen 2002 und 2030 verdoppeln. In den Entwicklungsländern wird er am stärksten ansteigen. Derzeit hat etwa ein Viertel der Weltbevölkerung immer noch keine Stromversorgung.

wieviel Energie wir dabei verbrauchen, müssen wir einen Weg finden, die unterschiedlichen Formen miteinander zu vergleichen. In welchen Einheiten messen wir also Energie?

### Wie misst man Energie?

Energie hat viele Formen: Wir verbrauchen Strom für die Beleuchtung unserer Häuser und Straßen, wir kochen mit Gas, und manchmal machen wir ein Kaminfeuer mit Holz. Wenn wir wissen wollen,

Die verschieden Energieformen haben eines gemeinsam: sie können Arbeit verrichten. Diese Fähigkeit kann mit etwa mit dem Anheben eines Gewichts anschaulich machen. Die hierfür aufzuwendende Energie wird in Joule (J) gemessen. Ein Joule ist gleich der Energie, die benötigt wird, um über die Strecke von einem Meter die Kraft von einem Newton aufzuwenden.

*Tabelle 1:  
Soviel Energie enthält unsere Nahrung:  
(Quelle: Food and Nutrition department, Singapur)*

Nahrungsmittel	Portionsgröße / Menge	Gewicht (g)	Energiegehalt (kJ)	Energiegehalt (kJ/gr)
Butter / Margarine	1 Esslöffel	15	466	31
Erdnussbutter	1 Esslöffel	15	378	25
geröstete Erdnüsse	1 Esslöffel	30	718	24
Milchschokolade	2 Rippen	40	890	22
Kartoffelchips	1 Packung	35	785	22
Schokotorte	1 Stück	55	1.054	19
Schweinegeschnetzeltes	1 Portion	85	1.184	14
Apfelstrudel	2 Scheiben	85	1.105	13
Hamburger	1 Portion	100	1.121	11
Brot	1 Scheibe	60	647	11
Grillhähnchen	1 Portion	90	815	9
Nasi Goreng	1 Portion	400	3.242	8
Speiseeis	1 Becher	45	374	8
Gekochtes Ei	1	50	311	6
Gekochter Reis	1 Teller	200	1.092	5
Vollmilch	1 Glas	250	945	3,8
Yoghurt	1 Becher	200	716	3,6
Cola	1 Dose	285	491	1,7
Banane	1	90	176	1,9
Apfel	1	150	223	1,5
Karotte	1	65	97	1,5
Orange	1	150	181	1,2
Wassermelone	1 Stück	200	130	0,6
Gurke	5 Scheiben	40	25	0,6

### Ganz genau!

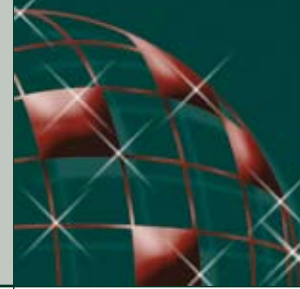
Wenn du genau ausrechnen willst, wieviel Energie du brauchst, um eine bestimmte Masse hochzuheben, verwendest du die Formel Energie = Masse x Beschleunigung der Schwerkraft x Höhe, oder  $E = m \cdot g \cdot h$ . Auf der Erde beträgt  $g$  ungefähr  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Um also 100 Gramm einer Masse (also 0,1 kg) einen Meter hochzuheben, brauchst du  $E = 0,1 \cdot 9,81 \cdot 1 = 0,981$  Joule, also fast 1 Joule.

### Die Kalorie

Der Energiegehalt unserer Nahrung wird oft in *Kalorien* ausgedrückt. Mit einer Kalorie kannst du ein Gramm Wasser um ein Grad aufheizen. Eine Kalorie bedeutet so viel wie 4,19 Joules. Eine größere Einheit ist die *Kilokalorie* (kcal):  $1 \text{ kcal} = 1.000 \text{ cal} = 4.190 \text{ Joules}$ .

Ein erwachsener Mann nimmt typischerweise pro Tag ungefähr 2.300 kcal zu sich, eine erwachsene Frau 2.000 kcal. Diese Zahlen hängen jedoch stark von Alter, Gewicht und Aktivität ab.





Damit du dir vorstellen kannst, wieviel Energie das ist: Die Kraft von einem Newton reicht gerade aus, um einen Apfel mit einer Masse von 100 Gramm um einen Höhenmeter anzuheben. Wenn wir also einen Apfel einen Meter anheben möchten, brauchen wir dafür ein Joule an Energie. Für zwei Meter brauchen wir folglich zwei Joule, um zehn Kilogramm einen Meter anzuheben brauchen wir zehn Joule und so fort.

Ein Joule verkörpert nicht besonders viel Energie, meist sprechen wir von Kilojoule (1.000 J = 1 kJ), oder Megajoule (1.000.000 J = 1 MJ). Alle Energieformen können in Joule gemessen werden: wenn wir z.B. einen Liter Benzin verbrennen, setzt er 28 MJ an Energie frei.

Auch unser Körper verbraucht Energie. Nahrung wird in Energie verwandelt, damit wir gehen, unsere Muskulatur bewegen, wachsen und unsere Zellen regenerieren können. Eine Banane enthält etwa 180 kJ, ein Schokoriegel ungefähr 1400 kJ. Auf den meisten Verpackungen ist der Energiegehalt der Nahrung angegeben.

Einheit	Symbol	Äquivalenzmenge in Joule
Kilojoule	kJ	1.000 J (= $10^3$ J)
Megajoule	MJ	1.000.000 J (= $10^6$ J)
Kilowattstunde	kWh	3.600.000 J (= $3,6 \cdot 10^6$ J)
Eine Tonne Öl-Äquivalent	Toe	$41,87 \cdot 10^9$ J
Kalorie	Cal	4,19 J

Wenn du für eine Minute schnell läufst, verbrauchst du 150 kJ, bei einer Minute Radfahren sind es nur 50 kJ. Selbst wenn du schläfst, verbrauchst du immerhin noch 4 kJ pro Minute. Wenn du also einen Schokoriegel isst, kannst du mit seiner Energie zehn Minuten laufen oder sechs Stunden schlafen. In Tabelle 1 findest du den Energiegehalt einiger Nahrungsmittel.

### Leistung

Neben Energie gibt es auch noch Leistung. Leistung ist die „Menge an Energie pro Zeiteinheit“ und wird daher in Joule pro Sekunde (J/s) bzw. Watt (W) gemessen. Eine 100 Watt-Glühbirne verbraucht z.B. 100 Joule pro Sekunde und folglich 6.000 Joule pro Minute. Auf den meisten Geräten wie etwa dem Fernseher oder dem Mikrowellenherd ist die Leistung angegeben. Der Mikrowellenherd zum Beispiel hat 1.000 Watt, ein Radiowecker etwa 10 Watt.

*Tabelle 2:  
Gebräuchliche  
Energieeinheiten  
in Joule*

### Wie man große Zahlen schreibt

Um große Zahlen einfacher darstellen zu können, verwenden wir in diesem Text die Exponentialschreibweise. Hierbei zählt man die Nullen, anstatt sie alle aufzuschreiben. Statt der Zahl 5000 können wir auch  $5,0 \cdot 10^3$  schreiben.

Aus 1.000.000 wird folglich  $1,0 \cdot 10^6$ , aus 5.124.000.000 wird  $5.124 \cdot 10^9$ .

*Unsere Nahrung enthält eine ganze Menge Energie: In diesen drei Paprikaschoten stecken ungefähr 300 Kilojoule.*



### Eine Tonne Öl-Äquivalent

Mit der Abkürzung „Toe“ eine Energieeinheit, die (fast) mit dem Wärmegehalt von einer Tonne Rohöl oder mit 41.868 Megajoules oder 107 Kcal gleichzusetzen ist. Die Einheit Toe wird oft bei Übersichten mit vielen unterschiedlichen Energiequellen (Kohle, Öl, Gas, Kernenergie etc.) verwendet.



### Was ist eine Pferdestärke?

Die Einheit Pferdestärke wird immer noch verwendet, um die Kraft von Verbrennungsmotoren anzugeben. Eine Pferdestärke (1 PS) entspricht 746 Watt. Seltsamerweise ist das etwa um die Hälfte mehr, als ein normales Pferd an einem Arbeitstag leisten kann.

### Energieeinheiten

1 kW = 1.000 Watt

1 Kilowatt-Stunde  
= 1.000 Watt pro Stunde = 3,6 MJ

1 Pferdestärke = 746 Watt

Was bedeutet nun 1.000 Watt oder 10 Watt? Nehmen wir als Beispiel unseren eigenen Körper. Zum Treppensteigen braucht man ein bestimmtes Quantum an Energie. Nehmen wir an, Linda wiegt 50 kg und möchte drei Stockwerke hinauflaufen, was einen Höhenunterschied von insgesamt zehn Metern ausmacht. Dafür braucht sie 4.900 Joule ( $E = m \times g \times h$ ,  $E = 50 \times 9,8 \times 10$ ). Wenn sie dafür 20 Sekunden braucht, bringt sie währenddessen eine Leistung von  $4.900/20 = 245$  Watt. Linda wird danach wohl ziemlich erschöpft sein.

Ohne zu ermüden, kann ein gesunder Mensch mit der Kraft seiner Hände über einen längeren Zeitraum nur ungefähr 50 Watt produzieren. Benutzt er seine Füße, zum Beispiel beim Radfahren, sind es über längere Zeit etwa 75-125 Watt. Bei einem Sprint sind es für etwa 30 Sekunden ungefähr 1.000 Watt. Um also einen 1.000-Watt-Mikrowellenherd per Muskelkraft mit der nötigen Energie zu versorgen, müssten ungefähr zehn Menschen gleichzeitig auf dem Fahrrad strampeln!

Energie und Leistung werden oft im selben Sinne benutzt, ihre Bedeutung ist jedoch unterschiedlich. Leistung misst, wie schnell Energie verbraucht wird. Ob

man nun zehn Joule in fünf Sekunden verbraucht, oder zehn Joule in zehn Sekunden — in beiden Fällen ist die verbrauchte Energie gleich groß. Im ersten Fall ist jedoch die Leistung  $10/5 = 2$  Watt, und im zweiten Fall  $10/10 = 1$  Watt, d.h. im zweiten Fall ist die Rate, mit der die Energie verbraucht wurde, kleiner.

### Energie in deinem Haushalt

Energie kommt in einem Haushalt in unterschiedlichen Formen vor. Den Strom aus der Steckdose verwenden wir dabei am häufigsten. Elektrische Energie wird von einer Stromquelle, wie z.B. einer Batterie oder einem Generator, produziert. Die meisten Haushalte beziehen ihren Strom von einem Kraftwerk mit mehreren großen Stromgeneratoren. Die Energie, die von den Generatoren produziert wird, wandert durch ein Leitungsnetz zu den einzelnen Häusern einer Siedlung. Die Einheit, in der Strom an die Haushalte verkauft wird, ist 1.000 Watt pro Stunde, also 1 Kilowatt-Stunde, oder kurz 1 kWh.

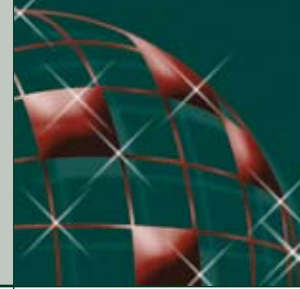
Wie viel Energie enthält 1 kWh? Nun, 1.000 Watt pro Stunde bedeutet dasselbe wie 1.000 Joule pro Sekunde  $\times$  3.600 Sekunden = 3.600.000 Joule. Dafür zahlt man in der Europäischen Union durchschnittlich 13 Eurocent. Stell dir vor, du mietest einen Top-Athleten, der diese Energiemenge für dich erzeugen soll, indem er mit dem Fahrrad einen Generator antreibt. Ein Athlet kann für mehrere Stunden 300 Watt produzieren, also muss er für 1 kWh 3 Stunden hart arbeiten! Und du musst ihm sehr wahrscheinlich wesentlich mehr als 13 Eurocent pro Stunde bezahlen!

Abgesehen von Strom, kommt Energie auch in Form von fossilen Brennstoffen wie Gas, Öl, Benzin und Kohle in unsere Haushalte. Gas und Öl werden vorwiegend zum Kochen und Heizen verwendet. Benzin treibt Motoren und damit auch Autos an. Viele Länder haben ein unterirdisches Gasleitungsnetz. Gas wird

*Mit einer Kilowatt-Stunde Strom kannst du mit deiner Stereoanlage 20-30 Stunden Musik hören.*



© www.freeimages.co.uk



aber auch in unterschiedlich großen Behältern verkauft, z.B. für den Campingplatz. Benzin bekommt man an Tankstellen. Wie du in Tabelle 3 siehst, liefert Gas viel Energie für wenig Geld. Deshalb wird es – wenn verfügbar – zum Kochen und Heizen bevorzugt verwendet.

Außerdem kaufen wir Batterien. Sie enthalten kleine Mengen an Energie in ihrer teuersten Form: Während eine Uhrenbatterie relativ billig ist, läge der Preis pro kWh bei ungefähr 900 Euro!

Energieform	Preis pro Einheit	Energiegehalt pro Einheit in kWh	Kosten pro kWh in Euro
Strom	1 kWh ~ 0,11 Euro	1	0,11
Erdgas	1 m <sup>3</sup> ~ 0,11 Euro	10	0,01
Benzin	1 Liter ~ 1,1 Euro	8	0,13
Batterie	1 AA ~ 1 Euro	0,001	900

*Tabelle 3:  
Energiegehalt und geschätzte Kosten der unterschiedlichen Energieformen (Niederlande, 2002).*

Gerät	Watt	Stunden pro Monat	KWh pro Monat
Klimaanlage (Wohnraum)	750	120 – 720	90 – 540
Wasserkocher (4-Personen-Haushalt)	3.800	98 – 138	375 – 525
Dehydriergerät	500	120 – 720	42 – 252
Waschmaschine	500	7 – 40	33 – 196
Kühl-Gefrier-Kombination (600 l)	5.000	150 – 300	75 – 150
Wäschetrockner	1.500	6 – 28	30 – 140
Wasserbettheizung	400	150 – 300	60 – 120
Geschirrspüler	1.300	8 – 40	20 – 102
Kühlschrank (450 l)	300	190 – 300	56 – 90
Heizlüfter	1.200	30 – 90	30 – 90
Luftbefeuchter	100	80 – 540	8 – 54
Computer	200	25 – 160	5 – 32
Fernseher	180	60 – 440	5 – 35
Mikrowellenofen	1.300	5 – 30	5 – 30
Kaffeemaschine	900	4 – 30	4 – 27
Deckenventilator	60	15 – 330	1 – 20
Beleuchtung (1 Glühbirne)	60	17 – 200	1 – 12
Leuchtstoffröhre (120 cm)	50	10 – 200	0,5 – 10
Fön	1.000	1 – 10	1 – 10
Ventilator (tragbar)	115	18 – 52	2 – 6
Stereoanlage	30	1 – 170	0,03 – 5,1
Staubsauger	800	2 – 6	2 – 5
Toaster	1.000	2 – 5	2 – 5
Wecker	5	720	4
Fluoreszierende Lampe (60W äquivalent)	18	17 – 200	0,3 – 3,6
Bohrmaschine	300	3 – 7	1 – 2
Elektrische Zahnbürste	10	1 – 2	0,01 – 0,02

*Tabelle 4:  
Energieverbrauch von Haushaltsgeräten  
(Quelle: NB Power, Frankreich)*

### Was du mit einer Kilowatt-Stunde Strom machen kannst:

- Dein Essen in einem energiesparenden Kühlschrank einen Tag lang kühlen
- Den Eiffel-Turm 4 cm hoch heben
- 0,86 m<sup>3</sup> Wasser um 1 Grad erwärmen
- Mit einem durchschnittlichen Auto mit Elektromotor 1,6 km weit fahren
- Mit einer Stereoanlage 20-30 Stunden Musik hören
- Eine Energiesparlampe mit 18 Watt 55 Stunden lang brennen lassen

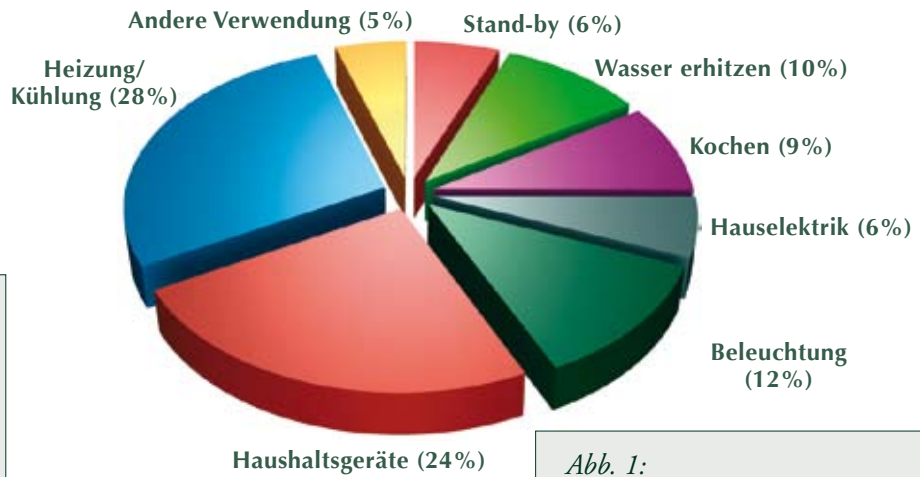


Abb. 1:  
Der durchschnittliche Stromverbrauch europäischer Haushalte 2002: Heizung und Kühlung beanspruchen den größten Teil; Beleuchtung macht nur 12% des Gesamtverbrauchs aus. (Quelle: IEA).

### Wie liest man eine Strom- oder Gasrechnung? Wie liest man den Stromzähler ab?

Die Abrechnung gibt an, wieviele Kilowattstunden Strom und Gas dein Haushalt in einem bestimmten Zeitraum verbraucht hat. Am Stromzähler kannst du ablesen, wieviel ihr zu einem bestimmten Zeitpunkt verbraucht. In einem Stromzähler befindet sich meist eine Drehscheibe. Je mehr Leistung verbraucht wird, umso schneller dreht sich diese Scheibe. Auf einer Zahlenanzeige kannst du sehen, wieviele Kilowatt-Stunden Strom schon verbraucht wurden. Dasselbe gilt für den Gaszähler. Nun weißt du, wie du den Energieverbrauch in deinem Haushalt pro Stunde, pro Tag, pro Woche usw. feststellen kannst!

### Wieviel Energie verbrauchst du?

Wir verbrauchen jeden Tag Energie, aber wieviel genau? Das hängt davon ab, wie und wo man lebt und was man den ganzen Tag so macht. Weil wir von Kilowattstunden als Maßeinheit für Energie gesprochen haben: Wieviele Kilowattstunden verbrauchst du in einem Monat eigentlich? Wie schon erwähnt, klebt auf den meisten Geräten ein Etikett auf dem steht, wieviel Leistung sie

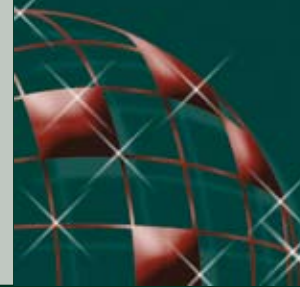
benötigen. Bei einem Fernseher sind das ungefähr 200 Watt, bei einem Toaster ungefähr 1.400 Watt.

Wenn du wissen willst, wieviel Energie du verbrauchst, musst du natürlich auch wissen, wie lange du ein Elektrogerät benutzt. Eine elektrische Uhr, die 5 Watt benötigt, verbraucht in einem Monat 3,7 kWh. Ein



oben:  
Manchmal verbraucht eine Uhr pro Monat mehr Energie als ein Toaster. Der Grund: Eine Uhr läuft ständig, ein Toaster wird nur hin und wieder für kurze Zeit benutzt.  
rechts Tabelle 5:  
Durchschnittlicher Energieverbrauch von Haushaltsgeräten pro Jahr

Gerät	kWh pro Jahr
Klimaanlage /Heizung	1.400
Warmwasserboiler	1.060
Gefrierschrank	480
Geschirrspüler	440
Kühlschrank	363
Beleuchtung	300
Waschmaschine	290
Elektroherd	230
Fernseher	220
Sonstige (Videorecorder, Fön, Stereoanlage, Staubsauger, etc.)	70



Toaster mit 1.400 Watt hingegen, der nur zwei Stunden im Monat benutzt wird, verbraucht nur drei kWh pro Monat! Fazit: Kleine Geräte, deren Energieverbrauch auf den ersten Blick harmlos erscheint, können auf lange Sicht wahre Großkonsumenten sein! Tabelle 4 zeigt dir die Leistung vieler Haushaltsgeräte, wie lange sie durchschnittlich benutzt werden, und wieviel Energie sie im Monat verbrauchen.

Welche Geräte verbrauchen viel Energie? In der Tabelle siehst du, dass Kühlschrank, Gefriertruhe, Klimaanlage, Heizung und elektrischer Warmwasserboiler große Mengen an Strom verbrauchen. Mit anderen Worten: Alle Geräte, die in einem Haushalt etwas mit Kühlen oder Heizen zu tun haben.

Abbildung 1 zeigt den Energieverbrauch eines durchschnittlichen Haushalts. Die Art, wie die europäischen Länder Energie verbrauchen, ist sehr unterschiedlich. Europa verbraucht ungefähr 4100 kWh pro Jahr, bzw. 340 kWh pro Monat. Es gibt eine einfache Möglichkeit zu prüfen, wieviel Strom deine Familie in einem Monat bzw. im Jahr verbraucht: Schau in euren Stromrechnungen nach! Sie zeigen genau, wieviele Kilowattstunden ihr pro Monat oder Jahr verbraucht habt.

In Tabelle 6 findest du den Stromverbrauch verschiedener europäischer Länder, wobei es große Unterschiede zwischen den einzelnen Staaten gibt. In Schweden

hat z.B. nur ein Prozent der Bevölkerung Zugang zum Stromnetz. Auf der anderen Seite gibt es in Schweden viel billigeren Strom aus Wasserkraft, und er wird fast überall eingesetzt – auch zum Heizen. Daher ist der Stromverbrauch in diesem Land besonders hoch.

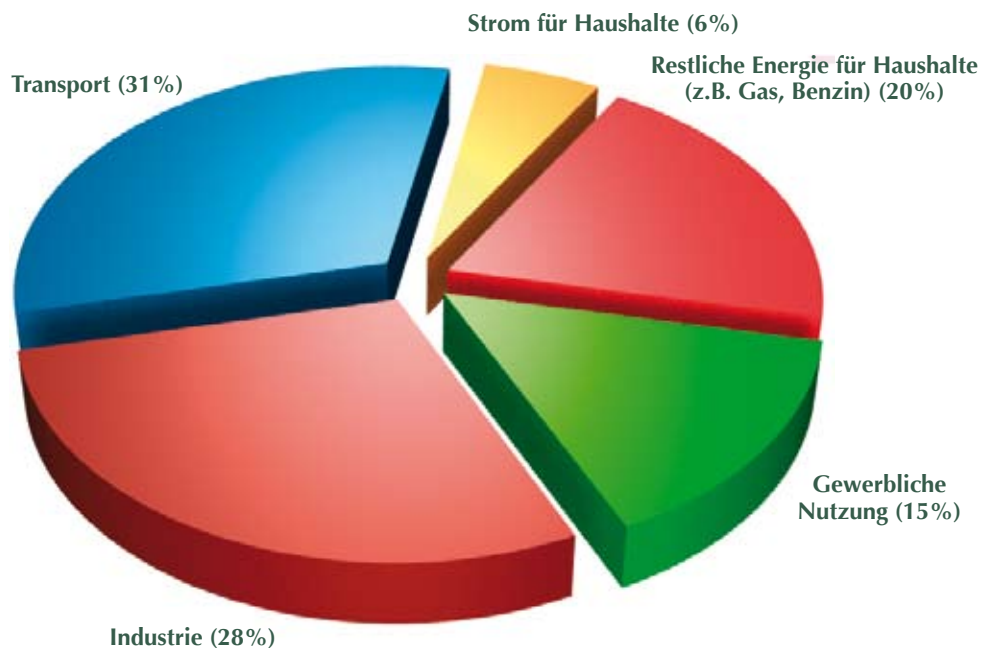
Land	Bevölkerung in Millionen	Gesamtstromverbrauch in Haushalten in Milliarden kWh pro Jahr	Stromverbrauch pro Person in kWh pro Jahr
Norwegen	4,5	33,60	7.467
Schweden	8,9	41,86	4.703
Finnland	5,2	18,49	3.556
Belgien	10,3	23,49	2.281
Schweiz	7,3	15,58	2.134
Frankreich	60,0	126,98	2.116
Dänemark	5,35	10,23	1.912
UK	60,0	110,47	1.841
Irland	3,85	6,51	1.691
Luxemburg	0,44	0,70	1.591
Österreich	8,15	12,91	1.584
Deutschland	83,0	131,28	1.582
Tschechische Republik	10,2	14,07	1.379
Niederlande	16,0	21,40	1.338
Bulgarien	7,7	10,12	1.314
Griechenland	10,6	13,49	1.273
Slovenien	2,0	2,38	1.190
Spanien	40,0	45,47	1.137
Slowakei	5,4	5,70	1.056
Italien	57,5	60,70	1.056
Ungarn	10,0	9,88	988
Portugal	10,1	9,53	944
Polen	38,7	20,81	538
Rumänien	22,4	7,88	352

### Energieverbrauch durch „stand-by“

Viele elektrische Geräte sind nie ganz ausgeschaltet, sondern dauernd im „stand-by-“ bzw. Bereitschafts-Modus. Auch „stand-by“ verbraucht Energie: durchschnittlich ungefähr 100 Watt. Schau mal zu Hause nach: Dreht sich trotzdem noch der Zähler, auch wenn eigentlich alle elektrischen Geräte ausgeschaltet sind?

Tabelle 6:

Der Stromverbrauch in Haushalten. Norwegen, Schweden und Finnland nutzen günstigen Strom aus Wasserkraft – auch zum Heizen. Belgien, die Schweiz und Frankreich produzieren viel Strom mit Kernkraft. Durchschnittlich leben 2,6 Personen in einem Haushalt.



