

# IZT

**Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung**  
Institute for Futures Studies and Technology Assessment

powerado-Materialien für die Primarstufe:

## **Band 7 – Weiterführende Informationen für Lehrkräfte**

Michael Scharp, Malte Schmidhals, Uwe Hartmann

**Werkstattbericht Nr. 95**



Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter den Förderkennzeichen FKZ 0327540 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Berlin, Dezember 2007

**ISBN 978-3-929173-95-6**

© 2007 **IZT**

## Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

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

(WerkstattBerichte / IZT, Institut für Zukunftsstudien und  
Technologiebewertung ; Nr. 95)

ISBN 978-3-929173-95-6

Unter Mitarbeit von

Dipl.Päd. Rolf Behringer

Dipl.Ing. Martin Dinziol

Prof. Dr. Sigrid Jannsen

Dr. Uwe Hartmann

Dipl.Phys. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Hartmut Oswald

Dipl.Ing. Malte Schmidthals

© 2007 **IZT** by Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Printed in Germany

## Kurzfassung

Energie und erneuerbare Energien sind bisher keine zentralen Themen für den Grundschul-Unterricht und zumeist auch nicht für die SEK I. Dies liegt vor allem an der fehlenden Lehrplananbindung. Als Konsequenz hiervon gibt es auch kaum Lehrmaterial, welches interessierte Lehrkräfte nutzen können.

Mit den „powerado-Materialien für die Primarstufe“ wollen wir diese Lücke schließen. Lehrkräfte und Pädagogen sollen diese Materialien eigenständig nutzen können, um Angebote für die Kommunikation von erneuerbaren Energien zu machen. Die Materialien sind im Rahmen des Forschungsvorhabens „powerado: Erlebniswelt Erneuerbare Energien“ entwickelt worden. In diesem Vorhaben wurden verschiedene Module entwickelt, um die Kommunikation von erneuerbaren Energien zu verbessern (vgl. [www.powerado.de](http://www.powerado.de)). Beispiele hierbei sind ein Computerspiel, ein Wissensquiz, Materialboxen für den Kindergarten, die Primarstufe und Jugendfreizeiteinrichtungen, eine Wanderausstellung zu Schulprojekten, Experimente zu erneuerbaren Energien, Vorschläge für Curricula in der Weiterbildung von Handwerkern und eine Lehrveranstaltung für angehende Lehrkräfte.

***Das Vorhaben wurde vom BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördert. Wir danken dem Zuwendungsgeber vielmals, dass er uns ermöglicht hat, diese Materialien zu entwickeln.***

Die Bände 1 bis 6 der vorliegenden Materialien behandeln jeweils zwei Themenbereiche für Schüler, der siebente Band enthält Hintergrundinformationen für Lehrkräfte:

- Band 1: Energie und mit Energie leben,
- Band 2: Erneuerbare und nicht-erneuerbare Energien im Überblick,
- Band 3: Wasserkraft und Windenergie,
- Band 4: Sonnenenergie, Sonnenwärme und Solarstrom,
- Band 5: Bioenergie und Erdwärme,
- Band 6: Klimawandel und Energiesparen.

Alle Materialien haben die gleiche Struktur. Unter einer ausgewählten Themenfrage wird zunächst ein einfacher Lesetext (Thementext) aufgeführt. Anschließend gibt es eine Bildfrage mit dazugehörigen Bildern und der Antwort auf die Frage. Abschließend gibt es zu jeder Themenfrage noch weitere Quizfragen nach dem Multiple-Choice-Prinzip. Die Antworten können aus dem Thementext entnommen werden. Bei der Entwicklung der Materialien wurde darauf geachtet, dass das Thema so vollständig wie möglich abgehandelt wird. Die Thementexte sind dennoch möglichst einfach geschrieben und auch unabhängig zu nutzen.

## Abstract

Energy and renewables are not really an important subject in primary or secondary school. The most likely reason is the lack of renewable energy in the obligatory curricula. Consequently there are only a few educational materials for teachers.

Our “powerado materials for the primary school” should close this gap. The materials have been developed within the R&D project “powerado: The world of renewable energy”. In several modules we have done applied research on new ways of communicating renewable energies to children and young people (c.f. [www.powerado.de](http://www.powerado.de)). Examples are an online game “powerado”, a knowledge quiz, “renewables in box” for play schools (Kindergarten), for primary school and for youth clubs, a poster exhibition of good school projects, experiments for renewable energies, curricula for advanced training of craftsmen and a seminar for student teachers at the university.

***The project has been funded by the BMU, the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. We thank a lot the BMU for giving us the possibility to do this necessary work.***

Volume 1 to 6 of the powerado materials always are covering two subject areas for pupils, the seventh volume contains background information for teachers.

All volumes have a similar structure. Every part (of energy) is split up to several themes (thematic questions and texts). A simple text tries to give an answer to the “thematic question”. Afterwards a “picture question”, pictures and a “picture answer” are following. Furthermore we have developed questions belonging to the “thematic texts”. These questions are multiple-choice questions. The answer could be taken from the thematic texts. We have tried to cover the subjects energy, renewable energy, climate change and energy saving as complete as possible. All chapters could be used [self-contained](#). The language is very simple and applicable for primary school.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>7</b>
<b>0 Einleitung</b> .....	<b>8</b>
0.1 Entwicklung und Struktur der Materialien .....	8
0.2 Material- und Bildverwendung. ....	13
0.3 Pädagogische Hinweise .....	14
0.4 Themenübersicht .....	14
<b>1 Energie</b> .....	<b>19</b>
<b>2 Mit Energie leben</b> .....	<b>20</b>
<b>3 Erneuerbare Energien</b> .....	<b>21</b>
<b>4 Nicht erneuerbare Energien</b> .....	<b>22</b>
<b>5 Windenergie</b> .....	<b>23</b>
<b>6 Wasserkraft</b> .....	<b>24</b>
<b>7 Sonnenenergie</b> .....	<b>25</b>
<b>8 Sonnenwärme</b> .....	<b>26</b>
<b>9 Solarstrom</b> .....	<b>27</b>
<b>10 Bioenergie</b> .....	<b>28</b>
<b>11 Erdwärme</b> .....	<b>29</b>
<b>12 Klimawandel</b> .....	<b>30</b>
<b>13 Energiesparen</b> .....	<b>31</b>
<b>14 Weiterführende Informationen für Lehrkräfte</b> .....	<b>32</b>
14.1 Themenbereich: Energie .....	32
14.2 Themenbereich: Mit Energie leben.....	37
14.3 Themenbereich: Erneuerbaren Energien im Überblick .....	43
14.4 Themenbereich Nicht-erneuerbare Energien .....	47
14.5 Themenbereich: Windenergie .....	61
14.6 Themenbereich: Wasserkraft.....	63
14.7 Themenbereich: Sonnenenergie.....	66
14.8 Themenbereich: Solarthermie (Sonnenwärme) .....	69
14.9 Themenbereich: Fotovoltaik (Solarstrom).....	72
14.10 Themenbereich: Bioenergie.....	74
14.11 Themenbereich: Geothermie – Erdwärme und Umgebungswärme .....	78
14.12 Themenbereich: Klimawandel.....	81
14.13 Themenbereich: Energiesparen.....	84
<b>15 Quellen, Internetseiten und Literatur</b> .....	<b>90</b>
15.1 Bildquellen und Internetseiten zum Thema Energie und erneuerbare Energien.....	90
15.2 Literaturquellen .....	91

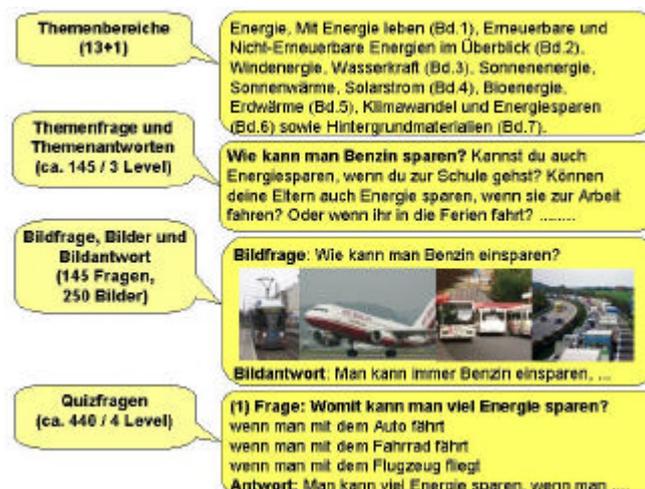
## 0 Einleitung

### 0.1 Entwicklung und Struktur der Materialien

Im Rahmen des Vorhabens „Erlebniswelt Erneuerbare Energien: powerado“ wurden von dem Forschungskonsortium eine Vielzahl von Begleitmaterialien zu den Modulen des Vorhabens geschaffen. Diese Materialien dienten vor allem zur Unterstützung der einzelnen Module, damit Lehrkräfte diese in ihrem Unterricht einbauen können. Im Laufe der Arbeit zeigte sich ein weitergehender Bedarf der Pädagogen/innen, die uns bei dem Vorhaben unterstützt haben. Immer wieder wurde die Frage nach umfassenden Materialien für die Primarstufe aufgeworfen, da diese bisher nur zu einzelnen Themenfeldern vorhanden sind. Gewünscht wurden vor allem einfache Texte und Bilder. Die Materialien sollten weiterhin als bearbeitbare Dokumente vorliegen, damit die Pädagogen/innen diese für ihre speziellen Zielstellungen selbst bearbeiten können. Diesen Wünschen wollen wir mit den vorliegenden Materialien nachkommen. Sie wurden vor allem in Anlehnung an das Wissensquiz powerado entwickelt, welches in das gleichnamige Online-Spiel integriert ist. Gedacht waren diese Materialien vor allem für die Darstellung im Internet, aber eine Textversion erschien den beteiligten Lehrkräften wünschenswert.

Die Materialien versuchen das umfassende Thema Energie und erneuerbare Energie zu behandeln und zu allen relevanten Themen Texte, Bilder und Quizfragen zu liefern. Hierbei wurde die folgende Struktur den Materialien zugrunde gelegt:

Abbildung 0-1: Struktur der Materialienkonzeption



Quelle: Eigene Darstellung.

Zur Entwicklung der Materialien wurde zunächst das Themenspektrum (Systemgrenzen) festgelegt in Form von Themenbereichen. Da erneuerbare Energien ihre Bedeutung vor dem Klimawandel bekommen, und diese auch nicht ohne Grundkenntnisse des Themenbereichs „Energie“ möglich sind, wurden die folgenden Themenbereiche gewählt:

Tabelle 1: Themenbereiche der Materialien

1. Energie (Band 1)	8. Sonnenwärme (Band 4)
2. Mit Energie leben (Band 1)	9. Solarstrom (Band 4)
3. Erneuerbare Energien im Überblick (Band 2)	10. Bioenergie (Band 5)
4. Nicht erneuerbare Energien im Überblick (Band 2)	11. Erdwärme (Band 5)
5. Windenergie (Band 3)	12. Klimawandel (Band 6)
6. Wasserkraft (Band 3)	13. Energiesparen (Band 6)
7. Sonnenenergie (Band 4)	14. Materialien (Band 7)

Anschließend wurden die Themenbereiche untergliedert. Ziel sollte es sein, aufeinander aufbauende „Wissensschnipsel“ mit Themenfragen und Themenantworten zu entwickeln, die in der Summe den Themenbereich abdecken, aber dennoch eigenständig verständlich sind. Sie schließen aneinander an, ohne jedoch allzu viel zu wiederholen. Tabelle 2 zeigt dieses Vorgehen beispielhaft für die Themenfragen. Hierdurch wird eine einfache Darstellung der Themenbereich möglich.

Tabelle 2: Themenfragen zum Themenbereich „Wasserkraft“

6-02 Wie haben die Menschen vor unserer Zeit die Kraft des Wassers genutzt?
6-03 Was ist eine Wassermühle?
6-04 Was konnten Wassermühlen alles?
6-05 Was ist eine Wasserturbine?
6-06 Wie gewinnt man aus Wasserkraft Energie?
6-07 Was sind Laufwasserkraftwerke?
6-08 Was sind Speicherwasserkraftwerke?
6-09 Wie kommt das Wasser auf die Berge?
6-10 Wie stark sind Wasserkraftwerke?
6-11 Ist Wasserkraft wichtig?

Da die Themenbereiche unterschiedliche Inhalte haben, haben die Bände 1, 2 und 6 eine unterschiedliche Struktur als die Bände 3 bis 6. Gemeinsam ist allen Bänden, dass sie grundsätzlich an das Alltagsverständnis anknüpfen. Die Darstellung der einzelnen erneuerbaren Energien in den Bänden 3 bis 6 weisen jedoch starke Gemeinsamkeiten auf. Zu Beginn der Beschreibung wird immer auf Alltagserfahrungen (Wärme und Strom im Haus, Elektrogeräte, Wasserströmung, Helligkeit und Wärme von der Sonne) und auf die historische Nutzung (Segelboot, Windmühle, Feuer) der jeweiligen Energiequelle eingegangen. Anschließend erfolgt eine Beschreibung der Umwandlungstechnik. Zum Schluss wird noch einmal die Bedeutung der Energie herausgestellt. Dazwischen werden immer wesentliche Aspekte zum Verständnis der erneuerbaren Energie dargestellt („Woher kommt die Energie in Lebensmitteln / in der Erde / in der Sonne?“ oder „Was ist elektrischer Strom / elektrische Spannung / Absorption / Reflexion?“).

Zu jeder Themenfrage gibt es eine Themenantwort (vgl. Tabelle 3). Die Themenantworten haben eine möglichst einfache Sprache und versuchen, eine geschlossene Antwort auf die Themenfrage zu geben. Hierdurch sollen die einzelnen Themenfragen als eigenständige Texte verständlich sein. Allerdings wiederholen sich dadurch bestimmte Grundaussagen, die wichtig sind. Der Satzbau ist möglichst einfach gehalten. Die Sätze sind zumeist nicht länger als 120 Zeichen. Auf Fremdworte oder einer Vielzahl von gleichbedeutenden Worten (z.B. umwandeln, erzeugen, herstellen, erschaffen, machen, gewinnen, verbrauchen) wurde explizit verzichtet. Hierbei sind jedoch zwei Einschränkungen gemacht worden. Zum einen wurden für die Energieumwandlung immer die Begriffe „umwandeln“ und „erzeugen“ verwendet. Wenn vom „herstellen“ gesprochen wird, bezieht sich dies immer auf stoffliche Dinge (Benzin, warmes Wasser, Biomasse). Bei den „Fremdworten“ sind zentrale Begriffe wie Fotovoltaik, Solarstrom, Klima, Atmosphäre oder Geothermie jedoch zugelassen. Um in diese Themen einzuführen, wurden aber auch Begriffe verwendet, die eindeutiger sein können wie z.B. Sonnenwärme oder Erdwärme.<sup>1</sup>

Die Themenfragen und damit auch die Antworten wurden nach Schwierigkeitsgraden – in Klammern hinter der Themenfrage – gesetzt. Hierbei werden die folgenden Kategorien verwendet:

- (1) leicht = Basiswissen mit möglicher eigenständiger Aneignung,
- (2) mittel = weiterführendes Wissen mit notwendiger Unterstützung bei der Aneignung,
- (3) schwierig = ergänzendes „Expertenwissen“ mit notwendiger Unterstützung bei der Aneignung bzw. ein nicht unbedingt wichtiges Thema.

Tabelle 3: Themenfragen und Themenantwort aus dem Themenbereich „Windenergie“

#### **5-5 Was ist eine Windenergieanlage? (1)**

Moderne Windmühlen nennen wir nicht mehr Windmühlen, sondern Windenergieanlagen. Alte Windmühlen und moderne Windenergieanlagen sehen ganz verschieden aus. Eine alte Windmühle hat oft vier Windflügel. Die Windflügel sind an einer Achse befestigt. Die Achse ist ganz oben in dem Mühlenturm oder dem Mühlenhaus aufgehängt. Und an der Achse hängen ein Gestänge oder Räder. Mit dem Gestänge oder den Rädern wird die Kraft des Windes auf Mahlsteine oder Sägen übertragen. Heute mahlen oder sägen wir nicht mehr mit Windenergie. Heute gewinnen wir elektrischen Strom. Und deshalb sehen unsere Windenergieanlagen anders aus. Sie haben immer noch Windflügel. Die Windflügel und ihre Verbindung werden auch Rotor genannt. Meist hat der Rotor drei Windflügel, manchmal zwei. Der Rotor ist an einer Gondel befestigt und die Gondel steht auf einem Turm.