**Abb 2:**  
Bestandteile des europäischen Energieendverbrauchs (Stand 2002). Insgesamt wurden 1080 Mtoe Energie verbraucht. Zu den Begriffen Primärenergie und Endverbrauch siehe Kapitel 1. (Quelle: Eurostat).

**Tabelle 7:**  
Gesamtenergieverbrauch in toe pro Jahr in unterschiedlichen Regionen der Erde. OECD steht für „Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung“ und umfasst folgende Länder: Österreich, Belgien, Tschechische Republik, Dänemark, Finnland, Frankreich, Deutschland, Griechenland, Ungarn, Island, Irland, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Polen, Portugal, Spanien, Schweden, Schweiz, Türkei und Großbritannien.

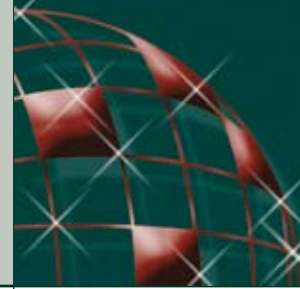
Wenn du den Stromverbrauch pro Jahr durch die Anzahl der Familienmitglieder in deinem Haushalt teilst und mit der Anzahl der Einwohner in deinem Land multiplizierst, kannst du den jährlichen Energieverbrauch aller Haushalte in deinem Land abschätzen. Stimmt der Wert, den du errechnet hast, mit demjenigen in Tabelle 6 überein?

Land	Bevölkerung in Millionen	Gesamtverbrauch an Primärenergie in Millionen toe	Primärenergie pro Person und Jahr in toe
Europa (OECD)	519	1.746	3,4
USA	273	2.270	8,3
Brasilien	168	179,7	1,07
China	1.254	1.088,3	0,87
Indien	997	480,4	0,48
Afrika	775	490	0,63
Welt	5.921	9.774	1,65

### Primärenergieverbrauch

Bisher haben wir nur darüber gesprochen, wieviel Strom wir verbrauchen. Zum Heizen und Kochen verwenden wir aber auch Gas. Autos, Züge und Flugzeuge verbrauchen Benzin oder andere fossile Brennstoffe. Fabriken dagegen verbrauchen ganz unterschiedliche Arten von Energie, um ihre Produkte herzustellen. Wieviel Energie verbraucht also ein ganzes Land?

Jedes Land nutzt seine Energiequellen mit unterschiedlichen Technologien und unterschiedlichem Wirkungsgrad. Es ist also nicht gerade einfach, ein Land in dieser Hinsicht mit einem anderen zu vergleichen, ebensowenig wie der Vergleich einer Energieform mit einer anderen. Wir benutzen daher denselben Trick wie zuvor: Wir messen alle Energieformen an ihrem Energiegehalt und addieren sie. Als Einheit wählen wir wieder das Äquivalent einer Tonne Rohöl, „toe“ („ton of oil equivalent“). Ein toe enthält etwa 41.867 Megajoule und stellt den durchschnittlichen Energiegehalt von einer Tonne Rohöl (vergleichbar mit dem Volumen von 7,5 Barrel Öl) dar.



Wenn wir über Primärenergie reden, meinen wir Energie in ihrer ursprünglichen Form. Sie wird teils in Strom umgewandelt, teils z.B. als Treibstoff für den Transport eingesetzt, und teils direkt zum Heizen oder für industrielle Prozesse genutzt. Anstatt den Verbrauch pro Land aufzulisten, blicken wir auf ganz Westeuropa und vergleichen diesen Wert mit den Werten anderer Länder der Erde. In Tabelle 6 kannst du sehen, wieviel Primärenergie in unterschiedlichen Staaten verbraucht wird und wie hoch der Pro-Kopf-Verbrauch ist.

In Tabelle 7 siehst du, dass ein Mensch in Europa etwa 3,4 Tonnen an Öläquivalent pro Jahr verbraucht. Der Energiegehalt von 3,4 Tonnen Öl beträgt ungefähr  $1,4 \times 10^{11}$  Joule. Wieviel Menschen wären nötig, um diese Menge an Energie allein mit Muskelkraft zu erarbeiten? Ein durchschnittlicher Mensch kann über einen längeren Zeitraum ungefähr 50 Watt erzeugen, das sind  $1,58 \times 10^9$  Joule pro Jahr (er müsste natürlich ein ganzes Jahr lang Tag und Nacht, an allen Wochentagen arbeiten). Daraus folgt: Jeder von uns bräuchte also fast 100 „Energiesklaven“,

um seinen Energieverbrauch ein Jahr lang zu sichern.

Und was ist mit dem Rest der Welt? Der Energiekonsum auf der Erde ist je nach Gebiet sehr unterschiedlich. In Tabelle 7 kannst du sehen, dass die Menschen in den USA ungefähr 10mal mehr Energie verbrauchen als Menschen in Indien oder Afrika und mehr als doppelt so viel wie wir Europäer.

### Wie man Energie effizient nutzt

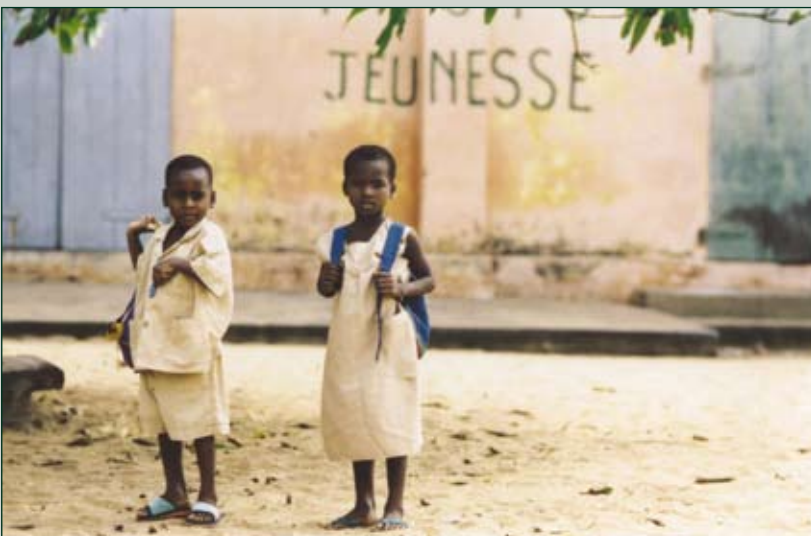
Natürlich lohnt es sich, Energie zu sparen. Wenn wir weniger Energie verbrauchen, müssen wir weniger Geld ausgeben und unsere Umwelt wird weniger belastet. Wenn wir aber bei geringerem Energieverbrauch dieselben Energieleistungen möchten, müssen wir die Energie effizienter nutzen. Natürlich kann die meiste Energie dort eingespart werden, wo auch die meiste verbraucht wird: beim Heizen, Kühlen und beim Transport. Ein Haus gut zu isolieren ist nicht teuer und spart eine Menge Energie beim Heizen im Winter und beim Klimatisieren im Sommer. Ein Kühlschrank sollte nicht dauernd unnö-

### Vom Primärenergieträger zur Stromgewinnung

Zur Stromgewinnung braucht man Primärenergieträger wie Kohle, Gas, Wind, oder Sonne. Mit fossilen Energieträgern, aus denen immer noch ein Großteil des Stroms gewonnen wird, wird Dampf erzeugt, der eine Turbine und anschließend einen Generator antreibt. Dabei wird nicht die gesamte in den fossilen Energieträgern enthaltene Energie in Strom umgewandelt: Ein großer Teil geht als Abwärme verloren. Der Anteil an Energie, der in Strom umgewandelt wird, ist stark von der Art des Brennstoffs und der zur Verbrennung benutzten Technologie abhängig. Durchschnittlich werden 33% der in fossilen Primärenergieträgern enthaltenen Energie in Strom umgewandelt, das heißt, der Wirkungsgrad liegt bei 33%. Wenn man also ein Joule an Strom erzeugen möchte, braucht man etwa drei Joule fossile Brennstoffe.

Der Energieverbrauch und der Verlust bei der Energieumwandlung in Kraftwerken, Raffinerien, Kohleöfen, während des Transports und der Verteilung ist ziemlich hoch. Das heißt, wir benötigen eigentlich viel mehr Energie als der Gesamtenergieverbrauch (z.B. der Stromverbrauch in unserem Haushalt) letztendlich angibt. Stell dir vor, du verbrauchst 1 kWh Strom, das entspricht etwa 3,6 MJ. Um diese Energiemenge herstellen zu können, benötigst du fast 10 MJ an Primärenergie, also ungefähr das Dreifache der produzierten Menge.

*Kinder in Benin, Afrika. Menschen in den Vereinigten Staaten verbrauchen 13mal mehr Energie als Menschen in Afrika.*





tig geöffnet werden. Klimaanlage und Heizung können in der Nacht meist auf niedriger Stufe laufen. Generell verbrauchen neue Geräte viel weniger Energie. Alte Kühlschränke zum Beispiel brauchen oft dreimal soviel Strom wie neue.

Normale Glühbirnen wandeln ungefähr fünf Prozent der Energie, die sie verbrauchen in Licht um. Der Rest wird als Wärme abgegeben. Eine Glühbirne ist also im Grunde eine leuchtende kleine Heizung. Fluoreszierende Glühbirnen („Energiesparlampen“) sind viel effektiver: Sie verwandeln, je nach Typ, 4 bis 6mal mehr Energie in Licht. Wenn du also fluoreszierende Lichtquellen verwendest, brauchst du fünfmal weniger Energie und bekommst genausoviel Licht. Außerdem haben sie eine längere Lebensdauer.

*Tabelle 8:  
Soviel Energie ist in gängigem Baumaterial gebunden:  
(Quelle: CSIRO, Australien)*

Material	Gebundene Energie in MJ pro kg	Gebundene Energie in toe pro Tonne
Aluminium (neu)	170	4,06
Aluminium (recycled)	17	0,40
Beton	1,9	0,05
Bauholz	3	0,07
Pressspanplatte	24,2	0,58
PVC	80	0,91
Lehmziegel	2,5	0,06
Stahl	38	0,90

Ein Flugzeug benötigt viel Energie. Wenn du von Europa aus nach New York und wieder zurück fliegst, verbrauchst du allein dieselbe Menge an Energie wie sie ein Haushalt in einem ganzen Jahr in Form von Strom verbraucht.

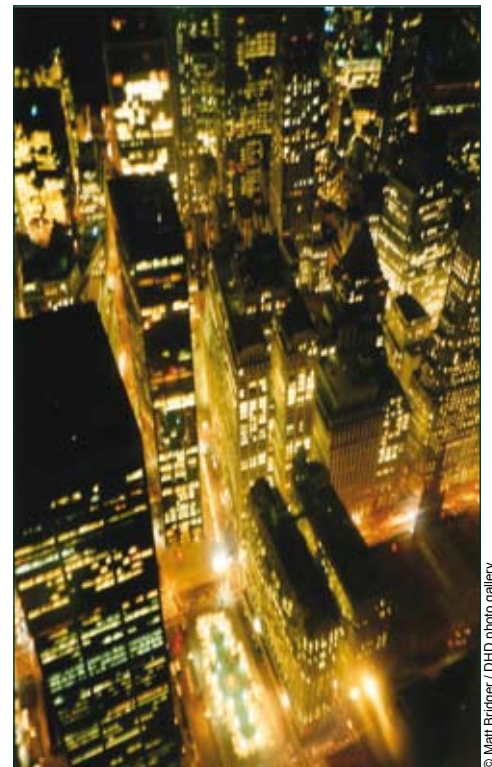
Viele industrielle Betriebe bemühen sich heute um energiesparende Produktionsmethoden: Optimierte Verfahren gewinnen Wärme zurück, die früher aus den Schloten geblasen wurde. Biologisches Abfallmaterial wird zu Biogas verarbeitet, das wiederum als Brennstoff dient. Die optimierten Produktionsprozesse gewinnen manchmal bis zu 30 % der verbrauchten Energie zurück!

Gegenwärtig schätzt man, dass der „stand-by“-Betrieb von elektrischen Geräten bis zu 6% des Stromverbrauchs in europäischen Haushalten ausmacht. Die europäische Union will eine verbindliche Obergrenze von 1 Watt für den „stand-by“-Verbrauch aller elektrischen Geräte einführen.

### Energieverbrauch der Industrie

Die Herstellung eines jeden Materials verbraucht eine bestimmte Menge an Energie. Diese Energie heißt gebundene Energie. Einige Materialien, wie z.B. Plastik, werden aus Erdölprodukten hergestellt. Tabelle 8 zeigt dir die gebundene Energie einiger Baustoffe in Megajoule pro Kilogramm. Besonders die Produktion von Aluminium und PVC (wird z. B. für Plastikrohre verwendet) verbraucht sehr viel Energie. Beton, Ziegelsteine und Bauholz beinhalten sehr wenig gebundene Energie. In einem durchschnittlichen Haus können leicht bis zu 900.000 Megajoule gebunden sein, das entspricht etwa 250.000 kWh! So viel Strom verbraucht ein durchschnittlicher Haushalt in Europa in 60 Jahren!

Einige Industriezweige verbrauchen mehr Energie als andere. Zählen wir die „Top 5“ der Energieverbraucher auf:

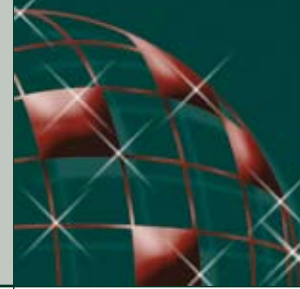


© Matt Bridger / DHP photo gallery

*Manhattan bei Nacht (New York, USA)*

- An erster Stelle stehen die Energieunternehmen selbst: Kraftwerke, Ölraffinerien und Kohleumwandlungsprozesse verbrauchen riesige Mengen an Energie, um sie in die jeweils benötigte Form umzuwandeln.
- Eisen und Stahl: Die Verarbeitung von Eisenerz zu Metall und die Stahlproduktion verschlingen große Mengen an Energie. Zum Schmelzen und Veredeln von metallischen Materialien (Kupfer, Stahl, Aluminium) braucht man viel Energie. Aluminium-Werke werden öfters in der Nähe einer billigeren Stromquelle – wie einem Wasserkraftwerk – betrieben.
- Chemische Fabriken: Zur Herstellung von Basischemikalien, die anderweitig in der Industrie verwendet werden, von Kunststoff und synthetischen Fasern, von Endprodukten wie Arzneimitteln, Kosmetika, Düngemitteln etc.
- Papierprodukte: Zur Herstellung von Holzbrei und Zellulosefasern, Papier-





und Papierendprodukten wird sehr viel Energie zum Heizen und Trocknen verwendet.

- Das Brennen von nicht metallischen Materialien wie Zement, Glas und allen Arten von Ziegeln in speziellen Öfen verbraucht viel Energie.

Im Allgemeinen hat die Industrie einen großen Anteil am gesamten Primärenergieverbrauch eines Landes. In Europa verbraucht die Industrie zum Beispiel 28 % der Primärenergie (s. Abb. 2).

### Jetzt bist du dran!

- Wie würde ein Tag ohne Strom aussehen?
- Finde den Energiegehalt von fünf Lebensmitteln in deinem Haushalt heraus. Wie lange könntest du mit dieser Energiemenge laufen, Fahrrad fahren oder schlafen?
- Lies nach, warum es 1970 eine Ölkrise gab und wie sie sich entwickelte. Mit welchen Maßnahmen hat die Regierung deines Landes auf sie reagiert?
- Schreib dir den heutigen Stand von Gas und Stromzähler in deinem Haushalt auf und mach dies eine Woche später noch mal. Rechne dir den wöchentlichen Gas- und Stromverbrauch aus und vergleiche ihn mit dem deiner Freunde (denk an die Anzahl der Personen, die in dem jeweiligen Haushalt leben!).
- Welche zusätzlichen Möglichkeiten fallen dir ein, um Energie einzusparen? Wieviel Energie könntest du damit pro Monat einsparen?
- Schreib eine kleine Broschüre, die die Menschen zum Energiesparen anregen soll. Welchen Titel würdest du ihr geben?



### Zusammenfassung

- Energieleistungen können in heizen und kühlen, Transport und Sonstiges unterschieden werden.
- Alle Formen von Energie werden in Joule (J) ausgedrückt.
- Leistung ist die Energie, die pro Zeiteinheit produziert oder verbraucht wird. Sie wird in Watt (W) angegeben, gleichzusetzen mit Joule pro Sekunde(J/s).
- Elektrische Energie wird normalerweise in Kilowattstunden angegeben (kWh).
- Heizen und kühlen verbraucht die meiste Energie im Haushalt.
- In unterschiedlichen Regionen der Welt werden unterschiedliche Mengen an Energie verbraucht.
- Wenn wir Energie mit unserer Muskelkraft produzieren müssten, wären 100 Menschen nötig, um den Energiebedarf eines einzigen Menschen pro Tag zu decken.
- Der Verbrauch von Primärenergie zur Stromproduktion ist nur ein kleiner Teil der gesamten verbrauchten Primärenergie.

### Schau doch mal ins Internet!

[www.iea.org](http://www.iea.org)

Die Internetseite des "International Energy Agency", auf der du Informationen und Statistiken finden kannst.

[www.iiasa.ac.at](http://www.iiasa.ac.at)

Eine regierungsunabhängige Organisation, die Studien über Umwelt, Wirtschaft, Technologie und soziale Fragen durchführt.

[www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)

Hier findest du offizielle Energiestatistiken der US Regierung.

[www.ase.org/educators/](http://www.ase.org/educators/)

Zur effizienten Energienutzung von Schulen.

# 4 Die Energiequellen

Es gibt viele unterschiedliche Energiequellen. Wir nutzen fossile Brennstoffe wie Kohle, Öl oder Gas, wir nutzen die Kraft von Wind und Sonne, wir haben Kernkraftwerke und große Staudämme. Wissenschaftler arbeiten an der Energiegewinnung durch Kernfusion, der Energiequelle der Sonne und Sterne.

2002 betrug der weltweite Energieverbrauch etwa 10.230 Millionen Tonnen an Öläquivalent (toe). Dieser enorme Bedarf wird durch viele verschiedene Energiequellen gedeckt (siehe Abbildung 3), die wir uns im folgenden Kapitel genauer ansehen.

## Energie aus fossilen Brennstoffen

Kohle, Öl und Gas liefern weltweit etwa 80 % der benötigten Energie. Sie heißen fossile Brennstoffe, weil sie aus prähistorischen Pflanzen und Lebewesen bestehen, die vor etwa 300 Millionen Jahren gelebt haben. Als diese Ur-Lebewesen abstarben, wurden sie zersetzt und unter vielen hundert Meter dicken Schichten von Gestein, Schlamm und Sand begraben. Im Laufe von Jahrmillionen bildeten

sich aus den abgestorbenen Pflanzen und Tieren durch hohen Druck und hohe Temperaturen langsam unsere heutigen fossilen Brennstoffe. Davon gibt es unterschiedliche Arten, wie z.B. Öl, Gas oder Kohle – abhängig von Tier- und Pflanzentyp, von den Temperatur- und Druckbedingungen, sowie der Einlagerungszeit in der Erde.

## Öl

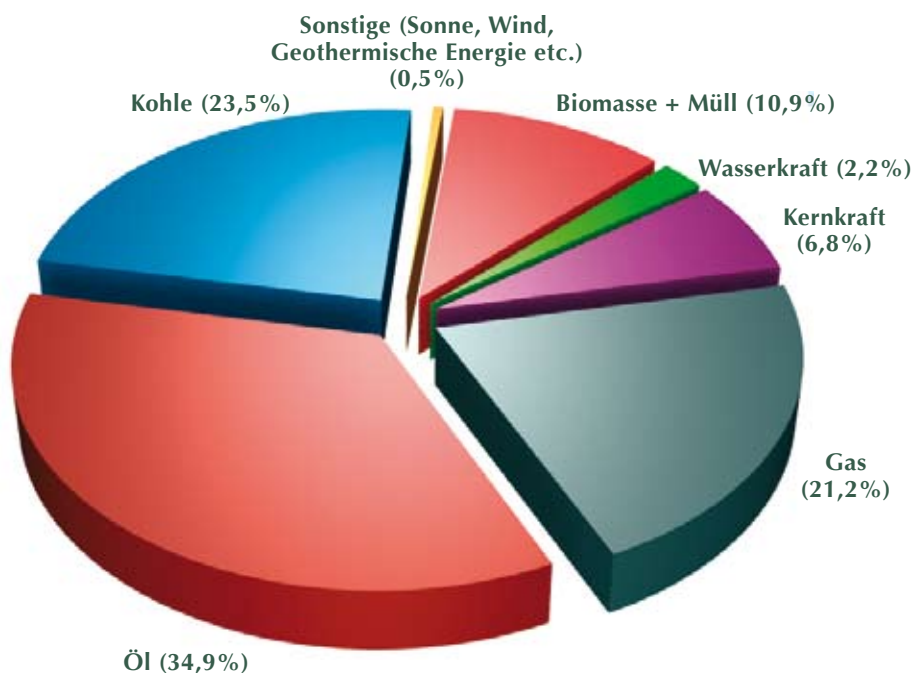
Öl bringt Bewegung in unser Leben. Fast das ganze Transportwesen – Autos, Lkws, Flugzeuge und Züge, die Diesel als Antrieb verwenden – brauchen Treibstoff, der aus Öl gewonnen wird. Erdöl, das erst „Rohöl“ ist, ist ein sehr komplexes Material. Wenn es raffiniert wird, entstehen ca. 30 verschiedene Treibstoffe: Benzin, Kerosine, Diesel usw. Schmiermittel aus Öl halten die Maschinen der Fabriken in Gang. Auch Düngemittel in der Landwirtschaft werden aus Öl hergestellt.

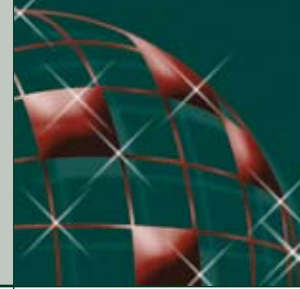
Öl und Erdgas entstanden aus Organismen, die im Wasser lebten und unter Ablagerungen im Ozean begraben wurden. Das Öl lagerte sich unter der Erde als kleine Tropfen in porösen Steinen ab. Die sogenannten „Poren“ der Steine und die kleinen Öltropfen darin sind nur unter dem Mikroskop sichtbar. Öl besteht aus Kohlenwasserstoffen. Das sind lange Ketten aus Kohleatomen, an die sich Wasserstoffatome gebunden haben.

## Erdgas

Erdgas besteht hauptsächlich aus Methangas ( $\text{CH}_4$ ), einer Komponente, die sich chemisch aus einem Kohleatom und vier Wasserstoffatomen zusammensetzt. Methangas ist leicht entflammbar und verbrennt fast rückstandslos. Es entsteht keine Asche und nur wenig Luftverschmutzung.  $\text{CO}_2$ , das dann entsteht, wenn Erdgas verbrannt wird, ist nicht giftig. Erdgas ist farblos und ist in seiner reinen Form geruchlos.

Abb. 3:  
Die Primärenergiequellen. Kohle, Öl und Gas machen zusammen 80 % der Primärenergie aus, erneuerbare Energiequellen wie Sonne, Wind und geothermische Energie ungefähr 0,5%.





Heute liefert Erdgas ein Fünftel der gesamten Energie, die in der EU verbraucht wird. Eine besonders wichtige Rolle spielt es in den Haushalten. Dort produziert es fast die Hälfte der Energie, die zum Heizen, Kochen und Erhitzen von Wasser benötigt wird. Damit wir riechen können, wenn Gas austritt, wird ihm eine Chemikalie zugesetzt.

Gas hat viele Vorteile. Es ist leicht zu transportieren: Durch eine Pipeline strömt

Heute wird sie hauptsächlich zur Stromproduktion verwendet. Bis ins 19. Jahrhundert wurde auch Holzkohle in großen Mengen verbraucht. Kohle bildet sich aus den abgestorbenen Überresten von Bäumen, Farnen oder anderen Pflanzen, die vor 300 oder 400 Millionen Jahren wuchsen.

Die unterschiedlichen Arten von Kohle haben unterschiedliche Eigenschaften. Anthrazit ist sehr hart, gibt viel Hitze, verbrennt nur mit kleiner Flamme und

*Eine Tiefpumpe mit so genanntem Pferdekopfantrieb wird eingesetzt, sobald der Eigendruck der Öllagerstätte nachlässt.*



*Jeden Tag verbrauchen wir weltweit 74 Millionen Barrel Öl.*

es von einem Haus zum anderen. Es verbrennt sauber und mit einem hohen Wirkungsgrad. Gas wird in Kraftwerken zur Stromproduktion eingesetzt. In Fabriken wird es sowohl als Treibstoff, als auch als Ausgangsstoff für viele Chemikalien – wie Düngemittel – benutzt.

### **Kohle**

Aus der Familie der fossilen Brennstoffe kommt Kohle am häufigsten vor und hat die längste Geschichte. Die Menschen benutzten Kohle von jeher zum Heizen.

bildet wenig Rauch. Generell gilt, je härter die Kohle, desto mehr Energie ist in ihr gebunden, bis zu 31 MJ pro Kilogramm. Dampfkohle, die hauptsächlich in Kraftwerken verwendet wird, hat einen geringeren Hitzegehalt, etwa 25 MJ pro Kilogramm. In einigen Ländern wird die sogenannte Braunkohle verwendet. Ihr Hitzegehalt ist noch geringer.

Kohle wird in Kraftwerken verbrannt, um Strom zu erzeugen. Würde der durchschnittliche Energieverbrauch eines euro-



päischen Haushalts (4100 kWh pro Jahr) ausschließlich mit Kohle gedeckt, würde eine Familie jährlich 1800 kg. Kohle benötigen. Auch wenn du also nie Kohle zu Gesicht bekommst, verbrauchst du täglich welche!

### Wie wir fossile Brennstoffe nutzen

Wir verwenden Erdöl für den Transport, Erdgas zum Heizen und für die Stromproduktion. Kohle – wie du in Abb. 4 sehen kannst – wird meistens für die Stromproduktion verwendet.

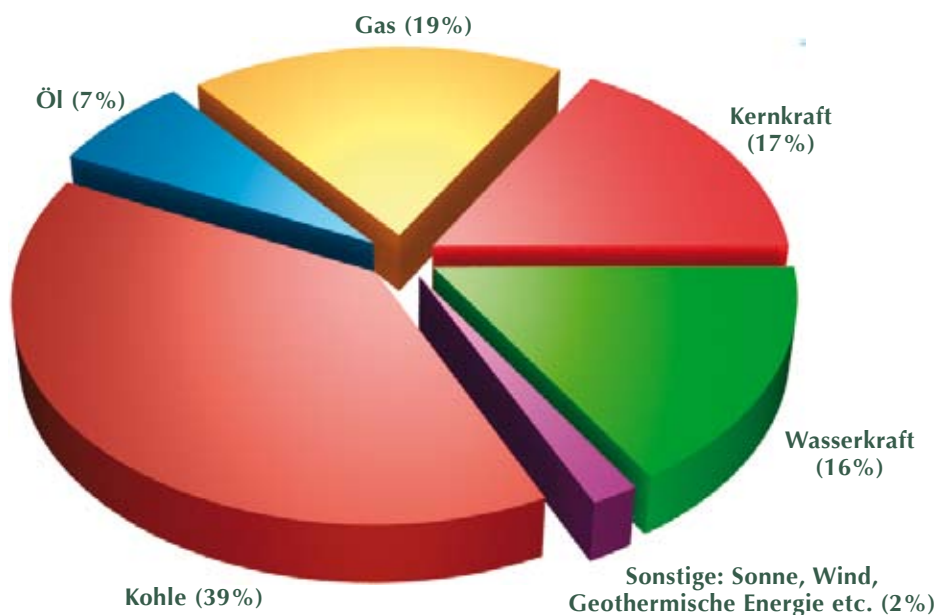
Jedes Jahr verbrennen wir die gleiche Menge an fossilen Brennstoffen, wie sie die Natur in einer Million Jahren gebildet hat. Noch sind fossile Brennstoffe auf der Erde reichlich vorhanden, genug um unseren Energiebedarf zumindest für die nächsten hundert Jahre zu sichern. Das Verbrennen fossiler Brennstoffe bringt jedoch viele Probleme mit sich, z.B. die Luftverschmutzung durch Schwefeldioxyd ( $\text{SO}_2$ ), Stickoxyde ( $\text{NO}_2$ ) und feine Staubpartikel. Da fossile Brennstoffe hauptsächlich aus Kohle bestehen, entsteht Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ). Dieses Gas bildet eine Hülle, die die Wärme in unserer

### Wie Strom produziert wird

Mit Ausnahme von Solar- und Brennstoffzellen, die später besprochen werden, wird Strom grundsätzlich von einem Generator erzeugt. Um in einem Generator Strom zu erzeugen, wird eine Stromschleife in einem Magnetfeld bewegt. Das wechselnde Magnetfeld treibt den elektrischen Strom durch die Spule und dann in einen externen Kreislauf, wo er nützliche Arbeit verrichten kann. Es gibt viele Arten mechanische Kraft zu erzeugen, die dann einen Generator antreibt: zum Beispiel Dampf-, Gas- oder Windturbinen.

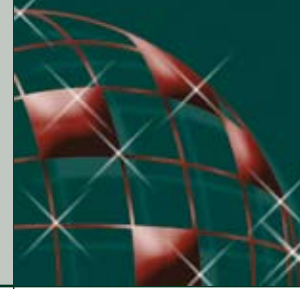
Bei einer Dampfturbine wird Wasser beispielweise durch Verbrennen von fossilen Brennstoffen erhitzt. Der so

Abb. 4:  
Der Energiebedarf für die weltweite Stromproduktion im Jahr 2002.  
(Quelle: IEA)



Atmosphäre zurückhält und damit den so genannten Treibhauseffekt bewirkt. Diese Probleme werden im nächsten Kapitel diskutiert.

Fossile Brennstoffe sind nicht gleichmäßig über die ganze Erde verteilt. Ungefähr 80% der Ölvorkommen befinden sich im Mittleren Osten. In etwa 30 Jahren werden die meisten europäischen und amerikanischen Gasvorkommen erschöpft sein. Viele Länder möchten deshalb von ausländischen Energiequellen weniger abhängig werden.



erzeugte Dampf wird durch eine Turbine getrieben, die mechanisch an einen Generator gekoppelt ist, der dann wiederum Strom produziert.

Eine Gasturbine funktioniert ähnlich: Wenn Gas gezündet wird, dehnt es sich aus. Das sich ausdehnende Gas treibt die Turbine eines Stromgenerators an. Zusätzlich wird mit der Hitze des brennenden Gases Dampf erzeugt, der eine Turbine antreibt.

Die Rotoren einer Windturbine treiben ebenfalls einen Generator an. Auch ein Wasserfall kann durch eine hydraulische Turbine geleitet werden, die an einen Generator gekoppelt ist. Wir werden uns diese Arten der Stromgewinnung später genauer ansehen. Ein Netz von Überlandleitungen

transportiert den elektrischen Strom von den großen Kraftwerken zu den Verbrauchern. Dabei wird der Strom übrigens nicht in den Kabeln gespeichert: Jedes Quentchen Strom, das du nutzt, wird erst in Bruchteilen einer Sekunde vor seinem Verbrauch produziert. Das heißt: Sobald du das Licht anmachst, muss ein Kraftwerk irgendwo mehr Strom produzieren und verbraucht mehr Kohle oder Gas.

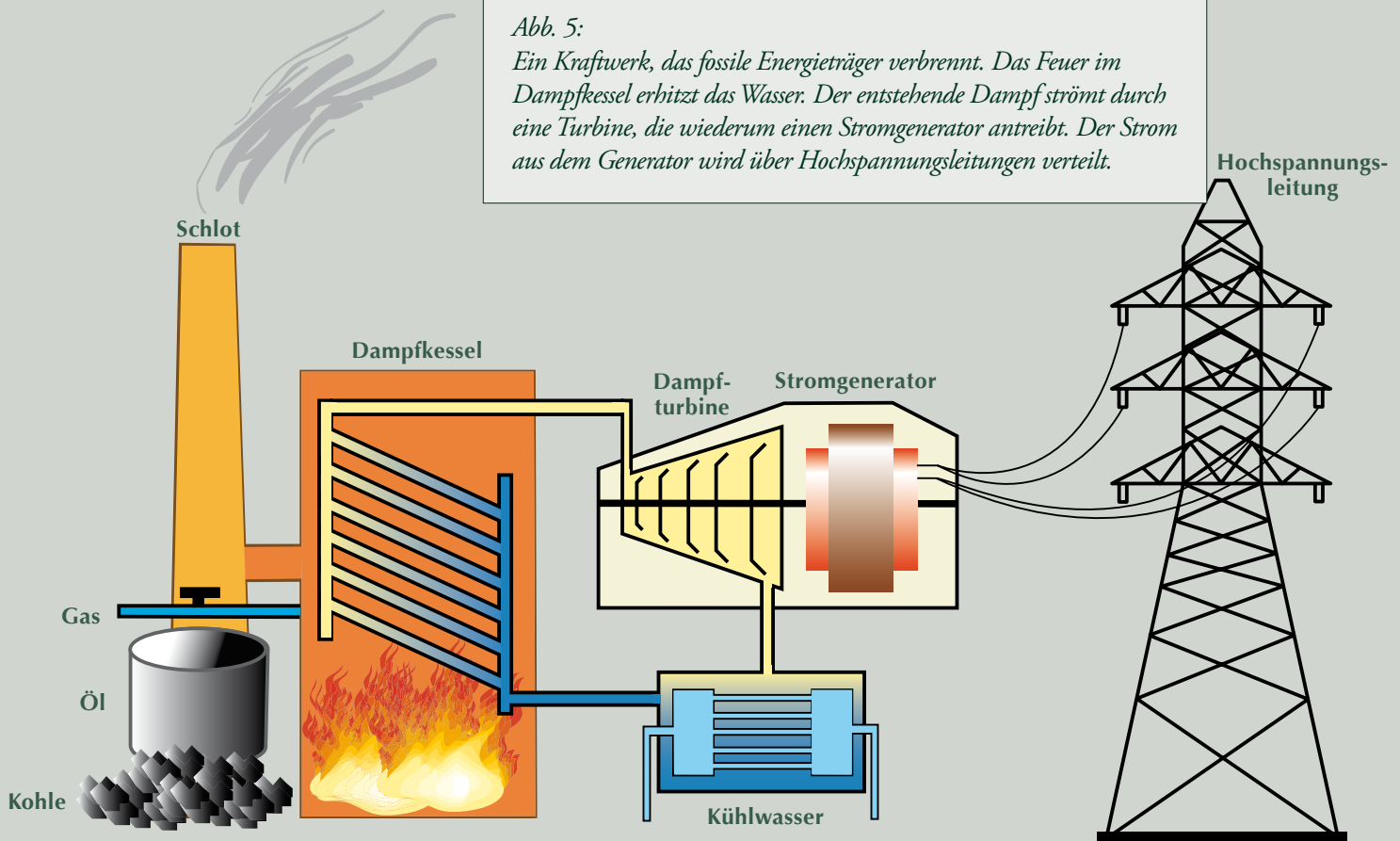
Für gewöhnlich besitzt ein Land mehrere große Kraftwerke, die Strom in der Größenordnung von 500 bis 1.500 MW produzieren können. Die meisten Kraftwerke werden mit Kohle, Gas oder mit Hilfe der Kernspaltung betrieben. Kleinere Stromgeneratoren werden mit Diesel betrieben, der aus Öl gewonnen wird. Diese sogenannten Dieselgenera-

toren produzieren zwischen 1 kW und 10 MW an Strom und können einfach transportiert werden.

Auf dem Weg von primären Energieträgern wie Kohle oder Öl zu Energieleistungen wie Licht oder heißem Wasser geht viel Energie verloren. Etwa 35% der Primärenergie wird in Strom verwandelt, der Rest geht als Wärme verloren. Im Verteilungsprozess verliert man noch einmal 10%. Schließlich wird die Elektrizität in Energieleistungen umgewandelt, und auch währenddessen geht einiges verloren. Auf der nächsten Seite kannst du diesen Vorgang am Beispiel der Glühbirne nachvollziehen.

Abb. 5:

Ein Kraftwerk, das fossile Energieträger verbrennt. Das Feuer im Dampfkessel erhitze das Wasser. Der entstehende Dampf strömt durch eine Turbine, die wiederum einen Stromgenerator antreibt. Der Strom aus dem Generator wird über Hochspannungsleitungen verteilt.





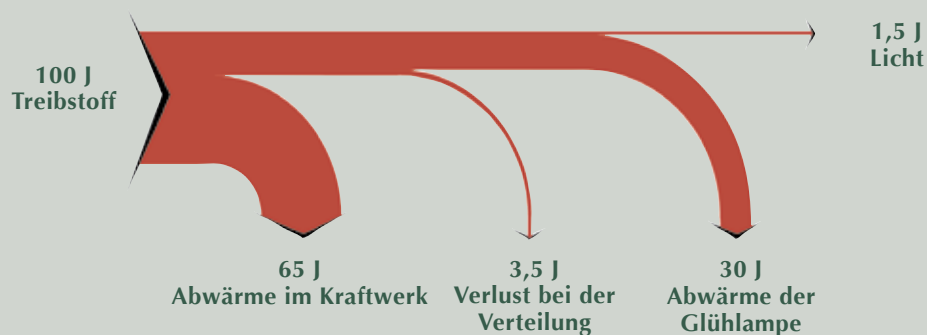
## Kernspaltung

Bisher haben wir uns mit fossilen Brennstoffen beschäftigt. Sie setzen ihre Energie in einer chemischen Reaktion mit Luftsauerstoff frei. Hierbei schließen sich die Atome zu neuen stabileren Molekülen zusammen. Eine solche Neukombination ist auch unter den Elementarteilchen – den Protonen und Neutronen – die den Kern eines Atoms bilden, möglich. In diesem Fall ist die freigesetzte Energie in jedem einzelnen Prozess millionenfach größer, denn die Kräfte im Atomkern sind viel stärker als solche, die in chemischen Reaktionen wirken. Weil pro Kilogramm Brennstoff viel mehr Energie freigesetzt wird, ist die Gesamtmenge des im Kraftwerk eingesetzten Materials entsprechend millionenfach kleiner als im Falle fossiler Brennstoffe.

Es gibt zwei Arten von Kernreaktionen, bei denen Energie freigesetzt wird: die Spaltung schwerer Kerne, wie z.B. Uran – dieses Verfahren wird in den gängigen Atomkraftwerken praktiziert – und die Verschmelzung von sehr leichten Kernen, wie z.B. dem Wasserstoff. Mittels dieser sogenannten Kernfusion erzeugen die Sterne ihre Energie. Auf der Erde soll dieser Prozess eines Tages in einem Fusionsreaktor nachvollzogen werden.

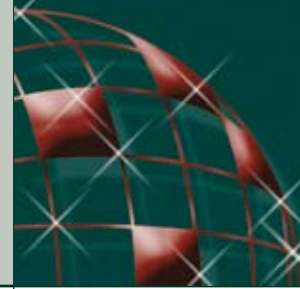


*Fast der ganze Gütertransport ist von fossilen Brennstoffen, meist von Erdöl, abhängig.*



**Abb. 6:**  
*Die Energieeffizienz von der Energiequelle bis zum Endverbrauch in einer Glühlampe. 65 Joule der ursprünglich 100 Joule in Form von Brennstoff gehen als Abwärme im Kraftwerk verloren. Während der Verteilung über eine Stromleitung gehen wiederum 3,5 Joule verloren.*

*In einer Glühlampe werden nur 5% des Stroms in Licht umgewandelt, das macht ungefähr 1,5 Joule. In der Lampe werden 30 Joule Wärme produziert. Fluoreszierende Lichtquellen sind effektiver: anstelle von 1,5 Joule wandeln sie etwa 25 Joule (also ein Viertel der eingesetzten Energie) in Licht um.*



Es gibt zwei Typen naturbelassenen Urans: Uran-235 und Uran-238. Die Zahlen geben die Gesamtmenge von Protonen und Neutronen im Atomkern an. Uran-238 hat 3 Neutronen mehr in seinem Kern und ist stabil, während Uran-235 instabil und deshalb radioaktiv ist.

Ein Uran-235-Kern zerfällt spontan und entsendet dabei zwei, respektive drei Neutronen. Wird ein freies Neutron von einem anderen Uran-235-Kern absorbiert, bringt es ihn dazu, ebenfalls zu zerfallen. Hierbei entstehen weitere freie Neutronen. Ist genügend Uran-235 auf kleinem Raum vorhanden, findet eine Kettenreaktion statt, die große Mengen an Energie produziert.

Die Kernspaltung wird bereits flächendeckend genutzt. Kernkraftwerke decken heute etwa 17% des weltweiten Strombedarfs. Das für die Kernspaltung benötigte Uran wird dabei aus unterirdisch vorkommendem Uranerz gewonnen. Uranerz besteht hauptsächlich aus dem stabilen Uran-238 und muss aufbereitet werden, bevor es genügend instabiles Uran-235 enthält. Eine kleine Menge Uran beinhaltet sehr viel Energie: Mit einem Stück von der Größe eines Golfballs kann so viel Strom produziert werden, wie mit

20 Waggonladungen Kohle. Dabei entstehen kein saurer Regen, Kohlendioxid oder andere Abgase.

Ein Problem an der Energiegewinnung mittels Kernspaltung ist der radioaktive Abfall. Die in der Kernreaktion entstehenden Neutronen aktivieren das Material, aus dem der Reaktor gebaut ist. Atommüll muss daher sehr vorsichtig entsorgt und an einem Ort gelagert werden, wo er für sehr lange Zeit (teilweise für zehntausende von Jahren) nicht mit der Außenwelt in Berührung kommt. Feste geologische Formationen, wie zum Beispiel unterirdische Salzstollen, gelten als sichere Lagerstätten. Da Spaltprodukte weiterhin Wärme ausstrahlen, müssen sie gekühlt werden, auch nachdem das Kraftwerk geschlossen wurde.

Das Design eines modernen Kernkraftwerks bietet ein hohes Maß an Sicherheit und sollte verhindern, dass radioaktives Material in die Umwelt gelangt. Diese Kraftwerke haben mehrfache, unabhängig voneinander arbeitende Sicherheitssysteme, die ein Austreten von radioaktivem Material verhindern, selbst wenn ein oder zwei Systeme zur selben Zeit ausfallen würden.

### Schau doch mal ins Internet!

[www.fe.doe.gov/education/](http://www.fe.doe.gov/education/)  
Eine Seite über Kohle, Öl und Erdgas, veröffentlicht vom amerikanischen Ministerium für Energie.

[www.actewagl.com.au/education/electricity/generation/fossilfuels.cfm](http://www.actewagl.com.au/education/electricity/generation/fossilfuels.cfm)  
Stromproduktion aus fossilen Energieträgern.

[www.eia.doe.gov/kids/non-renewable/nonrenewable.html](http://www.eia.doe.gov/kids/non-renewable/nonrenewable.html)  
Alles über fossile Brennstoffe.

[www.ase.org/educators/lessons/fossil.pdf](http://www.ase.org/educators/lessons/fossil.pdf)  
Lehrpläne verschiedener Highschools zu fossilen Brennstoffen.

### Einstein und die Kernenergie

Albert Einstein entdeckte, dass Masse in Energie umgewandelt werden kann und umgekehrt. Er drückte dies in der Formel  $E = mc^2$  aus. E steht für Energie, m steht für Masse und c steht für die Lichtgeschwindigkeit. Die Formel beschreibt, wieviel Energie man bekommt, wenn man eine Masse m in Energie verwandelt. Die Lichtgeschwindigkeit beträgt 300.000.000 Meter pro Sekunde. Das Quadrat dieser Zahl ist fast unvorstellbar groß. Wenn man eine Masse von 500 kg in Energie verwandeln möchte, bekommt man  $4,5 \cdot 10^{19}$  Joule an Energie. Das wäre genug um den Energiebedarf der ganzen Erde für ein Jahr zu decken. Wenn man diese Menge an Energie mit fossilen Brennstoffen decken wollte, bräuchte man 5 Billionen Tonnen Kohle!

Wollte man diese Menge Kohle auf einen Zug laden, würde er 14 Mal um die Erde reichen. Der extrem hohe Wirkungsgrad ist ein wesentlicher Pluspunkt der Kernspaltung.



*Kernkraftwerk in Borssele (Niederlande)*

© Stichting Borssele 2004+



Nach einer „Bedenkpause“ ziehen viele Länder den Bau von Kernkraftwerken heute wieder in Betracht. Trotz der gegenwärtigen Probleme mit der öffentlichen Akzeptanz ist die Kernenergie neben der Wasserkraft die einzige CO<sub>2</sub>-freie Energiequelle zur umfangreichen Stromgewinnung. Daher ist es sehr wichtig, die Sicherheits- und Abfallprobleme zu lösen und die Kernenergie bestmöglich zu nutzen.

Im Grunde entsteht unsere gesamte Energie durch Fusion. Fossile Brennstoffe bestehen meist aus Pflanzen, die vom Sonnenlicht lebten. Wind entsteht durch Temperaturschwankungen in der Atmosphäre, die durch die Sonne verursacht werden. Wasserkraft entsteht durch das Verdampfen von Wasser (aber nur bei Dampfmaschinen, nicht bei Wasserkraftwerken), das von der Sonne aufgeheizt wurde. Auch die Sonne bezieht ihre Energie aus der Kernfusion.



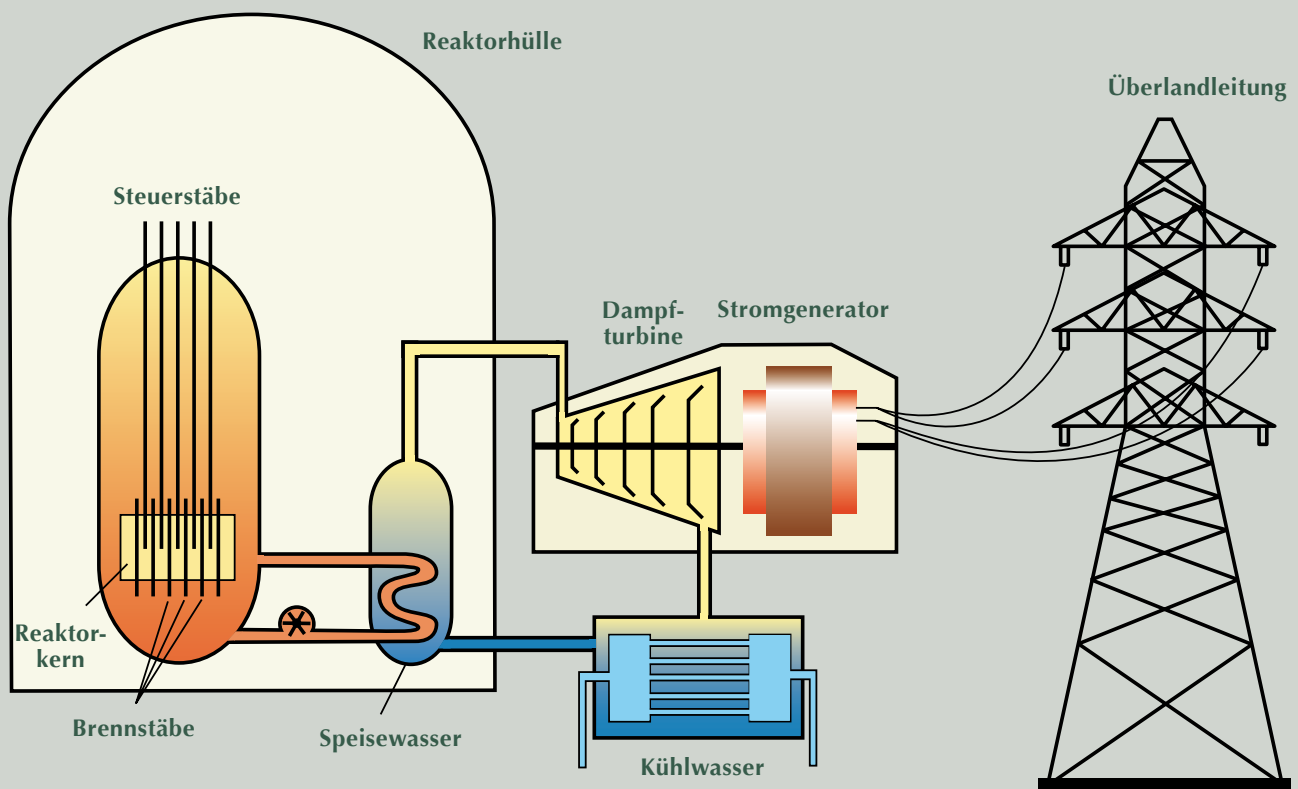
© Stichting Borssele 2004+

Hier wird ein Brennstab im Reaktor-kern gewechselt

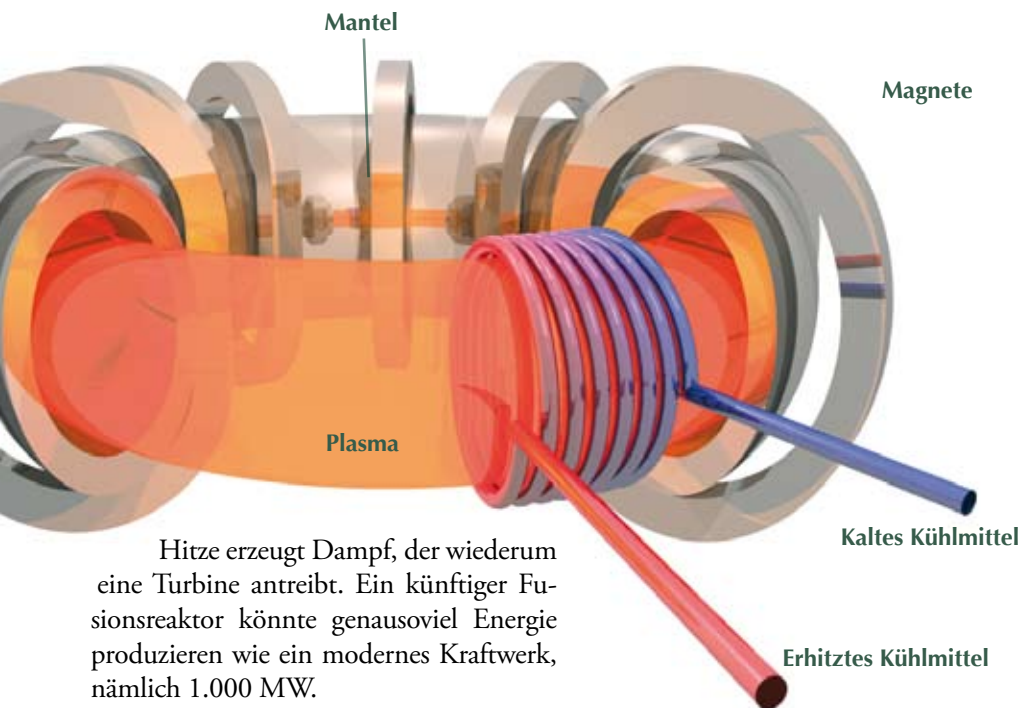
### Kernfusion

Verschmilzt man die kleinen Kerne zweier Atome zu einem größeren, entstehen große Mengen an Energie. Diese so genannte Kernfusion ist die Energiequelle der Sonne und der Sterne und ist daher die häufigste Art der Energiegewinnung im Universum. Die Sonne verbrennt das leichteste Element, den Wasserstoff (600 Millionen Tonnen pro Sekunde), der zu Helium verschmilzt. Beim Fusionsprozess werden keine Schadstoffe freigesetzt.

Um die Fusionsenergie auch auf der Erde nutzen zu können, arbeiten Wissenschaftler an der Entwicklung eines Fusionsreaktors. Er besteht aus einem großen ringförmigen Behälter, dem so genannten Torus (Bild 8). Im Torus wird ein Wasserstoff-Gas auf 150 Millionen Grad Celsius aufgeheizt – das ist ungefähr zehn mal heißer als die Temperatur im Inneren der Sonne. Durch die extreme Hitze verschmelzen – fusionieren – die Atomkerne. Die entstehende







Hitze erzeugt Dampf, der wiederum eine Turbine antreibt. Ein künftiger Fusionsreaktor könnte genauso viel Energie produzieren wie ein modernes Kraftwerk, nämlich 1.000 MW.