---

<sup>1</sup> In dem allgemeinen wissenschaftlichen Sprachgebrauch hat sich auch der Begriff Windenergie gegenüber der Windkraft durchgesetzt, weshalb letzterer nicht verwendet wird. Nur im letzten Kapitel wird er des Verständnisses wegen noch teilweise benutzt.

**5-7 Wie gewinnt man aus Wind Energie? (1)**

Eine Windenergieanlage besteht aus einem Turm, einer Gondel mit Generator und Getriebe sowie einem Rotor mit den Windflügeln. Wenn der Wind weht, bewegt er die Windflügel, die auch Rotorblätter genannt werden. Die Kraft des Windes dreht also den Rotor. Der Rotor besteht aus den Rotorblättern und der Rotornabe. Er sitzt auf einer Achse und dreht diese Achse. Diese Achse wird auch Hauptwelle genannt. Wenn die Achse sich dreht, dreht sich der Generator. Damit der Generator sich schnell dreht und mehr elektrischen Strom erzeugt, gibt es noch ein Getriebe. Ein Getriebe ist wie eine Gangschaltung an einem Fahrrad. Ein Generator besteht vor allem aus Kabeln und erzeugt den elektrischen Strom, wenn er gedreht wird. Wir leiten den elektrischen Strom zu Sammelplätzen und von dort fließt er in unsere Häuser. So gewinnen wir aus Wind elektrischen Strom und elektrischer Strom ist Energie.

Ergänzt werden die Themenfragen durch Bilder und einige Graphiken. Die Bilder beziehen sich auf die Themenfrage. Jedem Bild ist eine oder mehrere Bildfragen vorangestellt. Die Antworten sind unterhalb der Bilder als Bildantworten aufgeführt. Anhand der Antwort kann man sehen, ob die Kinder den Text verstanden haben. Durch die Kombination von Text und Bildfrage können die Kinder sich die Antwort auch selbst erschließen.

**Bildfrage:** Was siehst du auf den Bildern? Was ist ein Energieträger und was nicht?



**Bildantwort:** Abbildung 0-2: Das linke Bild zeigt eine Tankstelle. An einer Tankstelle wird Benzin verkauft. Benzin ist ein Energieträger, denn wir können die Energie nutzen, um Auto zu fahren. Der Blitz auf dem rechten Bild enthält auch Energie. Aber wir können seine Energie nicht nutzen. Deshalb ist er für uns kein Energieträger.

Quelle: Scharp und Dinziol 2007a; [www.pixelio.de](http://www.pixelio.de) / Jürgen Lenzner.

Auf Basis der Themenantworten wurden die Quizfragen entwickelt, so dass diese anschlussfähig an die Themenantworten sind. Die Quizfragen können auch als

Verständnisfragen zu dem Thementext genommen werden. Die Quizfragen sind Multiple-Choice-Fragen mit je einer richtigen und zwei falschen Antworten. Zu jeder Frage gibt es eine Antwort, die die Frage wiederholt, was aufgrund der Nutzung für das Online-Spiel notwendig war (sukzessive Darstellung von Fragen und Antwortmöglichkeiten mit anschließender Darstellung der Antwort). Eindeutig falsche Antworten werden nicht als falsch erläutert, wohingegen plausible „falsche“ Antworten kurz als falsch erläutert werden. Die Quizfragen wurden anschließend in vier Kategorien unterteilt:

- sehr einfach (1),
- relativ einfach (2),
- schwierig (3) und
- sehr schwierig (4).

Der Schwierigkeitsgrad der Quizfragen ist vor der Frage in Klammern vermerkt. Es ist jedoch sichergestellt, dass mit Hilfe der Themenantworten auch die schwierigen Fragen beantwortet werden können, da alle Quizfragen aus den Themenantworten abgeleitet wurden. Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft zwei Quizfragen:

Tabelle 4: Quizfragen aus dem Themenbereich „Nicht-erneuerbare Energien“.

<p>(3) Warum heißen die nicht-erneuerbaren Energien „nicht-erneuerbar“?</p> <ul style="list-style-type: none"><li>➤ weil wir sie aufbrauchen können</li><li>➤ weil sie schon alt sind</li><li>➤ weil wir sie schon lange kennen</li></ul> <p><i>Antwort: Nicht-erneuerbare Energien heißen nicht-erneuerbar, weil wir sie aufbrauchen können. Sie kommen nur begrenzt in der Erde vor. Und sind darum nur begrenzt nutzbar.</i></p> <p>(2) Warum werden fossile Brennstoffe auch nicht-erneuerbare Energieträger genannt?</p> <ul style="list-style-type: none"><li>➤ weil sie aus der Erde herausgeholt werden</li><li>➤ weil sie nicht mehr in der Natur entstehen</li><li>➤ weil wir sehr viel davon nutzen</li></ul> <p><i>Antwort: Fossile Brennstoffe werden auch nicht-erneuerbare Energieträger genannt, weil sie nicht mehr in der Natur entstehen.</i></p>
--

Die Texte wurden einer durchdringenden Textanalyse unterzogen. Die maximale Zeichenzahl der Themenantworten wurde auf 1.300 festgelegt, um ggf. auch eine Web-Darstellung möglich zu machen. Die Analyse umfasste weiterhin die Begrenzung der Satzlängen auf maximal 130 Zeichen und die Vermeidung von Verschachtelungen (Einschübe, maximal ein Nebensatz etc.). Die überwiegenden Satzlängen bewegen sich zwischen 30 und 80 Zeichen. In einer weiteren Stufe wurde eine Wort-Analyse durchgeführt. Hierdurch wurde die konsistente Verwendung einzelner und die Vermeidung multipler Begriffe bzw. von Fremdworten erreicht. In einem letzten Schritt wurden die Themenfragen nach Schwierigkeitsgraden kategorisiert (s.o.).

Die Materialien wurden intensiv mit Lehrkräften auf Workshops und Fokusgruppenveranstaltungen diskutiert. Hierbei zeigte sich ein Dilemma, das allen Lehrkräften bekannt ist und über das aber nur selten gesprochen wird. Ein Teil der Lehrkräfte vertrat die Auffassung, dass die Materialien in der vorliegenden Struktur und auf Basis der von ihnen angeregten Änderungen für die Primarstufe gut anwendbar sind. Wichtig war ihnen zudem, dass sie die Materialien ihren spezifischen Bedürfnissen entsprechend anpassen können. Eine andere Gruppe der Lehrkräfte machte jedoch darauf aufmerksam, dass Texte für die Primarstufe durchaus zu schwierig für die SEK I in der Haupt- oder Realschule sein können. Letzteren Anforderungen konnten die Autoren allerdings nicht nachkommen, da hierfür keine offensichtliche Lösung vorliegt.

Die Quizfragen wurden zudem in der Evaluation des Computerspiels powerado hinsichtlich ihrer Verständlichkeit und ihres Schwierigkeitsgrades mit zahlreichen Schülern getestet (Fromme und Russler 2006). Hierbei zeigte sich, dass die Fragen von den Kindern sehr gut angenommen wurden, verständlich sind und ihren eigenen Einschätzungen nach nicht zu schwierig sind. Eine Analyse der Antworten mit Hilfe der Serverstatistik ergab zudem, dass mehr als 80% der Fragen des Online-Spiels mit richtig beantwortet worden waren. Aufgrund dessen wurden noch weitere Fragen mit einem höheren Schwierigkeitsgrad hinzugefügt.

## **0.2 Material- und Bildverwendung.**

Die Bilder der Materialien können im Unterricht ohne Einschränkungen verwandt werden. Die in den Materialien verwendeten Bilder stammen überwiegend aus allgemein zugänglichen Quellen und unterliegen nur insofern dem Copyright, als dass bei ihrer Verwendung die Quellenangaben und die zugehörige Website notiert werden müssen. Die Autoren bitten die Nutzer dieser Materialien, hieran auch zu denken. Die Bilder sind wie folgt zu kennzeichnen:

- Quelle: Name des Fotografen und der Website (übernommen von: Autoren Jahr: Seitenzahl)
- Beispiel:  
Quelle: Jürgen / [www.pixelio.de](http://www.pixelio.de) (übernommen von: Scharp und Schmidthals 2007:25)

Für die Nutzung der Bilder von den Unternehmen (Shell, Siemens, E.ON, HDG Bavaria Heizsysteme, ADM, Viessmann, Südzucker etc.) oder den Verbänden (Bundesverband Windenergie, CARMEN, DSK, BINE, DEBRIV, Neanderthal Museum, Bundesverband WärmePumpe e.V.) ist die Genehmigung einzuholen, wenn die Bilder außerhalb des Unterrichts verwendet werden. Diese wird zumeist formlos per Email erteilt, wenn keine kommerziellen Nutzungen beabsichtigt sind.

Die Textmaterialien können für den Unterricht bearbeitet und verwendet werden. Bei einer weitergehenden Verwendung, die nicht auf Unterrichtszwecke abzielt oder kommerziell geartet ist, bedarf des Einverständnisses der Autoren. Bei der Nutzung der Materialien für Schulzwecke sind die Quelleangaben zu beachten.

***Abschließend noch eine Bitte der Autoren. Kein Text ist fehlerfrei zu erstellen trotz intensiver wissenschaftlicher Recherche und präzisen Korrekturlesens. Wenn in den Materialien Fehler entdeckt werden, bitten die Autoren um die Benachrichtigung per Mail an [m.scharp@izt.de](mailto:m.scharp@izt.de), um Fehler für die Folgeausgaben beseitigen zu können.***

### **0.3 Pädagogische Hinweise**

Die hier publizierten Texte, Bilder und kindgerechten Fragestellungen sind als Materialzusammenstellung für die 4. bis 6. Klasse gedacht und nicht als Unterrichtseinheit ausgearbeitet. Es wird daher auch keine Methodenrahmen geliefert, für den sich die Materialien besonders eignen oder für dessen Einbindung sie gar entwickelt wären. Der Einsatz der Materialien ist – abhängig von der jeweiligen Unterrichtsplanung – unter Einschränkungen vielgestaltig möglich. Als Einsatzmöglichkeiten bieten sich z.B. an:

- Die Nutzung ausgewählter Thementexte für die Einführung in einzelne Themenfelder der erneuerbaren Energien;
- eine Kleingruppenarbeit anhand der Thementexte, Bilder und Einzelfragen, die gelesen, besprochen und beantwortet werden;
- die Eigenarbeit z.B. im Rahmen von Wochenarbeitsplänen;
- eine Umsetzung der Einzelfragen zu einem Quiz mit Fragen-Antwort-Kärtchen durch die Schülerinnen und Schüler;
- die Stellung von Zusatzaufgaben an einzelne Schülerinnen und Schüler;
- die Nutzung als Material für Schülerreferate bzw. –präsentationen sowie
- eine Umsetzung der Einzelfragen zu einem Quiz mit Fragen-Antwort-Kärtchen durch die Schülerinnen und Schüler.

### **0.4 Themenübersicht**

Die Materialien für die Primarstufe wurden in sechs Bände untergliedert, wobei jeder Band zwei Themen enthält. Der siebente Band bietet Hintergrundinformationen für Lehrkräfte. Im Folgenden sind die Themen der Bände mit dem Schwierigkeitsgrad der Thementexte aufgeführt.

- (1) = leicht,
- (2) = zusätzliche Erläuterungen durch die Lehrkräfte sind notwendig und
- (3) = es handelt sich um ein schwieriges Thema, welches der Vollständigkeit halber aufgenommen wurde.

**Band 1: Energie und mit Energie leben**

- 1-01 Wofür brauchen wir Energie? (1)
- 1-02 Wann sprichst du von Energie? (2)
- 1-03 Was ist Energie? (2)
- 1-04 Worin findest du Energie? (3)
- 1-05 Was ist ein „Energieträger“? (1)
- 1-06 Welche Energieformen kennst du aus dem Alltag? (1)
- 1-07 Welche Energieformen gibt es noch? (3)
- 1-08 Was sind erneuerbare Energien? (1)
- 1-09 Was sind nicht-erneuerbare Energien? (1)
- 1-10 Was sind Primärenergieträger? (3)
- 1-11 Was ist Endenergie? (3)
- 1-12 Was ist Nutzenergie? (3)
- 1-13 Kann man Energie nur verbrauchen? (1)
- 1-14 Was sind Umwandlungsverluste? (2)
- 1-15 Sind Umwandlungsverluste sehr groß? (3)
- 1-16 Kann man Umwandlungsverluste gering halten? (1)
- 2-01 Wann haben die Menschen die Energie entdeckt? (1)
- 2-02 Wie kann man Energie messen? (2)
- 2-03 Wie beschreibt man die Energie in Lebensmitteln? (3)
- 2-04 Wie kann man die Leistung und Energie von Strom und Gas messen? (3)
- 2-05 Was ist eine Steinkohleeinheit? (3)
- 2-06 Wie viel Energie verbraucht ein ganzes Land? (3)
- 2-07 Wie viel Energie verbraucht jeder von uns? (2)
- 2-08 Welche Energieformen brauchst du am meisten? (1)
- 2-09 Wofür brauchen wir Wärme? (1)
- 2-10 Wie erzeugen wir Wärme? (1)
- 2-11 Was ist Wärme? (3)
- 2-12 Was ist Temperatur und was ist Wärme? (3)
- 2-13 Welche Temperaturen solltest du kennen? (3)
- 2-14 Was ist Verbrennung? (1)
- 2-15 Wie kann man Wärme speichern? (1)
- 2-16 Was ist ein Wärmetauscher? (3)

**Band 2: Erneuerbare Energie und nicht-erneuerbare Energien im Überblick**

- 3-01 Was sind erneuerbare Energien? (1)
- 3-02 Woher kommen die erneuerbaren Energien? (2)
- 3-03 Warum ist die Sonne die wichtigste Energiequelle? (2)
- 3-04 Kann man aus Sonnenlicht Wärme erzeugen? (1)
- 3-05 Kann man aus Sonnenlicht Strom erzeugen? (1)
- 3-06 Was ist Bioenergie und Biomasse? (1)
- 3-07 Wofür brauchen wir pflanzliche Biomasse? (2)
- 3-08 Was ist tierische Biomasse? (2)
- 3-09 Was ist Biogas? (2)
- 3-10 Ist der Wind eine Energiequelle? (1)
- 3-11 Ist Wasser eine Energiequelle? (1)

- 3-12 Ist das Meer eine Energiequelle? (3)
- 3-13 Ist der Boden eine Energiequelle? (3)
- 3-14 Ist die Erde eine Energiequelle? (1)
- 3-15 Ist der Mond eine Energiequelle? (3)
- 3-16 Wie viel erneuerbare Energie wurde in 2006 erzeugt? (3)
- 4-01 Was sind nicht-erneuerbare Energien? (1)
- 4-02 Was sind fossile Energieträger? (1)
- 4-03 Wie entstanden Erdöl und Erdgas? (2)
- 4-04 Wie entstanden Braunkohle und Steinkohle? (2)
- 4-05 Wie nutzen wir fossile Energieträger? (1)
- 4-06 Wie erzeugt man Strom mit einem Dynamo? (1)
- 4-07 Wie erzeugt man Strom aus nicht-erneuerbaren Energien? (1)
- 4-08 Was macht eine Turbine? (3)
- 4-09 Was macht ein Generator? (3)
- 4-10 Wie erzeugt man Wärme aus fossilen Energieträgern? (1)
- 4-11 Wie stellt man Benzin her? (1)
- 4-12 Woher kommt das Erdöl und das Erdgas? (1)
- 4-13 Was sind die Nachteile von fossilen Energieträgern? (1)
- 4-14 Was ist Atomenergie? (2)
- 4-15 Wie nutzt man die Atomenergie? (2)
- 4-16 Warum ist Atomenergie gefährlich? (2)