Auf der Erde werden für die Kernfusion Deuterium und Tritium als Brennstoffe verwendet. Beide sind so genannte Isotope des Wasserstoffs. Deuterium enthält ein zusätzliches Neutron im Kern und kann aus Meerwasser gewonnen werden: Ein Kubikmeter Wasser enthält 33 Gramm Deuterium. Tritium, das zwei zusätzliche Neutronen enthält, ist eine radioaktive Substanz mit einer Halbwertszeit von 12,3

Jahren, daher kommt es in der Natur nur in geringen Mengen vor. Es wird innerhalb des Fusionsreaktors aus Lithium gewonnen, einem Metall, das ziemlich häufig vorkommt. Im Fusionsprozess verschmelzen ein Deuterium-Kern und ein Tritium-Kern zu einem Helium-Kern, wobei ein Neutron freigesetzt wird.

*Abb. 8:  
Das Prinzip eines Fusionsreaktors:  
Im Plasma werden Deuterium und Tritium verschmolzen und setzen dabei große Mengen Hitze frei. D-förmige Magnete, die den Mantel der Anlage umgeben, halten den Plasmastrom unter Kontrolle. Im Inneren des Mantels zirkuliert Wasser, das durch die entstehende Hitze verdampft. Der Dampf treibt eine Turbine an und erzeugt auf diese Weise Strom.*

### Schau doch mal ins Internet!

[www.nea.fr/](http://www.nea.fr/)

Seite mit allgemeinen Informationen über Kernenergie in französischer und englischer Sprache.

[www.world-nuclear.org/education/education.htm](http://www.world-nuclear.org/education/education.htm)

Informationen zu allen Aspekten der Kernenergie.

[www.nei.org/scienceclub/index.html](http://www.nei.org/scienceclub/index.html)  
Hier findest du Klassenprojekte, Spiele und andere links.

*Abb. 7 (links):*

*Das Prinzip eines Kernkraftwerks:  
Brennstäbe aus Uran werden im Reaktorkern platziert. Die heißen Brennstäbe erhitzen Wasser, das mit Hilfe eines Wärmetauschers Dampf erzeugt, der eine Turbine antreibt. Der Reaktorkern ist in einer Sicherheitshülle eingeschlossen.*

*Ein brennendes Plasma*





Die Fusionsbrennstoffe sind gehaltvoll: Das in einem Liter Meerwasser enthaltene Deuterium enthält zusammen mit etwa derselben Menge an Tritium so viel Energie wie 340 Liter Benzin. Ein typisches Fusionskraftwerk mit einer Leistung von 1.000 MWel würde pro Jahr etwa 250 kg Brennstoff benötigen. Dabei gibt es in den Weltmeeren genug Deuterium, um unseren Energiebedarf für Millionen von Jahren zu sichern.

Wenn Gas auf 100 Millionen Grad erhitzt wird, verwandelt es sich in Plasma, d.h. alle Elektronen lösen sich von den Atomen. Damit das extrem heiÙe Plasma nicht mit den Wänden des Torus in Berührung kommt, muss es von sehr starken Magnetfeldern kontrolliert werden. Wie du dir vorstellen kannst, ist es nicht ganz einfach, eine Sonne auf der Erde strahlen zu lassen. Deshalb wird die Kernfusion wohl erst in der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts zur Deckung des Energiebedarfs beitragen

können. Im Jahre 2015 soll als „next step“, der Experimentalreaktor ITER, gebaut werden. Er wird in Cadarache, Südfrankreich gebaut und sollte beweisen, dass Fusion sowohl wissenschaftlich als auch technologisch machbar ist.

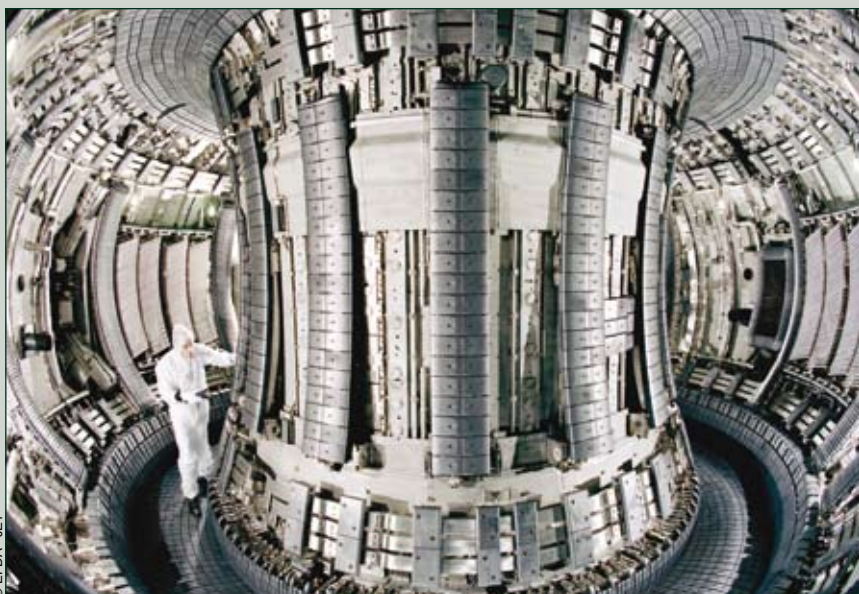
Obwohl aus dem Fusionsprozess selbst keine Abfallprodukte entstehen, werden die inneren Strukturen des Reaktors während des Betriebs aufgrund der im Fusionsprozess produzierten Neutronen radioaktiv. Am Ende der Betriebszeit eines Fusionskraftwerks müssen diese Reaktorteile entsorgt und für einige Jahrzehnte eingelagert werden. Bei sorgfältiger Auswahl der Materialien produzieren Fusionsreaktoren jedoch keinen langlebigen radioaktiven Abfall.

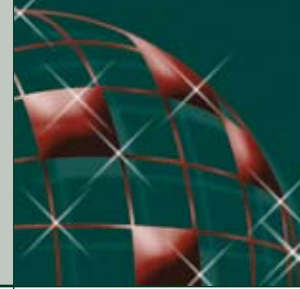
### Wasserkraft

Zur Stromerzeugung kann man auch die Fallkraft des Wassers nutzen und mit ihr einen Generator antreiben. In einigen bergigen Regionen, wie z.B. in Nepal, wird das Wasser aus kleinen Flüssen genutzt, um Strom für einen oder mehrere Haushalte zu liefern. Solche Systeme können etwa 100 Watt liefern und benötigen weder einen Staudamm noch ein Wasserreservoir. Sie werden hauptsächlich in ländlichen Gegenden genutzt, wo der lokale Energiebedarf gering ist.

Will man mehr Energie erzeugen, kann man mit Hilfe eines Staudamms einen künstlichen See anlegen. Das Wasser aus dem Stausee läuft durch Schleusen in Kanäle und treibt große Turbinen an (Abb. 9). Diese Systeme können Strom für mehrere Großstädte produzieren. Der Itapu-Staudamm beispielsweise, der an der Grenze zwischen Brasilien und Paraguay und nahe der Grenze zu Argentinien steht, ist seit 1984 in Betrieb. Er ist der größte Staudamm der Welt und bringt eine Leistung von 9.000 MW.

*So sieht der Torus eines Fusionsreaktors von innen aus. Dieser hier ist Teil der JET Maschine (Joint European Torus), die in England in der Nähe von Oxford steht.*





## Erneuerbare Energiequellen

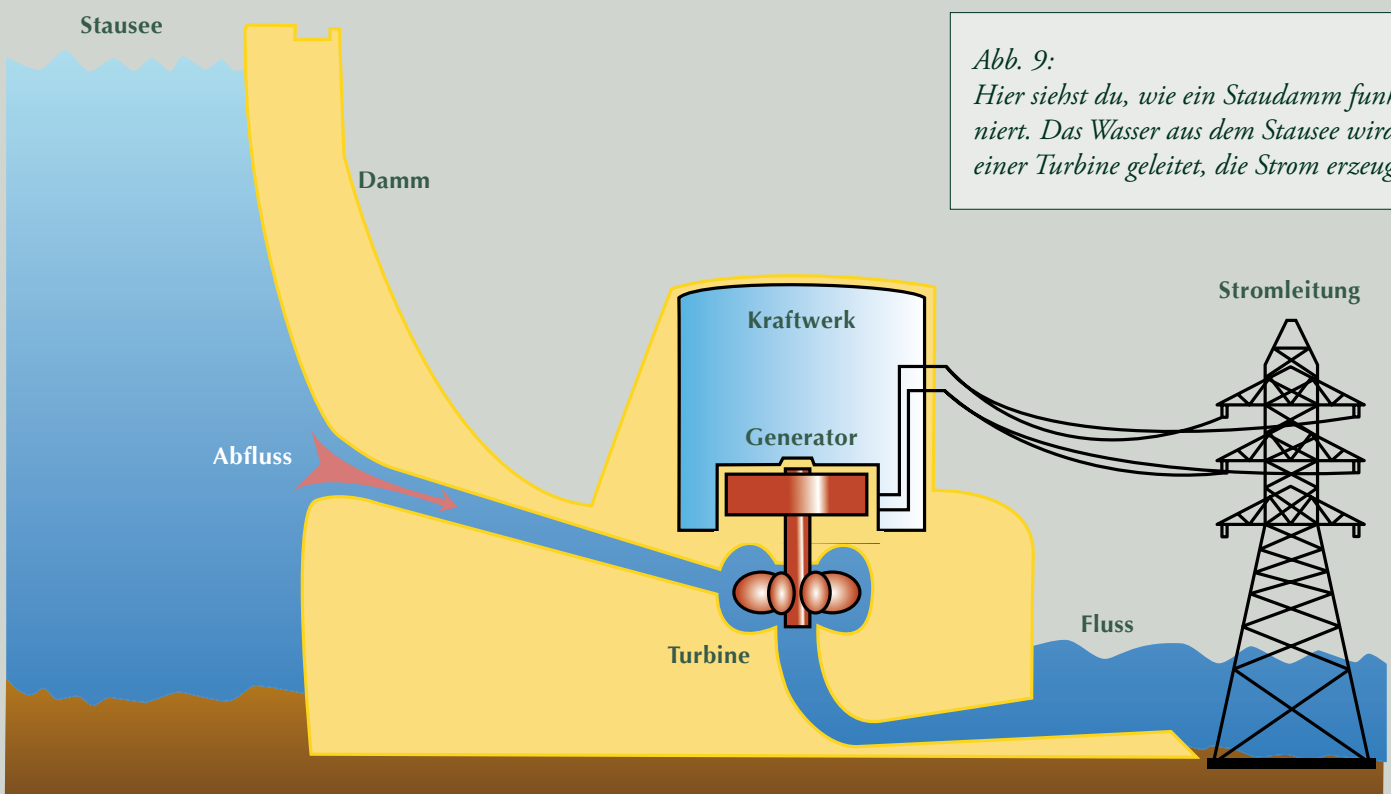
Eine *erneuerbare* Energiequelle regeneriert sich, wie der Name schon sagt, immer wieder von selbst. Sonne, Wind und Wasserkraft sind Beispiele für erneuerbare Energiequellen. Biomasse wie Holz und Zellulose können erneuerbare Energiequellen sein, wenn sie nachgepflanzt werden. Erdwärme ist reichlich vorhanden und wird wohl nicht so schnell erschöpft sein – daher zählt auch sie unter die erneuerbaren Energiequellen.

Einige erneuerbare Energiequellen, wie Sonne und Wind, sind fast überall auf der Welt verfügbar. Die Anlagen, die man zur Stromproduktion benötigt, wie z.B. Solarzellen oder Windkraftträder, sind normalerweise relativ klein. Dadurch können sie Strom direkt dort produzieren, wo er gebraucht wird und heißen daher *dezentralisierte* Anlagen.



© PIX DOENNEL

*Energie aus Wasserkraft:  
Das Wasser des Stausees strömt aus den Turbinen*



*Abb. 9:  
Hier siehst du, wie ein Staudamm funktioniert. Das Wasser aus dem Stausee wird zu einer Turbine geleitet, die Strom erzeugt.*



Während kleine Wasserkraftwerke keine nennenswerten Auswirkungen auf die Natur haben, sind große Systeme wie Staudämme und -seen nicht so harmlos, wie sie auf den ersten Blick erscheinen. Wird ein neuer Damm in einem besiedelten Gebiet geplant, müssen die Menschen ihre Dörfer verlassen und sie dem Stausee opfern. Für den Bau des „Drei-Schluchten-Damms“ am Yangtze Fluss in China mussten fast zwei Millionen Menschen umgesiedelt werden. Im Laufe des letzten Jahrhunderts verloren insgesamt etwa 40 bis 80 Millionen Menschen auf diese Weise ihre Heimat.

Ein anderes Problem, das große Stauseen mit sich bringen, sind die Umweltschäden in den gefluteten Gebieten und das Methangas, das durch die im Wasser verfaulenden Pflanzen erzeugt wird. Methan unterstützt den Treibhauseffekt und trägt so zur globalen Erwärmung bei. 60% der Flüsse auf der Erde wurden bereits künstlich aufgestaut. Doch ein Staudamm hat schwerwiegende Folgen für den natürlichen Lauf eines Flusses und sein Ökosystem. Im Laufe eines Jahres ziehen z.B. bestimmte Fischarten flussauf- und abwärts. Ihnen wird der angestammte Weg durch einen Damm versperrt. Schätzungen zufolge wurde so der Bestand an Süßwasserfischen bereits um 1/5 dezimiert.

Etwa 16% des Stroms auf unserer Erde werden durch Wasserkraft erzeugt, zumeist in großen Kraftwerken. Die Orte, an denen auf diese Weise effektiv Strom gewonnen werden kann, sind natürlich begrenzt, daher ist diese Energiequelle nicht beliebig ausbaubar. Um unseren wachsenden Energiebedarf zu decken, müssen wir auf andere Quellen zurückgreifen.

### Energie aus dem Meer: Wellen und Gezeiten

An manchen Orten ist der Unterschied zwischen Ebbe und Flut im Ozean groß genug, um damit ein Wasserkraftwerk zu betreiben. Das Wasser wird bei Flut durch einen Damm aufgestaut, bei Ebbe fließt es durch Generatoren – auf diese Weise wird Strom produziert. Das erste sogenannte „Gezeitenkraftwerk“ nahm seine Arbeit 1968 in Frankreich auf. 1984 kam ein weiteres hinzu: das 20 MW Kraftwerk in Nova Scotia Bay in Kanada. Ungefähr 40 Orte sind weltweit für Gezeitenkraftwerke geeignet.

Aus dem Ozean kann aber noch mehr Energie gewonnen werden. Die gängigste Anlage ist eine windmühlenähnliche Konstruktion, die Strom erzeugt, wenn Wasser hindurchfließt. Es gibt aber auch unterschiedliche Methoden den Wellengang zu nutzen: Systeme aus spitz zulaufenden Kanälen, die die Wellenkraft noch zusätzlich verstärken und so Turbinen antreiben oder Flutungssysteme, die mit fallendem oder steigendem Wasserspiegel Kolben antreiben, die wiederum Energie erzeugen.

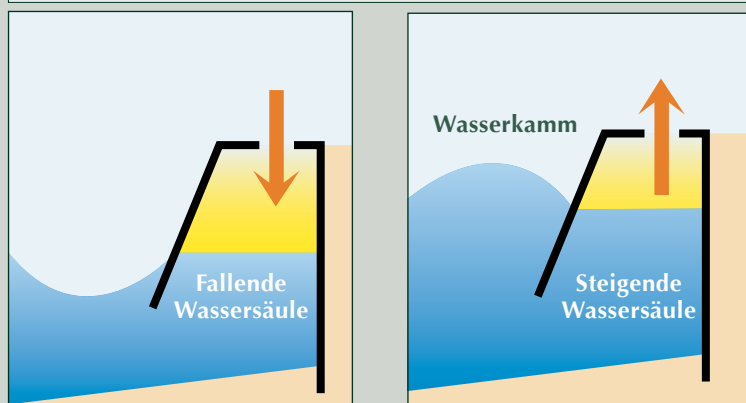
#### Schau doch mal ins Internet!

*Wasserkraft und Energie aus dem Meer*

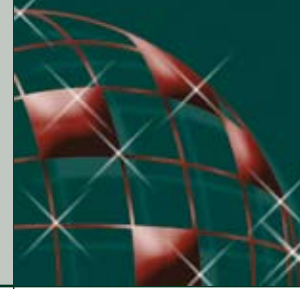
[www.eren.doe.gov/RE/ocean.html](http://www.eren.doe.gov/RE/ocean.html)  
Seite der amerikanischen Regierung zum Thema Energie aus dem Meer.

[www.iclei.org/efacts/hydroele.htm](http://www.iclei.org/efacts/hydroele.htm)  
Eine Seite rund um Strom aus Wasserkraft

*Abb. 10: Die Kraft der Wellen:  
Eine steigende bzw. fallende Wassersäule presst Luft zusammen.  
Die komprimierte Luft treibt eine Turbine an*



Die folgende Technologie ist vielversprechend: Am Strand wird eine Betonkammer gebaut, die zur Meerseite hin offen ist. Wird das Wasser durch den Wellengang in die Kammer gedrückt, presst es die Luft-



säule in der Kammer automatisch nach oben in eine Turbine (Fig. 10). Strömt das Wasser zurück, wird Luft von oben durch die Turbine in die Kammer gesogen. Die Turbine treibt einen Stromgenerator an. Mit dieser Art von Anlagen wird z.B. in Schottland experimentiert: Auf der Insel Islay gibt es bereits einen 500 kW Generator.

### Erneuerbare Energiequellen

Unter „Erneuerbare Energien“ werden im allgemeinen Sprachgebrauch solche Energieformen verstanden, die mit menschlichen Maßstäben gemessen unerschöpflich sind. Unerschöpflich bedeutet dabei zweierlei: Entweder ist die vorhandene „Energienmenge“ so groß, dass sie durch menschliche Nutzung nicht erschöpft werden kann (z.B. Sonnenenergie, Geothermik) oder sie erneuert sich zeitnah und kontinuierlich (z.B. Biomasse). Ist die Kernfusion technisch realisiert, wäre auch sie eine erneuerbare Energiequelle im Sinne dieser Definition, weil sie für Millionen Jahre Energie liefern würde.

Einige erneuerbare Energiequellen wie Sonne und Wind sind fast überall auf der Welt vorhanden, obwohl die verfügbare Menge vom jeweiligen Ort abhängt. Normalerweise produzieren nur kleine Einheiten, wie Sonnenkollektoren oder Windkraftanlagen, auf diese Weise Strom. Daher sind sie sehr gut für die Stromproduktion direkt vor Ort geeignet. Das nennt man „dezentralisierte“ Form der Stromgewinnung. Im Gegensatz dazu steht die „zentralisierte“ Stromgewinnung, bei der über ein Stromnetz die Energie aus den großen Kraftwerken verteilt wird.

*Hier wird Sonnenenergie mit Hilfe von Solarzellen in Strom umgewandelt.*



© Robb Williamson (PIX DOENREL)

### Sonnenenergie

Wenn die Sonne scheint, entfallen auf jeden Quadratmeter Erde, der im rechten Winkel zur Sonne steht, ungefähr 1.000 Watt Sonnenenergie. Über das Jahr gemittelt sind das 100 – 200 Watt. Jeder, der schon einmal mit einem Vergrößerungsglas in der Sonne gespielt hat, weiß, wieviel Wärmeenergie das Sonnenlicht enthält: Ein kleines Vergrößerungsglas reicht aus, um einen Gegenstand anzuzünden.

### Noch mehr Informationen im Internet!

*erneuerbare Energiequellen*

[www.re-energy.ca/](http://www.re-energy.ca/)

Eine der besten Internetseiten über erneuerbare Energiequellen.

Hier findest du praktische Anleitungen, wie ihr im Unterricht Windturbinen, Sonnenkollektoren und Wasserturbinen bauen könnt.

[www.soton.ac.uk/~engenvir/environment/alternative/hydropower/energy2.htm](http://www.soton.ac.uk/~engenvir/environment/alternative/hydropower/energy2.htm)

Eine sehr umfassende Seite über erneuerbare Energie. Sie enthält auch ein Glossar und erklärt genau, wie die Systeme in der Praxis funktionieren.

[www.rnrel.gov/education/](http://www.rnrel.gov/education/)

Hier gibt's Programme für Schüler und Lehrer.

[www.infinitepower.org/lessonplans.htm](http://www.infinitepower.org/lessonplans.htm)

Du suchst einen Unterrichtsplan? Hier gibt's ihn!



### Schau doch mal ins Internet!

[www.wattsonschoools.com/](http://www.wattsonschoools.com/)  
Lehrpläne, Solarenergiesysteme und ein Energieeinheitenrechner.

[www.worldbank.org/html/fpd/energy/subenergy/solar/solar\\_pv.htm](http://www.worldbank.org/html/fpd/energy/subenergy/solar/solar_pv.htm)  
Diese Seite zeigt dir, wie Solarsysteme in der Praxis funktionieren.

[www.solarbuzz.com/Education.htm](http://www.solarbuzz.com/Education.htm)  
Eine Liste mit Unterrichtsmaterial rund um die Sonnenenergie, für Schüler und Lehrer.

Die Menge an Energie, die die Sonne auf ein Stück Erde schickt, variiert mit dem Abstand vom Äquator zu den Polen. In der Nähe der Pole trifft das Sonnenlicht in einem flachen Winkel auf, sodass dort auf einen Quadratmeter Erde nicht so viel Sonnenenergie fällt wie am Äquator, wo das Sonnenlicht fast senkrecht auf die Erde trifft.

Das Sonnenlicht kann mit Hilfe von photovoltaischen Zellen in Strom umgewandelt werden. Diese Zellen werden aus Halbleitermaterial hergestellt, demselben Material, aus dem auch Computerchips bestehen. Sonnenlicht setzt sich aus kleinen "Energiepaketen", den Photonen, zusammen. Wenn Photonen auf eine Photovoltaische Zelle (PV Zelle) treffen, wird ihre Energie auf die Elektronen im Halbleitermaterial übertragen. Mit dieser Energie können sich die Elektronen von ihren Atomen lösen und in einem Stromkreislauf fließen. Die gängigen Arten von Solar-

zellen werden aus Silizium hergestellt und wandeln etwa 10% des Sonnenlichts in Strom. Wenn man also in Mitteleuropa einen Quadratmeter Solarzellen auf sein Dach montiert, kann man etwa 120 kWh Strom pro Jahr gewinnen. Momentan trägt Solar-Strom weniger als 0,01% zur weltweiten Stromversorgung bei.

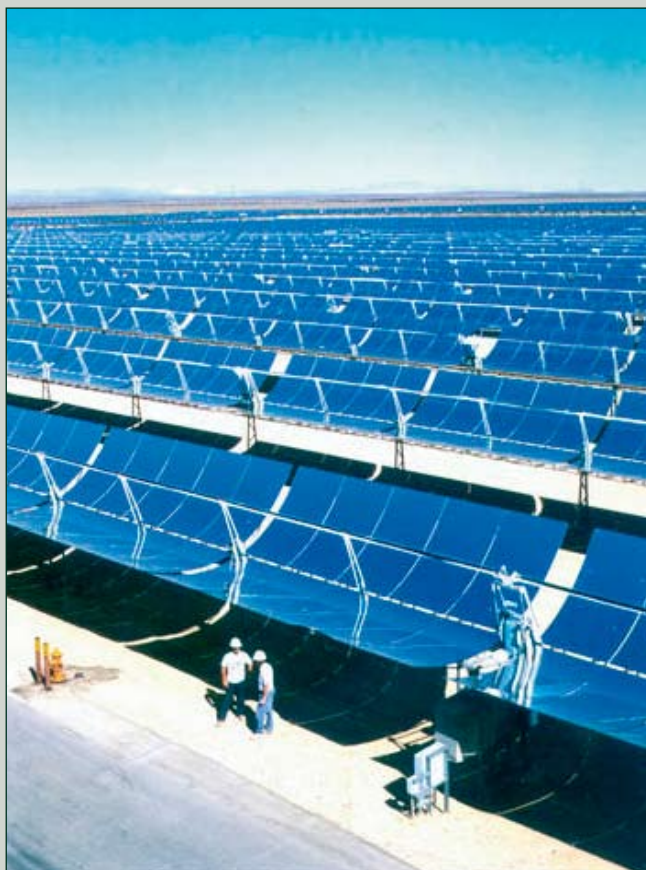
Normalerweise haben Solaranlagen keine beweglichen Teile. Wenn die Oberflächen regelmäßig gereinigt werden, können sie zwar 20 bis 30 Jahre lang eingesetzt werden. Ihre Anschaffung ist jedoch immer noch sehr teuer: Eine Solaranlage, die ungefähr 100 Watt produziert, wenn die Sonne senkrecht auf die Spiegel fällt, kostet um die 400 Euro. Um den durchschnittlichen Energiebedarf — etwa 4.100 kWh pro Jahr — eines Haushalts decken zu können, würde man (in Europa) eine etwa 45 m<sup>2</sup> große Fläche mit Solarzellen benötigen, die etwa 18.000 Euro kosten würde und eine Lebensdauer von nur 20 bis 30 Jahren hätte. Dieselbe Menge Strom aus einem konventionellen Kraftwerk kostet dagegen nur etwa 500 Euro pro Jahr.

Daher wird intensiv an der Entwicklung von effizienteren und billigeren Solarzellen gearbeitet. Solarzellen werden momentan dort eingesetzt, wo es schwierig ist, Strom auf andere Weise zu erzeugen: z.B. in abgelegenen Gegenden der Entwicklungsländer oder auf hoher See.

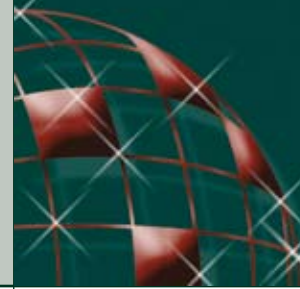
Die Energie der Sonne kann aber auch in einem thermischen System Strom erzeugen. Hierbei wird das Sonnenlicht mit Hilfe von Spiegeln gebündelt, die sich häufig auch mit der Sonne drehen. Ein Empfänger (je nach System ein großer Turm oder ein Absorberrohr) fängt das Sonnenlicht ein und leitet die Wärme an eine Flüssigkeit weiter. Mit der erhitzten Flüssigkeit wird Dampf erzeugt, die wiederum eine Turbine und einen Stromgenerator antreibt.

Die Energie der Sonne kann auch direkt zum Erhitzen von Wasser im Haushalt ge-

*Reihen von Parabolspiegeln: Das Sonnenlicht wird auf Rohre in der Mitte der Spiegel konzentriert. Das Öl in diesen Rohren wird durch das Sonnenlicht aufgeheizt und zur Stromproduktion eingesetzt.*



© PIX DOENREI



nutzt werden, z.B. zum Duschen, Baden oder Heizen. Diese Art der Energiegewinnung ist sehr billig, deshalb kann man die sogenannten Sonnenkollektoren schon häufig auf Hausdächern sehen. Auch größere Anlagen wie etwa Schwimmbäder, können mit Hilfe von Sonnenkollektoren beheizt werden.

### Windenergie

Schon viele Jahrhunderte vor Christus benutzten die Menschen Windmühlen, um Windkraft in mechanische Energie umzuwandeln. Diese Energie wurde zum Wasserpumpen und Kornmahlen verwendet, oder auch, um kleinere Maschinen anzutreiben. In unserer Zeit werden Windmühlen noch immer in vielen Ländern von Bauern zum Wasserpumpen benutzt. Eine andere klassische Anwendung von Windkraft ist der Antrieb von Segelschiffen.

Heute produzieren sogenannte Windturbinen Energie. Eine Windturbine besteht aus einem großen Rotor mit üblicherweise drei Blättern, der vom Wind angetrieben wird. Der Rotor ist an einen Stromgenerator angeschlossen. Windenergie macht

zurzeit nur 0,3% der Weltproduktion an Strom aus, Tendenz steigend. In Dänemark werden bereits über 20% des Stromverbrauchs mit Windenergie abgedeckt, in Deutschland sind es 6%, in Spanien 5%.

Aber auch Windturbinen sind nicht unproblematisch. Ein Windpark in der Landschaft ist nicht jedermanns Sache. Die riesigen Rotorblätter drehen sich schnell und können daher für Vögel gefährlich sein. Wer in der Nachbarschaft einer Windkraftanlage lebt, fühlt sich durch ihre Geräusche gestört. Wenn eine Turbine ihre Rotorblätter verliert, kann es zu Unfällen kommen. Deshalb sind Off-Shore-Anlagen im Meer geplant: Der Wind weht dort regelmäßig und die Windgeschwindigkeiten sind wesentlich höher. Wartung und Betrieb von Anlagen im Meer sind allerdings wesentlich teurer.

Problematisch wird es, wenn viele Tage lang und über großen Flächen Europas gleichzeitig eine Windstille herrscht. Windenergie ist (wie auch die Sonnenenergie) intermittierend. Das bedeutet: Strom wird ziemlich unregelmäßig erzeugt. Wenn die Anteile an Wind- und Sonnenenergie

### Die Kapazität von Windturbinen und Sonnenkollektoren

Bei Windturbinen weiß man natürlich genau, wieviel Leistung sie jeweils erbringen. Es gibt z.B. 750 kW Turbinen, aber auch größere mit etwa 1,5 MW bis 2,5 MW Leistung. Diese Angabe heißt maximale Kapazität, bezeichnet also die Leistung der Turbine bei optimalem Wind. Wenn man von der "installierten Kapazität von Windkraft" spricht, meint man diese Angabe.

Die Energie, die eine Windturbine liefert, hängt von der Anzahl der Stunden ab, die sie, je nach Wetterbedingungen, pro Jahr arbeiten kann. Tatsächlich liefert eine Windturbine im Jahr durchschnittlich nur ungefähr 20 – 30% ihres möglichen Energiepotentials. Die Differenz zwischen der tatsächlich erbrachten jährlichen Energiemenge und dem theoretischen Maximum heißt Kapazitätsfaktor. Durchschnittlich liefert eine 1500 kW Windturbine tatsächlich nur 300 bis 450 kW.

Dasselbe gilt für Sonnenkollektoren. Ihre maximale Kapazität ist dann erreicht, wenn die Sonne im rechten Winkel zum Kollektor steht. Das passiert natürlich nur an sonnigen Tagen. Deshalb erreicht ein Sonnenkollektor, gemittelt über Tag und Nacht und über das Jahr, je nach Lage nur etwa 10% seiner maximalen Kapazität. Ein Sonnenkollektor mit 100 W Leistungskapazität würde dann also durchschnittlich 10 W tatsächlich produzieren.



*Windturbinen auf einem Hügel*



© Mark Tiele Westra

*Windmühle in Nicaragua. Windenergie muss nicht immer hochtechnologisch sein: In vielen Entwicklungsländern werden einfache Windmühlen zum Wasserpumpen eingesetzt.*

wachsen, muss genau auf die Stabilität der Stromversorgung geachtet werden. Man braucht „back-up“ Systeme, die mit fossilen Brennstoffen befeuert werden. Derzeit werden unterschiedliche Techniken erforscht, um intermittierende Wind- und Solarenergie zu speichern.

### Energie aus Biomasse

Biomasse ist ein anderer Ausdruck für organische Materie. Der gewonnene Brennstoff besteht aus holzhaltigen Industrieabfällen (Palettenholz und Sägemehl), Abfällen aus der Landwirtschaft und der Lebensmittelproduktion, Klärschlamm, Feststoffabfällen und anderen organischen Materialien. Biomasse war eine der ersten Energiequellen der Menschheit, und in vielen Entwicklungsländern ist sie bis heute der wichtigste Energielieferant geblieben. Etwa 80% des Gesamtenergiebedarfs der Entwicklungsländer wird durch Energie aus Biomasse, zumeist in Form von lokal gesammeltem Brennholz, gedeckt.

In organischem Material ist Sonnenlicht in Form von chemischer Energie gespeichert. Es gibt zwei Möglichkeiten, diese Energie zu nutzen, wobei die einfachste natürlich die Verbrennung ist. Trockene Biomasse wird verbrannt und die entstehende Hitze verdampft Wasser. Eine zweite Methode ist die anaerobe Gärung, bei der Methangas, auch Biogas genannt, entsteht. Dieser Vergasungsprozess ist eine Art Fermentierung, bei der Bakterien die Biomasse in kleinere Bestandteile zersetzen. Die Fermentierung findet anaerob statt, also „ohne Sauerstoff“ und erzeugt Wärme. Auch in städtischen Mülldeponien entsteht Biogas, das verbrannt werden kann.

Beim Verbrennen setzt Biomasse ein Treibhausgas frei, das Kohlendioxid. Mittels Photosynthese kann durch die Pflanzung von Biomasse einen beträchtlichen Anteil an Kohlendioxid wieder aus der Luft gefiltert werden. So beträgt der Nettoausstoß an Kohlendioxid im Optimalfall letztendlich null. Schnellwachsende Bäume und Gräser werden als Energie Ressourcen Biomasse oder auch als Energiepflanzen bezeichnet.

*Biodiesel kann aus Rapsöl gewonnen werden.*

*Holzchips für die Stromproduktion*

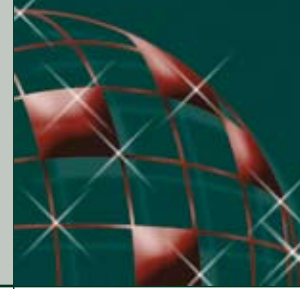


© European Community, 2005



© Warren Gretz (PIX DOENREI)





## Geothermische Energie

Der Begriff geothermische Energie wird aus den griechischen Wörtern für geo („Erde“) und therme („Wärme“) abgeleitet. Bei dieser Methode wird die Wärme aus dem Inneren der Erde zur Stromproduktion genutzt. Der Erdkern besteht aus rotglühendem Magma und ist ungefähr  $5.000^{\circ}\text{C}$  heiß. Bei Vulkanausbrüchen dringt geschmolzenes Gestein oder Magma an die Erdoberfläche. Erdwärmekraftwerke versuchen, diese enorme Energiequelle für die Strom- und Wärme-Produktion zu nutzen.

Wenn man ein Loch in die Erde gräbt steigt die Temperatur um etwa 17 bis  $30^{\circ}\text{C}$  pro Kilometer Tiefe. Eine geothermische Quelle kann bis zu 2500 Meter tief sein. Wenn

Wasser in diesen Kanal gepumpt wird, verdampft es und kann so zur Stromproduktion genutzt werden (siehe Bild unten). Oder man benutzt das heiße Wasser direkt zum Heizen.

In 20 Ländern der Erde werden insgesamt 250 geothermische Kraftwerke betrieben. In den Vereinigten Staaten wird z.B. ganz San Francisco mit Energie aus Erdwärme versorgt, in El Salvador kommen 40% des Stroms von geothermischen Energiequellen. Island benutzt zur Stromproduktion ausschließlich geothermische Energie. Auf der Erde werden etwa 8.000 MW geothermische Energie in Strom umgewandelt, weitere 10.000 MW werden an geothermischer Wärme verbraucht

### Schau doch mal ins Internet!

*Biomasse und geothermische Energie*

[www.nrel.gov/education/biomass.html](http://www.nrel.gov/education/biomass.html)

Ausführliche Liste von Webseiten zum Thema Biomasse.

[www.geothermal.marin.org/index.html](http://www.geothermal.marin.org/index.html)

Hier gibt es Unterrichtsmaterial.

[iga.igg.cnr.it/index.php](http://iga.igg.cnr.it/index.php)

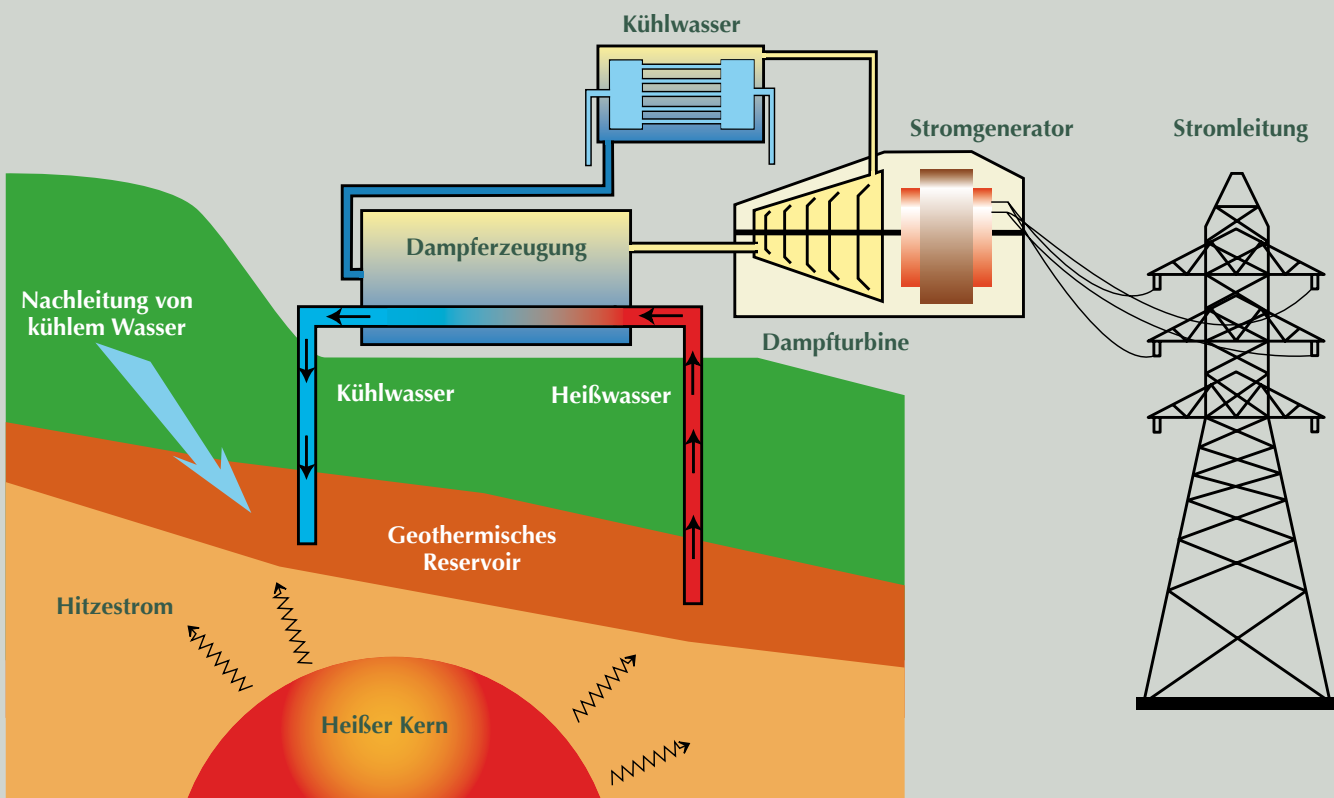
Internationale Geothermische Gesellschaft

[geothermal.marin.org/](http://geothermal.marin.org/)

Geothermic education office

Abb. 11:

Das Prinzip geothermischer Energie. Die Wärme aus dem Erdinneren wird an die Oberfläche geleitet. In tiefe Bohrlöcher wird Wasser gepumpt. Das erhitzte Wasser wird nach oben befördert und verdampft, so kann eine Turbine angetrieben werden.





Natürlich gibt es auf der Erde nur wenige Orte mit idealen geographischen Voraussetzungen zur Gewinnung von geothermischer Energie. Deshalb ist ihr Anteil an der gesamten Energieproduktion nicht besonders hoch. Sie ist dafür aber billig und umweltfreundlich. Der Bau eines geothermischen Kraftwerks ist allerdings sehr teuer.

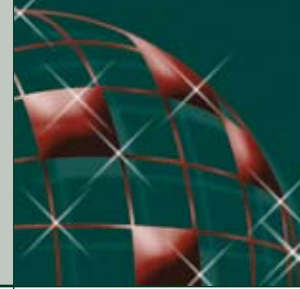
Die Technologie der trockenen Heiß-Gesteinwärme nutzt heißes Erdgestein, das fast überall in einer gewissen Tiefe gefunden werden kann. Energie wird gewonnen, indem man Wasser in ein Bohrloch pumpt, das durch heißes Gestein sickert und dann durch einen Kanal wieder an die Erdoberfläche gelangen kann. Dort wird dem Wasser die Wärme entzogen und es kann abgekühlt wieder zurückgepumpt werden.



*Braunkohleabbau in Deutschland. Ein Kohlekraftwerk mit 1.000 MW Leistung benötigt jährlich 2,5 Mio Tonnen Kohle.*

*Tabelle 9: Benötigter Brennstoff für unterschiedliche Energiequellen. Der Brennstoff in der Tabelle ist für ein 1000 MW Kraftwerk für ein Jahr vorgesehen (Gesamtproduktion etwa 7000 Millionen kWh). Wind- und Sonnenenergie, ebenso Biomasse, benötigen riesige Nutzungsflächen. Kernspaltung und Kernfusion verbrauchen nur wenig Brennstoff.*

Energiequelle	Benötigter Brennstoff für ein 1.000 MW Kraftwerk pro Jahr	Zum Vergleich
Biomasse	30.000 km <sup>2</sup> Nutzfläche (Wald, Acker, Weide)	50fache Fläche des Bodensees
Wind	2.700 Windturbinen mit 1,5 MW Leistung (25% Kapazitätsfaktor)	genaue Fläche des Bodensees
Sonnenenergie (PV Zellen)	23 km <sup>2</sup> Solaranlagen am Äquator	2555 Fußballfelder
Biogas	20 Millionen Schweine	
Gas	1,2 km <sup>3</sup>	47 Cheops-Pyramiden
Öl	1.400.000 Tonnen	10.000.000 Barrel Öl oder 100 Supertanker
Kohle	2.500.000 Tonnen	26.260 Güterwagenladungen
Kernkraft	35 Tonnen Uranoxid UO <sub>2</sub>	aus 210 Tonnen Uranerz
Fusion	100 kg Deuterium und 150 kg Tritium	aus 2.850 m <sup>3</sup> Meerwasser und 10 tons Lithiumerz



## Energiequellen im Vergleich

Alle Energiequellen, die wir in diesem Kapitel besprochen haben, sind unterschiedlich in Bezug auf Quantität und Brennstoffart, benötigte Nutzungsfläche und Kosten. In Tabelle 9 ist der Bedarf eines 1.000 MW Kraftwerks an unterschiedlichen Brennstoffen aufgelistet. Dort kannst du auch ablesen, dass Biomasse, Wind und Sonnenenergie besonders viel Fläche benötigen, weil ihr Energiegehalt geringer ist als bei fossilen Brennstoffen. Die Kernspaltung und besonders die Kernfusion benötigen die kleinste Menge an Energie.

### Jetzt bist du dran!

- Wie würde ein Tag ohne Strom aussehen?
- Finde den Energiegehalt von fünf Lebensmitteln in deinem Haushalt heraus. Wie lange könntest du mit dieser Energiemenge laufen, Fahrrad fahren oder schlafen?



### Zusammenfassung

- Öl, Kohle und Gas sind die wichtigsten Primärenergiequellen. Sie liefern 80% der Gesamtenergie.
- Kernspaltung ist eine effektive und saubere Alternative um Energie zu erzeugen. Es gibt jedoch Probleme bei der Anlagensicherheit und der Endlagerung von Atommüll.
- Kernfusion ist eine unerschöpfliche und umweltfreundliche Energiequelle, die derzeit noch erforscht wird.
- Wasserkraft liefert Strom in großem Umfang. Neue Dämme können jedoch den Lebensraum von Mensch und Tier stark beeinflussen. Die meisten geeigneten Orte sind bereits erschlossen.
- Erneuerbare Energieträger sind nachwachsende Energiequellen.
- Biomasse ist in vielen Entwicklungsländern die Hauptenergiequelle, meist in Form von Brennholz.
- Erneuerbare Energiequellen wie Sonne und Wind erzeugen zwar saubere Energie, ihr Anteil an der Weltenergieproduktion ist jedoch sehr gering.

# 5 Energie, Umwelt und Gesundheit

Die zunehmende Energiegewinnung und der wachsende Energieverbrauch können Umwelt und Gesundheit sehr belasten. Die Produktion von Energie ist wahrscheinlich der negativste Einfluss, den der Mensch auf die Umwelt nimmt. Wenn Holz verbrannt wird, werden viele giftige Gase freigesetzt und kleine Partikel gebildet, die man nicht einatmen sollte.

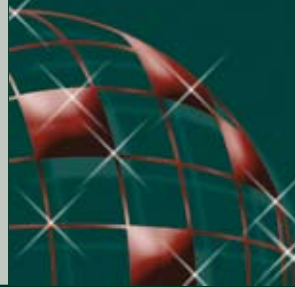
Schwefeldioxid, das bei der Verbrennung von Öl und Kohle entsteht, verursacht sauren Regen. Kohlendioxid wird bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen freigesetzt. Es verstärkt den Treibhauseffekt und verursacht Klimaveränderungen. Wenn große Staudämme gebaut werden, müssen Menschen ihre Häuser aufgeben. Zur Gewinnung von Brennholz werden Wälder gerodet.



Das verursacht gesundheitliche und umweltbezogene Probleme in vier Größenkategorien: Wenn du zu Hause Holz verbrennst, atmest du zwar selbst den Rauch ein, jedoch nicht deine ganze Nachbarschaft. Deshalb spricht man hier von der Ebene der Haushalte. Durch Autoabgase hingegen entsteht Smog, den alle Einwohner einer Stadt einatmen müssen. In diesem Fall spricht man von der kommunalen Ebene. Wenn feine Partikel, Schwefeldioxid und Ozon in einem Umkreis von hunderten von Kilometern um ihre Quelle zu registrieren sind, spricht man von der regionalen Ebene. Und schließlich gibt es die globale Ebene: Der Treibhauseffekt, der zur globalen Erwärmung führt, macht sich auf der ganzen Erde bemerkbar.

## Die Ebene der Haushalte

In den westlichen Industrieländern tragen die privaten Haushalte nicht viel zur Luftverschmutzung bei. Wir kochen in der Regel mit einem Elektro- oder Gasherd bzw. mit flüssigen Brennstoffen. Das ist verhältnismäßig umweltfreundlich. Weltweit sind jedoch rund die Hälfte aller privaten Haushalte beim Heizen oder Kochen von Brennholz und Kohle abhängig. Weil es schwierig ist, feste Brennstoffe in einem einfachen Ofen ausreichend mit Sauerstoff zu mischen, verbrennen sie dort nicht gerade sauber. Es werden nur ungefähr 5 bis 20 Prozent der Energie effektiv zum Kochen genutzt, der Rest geht verloren. Wie du in Tabelle 10 sehen kannst, setzt das unvollständige Verbrennen von festen Brennstoffen außerdem eine Reihe gesundheitsschädlicher Stoffe frei.



Die Auswirkungen sind nicht unbedeutend. Schätzungen zufolge sollen jährlich etwa zwei Millionen Frauen und Kinder durch Abgase aus der Nutzung fester Brennstoffe frühzeitig sterben. Ungefähr 5 bis 6% der nationalen Gesundheitsprobleme in den Entwicklungsländern sind ebenfalls darauf zurückzuführen. Natürlich tragen diejenigen Menschen das größte Risiko, die direkt mit den Schadstoffen in Kontakt kommen. Die schädlichsten Brennstoffe werden nämlich genau dort verwendet, wo Menschen mit ihnen täglich aus nächster Nähe in Berührung kommen: beim Kochen oder Heizen.

Man kann sich den Energieverbrauch im Haushalt anhand einer *Energieleiter* vorstellen: Auf der untersten Ebene befinden

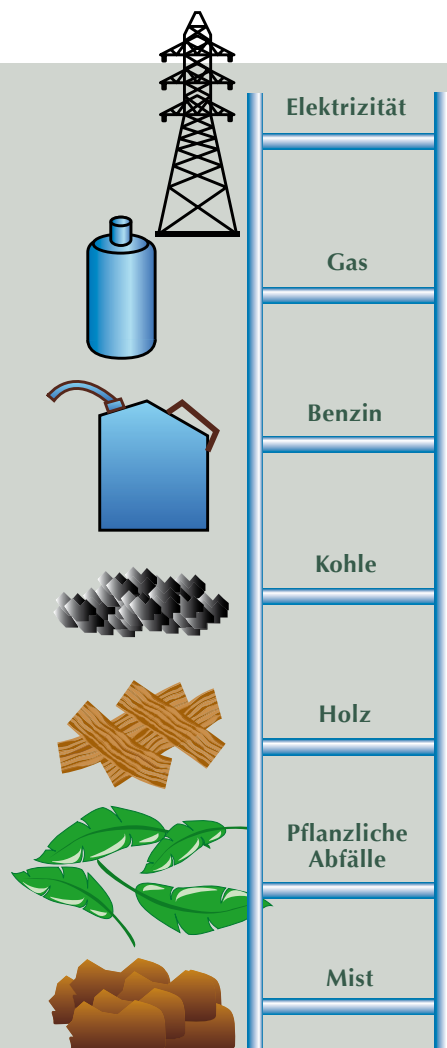
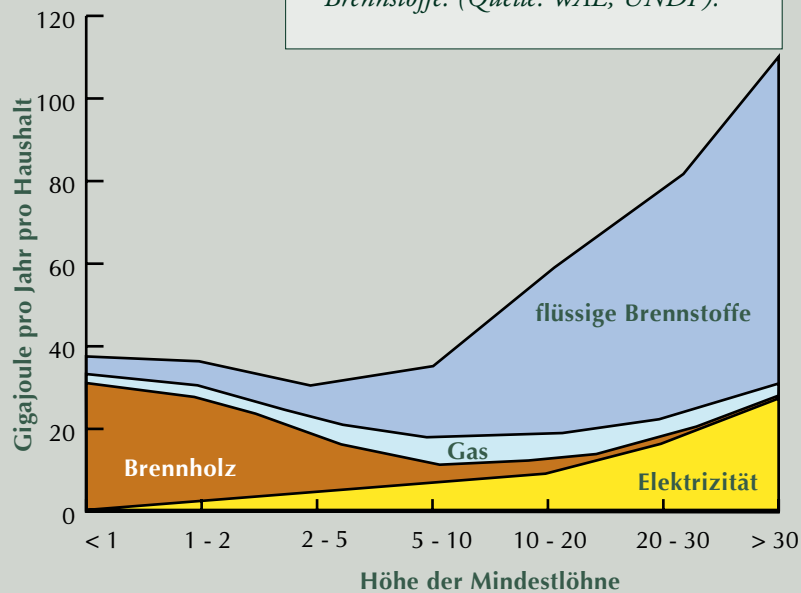


Abb. 12:  
Die Energieleiter

Substanz	Konzentration pro 1kg Holz pro Stunde mg/m <sup>3</sup>	Grenzwerte (mg/m <sup>3</sup> )
Kohlenmonoxid	150	10
Partikel	3,3	0,1
Benzol	0,8	0,002
1,3-Butadiene	0,15	0,0003
Formaldehyd	0,7	0,1

Tabella 10:  
Konzentration von gesundheitsschädlichen Stoffen bei einem klassischen Holzofen. mg/m<sup>3</sup> bedeutet Milligramm pro Kubikmeter. Die rechte Spalte zeigt typische Grenzwerte, die festgelegt wurden, um die Gesundheit zu schützen. Im Rauch, der durch die Verbrennung von Holz entsteht, sind aber noch Dutzende anderer Stoffe enthalten, die für die menschliche Gesundheit schädlich sind. (Quelle: WAE, UNDP).

Abb. 13:  
Durchschnittlicher Energiebedarf pro Einkommen in Brasilien 1988. Der Mindestlohn betrug \$50. Je mehr die Menschen verdienen, desto häufiger verwenden sie Elektrizität und flüssige Brennstoffe. (Quelle: WAE, UNDP).





sich einfache Brennstoffe aus Biomasse (Mist, Pflanzenabfälle, Holz), darüber flüssige fossile Brennstoffe wie Kerosin, darüber Gas und ganz oben ist die modernste Form der Energie, die Elektrizität, angesiedelt. Je höher man auf dieser Leiter emporklettert, desto sauberer, effizienter und kontrollierbarer sind die benutzten Öfen. Allgemein gilt, wenn die Alternativen auf den höheren Ebenen der Leiter erschwinglich und leicht verfügbar werden, können mehr Menschen sich auf diese Ebenen der Energieleiter begeben und haben so Zugang zu umfangreicheren Energieleistungen (Abb. 13).