### **Band 3: Windenergie und Wasserkraft**

- 5-01 Wie kann man die Kraft des Windes spüren und sehen? (1)
- 5-02 Wie entsteht Wind? (2)
- 5-03 Wie haben die Menschen vor unserer Zeit den Wind genutzt? (1)
- 5-04 Woraus besteht eine Windmühle? (3)
- 5-05 Was ist eine Windenergieanlage? (1)
- 5-06 Wie groß ist eine Windenergieanlage? (1)
- 5-07 Wie gewinnt man aus Wind Energie? (1)
- 5-08 Warum drehen sich Windenergieanlagen? (3)
- 5-09 Wie stark sind moderne Windenergieanlagen? (3)
- 5-10 Wie schnell muss der Wind wehen, um Windenergie zu gewinnen? (3)
- 5-11 Warum ist Windenergie so wichtig? (1)
- 6-01 Wie kann man die Kraft des Wassers spüren und sehen? (1)
- 6-02 Wie haben die Menschen vor unserer Zeit die Kraft des Wassers genutzt? (1)
- 6-03 Was ist eine Wassermühle? (1)
- 6-04 Was konnten Wassermühlen alles? (1)
- 6-05 Was ist eine Wasserturbine? (1)
- 6-06 Wie gewinnt man aus Wasserkraft Energie? (1)
- 6-07 Was sind Laufwasserkraftwerke? (3)
- 6-08 Was sind Speicherwasserkraftwerke? (3)
- 6-09 Wie kommt das Wasser auf die Berge? (2)
- 6-10 Wie stark sind Wasserkraftwerke? (3)
- 6-11 Warum ist Wasserkraft so wichtig? (1)

**Band 4: Sonnenenergie, Sonnenwärme und Solarstrom**

- 7-01 Wie kann man Sonnenenergie fühlen? (1)
- 7-02 Was ist eine Sonne? (2)
- 7-03 Woher kommt die Energie der Sonne? (3)
- 7-04 Warum ist die Sonne für das Leben wichtig? (1)
- 7-05 Was ist Sonnenlicht? (3)
- 8-01 Kann man Sonnenwärme zum Heizen nutzen? (1)
- 8-02 Was ist Absorption? (3)
- 8-03 Was ist Reflexion? (3)
- 8-04 Wie kannst du die Sonnenwärme nutzen? (1)
- 8-05 Kann man Sonnenlicht in einem Schlauch einfangen? (1)
- 8-06 Was ist ein Solarkollektor? (1)
- 8-07 Was sind Solarkollektorröhren? (3)
- 8-08 Wie kommt Sonnenwärme in den Wasserhahn? (3)
- 8-09 Warum ist Sonnenwärme so wichtig? (1)
- 9-01 Wie stellt man Solarstrom her? (1)
- 9-02 Wofür haben wir Solarstrom erfunden? (1)
- 9-03 Was ist „Stromstärke“? (3)
- 9-04 Was ist „Stromspannung“? (3)
- 9-05 Wie stellt man Solarstrom her? (1)
- 9-06 Was ist eine Fotovoltaikanlage? (1)
- 9-07 Wo siehst du Solarstromanlagen? (1)
- 9-08 Wo kann man noch Solarstromanlagen nutzen? (1)
- 9-09 Warum ist Solarstrom so wichtig? (1)

**Band 5: Bioenergie und Erdwärme**

- 10-1 Was ist Bioenergie? (1)
- 10-2 Welche Energie ist in Lebensmitteln enthalten? (3)
- 10-3 Wozu braucht man Bioenergie noch? (3)
- 10-4 Woher kommt die Energie in Lebensmitteln? (3)
- 10-5 Wie erzeugt man mit Bioenergie Wärme? (1)
- 10-6 Wie erzeugt man mit Bioenergie Strom? (1)
- 10-7 Wie stellt man Biogas her? (2)
- 10-8 Wie kann man Biogas nutzen? (2)
- 10-9 Wie stellt man Biodiesel her? (1)
- 10-10 Welche Pflanzen stellt man Treibstoffe her? (1)
- 10-11 Warum ist Bioenergie so wichtig? (1)
- 11-01 Was ist Erdwärme? (1)
- 11-02 Warum ist die Erde so heiß? (3)
- 11-03 Was ist Geothermie? (3)
- 11-04 Wie tief muss man graben, um warmes Wasser zu finden? (3)
- 11-05 Kann man Häuser mit Erdwärme heizen? (1)
- 11-06 Wie kann man Wärme aus der Erde pumpen? (3)
- 11-07 Was macht eine Wärmepumpe? (3)
- 11-08 Wie erzeugt man heißes Wasser mit einer Wärmepumpe? (3)

- 11-09 Wie holt man die Erdwärme tief aus der Erde heraus? (3)
- 11-10 Kann man Erdwärme in Strom verwandeln? (1)
- 11-11 Wie nutzt man das heiße Gestein in der Erde? (3)
- 11-12 Warum ist Erdwärme so wichtig? (1)

### **Band 6: Klimawandel und Energiesparen**

- 12-01 Was ist Wetter? (3)
- 12-02 Was ist das Klima? (3)
- 12-03 Warum ist die Sonne so wichtig für das Wetter? (1)
- 12-04 Wieso erwärmt das Sonnenlicht die Erde? (2)
- 12-05 Was geschieht in einem Treibhaus und was ist der Treibhauseffekt? (2)
- 12-06 Was sind Treibhausgase? (3)
- 12-07 Was ist der natürliche Treibhauseffekt? (2)
- 12-08 Was ist der menschliche Treibhauseffekt? (2)
- 12-09 Was ist der Klimawandel? (3)
- 12-10 Welche Folgen hat der Klimawandel? (1)
- 12-11 Wie will man das Klima schützen? (3)
- 13-01 Warum soll man Energie sparen? (1)
- 13-02 Wie kann man Wärme im Haus sparen? (2)
- 13-03 Wie kann man Benzin sparen? (1)
- 13-04 Wie kann man elektrische Energie sparen? (1)
- 13-05 Wie kann man Lichtenergie sparen? (3)
- 13-06 Wie kann man Wärmeenergie sparen? (1)

### **Band 7: Anhang mit weiterführenden Informationen**

- Themenbereich: Energie
- Themenbereich: Mit Energie leben
- Themenbereich: Erneuerbaren Energien im Überblick
- Themenbereich Nicht-erneuerbare Energien
- Themenbereich: Windenergie
- Themenbereich: Wasserkraft
- Themenbereich: Sonnenenergie
- Themenbereich: Solarthermie (Sonnenwärme)
- Themenbereich: Fotovoltaik (Solarstrom)
- Themenbereich: Bioenergie
- Themenbereich: Geothermie – Erdwärme und Umgebungswärme
- Themenbereich: Klimawandel
- Themenbereich: Energiesparen

## 1 Energie

- 1-01 Wofür brauchen wir Energie? (1)
- 1-02 Wann sprichst du von Energie? (2)
- 1-03 Was ist Energie? (2)
- 1-04 Worin findest du Energie? (3)
- 1-05 Was ist ein „Energieträger“? (1)
- 1-06 Welche Energieformen kennst du aus dem Alltag? (1)
- 1-07 Welche Energieformen gibt es noch? (3)
- 1-08 Was sind erneuerbare Energien? (1)
- 1-09 Was sind nicht-erneuerbare Energien? (1)
- 1-10 Was sind Primärenergieträger? (3)
- 1-11 Was ist Endenergie? (3)
- 1-12 Was ist Nutzenergie? (3)
- 1-13 Kann man Energie nur verbrauchen? (1)
- 1-14 Was sind Umwandlungsverluste? (3)
- 1-15 Sind Umwandlungsverluste sehr groß? (3)
- 1-16 Kann man Umwandlungsverluste gering halten? (1)

## **2 Mit Energie leben**

- 2-01 Wann haben die Menschen die Energie entdeckt? (1)
- 2-02 Wie kann man Energie messen? (2)
- 2-03 Wie beschreibt man die Energie in Lebensmitteln? (3)
- 2-04 Wie kann man die Leistung und Energie von Strom und Gas messen? (3)
- 2-05 Was ist eine Steinkohleeinheit? (3)
- 2-06 Wie viel Energie verbraucht ein ganzes Land? (3)
- 2-07 Wie viel Energie verbraucht jeder von uns? (2)
- 2-08 Welche Energieformen brauchst du am meisten? (1)
- 2-09 Wofür brauchen wir Wärme? (1)
- 2-10 Wie erzeugen wir Wärme? (1)
- 2-11 Was ist Wärme? (3)
- 2-12 Was ist Temperatur und was ist Wärme? (3)
- 2-13 Welche Temperaturen solltest du kennen? (3)
- 2-14 Was ist Verbrennung? (1)
- 2-15 Wie kann man Wärme speichern? (1)
- 02-16 Was ist ein Wärmetauscher? (3)

### **3 Erneuerbare Energien**

- 3-01 Was sind erneuerbare Energien? (1)
- 3-02 Woher kommen die erneuerbaren Energien? (2)
- 3-03 Warum ist die Sonne die wichtigste Energiequelle? (2)
- 3-04 Kann man aus Sonnenlicht Wärme erzeugen? (1)
- 3-05 Kann man aus Sonnenlicht Strom erzeugen? (1)
- 3-06 Was ist Bioenergie und Biomasse? (1)
- 3-07 Wofür brauchen wir pflanzliche Biomasse? (2)
- 3-08 Was ist tierische Biomasse? (2)
- 3-09 Was ist Biogas? (2)
- 3-10 Ist der Wind eine Energiequelle? (1)
- 3-11 Ist Wasser eine Energiequelle? (1)
- 3-12 Ist das Meer eine Energiequelle? (3)
- 3-13 Ist der Boden eine Energiequelle? (3)
- 3-14 Ist die Erde eine Energiequelle? (1)
- 3-15 Ist der Mond eine Energiequelle? (3)
- 3-16 Wie viel erneuerbare Energie wurde in 2005 erzeugt? (3)

## **4 Nicht erneuerbare Energien**

- 4-01 Was sind nicht-erneuerbare Energien? (1)
- 4-02 Was sind fossile Energieträger? (1)
- 4-03 Wie entstanden Erdöl und Erdgas? (2)
- 4-04 Wie entstanden Braunkohle und Steinkohle? (2)
- 4-05 Wie nutzen wir fossile Energieträger? (1)
- 4-06 Wie erzeugt man Strom mit einem Dynamo? (1)
- 4-07 Wie erzeugt man Strom aus nicht-erneuerbaren Energien? (1)
- 4-08 Was macht eine Turbine? (3)
- 4-09 Was macht ein Generator? (3)
- 4-10 Wie erzeugt man Wärme aus fossilen Energieträgern? (1)
- 4-11 Wie stellt man Benzin her? (1)
- 4-12 Woher kommt das Erdöl und das Erdgas? (1)
- 4-13 Was sind die Nachteile von fossilen Energieträgern? (1)
- 4-14 Was ist Atomenergie? (2)
- 4-15 Wie nutzt man die Atomenergie? (2)
- 4-16 Warum ist Atomenergie gefährlich? (2)

## **5 Windenergie**

- 5-01 Wie kann man die Kraft des Windes spüren und sehen? (1)
- 5-02 Wie entsteht Wind? (2)
- 5-03 Wie haben die Menschen vor unserer Zeit den Wind genutzt? (1)
- 5-04 Woraus besteht eine Windmühle? (3)
- 5-05 Was ist eine Windenergieanlage? (1)
- 5-06 Wie groß ist eine Windenergieanlage? (1)
- 5-07 Wie gewinnt man aus Wind Energie? (1)
- 5-08 Warum drehen sich Windenergieanlagen? (3)
- 5-09 Wie stark sind moderne Windenergieanlagen? (3)
- 5-10 Wie schnell muss der Wind wehen um Windenergie zu gewinnen? (3)
- 5-11 Warum ist Windenergie so wichtig? (1)

## **6 Wasserkraft**

- 6-01 Wie kann man die Kraft des Wassers spüren und sehen? (1)
- 6-02 Wie haben die Menschen vor unserer Zeit die Kraft des Wassers genutzt? (1)
- 6-03 Was ist eine Wassermühle? (1)
- 6-04 Was konnten Wassermühlen alles? (1)
- 6-05 Was ist eine Wasserturbine? (1)
- 6-06 Wie gewinnt man aus Wasserkraft Energie? (1)
- 6-07 Was sind Laufwasserkraftwerke? (3)
- 6-08 Was sind Speicherwasserkraftwerke? (3)
- 6-09 Wie kommt das Wasser auf die Berge? (2)
- 6-10 Wie stark sind Wasserkraftwerke? (3)
- 6-11 Warum ist Wasserkraft so wichtig? (1)

## **7 Sonnenenergie**

7-01 Wie kann man Sonnenenergie fühlen? (1)

7-02 Was ist eine Sonne? (2)

7-03 Woher kommt die Energie der Sonne? (3)

7-04 Warum ist die Sonne für das Leben wichtig? (1)

7-05 Was ist Sonnenlicht? (3)

## **8 Sonnenwärme**

- 8-01 Kann man Sonnenwärme zum Heizen nutzen? (1)
- 8-02 Was ist Absorption? (3)
- 8-03 Was ist Reflexion? (3)
- 8-04 Wie kannst du die Sonnenwärme nutzen? (1)
- 8-05 Kann man Sonnenlicht in einem Schlauch einfangen? (1)
- 8-06 Was ist ein Solarkollektor? (1)
- 8-07 Was sind Solarkollektorröhren? (3)
- 8-08 Wie kommt Sonnenwärme in den Wasserhahn? (3)
- 8-09 Warum ist Sonnenwärme so wichtig? (1)

## 9 Solarstrom

- 9-01 Wie stellt man Solarstrom her? (1)
- 9-02 Wofür haben wir Solarstrom erfunden? (1)
- 9-03 Was ist „Stromstärke“? (3)
- 9-04 Was ist „Stromspannung“? (3)
- 9-05 Wie stellt man Solarstrom her? (1)
- 9-06 Was ist eine Fotovoltaikanlage? (1)
- 9-07 Wo siehst du Solarstromanlagen? (1)
- 9-08 Wo kann man noch Solarstromanlagen nutzen? (1)
- 9-09 Warum ist Solarstrom so wichtig? (1)

## **10 Bioenergie**

- 10-1 Was ist Bioenergie? (1)
- 10-2 Welche Energie ist in Lebensmitteln? (3)
- 10-3 Wozu braucht man Bioenergie noch? (3)
- 10-4 Woher kommt die Energie in Lebensmitteln? (3)
- 10-5 Wie erzeugt man mit Bioenergie Wärme? (1)
- 10-6 Wie erzeugt man mit Bioenergie Strom? (1)
- 10-7 Wie stellt man Biogas her? (2)
- 10-8 Wie kann man Biogas nutzen? (2)
- 10-9 Wie stellt man Biodiesel her? (1)
- 10-10 Aus welchen Pflanzen stellt man Treibstoffe her? (1)
- 10-11 Warum ist Bioenergie so wichtig? (1)

## **11 Erdwärme**

- 11-01 Was ist Erdwärme? (1)
- 11-02 Warum ist die Erde so heiß? (3)
- 11-03 Was ist Geothermie? (3)
- 11-04 Wie tief muss man graben, um warmes Wasser zu finden? (3)
- 11-05 Kann man Häuser mit Erdwärme heizen? (1)
- 11-06 Wie kann man Wärme aus der Erde pumpen? (3)
- 11-07 Was macht eine Wärmepumpe? (3)
- 11-08 Wie erzeugt man heißes Wasser mit einer Wärmepumpe? (3)
- 11-09 Wie holt man die Erdwärme tief aus der Erde heraus? (3)
- 11-10 Kann man Erdwärme in Strom verwandeln? (1)
- 11-11 Wie nutzt man das heiße Gestein in der Erde? (3)
- 11-12 Warum ist Erdwärme so wichtig? (1)

## **12 Klimawandel**

12-01 Was ist Wetter? (3)

12-02 Was ist das Klima? (3)

12-03 Warum ist die Sonne so wichtig für das Wetter? (1)

12-04 Wieso erwärmt das Sonnenlicht die Erde? (2)

12-05 Was geschieht in einem Treibhaus und was ist der Treibhauseffekt? (2)

12-06 Was sind Treibhausgase? (3)

12-07 Was ist der natürliche Treibhauseffekt? (2)

12-08 Was ist der menschliche Treibhauseffekt? (2)

12-09 Was ist der Klimawandel? (3)

12-10 Welche Folgen hat der Klimawandel? (1)

12-11 Wie will man das Klima schützen? (3)

## **13 Energiesparen**

- 13-01 Warum soll man Energie sparen? (1)
- 13-02 Wie kann man Wärme im Haus sparen? (2)
- 13-03 Wie kann man Benzin sparen? (1)
- 13-04 Wie kann man elektrische Energie sparen? (1)
- 13-05 Wie kann man Lichtenergie sparen? (3)
- 13-06 Wie kann man Wärmeenergie sparen? (1)

## 14 Weiterführende Informationen für Lehrkräfte

### 14.1 Themenbereich: Energie

#### Definition von „Energie“ und Energieformen

„Energie“ ist zwar ein sehr komplexes Thema, kann aber aufgrund der Erfahrbarkeit einiger ihrer Formen im Alltag schon in der Primarstufe vermittelt werden.