Früher war die Menschheit von Holz abhängig und befand sich somit auf der untersten Sprosse der Energieleiter. Heute ist etwa die Hälfte der Weltbevölkerung eine oder mehrere Sprossen auf der Energieleiter emporgeklettert. Die andere Hälfte verbrennt jedoch nach wie vor Holz. In Gebieten, in denen Holz knapp ist, müssen die Menschen auf Mist oder Pflanzenabfälle zurückzugreifen und schlimmstenfalls Buschwerk und Gras als Brennmaterial nutzen.

Die Menschen am unteren Ende der Energieleiter verbrauchen durch harte körperliche Arbeit, z. B. beim Holzsammeln, mehr körpereigene Energie. Das Sammeln von Brennmaterial ist gerade für Frauen und Kinder in Entwicklungsländern eine enorme Belastung, weil sie dabei schwer tragen und viel Zeit darauf verwenden müssen — oft 9 bis 12 Stunden pro Woche. In Nepal verbringen Frauen 2,5 Stunden täglich mit Brennholzsammeln.

Arme Menschen verbringen viel Zeit damit, die Brennstoffe für den täglichen Bedarf zu sammeln. Diese Zeit können sie dann nicht nutzen, um Waren zu produzieren oder zu verkaufen, ihr Land zu bestellen oder in die Schule zu gehen. Dieses Phänomen bezeichnet man als *Armutsfalle*: Es ist sehr schwer aus der Armut herauszukommen. Man verbringt seine Zeit mit dem täglichen Kampf ums Überleben.

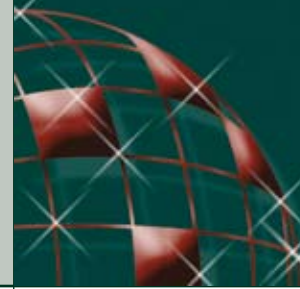
### Die kommunale Ebene

Viele Menschen sind mit der Luftverschmutzung in Städten vertraut. Wenn man an einem heißen, windstillen Tag von einem Aussichtspunkt über eine Stadt blickt, sieht man häufig eine gelbliche Dunstglocke: den *Smog*. Smog ist eine Mischung aus kleinen Partikeln und Autoabgasen. In manchen Städten mit besonders hohem Verkehrsaufkommen, wie z.B. Athen (Griechenland) und Los Angeles (Kalifornien), bekommen viele Menschen durch den Smog Lungenprobleme. Die Stickoxid- und Ozonkonzentrationen überschreiten hier häufig die Richtwerte.

Obwohl Ozon im oberen Teil der Atmosphäre vorkommt und dort als schützende Schicht die Erde umhüllt, ist es in den unteren Schichten für den Menschen schädlich. Ozon entsteht, wenn Stickoxide mit unvollständig verbrannten Autoabgasen reagieren. Ozon kann Atemprobleme hervorrufen, Asthma verschlimmern und sogar Lungenentzündung verursachen. Es kann das Immunsystem schwächen und

*Starkes Verkehrsaufkommen führt in größeren Städten zu Smog.*





Menschen anfälliger für Erkrankungen der Atemwege machen. Davon sind besonders ältere Menschen und Kinder betroffen. In vielen großen Städten wird deshalb ständig die Luftqualität überprüft. Neben dem Ozon werden die Kohlenmonoxid- und Stickoxidwerte, sowie die Konzentration von Staubpartikeln gemessen.

Manchmal greifen Behörden zu strengen Maßnahmen, um die Luftverschmutzung zu bekämpfen. Wenn in Teheran, der Hauptstadt des Iran, die Schadstoffkonzentrationen in der Luft zu hoch sind, dürfen Autos nur noch jeden zweiten Tag fahren, je nachdem, ob die Autonummer mit einer geraden oder ungeraden Zahl beginnt. In westlichen Städten wie zum Beispiel in Mailand (Italien) und Athen (Griechenland) werden ähnliche Maßnahmen ergriffen, die manchmal den gesamten Verkehr zum Stillstand bringen.

Einige Probleme auf kommunaler Ebene hängen mit der Energiegewinnung zusammen. In jeder Kommune gibt es Personen, die für die Energiegewinnung zuständig sind. Sie arbeiten in Kohlebergwerken, fördern Öl, fällen Bäume, sammeln Biomasse oder bauen große Staudämme. Die Beschaffung von Energie kann gefährlich und anstrengend sein. Das Risiko der Ar-

beiter verletzt oder krank zu werden ist hoch. Laut der International Labour Organization arbeiten 10 Millionen Menschen im Kohlebergbau (das entspricht ungefähr 0,3% der Arbeiter weltweit). Man schätzt, dass die Energiegewinnung und -verteilung pro Jahr ungefähr 70.000 bis 300.000 Menschenleben und viele Verletzungen fordert. Dies ist der Preis, den wir für Energie zahlen müssen.

### Die regionale Ebene

Ein weiteres Problem ist der saure Regen. Er entsteht durch Stickoxide und Schwefeldioxid, die beim Verbrennen von Kohle und Öl freigesetzt werden. Die Säure, die durch das Regenwasser auf die Erde gelangt, beschädigt Bauwerke aus Stein, wie Häuser und Denkmäler. Wenn der Boden die Säure nicht neutralisieren kann, werden Bäume und Pflanzen in Mitleidenschaft gezogen. Auch ganze Ökosysteme können zerstört werden: Wenn ein See umkippt sterben oft ganze Fischpopulationen.

Aber nicht nur die fossilen Brennstoffe haben erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt. Wie bereits erwähnt, müssen zwei Millionen Menschen, die in der Nähe des Drei-Schluchten-Staudamms in China wohnen, irgendwann ihre Häu-



© Adam Harr-Davis / DHD photo gallery

*Saurer Regen kann den Zerfall von Gebäuden, Denkmälern und Brücken beschleunigen.*

### Viehzucht und Methangas

Ungefähr 20% der Methangasemissionen in der Atmosphäre werden durch Tiere wie Rinder und Schafe produziert. Rinder können nach dem Fermentationsprozess, dem Wiederkäuen, nur einen Teil der Nahrung verdauen. Während dieses Vorgangs produzieren Bakterien Methangas im Pansen der Rinder. Zwischen zwei und 12% der Energie, die ein Rind durch die Nahrung aufnimmt, werden zu Methangas umgewandelt. Wenn also 1,3 Milliarden Rinder 100 Millionen Tonnen Methangas pro Jahr produzieren, wirkt sich dies auf das Gleichgewicht der Treibhausgase in der Atmosphäre aus. Durch den Menschen verursachte Prozesse wie zum Beispiel Energiegewinnung und Landwirtschaft machen ungefähr 60% der globalen Methangasproduktion aus. Wiederkäuer produzieren zirka ein Drittel dieser Menge, was ungefähr 20% der Methangasproduktion weltweit ausmacht.

*Wiederkäuer produzieren Treibhausgase, wie etwa Methan.*



© Ken Hammond (USDA)



ser verlassen, weil der Stausee die angrenzenden Gebiete überfluten wird. In den letzten Jahren mussten zwischen 40 und 80 Millionen Menschen aufgrund von ähnlichen Projekten umgesiedelt werden. Dies führt zu erheblichen sozialen Problemen.

### Die globale Ebene

Einige Gase, die in die Erdatmosphäre gelangen, bilden eine isolierende Hülle um die Erde. Dieses Phänomen bezeichnen wir als Treibhauseffekt. Die Gase absorbieren einen Teil der Wärme, die von der Erde abgestrahlt wird und reflektieren sie teilweise. Ein Treibhaus funktioniert ganz ähnlich: Das Sonnenlicht strahlt durch die Scheiben, aber gleichzeitig hält das Glas die Wärme, die von der Erde aufsteigt, zurück.

Der Treibhauseffekt erhöht die Temperatur in der Erdatmosphäre enorm, nämlich um ganze 33°C! Ohne ihn würde die Durchschnittstemperatur auf der Erde unter dem Gefrierpunkt liegen und kein Lebewesen – weder Mensch, noch Tier oder Pflanze – könnte existieren!

Alle Gase, die zu diesem Phänomen beitragen, nennt man *Treibhausgase*. Zu ihnen zählen hauptsächlich Wasserdampf, Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Methan (CH<sub>4</sub>). Kohlendioxid entsteht, wenn Holz, Kohle, Gas oder Öl verbrannt werden. Methan wird durch faulende Pflanzen, im Bergbau und in der Viehzucht freigesetzt.

Nicht alle Gase haben die gleiche Wirkung in der Atmosphäre. Methan hält die Hitze 21 Mal besser in der Atmosphäre zurück als Kohlendioxid. Wenn man also einerseits 1 Gramm Methan produziert und andererseits 21 Gramm Kohlendioxid, erzielt dies die gleiche Wirkung auf die Erderwärmung.

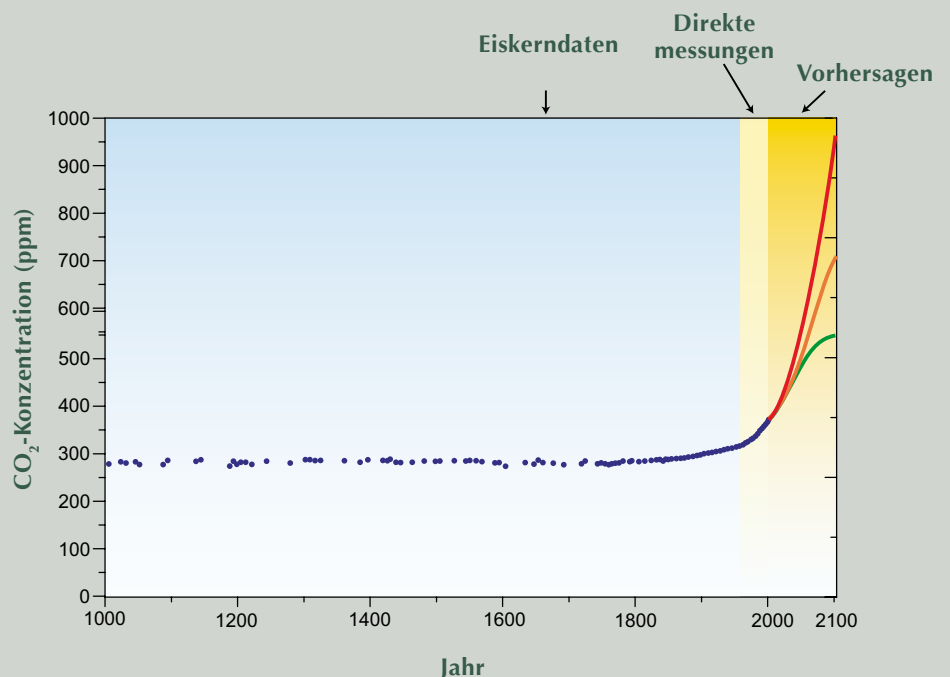
Sowohl Kohlendioxid als auch Methan werden nur sehr langsam in der Atmosphäre abgebaut. Das CO<sub>2</sub> wird irgendwann von den Ozeanen absorbiert, CH<sub>4</sub> wird durch chemische Reaktionen in der Atmosphäre abgebaut. Diese Prozesse laufen sehr langsam ab: Ein Molekül CO<sub>2</sub> benötigt ungefähr hundert Jahre bis es abgebaut ist, ein CH<sub>4</sub> Molekül ungefähr 12 Jahre. Die wichtige Konsequenz daraus ist: Alles was wir der Atmosphäre heute antun,

### Einheit der Konzentration in ppm

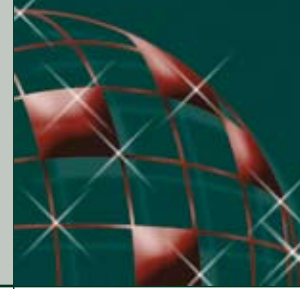
Um niedrige Konzentrationen einer Substanz messen zu können, verwendet man die Einheit parts per million (ppm). Dabei wird gemessen, wieviele Partikel einer bestimmten Substanz sich in einer Million Partikel befinden. So kann zum Beispiel die Konzentration einer giftigen Substanz in Lebensmitteln oder die Menge an CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre ermittelt werden.

Abb. 14:  
Anstieg der CO<sub>2</sub> Konzentration in den letzten 1.200 Jahren. Es wird deutlich, dass der Anteil von CO<sub>2</sub> seit Beginn der Nutzung von fossilen Brennstoffen um 1800 drastisch gestiegen ist. Die Konzentration wird in ppm gemessen. Die unterschiedlichen Farben der Punkte repräsentieren die unterschiedlichen Quellen der Messwerte.

Quelle: F. Joos, 1996 *Europhysics News*, 27, 6, 213-218 (1996)







## Das Kyoto-Protokoll

In den 1990er Jahren begannen Wissenschaftler überall auf der Welt vor den negativen Auswirkungen der Treibhausgase zu warnen. Studien, durchgeführt in verschiedenen Ländern, bestätigten, dass der Anstieg von Treibhausgasen in der Atmosphäre eine geringe, aber kontinuierliche Erwärmung der Erde verursacht. Spezielle internationale Ausschüsse und Komitees wurden gebildet, um die entstehenden Probleme zu diskutieren. Sie schlugen Sofortmaßnahmen gegen diese Bedrohung vor. Der wichtigste Ausschuss ist das *Intergovernmental Panel on Climate Change* (deutsch etwa: Zwischenstaatlicher Ausschuss zu Fragen des Klimawandels, IPCC), in das mehrere hundert Experten aus über 100 Ländern involviert sind.

Seit den 90ern wurden mehrere Initiativen ins Leben gerufen, um den prognostizierten katastrophalen Fol-

gen (den globalen Anstieg der Durchschnittstemperatur, das Ansteigen des Meeresspiegels und die Veränderung der Niederschlagsmuster, etc.) entgegenzuwirken. Eine der wichtigsten Initiativen ging von den Vereinten Nationen aus. Diese internationale Organisation setzt sich für die Wahrung von Frieden und Sicherheit in der Welt, für den Erhalt freundschaftlicher Beziehungen zwischen den Nationen und für die Lösung wirtschaftlicher, sozialer, humanitärer und die Umwelt betreffender Probleme ein.

Während des Weltklimagipfels von Rio de Janeiro (Brasilien) im Mai 1992, hat die Mehrheit der Regierungen ein Dokument befürwortet, das unter dem Namen "Klima-Rahmenkonvention" der Vereinten Nationen bekannt ist (KRK). In dieser Konvention versprachen die Regierungen Informationen über den Treibhausgasausstoß zu erfassen und zu teilen und nationale Strategien für die Einschränkung der Emissionen zu lancie-

ren. Folgendes Ziel wurde in diesem Dokument formuliert: man wolle „eine Stabilisierung der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre auf einem bestimmten Niveau erreichen, damit gefährliche anthropogene Einflüsse auf das Klimasystem verhindert werden können“ (anthropogen bedeutet „durch den Menschen verursacht“). Nach dem Gipfel wurde dieser internationale Vertrag von 193 Ländern unterzeichnet und trat in Kraft. Dies bedeutet, dass er nun für alle Unterzeichnerländer verpflichtend ist.

Als sie die UNFCCC ratifizierten, mussten die Regierungen sich darü-

wird noch mindestens hundert Jahre später zu spüren sein! Das heißt, auch wenn wir die CO<sub>2</sub>-Produktion sofort einstellen, dauert es noch hundert Jahre bis die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre sinkt. Wir führen mit unserer Erde also eine Art Versuch durch und sitzen selbst mit im Reagenzglas...

In den letzten 150 Jahren haben wir eine große Menge fossiler Brennstoffe verbraucht und damit sehr viel CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre entlassen. Wie du in Abbildung 14 sehen kannst, hat die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft seit 1800 um 35% zugenommen. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration änderte sich zwar auch in der Vergangenheit, aber niemals in so kurzer Zeit. In einem Zeitraum von tausenden von Jahren hingegen hat das Ökosystem eine Chance,

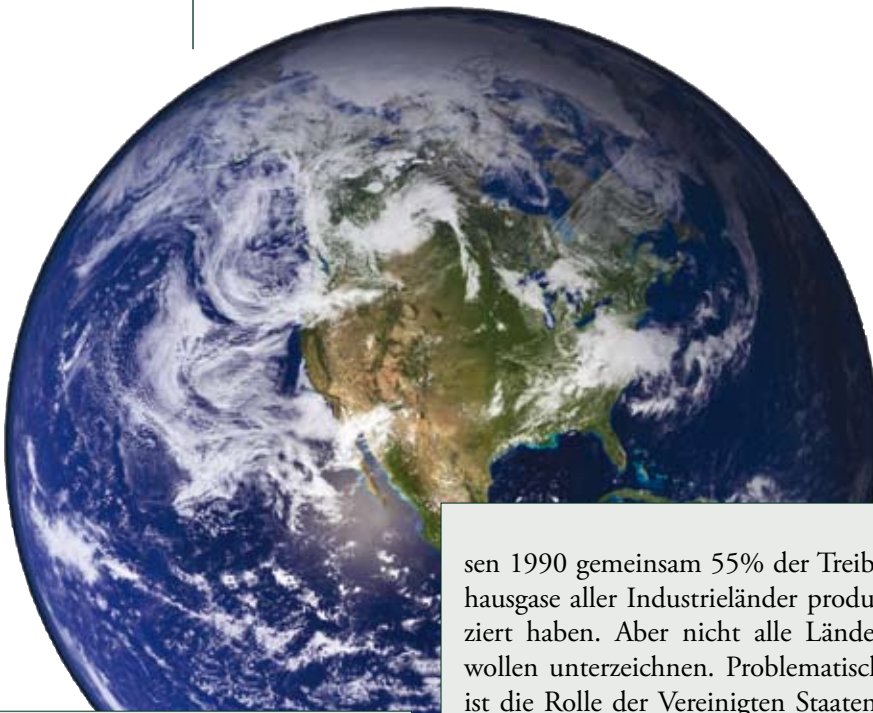
*Ein globaler Temperaturanstieg lässt den Meeresspiegel ansteigen.*



© European Community, 2005



*Wir haben nur eine Erde, deshalb können wir uns keine Fehler erlauben.*



sen 1990 gemeinsam 55% der Treibhausgase aller Industrieländer produziert haben. Aber nicht alle Länder wollen unterzeichnen. Problematisch ist die Rolle der Vereinigten Staaten: Sie weigern sich das Protokoll zu unterzeichnen, obwohl sie allein 36% aller Emissionen von Treibhausgasen in den Industrieländern verursachen. Für Russland galt dasselbe. Doch die Russen änderten 2004 ihre Meinung und unterzeichneten. Nach 7 Jahren Wartezeit trat das Kyoto-Protokoll im Februar 2005 endlich in Kraft.

Im Augenblick wird in diesen Ländern darüber nachgedacht, wie man die CO<sub>2</sub>-Reduktion am besten erreichen könnte. Sollen wir die vorhandene Energie besser nutzen oder sollen wir mehr Elektrizität CO<sub>2</sub>-frei erzeugen, beispielsweise mit Solarzellen? Sollen wir mehr Kernkraftwerke bauen, weil sie keine Treibhausgase produzieren? Oder sollen wir mehr Geld in Windenergie oder in die Fusionsforschung oder in beides investieren? Oder müssen wir alle erdenklichen Möglichkeiten nutzen, das wir mit einem so riesigen Problem konfrontiert sind?

ber einigen, wie sie, den Klimawandel ernsthaft aufhalten würden. Während des Klimagipfels der Vereinten Nationen in Kyoto im Dezember 1997 haben sich einige der wichtigsten Industrieländer geeinigt, die Emission von Treibhausgasen zu verringern. Nach langen und schwierigen Verhandlungen über die Menge, den Zeitpunkt, und die Frage, wo man die Emissionen verringern müsse und wer die Kosten dafür tragen würde, wurde ein Abkommen unterzeichnet. Dieses sieht eine Verringerung der Emissionen bis 2012 um 5,2% in den entwickelten Ländern vor, im Hinblick auf die Emissionen des Jahres 1990. Dieses Abkommen ist unter dem Namen Kyoto Protokoll bekannt.

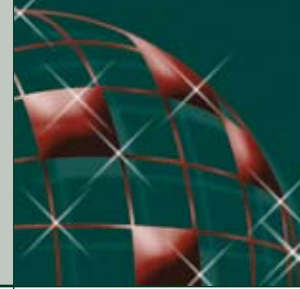
Das Kyoto-Protokoll ist jedoch erst verpflichtend, wenn es durch ausreichend viele Länder unterzeichnet, d.h. ratifiziert wurde. Diese Länder müs-

sich an diese Veränderungen anzupassen. Ansonsten könnten viele Tier- und Pflanzenarten aussterben.

Welche Auswirkungen hat das zusätzliche CO<sub>2</sub>? Im letzten Jahrhundert stieg die Durchschnittstemperatur um 0,6°C und der Meeresspiegel hob sich zwischen 10 und 25 cm. Die zehn wärmsten Jahre seit dem Beginn der Temperaturlaufzeichnungen im 19. Jahrhundert waren alle nach 1990. Rund um den Globus sind die Gletscher geschrumpft, haben Wolkenbildung und Regen zugenommen. Man schätzt, dass bis zum Jahre 2100 die Durchschnittstemperatur um 1,4 bis 5,8°C steigen wird. Zum Vergleich: Zwischen der letzten Eiszeit vor tausenden von Jahren und heute stieg die Temperatur durchschnittlich nur um 6°C. Der Meeresspiegel könnte zwischen 9 und 88 cm ansteigen.

Du denkst jetzt vielleicht, dass ein Anstieg der Durchschnittstemperatur um einige Grad wohl kein allzu großes Problem darstellen dürfte. Ganz im Gegenteil! Erstens: Wenn sich aufgrund der steigenden Durchschnittstemperaturen der Meeresspiegel hebt, bringt dies erhebliche Probleme für die Küstenregionen mit sich. Zweitens: Erhöht sich die Temperatur auf dem Festland stärker als im Durchschnitt, zieht dies *extreme* Wetterschwankungen nach sich und Dürreperioden, Hurricans und Flutwellen werden große Schäden verursachen.

Wissenschaftler erwarten, dass sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration bis zum Ende dieses Jahrhunderts im Vergleich zur Zeit vor 1800 bestenfalls „nur“ verdoppeln wird. Im schlimmsten Fall könnte sie sich sogar vervierfachen (Quelle WEA). In diesem Fall würde dies die Situation auf unserer Erde drastisch verändern. Der Meeresspiegel könnte etwa bis zu einem Meter ansteigen und die Temperaturen könnten sich lokal um 15 bis 20°C erhöhen, durchschnittlich etwa um 6 Grad. Nachdem es genug billige fossile Brennstoffe gibt, könnte dieses Szenario durchaus Realität werden.



Was können wir dagegen tun? Die einzige Möglichkeit diese schädlichen Auswirkungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration zu verringern ist ihre Produktion zu stoppen. Das würde bedeuten: Wir müssen die Nutzung fossiler Brennstoffe einstellen oder bei ihrer Verbrennung das CO<sub>2</sub> herausfiltern und dann sicher einlagern. Die letzte Möglichkeit ist im Augenblick jedoch keine Alternative. Wenn wir die CO<sub>2</sub>-Konzentration auf einer Ebene einpendeln wollen, die zweimal höher läge als die Konzentration vor der industriellen Revolution, müssten wir die CO<sub>2</sub>-Produktion um zwei Drittel senken – doch momentan steigt sie jedes Jahr noch weiter an.

### Möglichkeiten der Energiegewinnung und der Treibhauseffekt

Nicht alle Energiequellen erzeugen Treibhausgas. Solarzellen, Windenergie und Wasserkraft sind Beispiele für Energiequellen, die zwar Strom, jedoch kein CO<sub>2</sub> erzeugen. Zumindest nicht auf den ersten Blick. Um das Material für Solarzellen oder Windkraftanlagen herzustellen, benötigt man Energie, die in der Regel durch fossile Brennstoffe erzeugt wird. Werden Staudämme angelegt, produzieren die im Wasser verrottenden Pflanzen Methan, ein Treibhausgas mit sehr starker Wirkung.

Können wir unseren Energiebedarf decken ohne Treibhausgas zu produzieren? Ja! Aber um dieses Ziel zu erreichen, müssen wir uns noch sehr anstrengen. Sonnen- und Windenergie spielen heute nur eine sehr kleine Rolle. Es wird wohl einige Jahrzehnte dauern und es muss noch viel geforscht werden, bis man auf diese Weise genügend Energie erzeugen kann. Neue sichere Typen von Kernkraftwerken könnten eine weitere Alternative sein. Ein Verfahren zur Rückführung von CO<sub>2</sub> in unterirdische Lagerstätten soll fossile Brennstoffe sauberer machen. An dieser Möglichkeit wird immer noch gearbeitet und viele Fragen zu Langzeitauswirkungen und -risiken sind noch offen. Auch die Kernfusion ist technisch noch nicht ausgereift. Die Forscher müssen noch einige Jahrzehnte hart arbeiten, bis die Fusion einen angemessenen Beitrag zum Energiemix leisten kann. Wenn wir die Klimaprobleme ernst nehmen, müssen wir umweltfreundliche Energiequellen entwickeln – und zwar schnell.

### Jetzt bist du dran!

- Was ist deine Meinung zum Thema Kernenergie?
- Wie könnte man deiner Ansicht nach die globale Erwärmung aufhalten?
- Finde heraus, was deine Regierung unternimmt, um die Luftverschmutzung bei der Energiegewinnung zu stoppen.
- Hat dein Land das Kyoto-Protokoll ratifiziert?

### Zusammenfassung

- Die Erzeugung von Energie kann gefährliche Auswirkungen auf privater, kommunaler, regionaler und globaler Ebene haben.
- Ebene der privaten Haushalte: Der Rauch eines offenen Feuers, wie es in vielen Entwicklungsländern zum Kochen verwendet wird, kann Krankheiten verursachen.
- Kommunale Ebene: Die Energieproduktion kann gefährlich sein, etwa die Arbeit in einem Kohlebergwerk. Auch kann der Energieverbrauch zu Smog und zur Bildung von Ozon führen.
- Auf regionaler Ebene kann durch Energieverbrauch saurer Regen entstehen.
- Auf globaler Ebene beeinflusst der durch Kohlendioxid und Methan verursachte Treibhauseffekt das Weltklima bereits merklich.

### Schau doch mal ins Internet!

[unfccc.int](http://unfccc.int)

Diese Seite liefert Informationen über die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen.

[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

Webseite des Internationalen Ausschusses zur Klimaveränderung.