Es ist nicht möglich, aber auch nicht notwendig, tiefergehende Kenntnisse zum komplexen Energiebegriff aus der Physik zu vermitteln. Dort wird „Energie“ definiert über die „Arbeit“, die ein „System“ leisten kann. Damit wird ein Begriff über zwei weitere Begriffe erklärt, die ihrerseits definiert werden müssen. „Arbeit“ wird über die Kraft definiert, die über einen bestimmten Weg zu leisten ist. Hubarbeit ist beispielsweise das Produkt aus der Kraft, die aufgewendet werden muss, um eine Masse  $m$  auf die Höhe  $h$  zu heben. Das System selber muss qualitativ beschrieben bzw. abgegrenzt werden. Am Beispiel des Hebens eines Gewichts mit einer Rolle ist das System eben die Masse, die Rolle, das Seil, die Halterung und alles was notwendig ist, um das System zu beschreiben. Eine besondere Schwierigkeit liegt vor allem darin, dass die Definition von „Energie“ den Begriff „kann“ verwendet, d.h. dass Arbeit nicht verrichtet werden muss, sondern auch nur möglich ist. Hiermit wird hervorgehoben, dass es auch potentielle Energie gibt, die in einem System gespeichert ist. Ein gutes Beispiel ist das Wasser in einer Talsperre, welches erst dann Arbeit leistet, wenn es aus dem Staubecken herausgelassen wird.

Um komplexe Begriffe zu erschließen, hat sich in der Philosophie eine alternative Vorgehensweise etabliert. Bei dieser Vorgehensweise untersucht man die Verwendung der Begriffe in der Alltagssprache. Diese Methodik geht auf die sokratischen Dialoge des Platon zurück, bei der die Tragfähigkeit der verwendeten Begriffe geprüft wurde. Durch ein Bewusstwerden der Verwendung der Begriffe muss zwar nicht zwangsläufig ein tieferes Verständnis erlangt werden, aber es prägt die Vorstellung von einem Begriff ein, der ansonsten nur schwierig zugänglich ist.

Unsere Vorstellung von Energie ist fundamental für die Beschreibung der Welt, wobei Energie in verschiedenen Formen vorkommt, die sich zunächst kaum ähnlich sehen. Die verschiedenen Formen der Energie sind:

- mechanische Energie (kinetische bzw. Bewegungsenergie und potenzielle Energie bzw. Lageenergie sowie Spann- bzw. Verformungsenergie),
- Wärmeenergie (thermische Energie),
- Strahlungsenergie,
- elektrische Energie,
- chemische Energie (auch Bioenergie genannt bei natürlichen organischen Stoffen) und
- Kernenergie.

Die verschiedenen Formen der Energie lassen sich am besten in Zusammenhang mit dem Begriff des Energieträgers einführen, da man so das komplexe Thema konkreter machen kann. Unglücklicherweise ist „Energieträger“ selbst wieder ein Sammelbegriff, der nicht einfach zu definieren. In einer „einfachen“ Definition ist ein „Energieträger alles, was wir nutzen können, um Energie zu gewinnen“. Das „alles“ kann stofflicher

Natur sein (das Metall Uran, das Molekül Methan oder der „Stoff“ Holz), es kann Strahlung sein (Licht), es kann Schwingungsenergie sein (Wärme von Gestein) oder auch eine bewegte Masse (Wasser oder Wind). Die wichtigsten Energieträger sind für uns derzeit:

- Die fossilen Rohstoffe Steinkohle und Braunkohle, Erdgas und Erdöl (mit den verschiedenen Verarbeitungsprodukten Benzin, Diesel, Heizöl, Schweröl und Kerosin);
- das Uran sowie
- die erneuerbaren Energieträger Wind, Wasser (fließendes Wasser, in hoher Lage gespeichertes Wasser, Wellen und Gezeiten), Sonnenlicht, Erdwärme (Wärme des Gesteins und von heißem Tiefenwasser), die Umgebungswärme (Luft, Bodenwärme) und Biomasse (tierische Biomasse in Form von Abfällen der Tierhaltung sowie pflanzliche Biomasse wie z.B. Holz, Stroh, Grünabfall, Getreide, Raps, Zuckerrüben oder Zuckerrohr).

Aus der Definition von „Energieträger“, die auf unser technisches Vermögen abzielt, Energie zu gewinnen, erschließt sich, dass es sich hier um einen relativen Begriff handelt. Da jedes System Energie enthält, kann für uns heute etwas noch kein Energieträger sein, in Zukunft aber kann es ein Energieträger sein. Solch ein Beispiel ist die Energie des Blitzes, die man prinzipiell in (sehr großen) Kondensatoren speichern könnte. Andere Beispiele, welche die Relativität des Begriffes zeigen, sind die Wellenenergie und die Energie der Meeresströmungen. Wir bezeichnen diese als Energieträger, obwohl die technische Nutzung dieser Energieträger bisher noch im Versuchsstadium steckt.

Charakteristisch ist jedoch, dass man die Begriffe „Energie“, „Energieträger“ und „Energieformen“ praktisch und anfassbar zusammen einführen kann, um das komplexe Thema mit vorstell- und erfahrbaren Dingen zu verbinden:

- Mechanische Energie ist im fließenden Wasser, den Gezeiten und dem Wind erhalten;
- Wärmeenergie ist im heißen Erdkern, in Heißwasserströmungen in der Erde, als Umgebungswärme (Erdboden, Luft) und der Sonnenstrahlung enthalten;
- Strahlungsenergie ist im Sonnenlicht enthalten und
- chemische Energie bzw. Bioenergie ist in den fossilen Rohstoffen und der Biomasse gespeichert in Form von Bindungsenergie sowie
- Kernenergie kann z.B. bei der Spaltung von Uran freigesetzt werden.

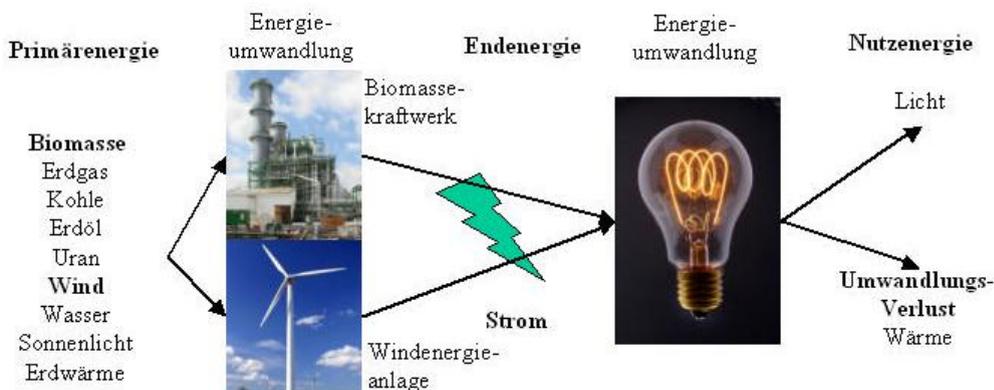
Bei den Energieträgern werden erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger unterschieden. Unter erneuerbaren Energien versteht man diejenigen Energieträger, die nach menschlichen Zeitmaßstäben „unerschöpflich“ sind. Hierzu zählen die Sonnenenergie, die Wasserkraft in ihren verschiedenen Formen und die Windenergie, die nachwachsenden Rohstoffe sowie die Umgebungs- und die Erdwärme. „Unerschöpflich“ kann zweierlei bedeuten: Entweder ist die Energiequelle so groß, dass wir sie nicht aufbrauchen können (Energie der Sonne oder die Erdwärme), oder die Quellen regenerieren sich immer wieder (Biomasse, Umgebungswärme). Es ist offensichtlich, dass diese Definition nicht eindeutig ist. Heutzutage ist bekannt, dass es auch eine Ausbeutung der natürlichen Ressourcen geben kann wie z.B. bei der Abholzung von

Wäldern. Die Definition ist aber tragfähig genug, um das Thema angemessen zu diskutieren. Aus dieser Definition ergibt sich auch die Bezeichnung der fossilen Rohstoffe als nicht-erneuerbare Energieträger. Auch heute noch bilden sich diese tief unter der Erde und auf dem Meeresboden (Ablagerung von Biomasse). Dieser Prozess geht jedoch so langsam, dass die fossilen Rohstoffe nach menschlichen Maßstäben eben nicht unerschöpflich sind.

### Primär-, End- und Nutzenergie sowie Umwandlungsverluste

Bei der Beschreibung der Nutzung der Energieträger wird – aufgrund der stufenweisen Nutzung der Energie – in der Literatur die Unterscheidung von Primär-, End- und Nutzenergie verwendet (vgl. auch BINE 2003a:4).

Abbildung 14-1: Unterscheidung von Primär-, End- und Nutzenergie.<sup>2</sup>



Quelle: Scharp und Dinziol 2007a.

Primärenergie ist die Energie des Energieträgers in seiner ursprünglichen Form. Bei fossilen Rohstoffen ist dies verhältnismäßig einfach, da die Primärenergie über den Brennwert der Rohstoffe definiert ist. Hierbei wird die abgegebene Verbrennungswärme eines Rohstoffes mit seiner Primärenergie gleichgesetzt. Bei einfachen Molekülen wie z.B. beim Methan kann die Primärenergie auch thermodynamisch berechnet werden. Schwieriger ist aber die Sachlage bei den erneuerbaren Primärenergieträgern Wind und Wasser, Sonnenenergie, Biomasse und Erdwärme (s.u.).

Die Primärenergieträger müssen für die Nutzung umgewandelt werden. Dabei werden sie für die Erzeugung von Wärme (warmes Wasser, Dampf und warme Luft für Industrieprozesse), von Strom sowie von Brenn- und Treibstoffen (Heizöl, Koks, Benzin, Diesel, Kerosin für Flugzeuge, Schweröl für Schiffe) eingesetzt. Warmwasser, Dampf, Heißluft, Strom und Treibstoffe werden daher Endenergieträger genannt. Aufgrund von Umwandlungsverlusten ist die Endenergie geringer als die Primärenergie.

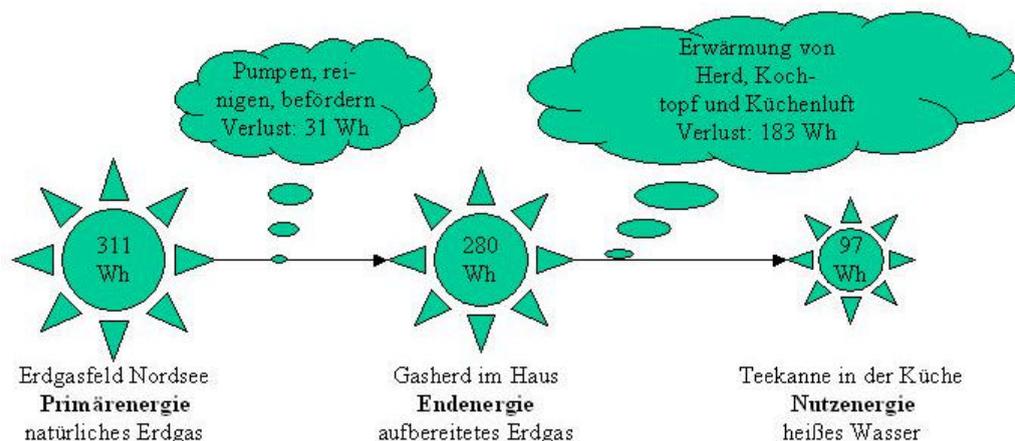
<sup>2</sup> Die Wärme ist im eigentlichen Sinne keine Nutzenergie, da Glühlampen nicht zum Heizen verwendet werden aber dennoch viel Wärmeenergie abstrahlen.

Hierbei wird jedoch eine Unterscheidung hinsichtlich der erneuerbaren Energieträger Sonnenlicht, Windenergie und Wasserkraft bei der Erzeugung von Strom gemacht. Gemäß der Wirkungsgradmethodik wird der Energiegehalt der Wasser- und Windkraft sowie des Sonnenlichts (Photovoltaik, Solarwärmeranlagen und Solarthermische Kraftwerke) und der Photovoltaik zu 100 % genutzt, weshalb hierbei Primärenergie und Endenergie in der Summe gleichgesetzt wird (vgl. UBA o.J.) Die Verluste der Wind-, Wasserkraft- und Solaranlagen werden nicht berücksichtigt, sondern es wird von vornherein nur von deren Output ausgegangen. Rechtfertigen lässt sich diese Herangehensweise damit, dass die Primärenergie im unbeschränkten Maße vorhanden ist und nicht wie die fossilen Energieträger verbraucht werden kann.

In den Haushalten, der Industrie und bei der Mobilität erfolgt ein weiterer Umwandlungsschritt. Die Endenergie wird in den energienutzenden Geräten in Nutzenergie umgewandelt. Aus Strom wird in Haushaltsgeräten Licht, Bewegung und Wärme, aus Erdgas und Heizöl wird Wärme erzeugt und aus Benzin (Fahrzeuge) und Strom (Bahn) wird Bewegungsenergie erzeugt. Da die Verluste in diesem letzten Schritt sehr von der Technologie des Systems abhängen, werden in der Beschreibung von Energiebilanzen zumeist nur die Primärenergie und die Endenergie betrachtet.

Sowohl bei der Gewinnung von Primärenergie als auch bei der Umwandlung in End- und Nutzenergie treten erhebliche Umwandlungsverluste auf, so dass die Primärenergie nicht mit der Verwendung von Nutzenergie gleichgesetzt werden kann. Deshalb benötigt man in Deutschland in 2007 für die Bereitstellung einer Kilowattstunde elektrischen Stroms als Nutzenergie für den Verbraucher schätzungsweise drei Kilowattstunden Energie in Form von Kohle oder Erdöl (Primärenergie).

Abbildung 14-2: Umwandlungsverluste in der Energiekette für Heißwasser.



Quelle: Scharp und Dinziol 2007a.

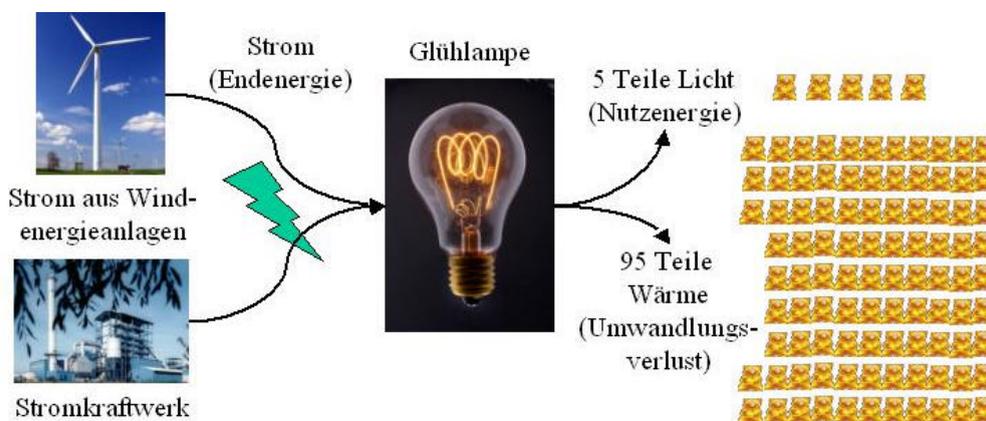
### Energie verbrauchen und erzeugen

Ein letztes sprachliches Problem ist die Verwendung von Begriffen wie Energie „verbrauchen“ und „erzeugen“. Gemäß dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik kann

Energie weder erzeugt noch verbraucht werden. Wir können Energie nur umwandeln von einer Energieform in eine andere. Die chemische Energie der fossilen Rohstoffe kann im Kessel eines Kraftwerks in Wärmeenergie umgewandelt werden, die dann den Aggregatzustandswechsel von Wasser in Wasserdampf bewirkt. Die innere Energie des Dampfes können wir nutzen, um mit einer Turbine kinetische Energie zu erzeugen, die dann in einem Generator in elektrischen Strom umgewandelt wird. Den Strom können wir nutzen, um Fernbilder, d.h. Strahlungsenergie, zu „erzeugen“. Die kinetische Energie der Luftmoleküle können wir in Bewegungsenergie umwandeln, wenn wir der Luftströmung den Rotor einer Windenergieanlage in den Weg stellen. Diese Bewegungsenergie lässt einen Generator drehen, der wiederum Strom „erzeugt“. Es ist sprachlich jedoch sehr ungewohnt, immer nur von „umwandeln“ oder „nutzen“ zu sprechen. In der Alltagssprache haben wir uns angewöhnt, „Energie zu erzeugen“ oder „Energie zu verbrauchen“.