[www.arm.gov/docs/education/warming.html](http://www.arm.gov/docs/education/warming.html)

Eine ausführliche Webseite, auch in französischer, spanischer, deutscher und italienischer Sprache. Hier gibt's Übungen für Schüler.

[www.defra.gov.uk/environment/climatechange/schools/index.htm](http://www.defra.gov.uk/environment/climatechange/schools/index.htm)

Informationen zur Klimaveränderung für Schüler von 12 – 16 und ihre Lehrer.

[hdgc.epp.cmu.edu/teachersguide/teachersguide.htm#lesson](http://hdgc.epp.cmu.edu/teachersguide/teachersguide.htm#lesson)

Leitfaden mit Unterrichtsmaterial für Lehrkräfte zum Thema Klimaveränderung.

# 6 Schon heute an die Energie von morgen denken

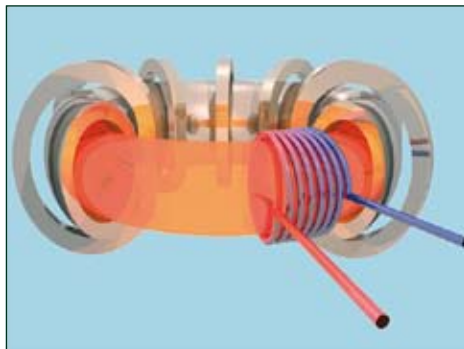
Wir leben in einer Welt, die gerade *anfangen* hat, Energie zu verbrauchen. Das schnelle Wachstum der Weltbevölkerung – sechs Milliarden heute und neun Milliarden in 50 Jahren – zusammen mit der schnellen wirtschaftlichen Entwicklung von Ländern wie China und Indien erhöhen permanent den Energiebedarf. In den nächsten 50 Jah-

## Aktuelle Problematik

Experten erwarten, dass sich der Energieverbrauch in den nächsten 50 Jahren verdoppeln wird. Dieser enorme Anstieg bringt zwei Probleme mit sich. Zum einen werden die fossilen Brennstoffe in der westlichen Welt langsam zur Neige gehen.

Ein zweites Problem: Auch wenn uns weltweit genügend Brennstoffe dieser Art für mehrere Jahrhunderte zur Verfügung stehen, sind sie doch nicht gleichmäßig über die Erde verteilt: Fast 80% der Öl- und Erdgasvorkommen befinden sich im Nahen Osten und in der Russischen Föderation. Wenn wir uns also weiterhin auf fossile Brennstoffe verlassen, werden wir sehr stark von diesen Ländern abhängig sein. Europa importiert momentan 50% seiner Energie in Form von Erdgas, Öl und Kohle. Wenn keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden, müssen die Europäer in 20 bis 30 Jahren 70% der benötigten Energie importieren. Für viele Menschen ist der Gedanke von anderen abhängig zu sein, sehr beunruhigend.

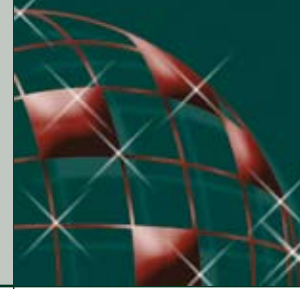
Ein drittes Problem ist die Umweltzerstörung. Kohle ist ein fossiler Brennstoff, der in großen Mengen vorhanden ist. Doch sie verbrennt nicht sauber – im Gegenteil. Wenn also große Länder wie zum Beispiel China und Indien weiterhin hauptsächlich Kohle verwenden, wird die Umwelt dort sehr darunter leiden. Und das tut sie bereits heute. Das CO<sub>2</sub>, das den Treibhauseffekt unterstützt, bleibt nicht innerhalb der Landesgrenzen, d.h. egal wo CO<sub>2</sub> produziert wird, betrifft dieses Problem uns alle.



*Unser zukünftiges Energiesystem hängt von Entscheidungen ab, die wir heute treffen.*

ren wird die Menschheit mehr Energie verbrauchen als in ihrer ganzen Geschichte bis jetzt. Abbildung 15 zeigt uns die Entwicklung des Weltenergiebedarfs.

Da Kohlendioxid unsere Umwelt bedroht, muss sich die Welt sauberen Energiequellen entschieden zuwenden. Neue Lösungen werden sowohl für die Probleme unserer heutigen Energieversorgung gebraucht, als auch um den rapide steigenden Energiebedarf zu decken.



Ein viertes Problem ist die Energie-Armut: heutzutage sind zwei Milliarden Menschen immer noch von Holz für Kochen und Heizen abhängig. Weil sie zu modernen Energieformen keinen Zugang haben, sind sie in ihrer wirtschaftlichen Entwicklung stark eingeschränkt. Der Erdölpreis, der seit einigen Jahren stark ansteigt, ist eine weitere Hürde. Reiche Länder können sich teureres Erdöl leisten, arme Länder nicht.

### Das Ziel der nachhaltigen Energie

In welche Richtung sollen wir gehen? Wie soll das Energie-System aussehen, in – sagen wir – 100 Jahren? Der Idealfall wäre eine *nachhaltige Entwicklung*. Nachhaltigkeit bedeutet: *“Eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation gerecht wird, ohne die Bedürfnisbefriedigung künftiger Generationen zu gefährden.”* (Brundtland Report, 1987). Wir dürfen also nicht mehr Energie verbrauchen, als uns zusteht. Den kommenden Generationen sollten wir möglichst viele nachhaltige Technologien zur Energiegewinnung anbieten, aus denen sie dann zur Deckung ihres Energiebedarfs wählen können.

Welche Bedeutung hat dieses Ziel für die Energiegewinnung? Wie können wir Ener-

gie auf eine Art und Weise gewinnen und verbrauchen, die die menschliche Entwicklung langfristig in sozialer, wirtschaftlicher und ökologischer Hinsicht fördert?

Um dieses Ziel langfristig zu erreichen, würden wir natürlich *Erneuerbare Energien* bevorzugen: Energiequellen, die sich niemals erschöpfen. Zu diesen Energiequellen gehören Wind-, Wasser- und Sonnenenergie und die Kernfusion. Obwohl wir für die Fusion Brennstoffe benötigen, sind diese praktisch unerschöpflich, da genügend davon in den Weltmeeren vorhanden sind.

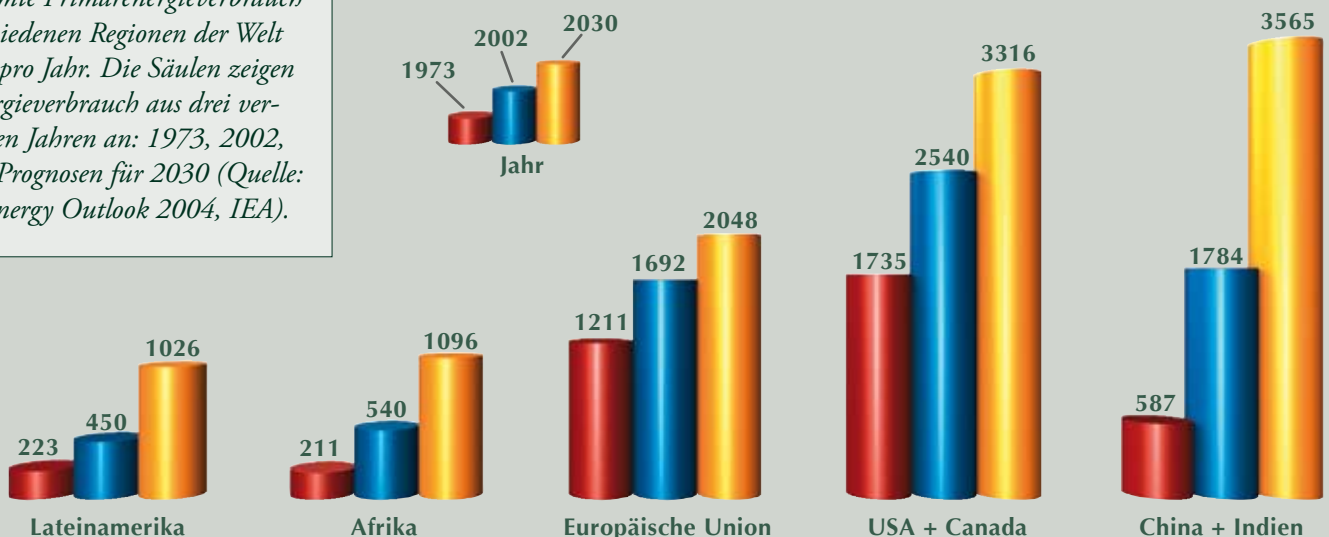
### Erneuerbare Energiequellen

Warum verwenden wir nicht schon sehr viel mehr erneuerbare Energien? Dafür gibt es mehrere Gründe.

Erstens: Man hat gerade erst damit begonnen, den vollen Umfang des Energieproblems und die Gefahren der Klimaveränderungen zu erkennen. Besonders die Anteile von Sonnen- und Windenergie und der Energie aus Biomasse verzeichnen einen starken Zuwachs, da viele Regierungen die Anwendung dieser Quellen aktiv fördern.

Abb. 15:

Der gesamte Primärenergieverbrauch in verschiedenen Regionen der Welt in Mtoe pro Jahr. Die Säulen zeigen den Energieverbrauch aus drei verschiedenen Jahren an: 1973, 2002, und die Prognosen für 2030 (Quelle: World Energy Outlook 2004, IEA).





Zweitens sind trotz langjähriger Forschung und Entwicklung die Technologien für erneuerbare Energien weiterhin kostspieliger als fossile Brennstoffe. Natürlich ist es sehr schwer, mit einem Brennstoff zu konkurrieren, den man immer noch mehr oder weniger einfach vom Boden auflesen kann. Allerdings beinhalten fossile Brennstoffe sehr viele versteckte Kosten: Zum Beispiel muss der Schaden, der durch den Ausstoß von Treibhausgasen entsteht, bezahlt werden (wie beispielsweise Arztkosten für die Behandlung von Krankheiten, die infolge der Luftverschmutzung auftreten). Wenn man diese Komponente betrachtet, könnte sich das Bild zu Gunsten der erneuerbaren Energiequellen verändern.

Drittens arbeiten insbesondere Wind- und Solarenergiequellen nicht ununterbrochen, d.h. sie produzieren nicht ständig Energie. Zur Unterstützung braucht man folglich ergänzende Energiequellen oder eine Möglichkeit, Energie für wind- und sonnenarme Zeiten zu speichern. Dies stellt jedoch einen weiteren Kostenpunkt dar. Außerdem sind Sonne, Wind und geothermische Energiequellen nicht gleichmäßig über die Erde verteilt. Besonders geothermische Energiequellen und Wind sind an bestimmte Regionen gebunden.

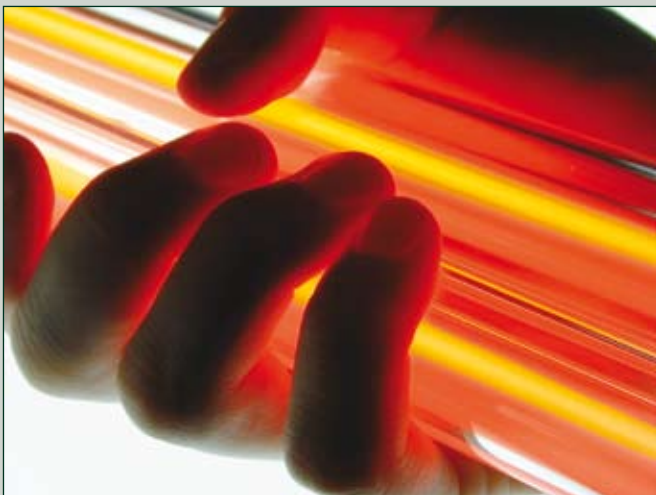
Erneuerbare Energiequellen wie Wind, Sonne und Biomasse benötigen sehr viel Platz. Nehmen wir als Beispiel ein Windrad, das 1,5 MW erzeugen kann: in diesem Fall sind die Rotorblätter 60 Meter lang. Um die gleiche Menge an Energie zu erzeugen wie ein 1.000 MW Kraftwerk, benötigt man 667 solcher Anlagen. Soll jedoch die benötigte Kapazität von 25% erfüllt werden, braucht man letztendlich 2.700 Windräder, verteilt auf ungefähr 480 km<sup>2</sup> Land. Um 1.000 MW Energie durch Biomasse zu erzeugen, bräuchte man für den Anbau der nötigen Pflanzenmenge 2.000 km<sup>2</sup> Land!

### Wie man die richtige Energiequelle auswählt

Um die richtigen Entscheidungen für die Zukunft zu treffen, muss man den Energiebedarf kennen und angepasste Lösungen finden. Hier werden wir die unterschiedlichen Aspekte betrachten, die bei der Wahl einer Energiequelle in Frage kommen. Energiequellen werden für Industrie und Transport, aber auch für Heizung und Stromerzeugung benötigt. Wir werden uns hier nur mit der Stromproduktion befassen.

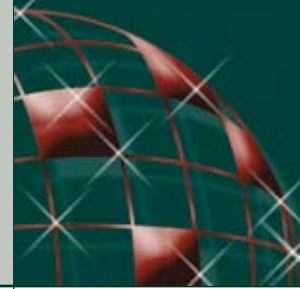
Welche Energiequelle für eine bestimmte Situation am besten geeignet ist, hängt von vielen Faktoren ab. Einige Energiequellen, wie zum Beispiel Kohle, sind sehr billig. Wer jedoch keine Kohlevorkommen im eigenen Land hat, wird von anderen Staaten abhängig sein. Außerdem fördert das Verbrennen von Kohle den Treibhauseffekt. Andere Quellen, wie beispielsweise die Solarenergie stehen zwar überall auf der Welt zur Verfügung (zu unterschiedlichen Preisen, je nach Klimabedingungen), sind aber immer noch sehr teuer und benötigen sehr große Flächen. Welche Faktoren sind also für ein Land ausschlaggebend, wenn es um die Wahl der geeigneten Energiequelle geht?

*Um Energie einzusparen, kann man effizientere Leuchtmittel benutzen.*



© www.freeimages.co.uk

An erster Stelle steht die Frage nach den Kosten. Die sogenannten *Investitionskosten* sind Kosten, die bei der Errichtung einer Energiequelle anfallen, z.B. wenn man ein Kraftwerk baut oder Solarzellen kauft.



Diese Kosten werden in Euro per MW Leistung ausgedrückt. Es kommen dann zusätzliche Kosten: Um ein Kraftwerk zu betreiben, braucht man Brennstoff und Arbeitskräfte. Wenn seine Lebensdauer überschritten ist, muss es angemessen entsorgt werden. Addiert man all diese Kosten und teilt den Betrag durch die Gesamtzahl der Kilowattstunden, die das Kraftwerk während seiner Betriebszeit produziert, bekommt man den *Preis pro Kilowattstunde* (kWh), also die *Produktionskosten*. Das sind bei einem Kohlekraftwerk in der Regel 0,03 Euro pro kWh – ein Bruchteil dessen, was man den Energieversorgungsunternehmen zahlt ca. 0,12 Euro/kWh (die restlichen Kosten entfallen auf Verteilungsnetz, Steuern, etc.).

Neben den Kosten spielen noch weitere Faktoren eine Rolle, wie zum Beispiel die notwendigen *Kapazitäten*. Wenn man für einen kleinen Betrieb in Afrika 1 kW an Leistung bereitstellen will, kann man dies mit einem Windkraftwerk, Solarzellen oder einem Dieselgenerator tun. Wenn man aber 1.000 MW, zum Beispiel für eine ganze Stadt, benötigt, sind eher Kohle-, Kernkraftwerke oder gasbetriebene Kraftwerke interessant.

Auch der *Umweltschutz* ist ein wichtiger Punkt. Aufgrund des Treibhauseffektes soll Energie möglichst CO<sub>2</sub>-frei erzeugt werden, zum Beispiel durch Kernenergie oder durch saubere fossile Brennstoffe. Der *Ausstoß von Treibhausgasen* ist also ein wichtiger Faktor.

Der *Flächenverbrauch* kann ebenfalls sehr wichtig sein. Will man Biomasse als Energiequelle nutzen, braucht man eine große Fläche an Freiland, um die nötige Pflanzenmenge anzubauen. Mit der wachsenden Erdbevölkerung wird dies jedoch immer schwieriger werden. Dasselbe gilt für den Bau von Windkraftwerken in dicht besiedelten Ländern.

Wie in allen technologischen Bereichen spielt der *Sicherheitsaspekt* eine große Rolle. Wenn ein Staudamm bricht oder ein Störfall in einem Kernkraftwerk eintritt, muss

eine sofortige Evakuierung möglich sein. Es darf auch niemand durch das lockere Rotorblatt eines Windkraftwerks gefährdet werden. Viele Menschen kommen bei Kohlestaubexplosionen in Bergwerken oder bei der Erdölförderung ums Leben. Auch wenn es keine „sichere Energie“ gibt (das wäre, als ob man Benzin haben wollte, das nicht brennt), so sind doch einige Energiequellen weniger gefährlich als andere.

Erneuerbare Energienquellen wie Wind und Sonne liefern nicht ununterbrochen Energie. Sie heißen deshalb *intermittierende Energiequellen*. Einige Quellen, wie die Kernkraft, sind am besten für den Bereich der zentralen Energieerzeugung geeignet, andere hingegen für eine dezentrale Erzeugung von Energie an Ort und Stelle. Es ist also wichtig, ob eine Energiequelle zentral oder dezentral eingesetzt wird. Wenn man Kraftstoffe, wie z.B. Öl, importieren muss, kann ein Land von anderen Staaten sehr abhängig werden. Die *Abhängigkeit von anderen Staaten* ist also ebenfalls ein wichtiger Faktor.

In Tabelle 12 auf Seite 54 werden alle Energiequellen unter Berücksichtigung dieser neun Faktoren miteinander verglichen. Wie man sieht, sind jeweils unterschiedliche Energiequellen angemessen, je nach dem, welchen Aspekt man für besonders wichtig erachtet. Ziehen wir also nun die drei unterschiedlichen Beispiele aus Abbildung 12 in Betracht. Kannst Du herausfinden, welche Energiequelle für die jeweilige Situation am besten geeignet wäre? Die Lösungen sind am Ende dieses Kapitels zu finden.

### Der Energiemix der Zukunft

Wissenschaftler untersuchen mögliche Energieperspektiven für die Zukunft, sogenannte *Energieszenarien*. Jedes Szenario kann als ein spezielles Modell einer zukünftigen Situation gesehen werden. Abbildung 15 zeigt ein solches Szenario. Es wurde vom International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) zusammen mit dem World Energy Council (WEC) veröffentlicht.

### Soll man das Wachstum ankurbeln?

Momentan gibt es nur wenige Windkraftwerke, deshalb kann ihre Anzahl immer noch erhöht werden. Hat man 100 Windräder und möchte die Nutzung dieser Energiequelle um 35% steigern, muss man 35 weitere Windräder bauen. Sind jedoch bereits 10.000 Windkraftträder vorhanden, muss man für eine Steigerung um 35% 3.500 weitere Windkraftträder bauen! Es ist also bedeutend leichter, das Wachstum anzukurbeln, wenn die Anzahl noch klein ist. Daher ist es unwahrscheinlich, dass das gegenwärtig schnelle Wachstum beibehalten werden kann.



Tabelle 11:

Merkmale der unterschiedlichen Energiequellen. Quellen: Energieinformationsverwaltung, SAGE project, NEMS.

\*) Kernkraft, Fusion, Solar- und Windenergie produzieren CO<sub>2</sub> während des Baus und Abbaus ihrer Anlagen. Im Falle von Wasserkraftwerken haben neueste Forschungsergebnisse gezeigt, dass einige Staudämme aufgrund des Faulprozesses von Pflanzen Treibhausgase wie Methan erzeugen.

\*\*) Die unten angeführten Kapitalkosten gelten für die Spitzenleistung. Wenn man also die mittlere Leistung zugrunde legt, wird Windenergie 3-4mal so teuer sein und Solarenergie 10mal so teuer.

\*\*\*) Energie durch Fusion wird etwa ab 2050 kommerziell verfügbar sein; deshalb sind die Prognosen für Investitions- und Erzeugungskosten für dieses Jahr berechnet. Die Investitionskosten hängen vom Typ ab. (Quelle: EFDA, sozio-ökonomische Untersuchung im Bereich Fusionsforschung, 2001).

\*\*\*\*) Sicherheitsrisiken für die schlimmstmöglichen Unfallabläufe

Energiequelle	Kapitalkosten in Euro pro kW	Produktionskosten in Euro per kWh	Übliche Größe des Kraftwerks in kW	Emission von Treibhausgasen in °C equiv. pro kWh	Landverbrauch in km <sup>2</sup> pro 1.000 MW
Ölprodukte	1.000	0,25	1-10.000	200	1
Kohle	800 - 1.100	0,05	1.000 - 1.000.000	270	1-2,5 plus Minen
Gas	300 - 600	0,035 - 0,05	1.000 - 1.000.000	180	1
Kernspaltung	1.000 - 1.500	0,05 - 0,08	250.000 - 1.000.000	6*	1 plus Minen und Sicherheitszonen****
Wasserkraft	1.400	0,05	10.000 - 20.000.000	20*	30 - 40
Solar PV (photovoltaisch)	4.000 - 6.000**	0,25	0,01-10	25*	23
Wind	700 - 1.200**	0,06 - 0,10	0,1-100.000	34*	490
Biomasse	1.300 - 1.700	0,05 - 0,10	1-150.000	10*	2.000
Fusion	6.000***	0,05 - 0,10***	1.000.000 - 3.000.000	9*	1

Energiequelle	Sicherheitsrisiken	intermittierend	Abhängigkeit von anderen Ländern	zentral/dezentral
Ölprodukte	gering	nein	hoch	beides
Kohle	gering	nein	hoch	zentral
Gas	gering	nein	hoch	zentral
Kernspaltung	Evakuierung	nein	mittel	zentral
Wasserkraft	Evakuierung	nein	keine	zentral
Solarenergie	keine	ja	keine	dezentral
Wind	gering	ja	keine	dezentral
Biomasse	gering	nein	keine	dezentral
Fusion	gering	nein	keine	zentral

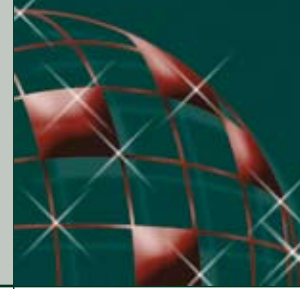
Tabelle 12 vergleicht alle Energiequellen unter Berücksichtigung wichtiger Faktoren

	Szenario I	Szenario II	Szenario III
Nachfrage	1.000 MW	50 MW	1 kW
Budget	1.000 Mio Euro	150 Mio Euro	50.000 Euro
Treibhausgasemission	< 250 gr C/kWh	< 100 gr C/kWh	< 50 gr C/kWh
Landverbrauch	< 100 km <sup>2</sup>	< 50 km <sup>2</sup>	< 100 m <sup>2</sup>
Sicherheit	Keine Anforderung	gering	gering

Tabelle 13:

Drei unterschiedliche Szenarien für den Energiebedarf. Im ersten Szenario wird ausreichend Elektrizität für 2 Millionen Haushalte erzeugt, im zweiten für 100.000 Haushalte und im dritten für zwei Haushalte.





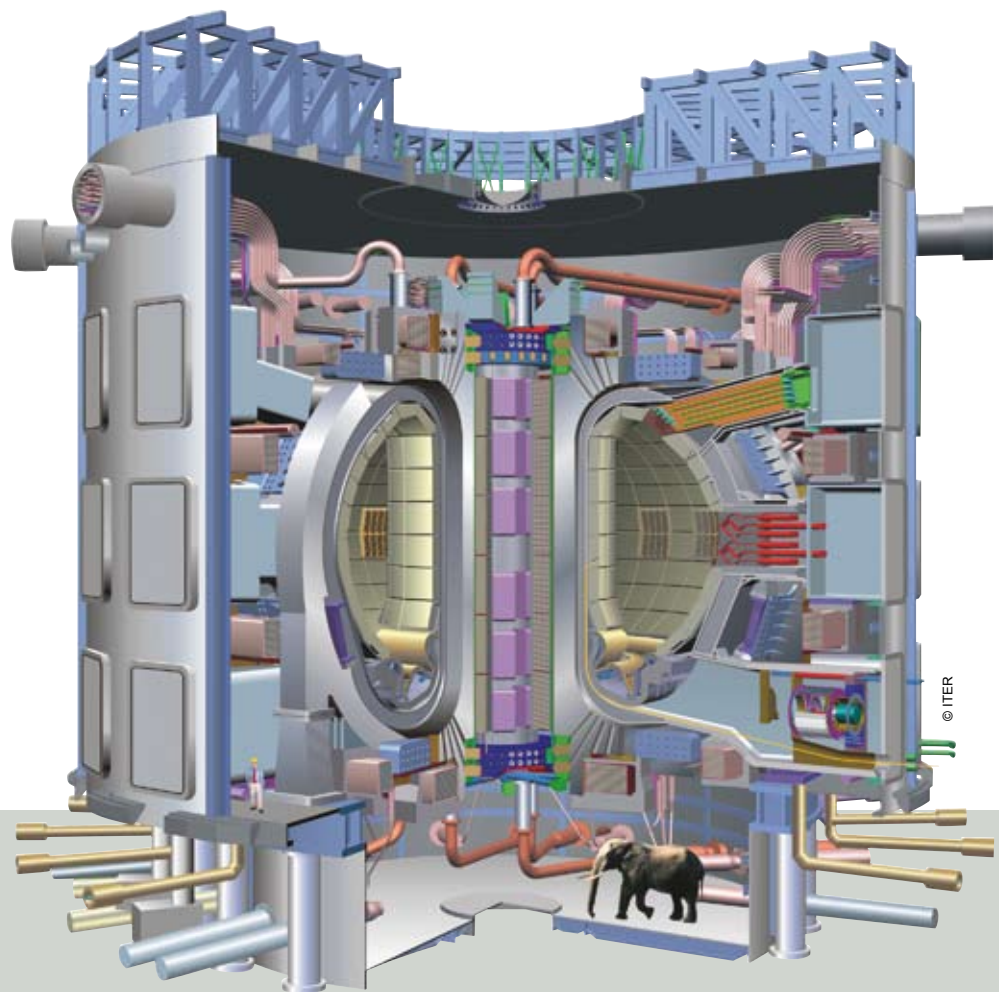
Dies stellt natürlich nur eine Perspektive dar. Andere Organisationen, Firmen und Forschungsinstitute vertreten andere Meinungen.

Diese IIASA/WEC-Studie wurde 1998 veröffentlicht und beinhaltet 6 verschiedene Szenarien, die unterschiedliche technologische, wirtschaftliche und sicherheitsumweltbezogene Parametern darstellen. Dieses Szenario ist „das mittlere Szenario“ mit den durchschnittlichen technologischen Entwicklungen und wirtschaftlichen Wachstum.

Es ist schwierig, solche Szenarien zu interpretieren, da sie die verschiedenen Energiequellen in einen Topf werfen. Kernspaltung und Fusion werden unter dem Begriff „Kernenergie“ aufgeführt. Die Kernfusion wird in der Regel in den Energieszenarien bis 2060 nicht in Betracht gezogen, weil man davon ausgeht, dass sie bis 2040/50 nicht zur kommerziellen Nutzung zur Verfügung stehen wird. Nach diesem Zeitraum könnte die Fusion einen bedeutenden Beitrag zur Verringerung des Ausstoßes von Treibhausgasen leisten.

Die Abbildung 16 (nächste Seite) zeigt, dass in diesem Szenario ein größeres Wachstum bei Kohle-, Erdgas-, Kernkraft- und Biomasse-Verbrauch erwartet wird. 2100 soll der Anteil der Sonnenenergie und anderer erneuerbarer Energiequellen bei 16 % liegen. Zur Stromerzeugung soll bei diesem Szenario erneuerbare und Kernenergie einen wichtigeren Platz einnehmen.

Natürlich ist das nur ein mögliches Szenario, und die Dinge können sich anders entwickeln, als wir denken. Sicher ist jedoch, dass eine Veränderung des Energiesystems ein sehr langsamer Prozess sein wird. Hat man eine neue Technologie zur Energieerzeugung gefunden, wird es weitere 50 Jahre dauern bis diese Energiequelle eine bedeutende Rolle auf dem Energiemarkt spielt. Fabriken und Kraftwerke müssen gebaut, Forschung und Entwicklung vorangetrieben und Menschen ausgebildet werden.



*Kompaktleuchtstofflampen verbrauchen fünfmal weniger Energie als herkömmliche Glühlampen.*



*Der „nächste Schritt“ in der Fusionsforschung ist ITER. Der Reaktor könnte im Jahre 2016 in Betrieb genommen werden. Ein Mann und ein Elefant verdeutlichen den Maßstab.*



Natürlich sind wir im Augenblick noch weit von der Idealsituation entfernt. Laut einer Weltenergiebilanz, die 1999 durch die internationale Energiebehörde erstellt wurde, gewinnen wir nur 17% unserer Energie und davon nur 19% unserer Elektrizität aus erneuerbaren Energiequellen (einschließlich nicht kommerzieller Biomasse wie Brennholz) und. Der Großteil der erneuerbaren Energie wird durch Wasserkraft und durch Müllverbrennung gewonnen. Fast die gesamte Kapazität der Wasserkraft wird heute bereits genutzt. Augenblicklich ist das Wachstum des weltweiten Energiebedarfs zehnmal größer als das Wachstum der Vorräte erneuerbarer Energien.

### Forschung heute für die Energie von morgen

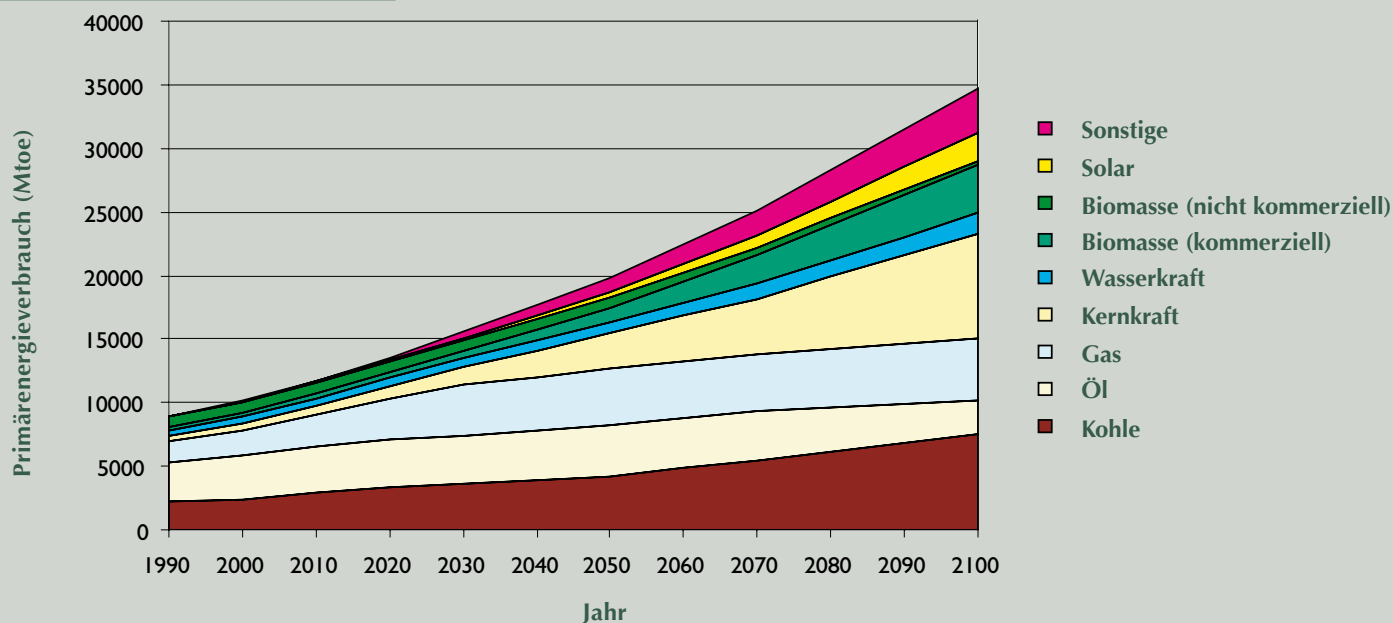
In Zukunft werden wir alle Energiequellen brauchen, die uns zur Verfügung stehen. Momentan wird intensiv an der Entwicklung neuer Energiequellen gearbeitet, ihr Bestand verbessert und die Effizienz, mit der wir unsere Energie nutzen, gesteigert. Private Unternehmen geben in den Industrieländern viel Geld aus, um bestehende kommerzielle Verfahren zur Energiegewinnung zu verbessern. Öffentliche Einrichtungen, wie staatlich finanzierte Uni-

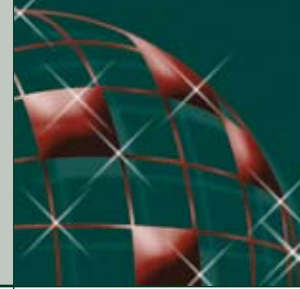
versitäten und Forschungsinstitute, arbeiten an der Entwicklung von Technologien zur Energiegewinnung, die noch nicht kommerziell genutzt werden.

Firmen, die im Kohlebergbau tätig sind, versuchen die Abbaukosten zu senken, Methangas (Hauptbestandteil vom Erdgas) aus dem Kohlebett abzusaugen oder der Kohle schon direkt in der Mine Gas zu entziehen. Öl- und gasfördernde Unternehmen entwickeln Messtechniken und Software, um die Erfolgsrate bei neuen Bohrungen zu erhöhen. Sie versuchen, die Menge an Öl und Gas aus einer Ölquelle zu steigern. In manche Felder wird Dampf oder CO<sub>2</sub> injiziert. Ein weiteres Forschungsgebiet befasst sich mit der Einlagerung von CO<sub>2</sub>: um eine Emission in die Umwelt zu verhindern, wird CO<sub>2</sub> z.B. in erschöpften Erdgasfeldern und unterirdischen Wasserschichten eingelagert. Raffinerien müssen den Schwefelgehalt ihrer Ölprodukte, giftige Stoffe im Benzin oder die Emission anderer schädlicher organischer Stoffe verringern. Die Hersteller von Kraftwerken versuchen die Effizienz der einzelnen Komponenten zu verbessern und neue Wege zu finden, um die Um-



Abb. 16:  
Energieszenario für den globalen Primärenergieverbrauch bis zum Jahr 2100 (Quelle: World Energy Council und IIASA, 1998, mittelfristiges Szenario, unter [www.iiasa.ac.at](http://www.iiasa.ac.at)).





*Ob unser Energiesystem nachhaltiger wird oder nicht, hängt davon ab, wieviel Geld wir in ein sauberes und gesundheitsförderndes Energiesystem investieren möchten.*

*Abbildung 17:  
Energieszenario für den weltweiten Stromverbrauch bis zum Jahre 2100.  
Quelle: Research Institute of Innovative Technology for the Earth, Tokio, Japan.*

weltverschmutzung einzudämmen und die Kosten zu senken. Sowohl Unternehmen als auch öffentliche Einrichtungen wie Universitäten versuchen, ihre Forschung zu intensivieren, um die Leistung sämtlicher Technologien zu verbessern, die erneuerbare Energie wie Wind- und Sonnenenergie nutzbar machen.

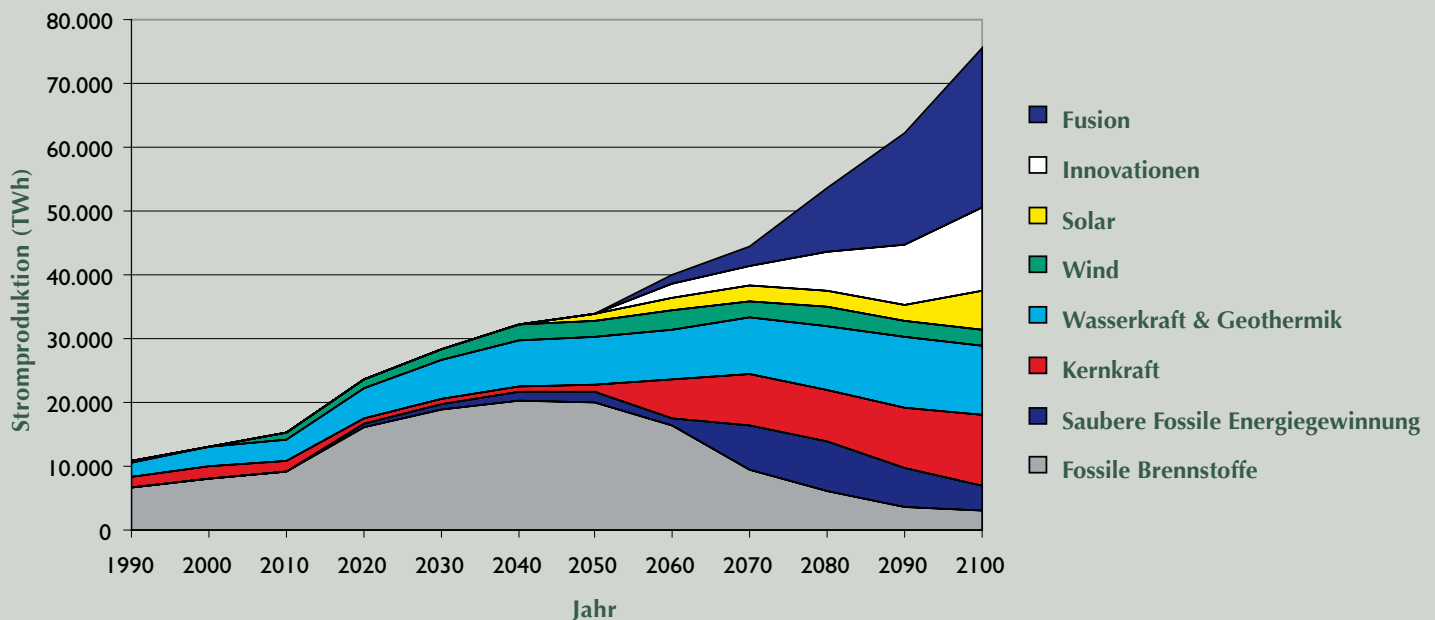
Im Bereich Endverbrauch gibt es noch mehr Forschungsaktivitäten. Viele Geräte, wie Kühlschränke, Glühlampen, Autos, Motoren und jegliche Art von Öfen und Boilern in der Industrie arbeiten immer effizienter. Die Liste von R&D Projekten (Research & Development, d.h. Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte), die in den letzten Jahren in wesentlichen Bereichen der Energietechnologien durchgeführt wurden, ist sehr lang und weist viele Erfolge auf.

Einige Energiequellen, von denen in Kapitel 4 die Rede war, werden nach wie vor sehr intensiv erforscht. Es gibt zum Beispiel ein internationales Forschungsprojekt, das sich mit der Fusionsenergie befasst. In diesem Bereich wurden schon bedeutende Fortschritte erzielt. In der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts soll uns dann Energie aus der Fusion zur Verfügung stehen.

### Volle Kraft voraus

Angenommen, wir möchten bis zum Jahr 2050 zehn Prozent des weltweiten Energiebedarfs mit Windenergie decken. Wenn der Weltgesamte Energiebedarf sich zu diesem Zeitpunkt verdoppelt, brauchen wir ca. 22.000 Mtoe-Energie bis 2050 d.h. 920 EJ ( $1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ Joule}$ ). Ein Windkraftwerk von 3 MW mit einer Leistungsausnutzung von 33 % erzeugt dann  $3,1 \times 10^{13} \text{ J}$  pro Jahr. Falls der Weltenergiebedarf durch Wind gedeckt werden sollte, werden wir 2,9 Millionen Windkraftwerke bis 2050 benötigen, d.h. wir müssten sieben Windkraftwerke pro Stunde in den nächsten 50 Jahren bauen. Dies würde allerdings 10% der Weltenergie decken.

Anhand dieses Beispiels wird deutlich, dass wir so viele saubere Energiequellen wie möglich entwickeln sollten, da es nicht nur eine Antwort auf den Weltenergiebedarf geben wird.





## Wasserstoff — der Energieträger der Zukunft?

Im Idealfall sollten wir Elektrizität überall einsetzen können, da die Beförderung einfach und die Verwendung sauber ist. Wir haben jedoch schon gesehen, dass Elektrizität eine Reihe von Nachteilen mit sich bringt, besonders weil sie schwer zu speichern ist. Das ist auch der Grund warum wir fossile Brennstoffe wie Benzin für unsere Transportmittel nutzen. Benzin ist leicht zu lagern und setzt sehr viel Energie frei. Das bedeutet, dass wir für die Zukunft eine Substanz finden müssen, die leicht zu lagern und zu transportieren ist. Sie soll viel Energie freisetzen, die Luft nicht verschmutzen, keinen Kohlenstoff enthalten und effizient nutzbar sein. Was wir brauchen, ist ein effizienter und sauberer *Energieträger*

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden bereits verschiedene Brennstoffe genau untersucht: Methanol, Ethanol, besondere synthetische Flüssigkeiten wie Dimethyläther, das aus Erdgasen oder Kohle gewonnen wird, komprimiertes Erdgas und Wasserstoff. Von ihnen bietet Wasserstoff die meisten Vorteile. Wasserstoff kann mit Hilfe vieler Primärenergiequel-

len wie Erdgas, Kohle, Öl, Biomasse, Abfall, Sonnenlicht, Wind, Kernspaltung und Kernfusion gewonnen werden. Er verbrennt effizient und kann bei unterschiedlichen chemischen Reaktionen verwendet werden, ohne dass andere Emissionen außer Wasser entstehen. Würde Wasserstoff mit Hilfe erneuerbarer oder nuklearer Energiequellen, sowie fossiler Brennstoffe (hier müsste man das CO<sub>2</sub> auffangen) gewonnen werden, könnte man einen Brennstoff produzieren, der keine schädlichen Abgase oder Treibhausgase freisetzt.

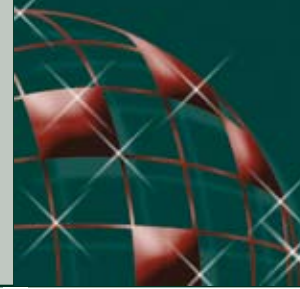
Eins ist jedoch wichtig: Wasserstoff ist keine neue *Energiequelle*. Er ist lediglich eine nützliche Zwischenstufe von Energie. Um Wasserstoff aus Wasser durch Elektrolyse oder durch andere chemische Reaktionen zu gewinnen, benötigt man zuerst eine andere Form von Energie: man braucht zirka 50 kWh elektrische Energie, um ein Kilogramm Wasserstoff herzustellen.

Wenn wir Wasserstoff als *universalen* Energieträger einführen, kommen wir zum Konzept der *Wasserstoffwirtschaft*. In der Wasserstoffwirtschaft sind die zwei Hauptenergieträger Wasserstoff und Strom. Das gesamte Energiesystem ist auf diese beiden Energieträger ausgerichtet. Das Konzept der Wasserstoffwirtschaft ist schon mehrmals untersucht worden: zuerst in den 50er und 60er Jahren. Damals war Wasserstoff als Ergänzung für ein Energiesystem gedacht, das größtenteils auf der Kernspaltung basierte. Kernenergie sollte in der Schwachlastzeit gespeichert werden können. Später erkannte man in ihm ein Mittel, das es erlaubte, intermittierende Energie aus erneuerbaren Quellen zu speichern oder ein die Elektrizität ergänzendes Energieversorgungsnetz zu schaffen. In jüngster Zeit versucht man Wasserstoff mit Hilfe fossiler Brennstoffen zu gewinnen. Das dabei freigesetzte CO<sub>2</sub> soll in erschöpften Erdgas- oder Ölfeldern oder in tiefen unterirdischen Wasserschichten gespeichert werden.

*Dieser Bus wird mit Wasserstoff betrieben. Er hat Brennstoffzellen und einen Elektromotor an Bord.*



© Shell Hydrogen - www.shell.com/hydrogen



## Schlussbemerkung

Alle großen Systeme, die Energie produzieren, haben ihre Stärken und Schwächen. Fossile Brennstoffe stoßen Treibhausgase oder andere umweltschädliche Partikel aus. Ein Großteil der Wasserkraftkapazitäten ist bereits erschöpft. Neue Wasserkraftwerke verändern die Umgebung und haben außerdem negative soziale Auswirkungen, die Biomasse braucht viel Raum. Die Kernspaltung produziert keine Abgase, dafür jedoch radioaktiven Müll. Die Nutzung fossiler Brennstoffe schafft Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Staaten. Offensichtlich hat jede Möglichkeit Vor- und Nachteile. Die beste Lösung wäre ein breitgefächertes System, bei dem unterschiedliche Energiequellen genutzt werden. So hielten sich die Risiken und negativen Auswirkungen aller Energiequellen in Grenzen.

Es gibt aber noch weitere Gründe, die für ein vielfältiges Energiesystem sprechen. Die städtische Bevölkerung zieht am meisten Nutzen aus einer zentralen Energieerzeugung durch Kraftwerke, die eine Leistung von 1.000 MW oder mehr haben und mit starken Stromnetzen verbunden sind. Die Landbevölkerung dagegen wäre mit einer kleinen, dezentralen Energiequelle wie Windenergie oder Solarzellen besser versorgt.

Das Energiesystem ändert sich nur sehr langsam, weil es so groß und wichtig ist. Die Entscheidungen, die wir heute bezüglich der Entwicklung und Unterstützung von Technologien treffen, werden maßgeblich dazu beitragen, wie unser Energiesystem in 50 Jahren oder später aussehen wird. Wir müssen den kommenden Generationen brauchbare Technologien hinterlassen, mit denen sie ihren Energiebedarf decken können. Da es aber im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen noch viele Unsicherheiten gibt, wäre es sinnvoll, alle verfügbaren Energiequellen weiterzuentwickeln, damit sie zur Verfügung stehen, wenn sie gebraucht werden.

Forschung im Bereich erneuerbarer Energiequellen, sicherer und sauberer Arten der Kernenergie und neuer Energiequellen wie der Fusion sind notwendig, damit wir in Zukunft unseren Energiebedarf decken können. Die Zukunft unserer Energie beginnt schon heute.

### Jetzt bist du dran!

Diskutiere mit deiner Klasse oder schreib einen Aufsatz zu folgendem Thema: Wie soll Deiner Meinung nach Energie in 50 Jahren weltweit produziert und verbraucht werden? Versuche insbesondere die Situation in den Entwicklungsländern miteinzubeziehen!



*Eine kleine Brennstoffzelle betreibt einen Laptop. Der dünne Zylinder enthält den Wasserstoff.*



## Zusammenfassung

- Der steigende Verbrauch von fossilen Brennstoffen stellt eine Belastung für zukünftige Generationen dar und zwingt uns schon heute, über nachhaltige Entwicklung und die Energiequellen von morgen nachzudenken.
- Die Kernfusion wird möglicherweise eine der wichtigsten Energiequellen der Zukunft sein. Bis die Technik ausgereift ist, wird jedoch noch einige Zeit vergehen.
- Auch wenn bereits erneuerbare Energiequellen genutzt werden, brauchen wir wohl noch einige Jahrzehnte, um die Technologien weiter zu verfeinern.
- Die Anteile zukünftiger Energiequellen an der Gesamtenergie sind noch unklar. Deshalb müssen wir bereits heute sämtliche Technologien zur Energiegewinnung weiterentwickeln.

## Schau doch mal ins Internet!

[www.eren.doe.gov/kids/](http://www.eren.doe.gov/kids/)

Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Rätsel.

[www.energyquest.ca.gov/index.html](http://www.energyquest.ca.gov/index.html)

Eine sehr gute interaktive Internetseite, auf der fast alle energierelevanten Themen behandelt werden.

[www.irish-energy.ie/energy\\_linked/subjects\\_geog.htm](http://www.irish-energy.ie/energy_linked/subjects_geog.htm)

Umfassende Erklärungen zu fossilen und erneuerbaren Energiequellen.

[www.academyofenergy.org/intro.html](http://www.academyofenergy.org/intro.html)

Beinhaltet Material für Schüler und Lehrer.

[europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/index.html](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/index.html)

Mehrsprachige Internetseite mit Informationen über die EU Politik im Bereich Energie und Transport.

[europa.eu.int/comm/research/energy](http://europa.eu.int/comm/research/energy)

Die Seite der Europäischen Kommission zur Energieforschung.

Links für Lehrer:

[www.neff.org/educatorlinks.html](http://www.neff.org/educatorlinks.html)

[www.eren.doe.gov/education/](http://www.eren.doe.gov/education/)

[www.solarnow.org/links.htm](http://www.solarnow.org/links.htm)

[sln.fi.edu/tfi/hotlists/energy.html](http://sln.fi.edu/tfi/hotlists/energy.html)

[dir.yahoo.com/Science/Energy/](http://dir.yahoo.com/Science/Energy/)

Ausführliche Liste über alle Aspekte der Energie: von Energiequellen bis Nachrichten aus dem Energiebereich und ihre Darstellung in den Medien.



## Quellen

Die verwendeten Daten (alle Tabellen und Prozentangaben über Energiequellen und -verbrauch) stammen aus folgenden Quellen:

- Energiebilanz der Nicht-OECD Länder (1999), International Energy Agency (IAE)
- Energiebilanz der OECD Länder (1999), IAE
- International Energy Agency (1999) — Energie Information und Administration (EIA), DOE
- International Energy Outlook (2002) — EIA, DOE
- Energy and the challenge of sustainability (2000) — World Energy Assessment, UNDP
- F. Joos, 1996, Europhysics News, 27, 6, 213-218
- Energy Research Centre of the Netherlands (ECN)

## Lösungen der Aufgaben

### Aufgabe I

- Der Energiebedarf liegt bei 1 Gigawatt: Öl, Solar- und Windenergie sowie Biomasse sind ausgeschlossen.
- Das Budget für das Kraftwerk liegt bei 1 Milliarde Euro, was Investitionskosten von 1.000 Euro/kW entspricht: Kohle, Erdgas und Kernkraft sind nach wie vor mögliche Optionen.
- Der C-Grenzwert schließt Kohle und Gas aus.
- Der Landverbrauch spielt bei der Energiegewinnung durch Erdgas oder Kernspaltung keine Rolle.
- Je nach Sicherheitserwägungen ist entweder ein durch Erdgas betriebenes Kraftwerk oder ein Kernspaltungskraftwerk die Lösung.

### Aufgabe II

- Die Nachfrage beträgt 50 MW: Öl und Solarenergie sind ausgeschlossen.
- Um 50 MW zu erzeugen müssen 150 Millionen Euro investiert werden, was 3.000 Euro/kW entspricht.
- Der C-Grenzwert schließt Kohle und Erdgas aus.
- Die Sicherheitsrisiken und die Leistungsgröße schließen auch die Kernspaltung aus.
- Mögliche Alternativen sind Windenergie und das Verbrennen von Biomasse. Der Energiebedarf kann allein durch Biomasse nicht gedeckt werden. In Anbetracht der Kosten wäre eine Kombination aus 50% Windenergie und 50% Verbrennung von Biomasse denkbar. (Windenergie hat höhere Investitionskosten, benötigt aber weniger Bodenfläche als Biomasse, so dass eine 50/50 Verteilung optimal wäre).

### Aufgabe III

- Der Energiebedarf liegt nur bei 1kW: Kohle, Erdgas, Kernenergie und große Wasserkraftwerke sind ausgeschlossen.
- Ein Budget von 50.000 Euro bedeutet 50.000 Euro/kW, so dass noch die Möglichkeit der Nutzung von Solarenergie besteht.
- Ein C-Grenzwert von 50 gr. /kWh schließt Öl aus.
- Aufgrund des Flächenbedarfs von 100 m<sup>2</sup> für 1kW also 100 km<sup>2</sup>/GW stellt Sonnenenergie die einzige Lösung dar. Vernachlässigt man die begrenzte Bodenfläche, wäre Windenergie die bessere Alternative, weil sie viel günstiger ist.

This publication, supported by the European Commission, was carried out within the framework of the European Fusion Development Agreement (EFDA). The EFDA Parties are the European Commission and the Associates of the European fusion programme which is co-ordinated and managed by the Commission.

Neither the Commission, the Associates nor anyone acting on their behalf is responsible for any damage resulting from the use of information contained in this publication. The views and opinions expressed herein do not necessarily reflect those of the European Commission. Text, pictures and layout, courtesy of the EFDA Parties or other credited sources.



EFDA

EUROPEAN FUSION DEVELOPMENT AGREEMENT