Mit diesem sprachlichen Problem korreliert auch der schwierige Umgang mit dem Begriff „Energieverlust“. Da man Energie weder verbrauchen, verlieren noch erzeugen kann, wäre es notwendig gewesen, den Begriff des Wirkungsgrades einzuführen. Der Wirkungsgrad gibt an, mit welcher Effizienz ein Prozess eine Energieform in eine andere gewünschte Energieform umwandelt. Der Rest geht – meist als Wärmeenergie – verloren. Diese Darstellung wäre jedoch der Primarstufe nicht gerecht geworden. Wenn wie oben von Umwandlungsverlusten gesprochen wird, so wird hierunter der Verlust der Teil der Energie verstanden, der nicht für den gewünschten Zweck zur Verfügung steht. Bei der Endenergie ist dies einfach zu verstehen, da ja zur Herstellung der Energieträger Benzin und warmes Wasser immer Energie aufgewendet werden muss. Technische Prozesse, die hierbei und bei der Nutzenergie einen Einfluss haben wie z.B. Reibungsverluste in einer Windenergieanlage, müssen auch kaum angesprochen werden, da sich am Beispiel der Glühlampe der Umwandlungsverlust mit der Entstehung von Wärme gut erklären lässt.

Abbildung 14-3: Umwandlungsverluste in der Energiekette für Licht.



Quelle: Scharp und Dinziol 2007a.

## 14.2 Themenbereich: Mit Energie leben

### Definitionen und Einheiten für Energie

Energie ist nur in seinen einzeln auftretenden Formen wie z.B. Wärme, Bewegung, Strahlung erfahrbar. Zur Verallgemeinerung des Energiebegriffs müssen wir die Umwandlungsmöglichkeiten aufzeigen und die physikalischen Größen einführen, in denen wir Energie und Leistung messen können. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über verschiedene Definitionen:

Tabelle 5: Definitionen von Energie und Leistung.

Begriff	Definition	Einheiten	Erläuterung
Energie	Energie = Leistung · Zeit $E = P \cdot t$	Standardeinheit: J Umrechnung: $J = W \cdot s$	Hiermit wird der Energieverbrauch dargestellt als auch die Energie eines Vorgangs beschrieben; die Verwendung von Joule entspricht dem SI-System, sie ist aber für den Alltagsgebrauch von Energie schwieriger als Wattstunden.
elektrische Energie	Energie = Leistung · Zeit $E = P \cdot t$	Wh = W · h	üblicherweise wird im Alltag von Wattstunden geredet.
mechanische Energie	Energie = Kraft · Weg $E = F \cdot s$	Nm = N · m	Die Einheit der Kraft ist Newton ( $\text{kg m} / \text{s}^2$ ).
Leistung	Leistung = Energie : Zeit $P = E : t$	Standardeinheit: W $W = J : s$	Leistung wird in W (Watt) beschrieben. Hierbei wird einer Sekunde die Arbeit von ein Joule verrichtet.
elektrische Leistung	Leistung = Energie : Zeit $P = E : t$	$W = (W \cdot h) : h = V \cdot A$	Hierbei handelt es sich um die alte Berechnungsweise, die für die Alltagspraxis besser zu verstehen ist, elektrische Leistung wird auch über Spannung (V) mal Stromstärke (A) bestimmt..
elektrische Leistung	Leistung = Energie : Zeit $P = E : t$	$J/s = (W \cdot s) : s$	Neue Berechnungsweise nach dem SI-System.
mechanische Leistung	Leistung = Arbeit : Zeit $P = A : s$	$J/s = (\text{kg} \cdot \text{m}^2 : \text{s}^2) : \text{s} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3 = \text{N} \cdot \text{m} : \text{s}$	Arbeit ist definiert über Kraft mal Weg ( $A = F \cdot s$ ).

Quelle: Eigene Darstellung (s = Sekunde, h = Stunde, F = Kraft, W = Watt, J = Joule, P = Leistung, E = Energie, Wh = Wattstunde, N = Newton, V = Volt, A = Ampere).

Da Energie und Leistung in sehr unterschiedlichen Formen auftreten, ist es wichtig eine allgemeine Einschätzung für Energie und Leistung zu bekommen. Hierbei ist es sinnvoll, einige übliche Energiewerte und Leistungsdaten aus dem Alltag aufzugreifen, um einschätzen zu können, wann eine große oder kleine Energiemenge vorliegt. Die folgende Tabelle listet Vergleichswerte auf:

Tabelle 6: Exemplarische Größenordnungen und Definitionen von Energie und Leistung.

Beispiel	Größe	Anmerkung
Stromverbrauch eines Haushalts pro Jahr	2.500 bis 4.500 kWh	Der Wert ist Abhängig von der Wohnungsgröße und Personenzahl.
Stromverbrauch Fernseher pro Jahr	ca. 100 bis 250 kWh	Der hohe Wert entspricht neueren Plasma-Fernsehers.
Stromverbrauch Computer	ca 100 bis 150 kWh	Verbrauch pro Jahr
Wärmeverbrauch für Heizung	75 kWh / m <sup>2</sup> a bis 250 kWh / m <sup>2</sup> a	Angabe erfolgt in Kilowattstunden pro Quadratmeter beheizte Fläche und Jahr, der niedrige Wert ist ein Niedrigenergiehaus, der hohe Wert ein schlechterer Altbau.
Wärmeverbrauch für Heizung	7 Liter Haus = 70 kWh / m <sup>2</sup> a 5 Liter Haus = 50 kWh / m <sup>2</sup> a	Die ersten Werte entsprechen einem Haus / einer Wohnung im Niedrigenergiehausstandard für das Jahr 2000, die zweiten Werte dem Standard in 2007
Gas- und Ölverbrauch in Einfamilienhäusern	ca. 2.000 cbm Gas oder 2.000 l Heizöl	Der Umrechnungsfaktor von Öl und Gas beträgt ca. 10 (kWh) pro m <sup>3</sup> Gas oder pro l Heizöl. Diese Verbräuche werden in einem EFH mit guter Dämmung erzielt bei 200 qm Heizfläche und Trinkwassererwärmung.
Umrechnungseinheiten	1 J = 1 Ws = 1 Nm 1 kWh = 3,6 Mio. J 1 kWh = 3,6 · 10 <sup>3</sup> kJ = 3.600 kJ 1 kJ = 4,1868 kcal	
Umrechnung Energieträger	10 cbm Erdgas ~ 1 l Heizöl ~ 1 l Benzin ~ 10 kWh	
Umrechnung Steinkohle	1 kg SKE = 2,9 · 10 <sup>7</sup> J = 8,1 kWh	1 SKE ist die Energiemenge, die beim Verbrennen von 1 kg Steinkohle erhalten wird.
Benzinverbrauch PKW	6 bis 12 Liter / 100 km 1 l Benzin = 36.000 kJ = 10 kWh	6 Liter verbrauchen Kleinfahrzeuge oder Dieselfahrzeuge teilweise auch im Stadtverkehr.
Energieverbrauch Mensch pro Tag	1 kcal / h * kg 4.000 kJ = 960 kcal 7.500 kJ = 1.800 kcal 12.500 kJ = 3.000 kcal 10.500 kJ = 2.500 kcal 10.000 kJ = 2.400 kcal	Grundumsatz (Faustformel) Grundumsatz eines Kindes (40 kg) Grundumsatz eines Erwachsenen (75 kg) Jugendlicher mit viel Bewegung Achtjähriger mit viel Bewegung 50-Jähriger, nur sitzend (Lehrer)
Faktoren für große Energieangaben	K = Kilo = 10 <sup>3</sup> M = Mega = 10 <sup>6</sup> G = Giga = 10 <sup>9</sup> T = Tera = 10 <sup>12</sup>	

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

## Was ist Wärme?

Im Alltag nehmen wir Energie in ihren verschiedenen Formen wahr. Zu den wichtigen Erfahrungen gehört jedoch, dass wir Energieträger verbrennen und dass wir Wärme austauschen. Die Verbrennung geschieht sowohl zur Erzeugung von Strom in Kraftwerken, in Gebäuden zur Herstellung von Heizungswärme und Warmwasser als auch in den Motoren von Kraftfahrzeugen, um diese anzutreiben. Der Wärmeaustausch ist beim Lüften zu erfahren oder wenn uns im Winter ohne angemessene Kleidung kalt wird. Verbrennung, Wärme und Temperatur sind hierbei die zentralen Begriffe, die auch alle in der Primarstufe vermittelt werden.

Wärme ist jedoch selbst ein schwieriger Begriff, da er zwar erfahrbar (heiße oder kalte Gegenstände, Luftaustausch von warmer und kalter Luft), aber nur mittelbar messbar ist. Hierzu wird die Temperatur eines Körpers gemessen. Über die spezifische Wärmekapazität – dem Vermögen eines Stoffes eine bestimmte Wärmemenge zu beinhalten – lässt sich die einem Körper zugeführte Wärmemenge über die Änderung seiner Temperatur bestimmen. Auf einer atomaren und molekularen Ebene ist die „Wärme“ jedoch die Energie der Moleküle oder der Atome in Form von Translations- und Schwingungsenergie.

Allerdings ist auch Temperatur nicht ganz einfach zu definieren. Unsere Temperaturmaße sind deshalb traditionell relativ beliebig. In Europa haben wir uns z.B. für 0 °C und 100 °C entschieden, da hierbei unter Standard-Luftdruckbedingungen Wasser gefriert oder verdampft. Die so definierte Skala reicht für den Grundschulunterricht.

Die Thermodynamik oder die Behandlung idealer Gase – atomare Gase ohne jegliche Wechselwirkung – haben jedoch gezeigt, dass es einen absoluten Nullpunkt der Temperatur geben muss. Auf der Celsius-Skala liegt er bei  $-273,16$  Grad. Auf der Kelvin-Skala gefriert Wasser unter Standardbedingungen dann bei 273,16 Kelvin.

Abbildung 14-4: Erläuterung von Wärme anhand der Bewegung von Molekülen.

Quelle: Scharp und Dinziol 2007a.

## Energie und Verbrennung

Wie oben angesprochen, ist die Verbrennung der Energieträger zentral für die Umwandlung – bzw. Erzeugung von Energie. Verbrennung ist eine spezielle Oxidation von Stoffen. Unter Oxidation wird in der Chemie ein Prozess verstanden, bei dem zwischen Atomen oder Molekülen Elektronen übertragen werden. Wichtige Oxidationsprozesse des Alltags ist das Verrosten von Eisen, das Anlaufen von Silber, das Blondieren von Haaren oder die Versprödung von Kunststoff. Bei der Verbrennung werden auch Elektronen übertragen, aber Verbrennung setzt darüber hinaus immer an einem brennbaren (oxidierbaren) Stoff an, der mit Sauerstoff aus der Luft unter

Energiefreisetzung reagiert. Die Verbrennung der Energieträger erfolgt nach den folgenden Grundgleichungen:

- Steinkohle / Braunkohle / Biomasse:  $C_{\text{Kohle}} + O_2 \Rightarrow CO_2 + \text{Energie}$
- Erdgas:  $CH_4 + 3 O_2 \Rightarrow CO_2 + 2 H_2O + \text{Energie}$
- Heizöl / Benzin:  $C_n H_{2n+2} + (3n + 1)/2 O_2 \Rightarrow n CO_2 + (n + 1) H_2O + \text{Energie}$

Problematisch bei der Verbrennung fossiler Rohstoffe ist der organisch bedingte Anteil von Stickstoff und Schwefel, der auf die Aminosäuren des Ausgangsmaterials lebendiger Organismen zurückgeht. Dies führt zu unerwünschten Abgasen in Form von Stickoxiden und Schwefeldioxid. Die Abgase entstehen nach den folgenden Reaktionsgleichungen:

- Kohle oder Erdöl + O  $\Rightarrow CO_2 + 2 H_2O + N_m O_n$  (z.B. NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>)
- Kohle oder Erdöl + O<sub>2</sub>  $\Rightarrow CO_2 + 2 H_2O + SO_2$

Die Stickoxide lassen sich mit Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Katalysatoren in Stickstoff (N<sub>2</sub>) überführen, das Schwefeldioxid wird mit Kalk als Gips (CaSO<sub>4</sub>) gefällt. Hierdurch wird in Kraftwerken eine weitestgehende Abgasreinigung erreicht.

Abbildung 14-5: Drei wichtige Energieträger: Braunkohle, Biomasse und Steinkohle.



Quelle: [www.pixelio.de](http://www.pixelio.de) / mompl; BMU; DSK Deutsche Steinkohle AG.

### Energieverbrauch in Deutschland nach Mengen und Sektoren

Wie oben dargestellt, nutzen wir vor allem fossile Rohstoffe zur Erzeugung von Strom, Wärme und Bewegungsenergie. Um zu ermitteln, welcher Energieträger in welchem Umfang für energetische Zwecke genutzt wird – und hieran anknüpfend – welche Folgen diese Nutzung für die Umwelt hat, müssen die verschiedenen Energieformen mit einer gemeinsamen Beschreibung vereinheitlicht werden. Die Nutzenergie ist hierbei nicht der geeignete Maßstab, da bei diesem letzten Umwandlungsschritt z.B. von Gas in Raumwärme immer unterschiedliche Aggregate (hierbei Heizkessel und Radiatoren)

beteiligt sind, die mit unterschiedlichen Wirkungsgraden die gewünschte Wärme produzieren bzw. verteilen.

Infolge dessen hat man sich auf die Primärenergie und die Endenergie als einheitliche internationale Bezugsmaßstäbe geeinigt, wobei jedoch die Systemgrenzen und auch die Berechnungen der Werte ein aktuelles und noch nicht abgeschlossenes Thema sind. Die Primärenergie ist der Energieinhalt der Energieträger, die noch keinerlei Umwandlung unterworfen worden sind wie z.B. Erdöl oder Erdgas. Der Energieinhalt dieser Energieträger lässt sich leicht als Heizwert durch Verbrennung bestimmen und wird üblicherweise in Joule (J) oder Steinkohleeinheiten (SKE) gemessen.

Schwieriger ist jedoch die Bestimmung des Primärenergieinhaltes derjenigen Energieträger, denen kein Heizwert zugeordnet werden kann. Die Primärenergie der erneuerbaren Energien mit Ausnahme der Biomasse und der nicht-regenerativen Kernenergie werden deshalb nach dem Wirkungsgradprinzip bestimmt. Hierbei wird der jeweilige Energieeinsatz dem Heizwert der erzeugten elektrischen Energie gleichgesetzt. Dies bedeutet, dass zur Stromerzeugung der Energiegehalt der eingesetzten Kernenergie zu 33 % sowie der Wasser- und Windkraft und der Photovoltaik zu 100 % genutzt wird und sich so in den Energiebilanzen widerspiegelt (vgl. UBA o.J.).<sup>3</sup>

In 2006 (in Klammern: 2000) lag der gesamte Primärenergieverbrauch in Deutschland bei ca. 492 Mio. t SKE bzw. 14.460 PJ (14.400 PJ; BWI 2007). Somit ist der Primärenergieverbrauch seit einigen Jahren konstant. Ein Zug, der diese Menge transportieren würde, wäre 98.000 km lang. Dies ist 2,5-mal der Erdumfang! Der Endenergieverbrauch in Deutschland lag in 2005 – für 2006 waren Anfang 2007 noch keine Daten vorhanden – bei ca. 312 Mio. t SKE bzw. 9.100 PJ (315 Mio. SKT, ca. 9.200 PJ, AGEb 2006. S.8 und BMWi 2007). Der Weltenergiebedarf an Primärenergie lag noch um den Faktor 32 höher in 2004 bei 463.000 PJ!

Abbildung 14-6: Umwandlungsverluste in der Energiebereitstellungskette und Verbrauch nach Sektoren im Jahr 2005 [Mio. t Steinkohleeinheiten]

Quelle: Scharp et al. 2007g nach Daten von AGEb Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2006.

Die Umwandlungsverluste in 2005 beliefen sich insgesamt auf 116 Mio. SKT (2003: 121 Mio. t SKE) bzw. auf ca. 24 % (2003: 25 %) des Primärenergieverbrauchs. Der nichtenergetische Verbrauch bzw. Verbrauch in den Energiesektoren belief sich auf ca. 12 % (2003: 11 %) des Primärenergieverbrauchs. Somit werden nur ca. 66 % (2003: 65 %) der Primärenergie den Verbrauchern als Endenergie den verschiedenen Sektoren

---

<sup>3</sup> Hierbei ist der Wirkungsgrad der Technologie zu unterscheiden. Solarmodule arbeiten mit einem Wirkungsgrad von 10 bis 20 % je nach Technologie. Bei der Erfassung der Beiträge der Fotovoltaik zu den Energiebilanzen wird jedoch nicht die eingestrahelte Leistung der Sonne und deren Ausnutzung ermittelt, sondern der Output an Strom als Basis der Energiebilanzen genommen, der mit 100 % angesetzt wird.

zur Verfügung gestellt. Hinsichtlich des Endenergieverbrauchs belief sich die Verteilung auf die vier Sektoren wie folgt:

Tabelle 7: Endenergieverbrauch nach Sektoren

Sektoren	2005 (%)	2003 (%)	2002 (%)
Haushalte	28,8	30,4	29,2
Industrie	26,8	28	29,2
Verkehr	28,7	25	25,4
Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	15,7	16,6	16,2

Quelle: Scharp et al. 2007g auf Basis von AGEB 2006, 2005 und 2003.

Die wesentlichen Primärenergieträger sind in Deutschland – wie auch weltweit – immer noch die fossilen Rohstoffe. Betrachtet man den gesamten Primärenergieverbrauch des Jahres 2006 mit 14.464 PJ, so ergibt sich die (vorläufige) folgende Aufteilung:

Tabelle 8: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern [2006].

Energieträger	Anteil (%)	PJ
Mineralöle	35,4	5.120
Braunkohle	10,9	1.577
Steinkohle	12,9	1.866
Kernenergie	12,6	1.822
Erdgas	22,8	3.298
Sonstiges	-0,4	-58
Erneuerbare Energien	5,8	839

Quelle: BMU 2007: 13.

Sonstiges: Stromsaldo (-0,5%) und sonstige Energieträger.

Der Endenergieverbrauch nach den unterschiedlichen Energieträgern hat sich seit 1990 deutlich verändert. Der Anteil von Gas ist um 7 % gestiegen, der von leichtem Heizöl um 3 % gefallen. Der Strombedarf ist um 3 % gestiegen. Auch der Anteil der Sonstigen – hierzu zählt auch Brennholz – ist deutlich gestiegen. Der Kraftstoffanteil ist moderat um 1,7 % gestiegen. Braunkohle spielt keine Rolle bei der Endenergie. Die einzelnen Daten sind wie folgt:

Energieträger	Endenergie 1990 [PJ]	Endenergie 2005 [PJ]	Anteil 1990 [%]	Anteil 2005 [%]
Steinkohle	571	386	6,0	4,2
Braunkohle	975	88	10,3	1,0
Kraftstoff	2.533	2.601	26,7	28,4
Heizöl schwer	190	79	2,0	0,9
Heizöl leicht	1.256	984	13,3	10,7
Gas	1.871	2.502	19,8	27,3
Strom	1.638	1.875	17,3	20,4
Fernwärme	383	311	4,0	3,4
Sonstige (u.a. Biomasse)	54	347	0,6	3,8
<b>Insgesamt</b>	<b>9.473</b>	<b>9.173</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Quelle: BMWi 2007.

### 14.3 Themenbereich: Erneuerbaren Energien im Überblick

#### Definition und Quellen von erneuerbaren Energien

Unter erneuerbaren Energien werden diejenigen Energieträger verstanden, die nach menschlichen Zeitmaßstäben unerschöpflich sind. Hierzu zählen die Sonnenenergie, die Wasserkraft und die Windenergie, die nachwachsenden Rohstoffe sowie die Umgebungs- und die Erdwärme.<sup>4</sup>

Erneuerbare Energien haben nur drei Quellen: Die Sonne, den Isotopenzerfall radioaktiver Elemente im Erdinnern und die Restwärme des Erdkernes sowie die Erdrotation in Verbindung mit der Gravitation des Mond-Erde-Systems. Hierbei hat die Sonne bei weitem die größte Bedeutung. Sie stellt die Quelle zur Nutzung von Photovoltaik, Solarthermie, Wasser-, Wind- und Wellenkraft sowie der Umgebungswärme und der Biomasse dar. Der Isotopenzerfall hält das Erdinnere heiß und stellt damit die Energiequelle für die Erdwärmenutzung durch die Geothermie dar. Die Erdrotation stellt – vermittelt über die Gravitation des Mondes – das Energiereservoir für die Gezeitenkraft dar.

Abbildung 14-7: Die drei Quellen für erneuerbare Energien: Sonne, Mond und Erdwärme.

Quelle: Scharp und Behringer 2007b; DGS (Erde); NASA (Sonne); www.pixelio.de / usteen (Mond).

<sup>4</sup> Die Unterscheidung von Umgebungs- und Erdwärme ist für die Primarstufe nicht unbedingt notwendig, auch wenn die Quellen dieser Energieformen unterschiedlich sind. Die Erdwärme basiert auf der Energie des Erdkernes und dem radioaktiven Zerfall von instabilen Elementen in der Erde. Die Umgebungswärme der Luft und des Bodens basiert vor allem auf der Sonnenstrahlung und zum kleinen Teil auf dem Wärmefluss aus der Erde heraus.

Die erneuerbaren Energien lassen sich vielfältig nutzen. Je nach Quelle können sie in Wärme und Strom sowie als Brenn- bzw. Kraftstoffe genutzt bzw. umgewandelt werden (Konversion). Die folgende Abbildung zeigt die verschiedenen Quellen, ihre Ausprägungen und die nutzbaren Energieformen:

Abbildung 14-8: Erneuerbare Energien – Quellen und Nutzung

Quelle: Scharp et al. 2007g.

### Erneuerbare Energien im Überblick

Das Sonnenlicht als Wärmestrahlung kann in solarthermischen Anlagen Wasser unmittelbar für den Gebrauch erwärmen (**Solarthermie**). Es kann aber auch in Solarzellen umgewandelt werden in Strom (**Fotovoltaik**). Mit diesem Strom können Elektrolyseanlagen betrieben werden, mit denen Wasserstoff als Energieträger gewonnen wird. Nur Wasserstoff, der auf diesem Wege oder aus anderen erneuerbaren Energien erzeugt wird, ist ebenfalls als erneuerbarer Energieträger zu bezeichnen. Die Nutzung der kontinentalen Solarstrahlung bietet weltweit die größten Potenziale für eine Energieversorgung, die nur auf erneuerbaren Energien basiert. Die mit heutigen Technologien nutzbare Sonnenstrahlung übertrifft den Weltenergieverbrauch um den Faktor vier und bietet somit eine zukunftsfähigste Perspektive für die Energiewende (BMU 2002: 84).

Das Sonnenlicht ist aber auch die Grundlage für das Wachstum der Pflanzen, die mittels Photosynthese der Atmosphäre Kohlendioxid entziehen und dieses in **Biomasse** umwandeln. Biomasse wie Holz wird zumeist verbrannt und zur Erzeugung von Strom, Raumwärme und Warmwasser genutzt. Andere pflanzliche Biomasse wie z.B. die Öl- oder Zuckerpflanzen können Treibstoffe (Biodiesel und Bioethanol) liefern. Aus tierischen Abfällen (Gülle) und Pflanzenteilen (Grünpflanzen, Getreide) kann **Biogas** gewonnen werden, welches seinerseits zur Energiegewinnung (Strom, Wärme) oder für den Antrieb von Motoren genutzt werden kann.

Die Solarstrahlung führt aber auch zum Entstehen von Wind, Wellen und Meeresströmung sowie zur Verdunstung von Wasser (Voraussetzung für die Wasserkraft).

Die Nutzung der **Windenergie** zur Stromerzeugung durch Windenergieanlagen stellt derzeit die wichtigste erneuerbare Energiequelle für Deutschland dar.

Die Kraftwerke zur Erzeugung von Strom durch **Wasserkraft** lassen sich in **Speicher- und Laufwasserkraftwerke** unterteilen. Laufwasserkraftwerke nutzen die Strömungsenergie des Wassers aus. Hierbei können Laufwasserkraftwerke an Flüssen, in denen eine große Wassermenge mit einem vergleichsweise geringen Gefälle fließt und Laufwasserkraftwerke an Bächen, in denen geringe Wassermengen mit hoher Geschwindigkeit fließen, unterschieden werden. Bei den Speicherkraftwerken werden die relativ geringen Wassermengen von Bächen in Talsperren gespeichert, um dann

unter hohem Druck durch Turbinen geführt zu werden. In Deutschland überwiegt diese letztere Form der Wasserkraftnutzung. In verschiedenen anderen Ländern werden auch große Flüsse aufgestaut wie z.B. in Ägypten (Assuan Staudamm) oder China (Drei-Schluchten-Staudamm).

**Wellen- und Strömungskraftwerke** nutzen die Kraft der Wasserbewegung des Meeres. Sie sind derzeit noch in der Erprobungsphase.

Durch die Anziehung (Gravitation) des Mondes entsteht die Gezeitenwelle, unter der sich die Erde durch ihre Rotation „wegdreht“. Dabei wird die Rotationsenergie zu geringen Teilen frei, die Rotation also abgebremst (allerdings in Zeiträumen von Millionen Jahren). An geeigneten Stellen mit hohem Tidenhub in Buchten wie z.B. im nördlichen Frankreich lassen sich dann Sperrwerke für **Gezeitenkraftwerke** errichten, mit denen das Flutwasser eingefangen werden kann. Bei Ebbe können dann die Wassermassen durch Turbinen geleitet werden, um Strom zu produzieren.

Die **Geothermie** nutzt die Erdwärme, die aus dem heißen Erdinneren aufsteigt. An einigen Stellen kommt diese Erdwärme an die Oberfläche und kann z.B. an heißen Quellen oder Geysiren direkt genutzt werden. In Deutschland muss die Wärme über ein Rohrsystem mittels Trägermedium aus tieferen Schichten der Erde (bis zu 5.000 m) an die Oberfläche gepumpt werden.

Auch die **Umgebungswärme** (z.T. auch oberflächennahe Erdwärme genannt) bezieht ihre Energie aus der Sonneneinstrahlung. Zur Nutzung dieser Niedrigtemperaturwärme sind Wärmepumpen notwendig, die Wärme „komprimieren“ und sie auf ein höheres Temperaturniveau überführen, um sie dann zur Raumheizung und Warmwasserbereitung einsetzen zu können.

Abbildung 14-9: Vier derzeit wichtige Quellen für die erneuerbaren Energien: Sonne (Solarthermie, Fotovoltaik und Umgebungswärme), Wind (der Wolken vor sich hertreibt), fließendes Wasser und Biomasse (Bäume und Gras).



Quelle: BMU / H.C.Oed.

### **Nutzung von erneuerbaren Energien**

Der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch lag in 2006 gemäß den vorläufigen Daten bei 5,8 % (BMU 2007:13). In 2003 lag ihr Anteil bei 3,1 % und in 2000 bei 2,6 %.

Abbildung 14-10: Verteilung der Primärenergie nach den eingesetzten Primärenergieträgern.

Quelle: Scharp et al. 2007g nach BMU 2007:13.

Dieser Anteil wurde nach der Wirkungsgradmethode berechnet für Energieträger, denen kein Heizwert zugeordnet werden kann. Dieses Vorgehen hat die Substitutionsmethode, die bis 1994 verwendet wurde, auf internationaler Ebene ersetzt. Hierbei wird angenommen, dass zur Stromerzeugung der Energiegehalt der eingesetzten Kernenergie zu 33 % sowie der Wasser- und Windkraft und der Photovoltaik zu 100 % genutzt wird (vgl. UBA o.J.). Im Prinzip wird somit für die Energieträger Windenergie, Sonnenenergie und Wasserkraft ein Wirkungsgrad bei der Umwandlung der Primärenergie in Endenergie von 100 % angesetzt. Damit entspricht z.B. 1 kWh Strom aus Wasserkraft

einem Primärenergieäquivalent von 1 kWh (BMU 2004a:37). Der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch lag in 2006 deshalb bei geschätzten 7,4 % (BMU 2007:3), da ihr Wirkungsgrad höher angesetzt wird. Da die erneuerbaren Energien vor allem für Strom- und Wärmeproduktion eingesetzt werden, lag ihr Anteil am Bruttostromverbrauch bei 11,8 % und beim Wärmeverbrauch bei 5,9 % (jeweils Endenergie). Hinsichtlich der Endenergie von Kraftstoffen stammen 4,7 % aus erneuerbaren Energiequellen (ebd.). In Bezug auf den Primärenergieverbrauch ergeben sich die folgenden Kennzahlen: 2,4 % Anteil an der Stromerzeugung, 2,2 % an der Wärmebereitstellung und 0,7 % in Bezug auf den Kraftstoffverbrauch.

Tabelle 9: Kennzahlen zu den erneuerbaren Energien und Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch in 2006.

	Stromerzeugung (Mrd. kWh)	Anteil am Bruttostrom- verbrauch	Wärme (Mrd. kWh)	Gesamt- leistung (MW)	Anlagen
Windenergie	30,5	5,0 %		20.622	18.685
Wasserkraft	21,6	3,5 %		4.620 <sup>a</sup>	
Biomasse	14,2 <sup>b</sup>	1,8 %	83,9		
davon Biogas	5,4				
davon fl. Brennstoffe	1,1				
Deponie- und Klärgas	1,9	0,3%			
Biogener Abfall	3,6	0,6%			
Fotovoltaik	2,0	0,3%			
Solarthermie			3,3		8 Mio. qm
Geothermie <sup>c</sup>	0,4		1,9		44.000
<b>Summe</b>	<b>73,9</b>	<b>11,8 %</b>	<b>89,4</b>		

Anmerkungen: a) BMU 2004a:12; b) ohne Deponie- und Klärgas und ohne biogene Abfälle; c) geothermische Anlagen zur Nutzung der Umgebungs- und Bodenwärme.

Quellen: BMU 2007:11ff.; BMU 2004a:12.

Die Verteilung des Beitrages der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung und zur Wärmebereitstellung ist dann wie folgt:

Abbildung 14-11: Verteilung der erneuerbaren Energien auf die Stromerzeugung und Wärmebereitstellung an der Endenergie der erneuerbaren Energien in 2006.

Quelle: Scharp et al. 2007g nach Daten von BMU 2007.

#### 14.4 Themenbereich Nicht-erneuerbare Energien

Die Energieträger der nicht-erneuerbaren Energien sind Steinkohle und Braunkohle, Erdgas und Erdöl sowie Uran. Die Bezeichnung „nicht-erneuerbare Energien“ ergibt

sich aus der in der Wissenschaft verwendeten Definition von erneuerbaren Energien. Diese sind Energien, die wir entweder nicht aufbrauchen können, weil sie in einer sehr großen Menge vorkommen (Sonnenlicht, Erdwärme) oder weil sie in der Natur immer wieder aufs Neue entstehen (Wasserkraft, Windenergie, Umgebungswärme und Biomasse).

### **Reichweiten der nicht-erneuerbaren Energieträger**

Im Unterschied zu den erneuerbaren Energien sind die Reichweiten der nicht-erneuerbaren Energien begrenzt. Bei Rohstoffen unterscheidet man zwischen Reserven und Ressourcen. Reserven sind die derzeit bekannten Lagerstätten, die derzeit ökonomisch mit dem Stand der Technik abbaubar sind. Ressourcen sind Rohstoffvorkommen, die ökonomisch zukünftig abbaubar sind und demzufolge Mindestanforderungen hinsichtlich Menge und Gehalt entsprechen. Ressourcen werden aber nur geschätzt und sind nicht explizit nachgewiesen. Wenn dies jedoch erfolgt ist, so spricht man von der Reservebasis (vgl. USGS 2006 Appendix C). Das BMWi geht in 2006 von den folgenden statischen Reichweiten aus, d.h. den Reichweiten bei unverändert gleich hohem Einsatz der Energieträger und ohne Verschiebungen zwischen den Energieträgern:<sup>5</sup>

Abbildung 14-12: Statische Reichweiten der nicht-erneuerbaren Energieträger [Jahre].

Quelle: BMWi 2006.

Stein- und Braunkohle, Erdöl und Erdgas werden auch als fossile Energieträger bezeichnet, da sie vor allem aus Pflanzen und niederen Organismen entstanden sind. Im Unterschied hierzu ist Uran ein Produkt der kosmologischen Entwicklung, welches in früheren Sternengenerationen im Laufe der Entwicklung des Universums entstanden ist.

### **Entstehung der fossilen Rohstoffe**

Die fossilen Rohstoffe entstanden auf sehr ähnlichen Wegen, wobei man heutzutage davon ausgeht, dass Kohle ein Produkt der Biomasseablagerung am Land, Erdöl und Erdgas ein Produkt der Biomasseablagerung in den Meeren ist (vgl. WEG o.J.:7). Vor ca. 300 bis 400 Millionen Jahren – der Karbonzeit – überzogen viele Millionen Jahre lang riesige Wälder die Erde. In Sümpfen entstand unter anaeroben (sauerstofffreien) Bedingungen die Vorform der Kohle in Form von Torf (Inkohlungsprozess). Aufgrund ständiger oberflächlicher Veränderungen wurden die Torfschichten überschwemmt oder mit Sand und Gestein bedeckt. Ebenso bildeten sich neue Schichten über den älteren Schichten. Mit zunehmendem Druck stieg auch die Temperatur und aus dem Torf

---

<sup>5</sup> Gemäß BMWi (2006) steigt der Energieverbrauch jedoch bis zum Jahre 2030 deutlich. In 2002 lag der Weltenergieverbrauch bei ca. 10.000 Millionen Tonnen Rohöläquivalenten (420.000 PJ). Bis in 2030 soll sich der Weltenergieverbrauch auf ca. 16.000 Millionen Tonnen Rohöläquivalenten erhöhen, also um 60 % steigen. Konsequenterweise wird auch die Reichweite der Reserven von Erdgas, Erdöl und dem Uran sinken.

bildete sich Braunkohle. Die Tektonik der Erde führte aber auch dazu, dass Kontinente sich hoben oder senkten, was noch heute an den Schalentieren in den Hochgebirgen zu sehen ist. Je tiefer die Kohleschichten sackten, desto höher wurden die Temperaturen und Drücke. Aus Braunkohle bildete sich dann Steinkohle (Planet Wissen / Kracht 2005). In Deutschland ist die Steinkohle tief in der Erde verborgen (ca. 1.000 m), in anderen Weltgegenden wie Australien oder China kann sie im Tagebau gefördert werden.

Abbildung 14-13: Prinzipielle Entstehung von Braun- und Steinkohle.

Quelle: Environmental Protection Agency ([www.epa.gov](http://www.epa.gov)); Bearbeitung Scharp und Behringer 2007b.

Erdöl und Erdgas entstanden über wesentlich längere Zeiträume, die jedoch nicht eindeutig festgelegt sind. Nach der Environmental Protection Agency begann der Prozess vor 300 bis 400 Millionen Jahren (EPA o.J.), aber große Teile der Erdölvorkommen entstanden in der Kreide und Jurazeit – einem Zeitalter der Dinosaurier – zwischen 150 und 200 Millionen Jahren (MS Encarta, WEG o.J.) oder lagern in Gesteinen, die 250 bis 300 Millionen Jahre alt sind (WEG o.J.). Erdöl bildet sich nach geologischen Maßstäben sehr rasch, wenn die geeigneten Bedingungen vorhanden sind. In den Meeren sank totes tierisches und pflanzliches Plankton auf den Grund der Meere und bildete unter anaeroben bzw. sauerstoffarmen Bedingungen zusammen mit Sand und Schlick einen Faulschlamm (planet Wissen / Brenner 2005). Auch hier lagerten sich Sedimente über dem Schlamm ab, der zunehmend unter Druck stand und heißer wurde. Durch Bakterien, Metalle als Katalysatoren und aufgrund von Druck und Temperatur zersetzten sich die großen Moleküle und es bildeten sich vor allem kleinere Kohlenwasserstoffe. Kohlenwasserstoffe sind leichter als Wasser und fließen entsprechend aufwärts. In geeignetem Gestein sammeln sie sich und bilden Erdöl- und Gasblasen, wenn sie von darüber liegenden Deckschichten (Ton, Salz) abgeschlossen sind. Die tektonischen Bewegungen der Kontinentalkruste führte dazu, dass aus Meeren Land wurde, weshalb sich zahlreiche Erdöl- und Erdgasvorkommen auch an Land finden (Russland, Saudi-Arabien, Irak, Iran, USA und Libyen).

Abbildung 14-14: Prinzipielle Entstehung von Erdöl und Ergas.

Quelle: Environmental Protection Agency ([www.epa.gov](http://www.epa.gov)); Bearbeitung Scharp und Behringer 2007b.

### **Verbrennung der fossilen Rohstoffe in Kraftwerken**

Die nicht-erneuerbaren Energieträger werden vor allem für die Herstellung von Strom, Wärme und Treibstoffen genutzt. Darüber hinaus stellt Rohöl noch einen wichtigen Grundstoff für die Kunststoff-Industrie dar. Es gibt in Deutschland 57 Kraftwerke mit einer elektrischen Leistung von jeweils mehr als 300 MW (Megawatt), die Braunkohle,

Steinkohle, Erdöl oder Erdgas verbrennen (Kraftwerke Online o.J.). Zumeist werden mehrere Kraftwerksblöcke an einem Standort betrieben. Die Gesamtzahl aller Kraftwerke liegt in 2007 bei über 800, wobei hierbei auch Müllverbrennungsanlagen hinzugerechnet werden. Typische Steinkohlekraftwerke haben eine elektrische Leistung von 700 MW und Gaskraftwerke haben eine elektrische Leistung von bis zu 340 MW. Modernste Kraftwerke wie z.B. das Braunkohlekraftwerk in Niederaußem haben eine elektrische Leistung von 1.100 Megawatt und liegen damit in der gleichen Größenordnung wie Kernkraftwerke. Kraftwerke, bei denen auch Wärme ausgekoppelt wird, erreichen auch höhere Leistungen. Beispielsweise hat das Kraftwerk Altenbach/Deizisau, in dem u.a. zwei Heizkraftwerke betrieben werden, eine elektrische Leistung von 1.200 MW und eine thermische Leistung von 560 MW.

In einem Kohlekraftwerk wird Braun- oder Steinkohle verbrannt, um Strom zu erzeugen. Große Anlagen verbrennen bis zu 900 t Braunkohle oder 180 t Steinkohle pro Stunde (Wikipedia: Kohlekraftwerke). Die Anlieferung erfolgt entweder mit Zügen oder Schiffen. Über Bekohlungsbander wird der Brennstoff zum Kohlebunker transportiert. Bevor die Kohle in den Dampferzeuger transportiert wird, wird sie in Kohlemühlen zermahlen. Hierdurch wird eine wesentlich verbesserte Verbrennung ermöglicht. Von dort gelangt er zu dem Dampferzeuger. In einem Dampferzeuger wird zum einen die Kohle verbrannt und zum anderen die Verbrennungswärme der Rauchgase auf Wasser übertragen und überhitzter Dampf mit mehr als 500 °C erzeugt. Die Wärmeleistung eines Dampferzeugers liegt bei großen Kraftwerken im Megawattbereich. Der Dampf strömt durch eine Turbine mit unterschiedlichen Segmenten (Hoch-, Mittel- und Niederdruckturbinen) und versetzt die Turbinen in eine sehr schnelle Drehbewegung. Der Druck des Dampfes fällt dabei auf sehr geringe Werte und die Temperatur sinkt gleichfalls (Entspannung des Dampfes). Mit kaltem Wasser wird der Dampf in einem Kondensator verflüssigt. Das kalte Wasser wird durch einen Kühlturm erzeugt, der die Verdunstungswärme von Wasser nutzt, um Kälte zu erzeugen. Das Wasser fließt anschließend wieder in den Dampferzeuger zurück. Die Rotation der Turbine wird über eine Welle auf einen Generator übertragen, in dem der Läufer den Strom erzeugt. Über das Verbundnetz wird der Strom zu den Endverbrauchern transportiert.

Abbildung 14-15: Kraftwerksschema eines Steinkohlekraftwerks.

Quelle: Eon ([www.eon-kraftwerke.com](http://www.eon-kraftwerke.com)).

Eine besondere Herausforderung ist die Reinigung der Abgase, die seit den 70-er Jahren kontinuierlich verbessert wurde. Die wesentlichen Schadstoffe des Abgases sind Stickoxide, Schwefeldioxid, Kohlendioxid und Staub. Das Abgas wird zunächst von den Stickoxiden ( $N_nO_m$ ) weitgehend befreit. Hierzu wird das Abgas über Katalysatoren geleitet unter Zugabe von Ammoniak ( $NH_3$ ). In einer Redoxreaktion entstehen aus Ammoniak und Stickoxiden Stickstoff und Wasser, die beide unbedenklich sind. Im zweiten Schritt wird der Staub des Rauchgases entfernt. Die Stäube werden elektrisch

geladen und mit Hilfe von Elektrofiltern an den Platten des Filters abgeschieden. In einem dritten Schritt wird das Rauchgas – besonders wichtig bei der schwefelhaltigen Braunkohle – entschwefelt. Das Rauchgas wird zumeist in einem Waschturm mit einer Kalkstein-Mehl-Mischung unter Zugabe von Luft (Sauerstoff) gewaschen. Das Schwefeldioxid reagiert hierbei mit dem Kalk und fällt als Calciumsulfat (Gips) aus. Der Gips wird für Trockenbauplatten (Rigips) weiterverwendet.

Abbildung 14-16: Alte (linkes Bild) und neue Kraftwerke (rechtes Bild) –deutliche Fortschritte in der Reinigung der Abgase.

Quelle: BMU / H.C. Oed; Siemens (Kohlekraftwerk mit integrierter Kohlevergasung, [www.siemens.de](http://www.siemens.de)).

Aufgrund der kontinuierlichen Optimierung der technologischen Prozesse ist Deutschland in der Kraftwerkstechnologie weltweit führend. Es gibt jedoch verschiedene Probleme, die noch zu lösen sind: Die Erhöhung der Effizienz der Kraftwerke (Wirkungsgrade), die Nutzung der Abwärme sowie Verfahren zur Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses (vgl. Ewers 2005 und Ewers und Lambertz 2006).

Die durchschnittlichen Wirkungsgrade der Kraftwerke lagen in 2004 bei ca. 38 %, d.h. etwas mehr als ein Drittel der Primärenergie des Energieträgers wurde in Strom umgewandelt (BINE 2004b:1). Neue Kohlekraftwerke erreichen jedoch Wirkungsgrade von 40 bis 45 % und durch verschiedene neue Verfahren sollen die Wirkungsgrade auf über 50 % angehoben werden. Hierbei ist jedes Prozent wichtig: Ein Prozent Wirkungsgrad spart in einem großen Kraftwerk 16.000 t Kohle und 43.000 t Kohlendioxid ein (ebd.). Ansatzpunkte für eine technologische Optimierung sind die eigentliche Verbrennung der Kohle als Feinstaub oder im Wirbelschichtverfahren, die Erhöhung von Druck und Temperatur bei der Verbrennung (Druckbefuerung), die Steigerung der Dampftemperaturen (Ziel: > 700 °C und 35 MPa), Kohlevergasung und Braunkohlentrocknung sowie die Nutzung der Abgase für den Turbinenantrieb (BINE 2004b und BINE 2006).

Der Schlüssel zur Effizienzverbesserung bei der Stein- und Braunkohleverbrennung wird vermutlich die Übertragung der Nutzung der Gas- und Dampftechnologie aus Öl- und Gaskraftwerken sein. Erdgaskraftwerke haben jetzt schon Wirkungsgrade von 58 % (ebd.5). Bei diesen Kraftwerken werden kombinierte Turbinen eingesetzt, die zunächst mit den heißen Abgasen eine Turbine (> 1.000 °C) antreiben. In einem zweiten Schritt wird dann mit der „Restwärme“ Dampf erzeugt, der seinerseits Turbinen antreibt. Diese Technologie setzt aber besondere Anforderungen an die Turbinentechnik voraus, die zwar beim Gaskraftwerk gelöst sind (z.B. Kühlung der Schaufeln mit Luft), aber angesichts des Verbrennungstaubes von Kohlekraftwerken noch ungelöste Probleme aufwirft.

Abbildung 14-17: Prinzip des Gas-Dampf-Kraftwerkes.

Quelle: Eon ([www.eon-kraftwerke.com](http://www.eon-kraftwerke.com)).

Die zweite Option zur technologischen Optimierung ist die Nutzung der Restwärme. In konventionellen Kraftwerken wird die Restwärme vor allem als Prozesswärme (Transport und Erhitzung des Steinkohlestaubes, Wasservorwärmung etc., vgl. Ewers 2007) verwendet. In Heizkraftwerken, die Strom und Wärme erzeugen, wird die Wärme ausgekoppelt und zur Versorgung von Gebäuden verwendet. Diese Nutzung wird auch zumeist als Kraft-Wärme-Kopplung bezeichnet. Hierbei sind Wirkungsgrade von 70 % oder mehr in Bezug auf die eingesetzte Primärenergie zu erreichen. Die meisten Großkraftwerke wurden jedoch als zentrale Kraftwerke angelegt nahe der Ressourcen (Stein- und Braunkohle) sowie an Flüssen, um Flusswasser sowohl zur Kühlung als auch als Transportmittel zu nutzen. Nur in Kraftwerken, die nahe zu großen Wärmeverbrauchern stehen (Städte, Industrie) ist eine Auskopplung der Wärme für Heizzwecke und damit eine Erhöhung der Gesamteffizienz auf bis zu 90% möglich.

Trotz einer Erhöhung der Wirkungsgrade verbleibt jedoch das Problem der Kohlendioxidemissionen, die zwar gemindert, aber nicht vermieden werden können. In letzter Zeit haben jedoch verschiedene Forschungsvorhaben begonnen, die auch für dieses Problem Lösungen aufzeigen sollen. Hierbei wird derzeit die CO<sub>2</sub>-Abtrennung und die CO<sub>2</sub>-Lagerung in Erdreservoirs (z.B. ausgebeutete Gaslagerstätten, Tiefenwasserströme) untersucht (vgl. Ewers 2007:8). Prinzipiell sind die Verfahren technisch machbar, haben aber deutliche Auswirkungen auf den Wirkungsgrad der Kraftwerke insbesondere für einen Vergleich der konventionellen Kraftwerke, bei denen das Kohlendioxid nur am Prozessende abgeschieden wird. Anstelle von einem Wirkungsgrad von 43 % ohne CO<sub>2</sub>-Abscheidung hätten die Kraftwerke nur einen Wirkungsgrad von 28 % (Ewers 2007:25). Nur durch speziellere Verfahren und Einsatz modernster – derzeit in der Erprobung befindlicher – Technik können Wirkungsgrade mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung erreicht werden, die „nur“ um 10 % niedriger als bei derzeitigen modernen Kraftwerken liegen. Es ist unklar, ob diese Technik jemals im großen Maßstab funktionieren wird und es ist deshalb zu befürchten, dass ihre Entwicklung nur ein unnötiger Umweg auf den sowieso notwendigen Umstieg zu erneuerbaren Energiequellen ist.

### **Atomenergie und Atomkraftwerke**

Kernkraftwerke erzeugen gleichfalls Strom. Sie nutzen Uran 235 in Form von Urandioxid, welches in dem Kernreaktor gespalten wird. Das Uran ist in den Kernkraftwerken in Brennstäben enthalten. In den Brennstäben wird meistens hoch angereichertes Uran verwendet, so dass eine Kernspaltung eintritt, wenn ausreichend Neutronen den Prozess in Gang setzen. Mit geeigneten Neutronenfängern (Bor- oder Cadmiumstäben) kann man den Prozess steuern, d.h. langsamer oder schneller ablaufen lassen. Wenn die Steuerstäbe gezogen werden, beginnt die Kettenreaktion, die das Uran

spaltet: Hierbei werden je zerfallenden Uranatom zwei Neutronen freigesetzt. Da die Neutronen – erst einmal freigesetzt – mehrere Urankerne spalten können, entsteht eine Kettenreaktion, die sich immer mehr beschleunigt. Durch die Steuerung des Neutronenflusses kann und muss man den Kernzerfall kontrolliert ablaufen lassen (vgl. Übelacker 2005:23).

Bei der Kernspaltung werden große Mengen an Energie frei, die auf das Wasser des Reaktors übertragen werden. Hierbei sind derzeit zwei Technologien weit verbreitet: Die Druckwassertechnik und die Siedewassertechnik. Beim Siedewasserreaktor entsteht der Dampf in dem Reaktordruckbehälter und wird direkt über eine Turbine geleitet. Beim Druckwasserreaktor wird das heiße Wasser des Druckbehälters durch einen Wärmetauscher geführt (Primärkreislauf), um Dampf zu erzeugen (Sekundärkreislauf), der dann durch die Turbine strömt.

Abbildung 14-18: Atomkraftwerk Biblis A mit Reaktorkuppel und Kühltürmen.

Quelle: BMU / H.C. Oed.

Kernkraftwerke sind die stärksten Kraftwerke zur Energieerzeugung aus nicht-erneuerbaren Energieträgern. In Deutschland gibt es 12 Standorte mit insgesamt 17 Reaktoren. Deutsche Kernkraftwerke haben zumeist eine elektrische Leistung von 1.200 bis 1.450 MW. Zum Vergleich: modernste Braunkohlekraftwerke haben eine Leistung von 1.100 MW, Steinkohlekraftwerke haben in großen Anlagen eine Leistung von 700 MW und modernste Windenergieanlagen eine Leistung von 5 MW.

Abbildung 14-19: Kernkraftwerke in Deutschland.

Quelle: Lencer / Wikipedia ([http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Kernkraftwerke\\_in\\_Deutschland.png#file](http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Kernkraftwerke_in_Deutschland.png#file)).

Die Nutzung der Kernenergie ist jedoch differenziert zu betrachten. Auf der einen Seite sind die europäischen – und insbesondere die deutschen – Kernkraftwerke die sichersten weltweit. Die Nutzung der Kernkraft birgt jedoch Risiken, die vor allem in der Schnittstelle Mensch-Technik liegen. Alle bisherigen Atomunfälle (Harrisburg, Tschernobyl und Sellafield) sind auf menschliches Versagen insofern zurückzuführen, als dass beim Erkennen der Störung in dem Kernkraftwerk das Personal falsch reagiert hat. Darüber hinaus ist die Entsorgungsfrage für den Atommüll bis heute nicht gelöst. Die Errichtung eines Endlagers in Gorleben (Salzbergwerk) und dem Schacht Konrad (Eisenerzbergwerk) ist mit einem Moratorium der Rot-Grünen Bundesregierung in 2000 bis Ende 2010 ausgesetzt. Wann die abschließenden Untersuchungen, Ausbauten und die Genehmigungen erfolgen, ist ungewiss. Die Brisanz der Endlagerung ergibt sich aus der langen radioaktiven Halbwertszeit der abgebrannten Brennelemente. Hieraus ergibt sich die Anforderung, diese Abfälle für Hunderttausende von Jahren sicher einzulagern.

Diese Zeitdimension ist jedoch nicht planbar im Rückblick auf die Geschichte der Menschheit.

### **Stromerzeugung mit Turbinen und Generatoren**

Turbinen nehmen die Bewegungsenergie von strömenden Stoffen auf und setzen sie in eine Bewegungsenergie einer Achse um. Je nach Strömungsmedium sind Turbinen unterschiedlich konstruiert. Je nach Beschaffenheit des Mediums und seiner physikalischen Eigenschaften können Schaufeln (u.a. Dampf), Becher oder Propeller (s.u. Wasserkraft) oder Flügel (Wind) verwendet werden

Abbildung 14-20: Laufrad mit Turbinenschaufeln und Montage einer Turbine bei Siemens



Quelle: Siemens ([www.siemens.de](http://www.siemens.de)); [www.aboutpixel.de](http://www.aboutpixel.de) / lichtbildmaler.

Das physikalische Prinzip der Turbine ist relativ einfach. Um das einströmende Medium nicht senkrecht auf die Schaufeln auftreffen zu lassen (Erhöhung des Wirkungsgrades), sitzt am Eingang einer Gasturbine ein Leitrad, welches das einströmende Gas im gewünschten Winkel einströmen lässt. Das strömende Medium trifft dann auf die Turbinenschaufel und ein Teil des Drehimpulses des Medienteilchens wird auf die Schaufel übertragen. Aufgrund der Ausformung der Schaufeln wird der Medienstrom in der Turbine in die gewünschte Richtung gelenkt, so dass der Drehimpuls sich summiert und die Turbine in Rotation versetzt wird (vgl. [www.wikipedia.de/Turbinen](http://www.wikipedia.de/Turbinen)). Um die Energie des Strömungsmediums optimal zu nutzen, bilden zahlreiche Turbinenschaufeln ein Laufrad. Auf der Achse sind dann zahlreiche Laufräder hinter einander in einem Turbinengehäuse montiert.

Um den Wirkungsgrad von Turbinen optimal zu gestalten, gibt es verschiedene Optionen. Zum einen werden unterschiedliche Turbinentypen, die für unterschiedliche Medienzustände konstruiert sind, in Reihe geschaltet. Üblich sind Hoch-, Mittel- und Niederdruckturbinen, die alle auf einer gleichen Welle sitzen und sukzessive die

Energie aus dem strömenden Medium aufnehmen und dabei dessen Druck abbauen. Eine zweite Möglichkeit ist die Wahl des Trägermediums. Turbinen beziehen ihre Energie aus dem energetischen Gefälle zwischen der Energie des einströmenden Mediums und dem Medium im Endzustand. Bei Dampf ergibt sich dies als Differenz der Energie des einströmenden Dampfes und des Kondensats. Derzeit wird versucht, die technischen Grenzen bei der Herstellung von Dampf mit mehr als 700 Grad Celsius und 35 MPa Druck zu erreichen. Eine Alternative zu Wasserdampf ist die Nutzung der Verbrennungsabgase aus der Feuerung, was bei Gasturbinen jetzt schon üblich ist. Aufgrund der höheren Temperaturen der Verbrennungsabgase ist der Wirkungsgrad dieser Turbinen deutlich höher (vgl. BINE 2004b und BINE 2006). Große Turbinen mit mehreren Stufen haben eine Leistung von 1.000 bis 1.500 Megawatt. Die Wasserdampf-temperaturen liegen derzeit bei ca. 550 °C, die Gastemperaturen von Gasturbinen liegen bei 1.000 °C. Die Rotationsgeschwindigkeiten können bei 3.000 Umdrehungen pro Minute liegen. Aufgrund der Größe von Turbinen, der hohen Betriebstemperaturen und der Rotationsgeschwindigkeiten stellen Turbinen Hochleistungsmaschinen dar. Allein das Anlaufen einer Turbine kann durchaus eine Woche dauern (vgl. [www.wikipedia.de/Dampfturbine](http://www.wikipedia.de/Dampfturbine)).

Abbildung 14-21: Mittel- und Niederdruckturbine im Braunkohlekraftwerk Garzweiler.

Quelle: [www.pixelio.de](http://www.pixelio.de) / Klaus Dosch.

Die Bewegungsenergie der Turbine muss in einem nächsten Schritt in elektrische Energie umgewandelt werden. Hierzu werden Generatoren verwendet. Sie bauen auf dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion auf, die von Michael Faraday 1831 entdeckt wurde. Elektromagnetische Induktion bedeutet, dass ein sich bewegender Leiter ein Magnetfeld induzieren kann bzw. dass ein sich veränderndes Magnetfeld eine Spannung induzieren kann. Hierbei bedeutet fließend oder verändernd, dass sich entweder Strom- bzw. Spannung oder die Magnetfeldstärke ändern können oder dass sich der Leiter bzw. das Magnetfeld sich bewegt (z.B. rotiert). Weiterhin kann durch die Konstruktion des Generators entweder eine Gleich- oder eine Wechselspannung bzw. Drehstrom – d.h. die Überlagerung mehrerer Wechselspannungen – erzeugt werden.

Ein Generator besteht aus einem Rotor (auch Läufer genannt) und einem (feststehenden) Stator. Hierbei gibt es verschiedene Typen, die Gleich- oder Wechselstrom erzeugen können und dabei mit oder ohne Magnete arbeiten. So kann beispielsweise der Rotor ein Dauermagnet oder ein Elektromagnet (Feldspule) sein und der Stator aus Leitern bzw. Leiterwicklungen bestehen. Wenn der Rotor sich dreht, erzeugt das rotierende Magnetfeld aufgrund der Lorentzkraft eine Spannung im Stator. Bei

Gleichstrommotoren wird der Strom im Rotor (Läufer) induziert, die Feldspule bzw. der Dauermagnet ist außen. Der Strom wird mit einem Kommutator gleichgerichtet.<sup>6</sup>

Das Magnetfeld von Generatoren kann auf zwei Wegen erzeugt werden. Zum einen können Dauermagnete verwendet werden. Der Nachteil von Dauermagneten ist ihre sehr große Masse, der Vorteil ist ihr dauerhaftes Magnetfeld und auch eine einfache Verbindung zwischen der Achse und dem Magneten. Zum anderen können Elektromagnete verwendet werden, bei denen durch einen Stromfluss ein Magnetfeld induziert wird. Der Vorteil ist die leichte Erzeugung des Magnetfeldes durch Elektrizität, der Nachteil ist, das elektrischer Strom zum Teil auf rotierende Bauelemente übertragen werden muss. Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau eines Wechselstromgenerators, der mit einem elektrisch magnetisierten Rotor arbeitet. Der Rotor induziert elektrische Spannung in den Induktionsspulen des Stators.

Abbildung 14-22: Prinzipieller Aufbau eines vierpoligen Wechselstromgenerators.

Quelle: Wikipedia / Steffen Kuntuff 2005.

### **Erdöl und Erdgas: Gewinnung und Verbräuche**

Erdöl und Erdgas gehören zu den wichtigsten Rohstoffen unserer Zeit. Schon die Babylonier nutzen Erdöl für Beleuchtungszwecke wie das babylonische Wort „naptu“ zeigt und was wir in veränderter Form als „Naphta“, einem Bestandteil des raffinierten Erdöls, übernommen haben. Mit Bitumen verfestigten die Babylonier schon ca. 2.000 v.Chr. Straßen. Im 19. Jahrhundert begann die Ausbeutung der Öllagerstätten als man erkannte, dass man aus Erdöl leicht Petroleum zu Leuchtzwecken herstellen konnte. Mit der Entwicklung des Automobils und des Verbrennungsmotors stieg die Nachfrage nach Erdöl rasant an.

Da Erdöl leichter als Gestein und auch als Wasser ist, wandert es im Erdreich nach oben. Wenn es auf eine undurchlässige Gesteinschicht trifft, lagert es sich darunter ab. Dabei ist es zumeist in Gesteinsporen verteilt. Darüber hinaus gibt es noch Erdölsande (in einem großen Umfange z.B. in Kanada), bei denen das Erdöl an der Oberfläche oder dicht darunter in geringer Konzentration gebunden ist. Erdöl findet sich auch in Deutschland in Tiefen von 1.000 bis 2.500 m (WEG o.J.:8). Aufgrund unterschiedlicher Tektonik können die Tiefen aber sehr unterschiedlich sein. Erdöl tief in der Erde oder unter dem Meeresgrund wird mit Bohrungen zu Tage gefördert (ebd:12). Hierzu wird von einem Bohrturm ein Bohrgestänge mit einem Bohrkopf in die Erde gebohrt. Der

---

<sup>6</sup> Gleichstrom-Generatoren werden nur noch selten verwendet, da es einfacher ist, mit einem Wechselrichter den Wechselstrom gleichzurichten wie dies beispielsweise im KFZ geschieht. Hierbei wird der Strom über die Lichtmaschine erzeugt und danach mit einem Wechselrichter in Gleichstrom umgewandelt. Auch unser Stromnetz basiert auf Drehstrom, da dieser gut transformierbar ist. Im Haus selber wird aus dem Drehstrom der Wechselstrom ausgekoppelt. Nur der Herd wird aufgrund seiner großen Leistungsaufnahme zumeist über alle drei Phasen des Drehstroms angeschlossen. Die Steckdosen sind nur über eine Phase und den Neutraleiter angeschlossen.

Bohrturm hat die Funktion, dass das Bohrgestänge sukzessive verlängert werden kann. Die Technologie der Tiefenbohrung ist heutzutage so weit fortgeschritten, dass Bohrungen nicht nur vertikal, sondern auch horizontal oder im Bogen durchgeführt werden können, um Lagerstätten von der Seite zu erschließen. Während des Bohrvorgangs wird der Schacht mit einem Stahlrohr verkleidet um zu verhindern, dass er unter dem Druck des Gesteins zusammenbricht. Gleichzeitig wird das Bohrmaterial aus der Bohrung herausgespült. Je tiefer die Bohrung ist, desto enger wird das Bohrloch angelegt. Zum Abschluss der Bohrung wird der Schacht versiegelt und beim Erdöl mit einem Preventer bzw. beim Erdgas mit einem Eruptionskreuz versehen, um den Rohstoff geregelt austreten zu lassen (Primärförderung). Wenn der Druck in der Lagerstätte nachlässt, werden Pumpen eingesetzt (Sekundärförderung). Um eine höhere Ausbeute zu erzielen, können auch Wasser oder Gase (Stickstoff, Kohlendioxid, organische Polymere, Tenside etc.) in das Gestein gepresst werden (Tertiärförderung, vgl. WEG o.J.:20).

Abbildung 14-23: Bohrplattform Troll (Höhe 360 m vom Meeresgrund bis zur Bohrturmspitze) in der Nordsee und Erdöltanker Magdala (Transportkapazität 300.000 t Erdöl).

Quelle: Shell ([www.shell.de](http://www.shell.de)).

Erdgas besteht vor allem aus Methan. Daneben gibt es kleinere Anteile an Ethan, Propan, Butan, Alkenen sowie Kohlendioxid, Stickstoff, Helium und Schwefelwasserstoff. Erdgas findet sich in Lagertiefen von 3.000 bis 5.000 m (WEG o.J.:5). Aufgrund seiner guten Strömungseigenschaften kann es wesentlich effizienter aus den Lagerstätten gewonnen werden als Erdöl. Auch die Aufbereitung von Erdgas ist einfacher, aber aufgrund der leichten Entflammbarkeit und der Gefahr austretenden Gases sind wesentlich höhere Sicherheitsanforderungen zu beachten. In einem ersten Schritt werden flüssige Kohlenwasserstoffe und mitgeführtes Wasser abgeschieden. Die Trocknung kann über verschiedene Verfahren erfolgen. Durch Abkühlung kann auf einfache Weise ein großer Teil des Wassers auskondensiert werden, in dem sich auch der Schwefelwasserstoff löst. Andere Verfahren sind die Trocknung mit Triethylglykol, welches aufgrund seiner hygroskopischen Eigenschaften Wasser aus dem Erdgas aufnimmt. Mit Hilfe von Molekularsieben kann auch der restliche Wassergehalt entfernt werden. Restlicher Schwefelwasserstoff wird gleichfalls von den Molekularsieben aufgenommen.

Der Transport von Erdgas ist wesentlich aufwändiger als von Erdöl und hängt von dem Ort der Lagerstätte ab. Kontinentale Vorkommen können mit Gaspipelines transportiert werden, wie es vor allem von Russland nach Europa geschieht. Bei Lagerstätten, die nicht gut mit Pipelines zu erschließen sind, kann das Gas durch Abkühlung verflüssigt und dann mit Schiffen transportiert werden. Die größte Gasverflüssigungsanlage entsteht derzeit im hohen Norden von Norwegen. Aufwändig ist auch die Speicherung von Erdgas, die aber in größerem Maße notwendig ist, da es insbesondere im Winter,

d.h. periodisch verbraucht, aber gleichmäßig gefördert wird. Die jahreszeitliche Speicherung erfolgt unterirdisch in natürlichen Lagergesteinen. In Deutschland gibt es etwa 40 solcher Gasspeicher.

Die Weltreserven an Erdgas wurden 2005 auf ca. 179 Tera-Kubikmeter ( $T m^3$ ) geschätzt, die Ressourcen auf  $207 T m^3$ . Bisher wurden ca.  $81 T m^3$  Erdgas gefördert und verbraucht. Der Weltjahresverbrauch betrug ca.  $2,8 T m^3$  (Gerling 2006:19). Die größten Lagerstätten befinden sich in Russland (ca.  $48 T m^3$ ) und im Nahen Osten ( $70 T m^3$ ). In 2005 waren Russland mit ca. 636 Mrd.  $m^3$ , die USA mit ca. 526 Mrd.  $m^3$  und Kanada mit ca. 185 Mrd.  $m^3$  die größten Produzenten. Die weltgrößten Verbraucher waren die USA und Russland (zusammen 1.064 Mrd.  $m^3$ ). Deutschland und Großbritannien verbrauchten ca. 100 Mrd.  $m^3$  (ebd.:22). Neben den konventionellen Gasvorkommen gibt es noch sehr große Mengen an nicht-konventionellem Erdgas z.B. als Aquifergas oder in Form von Gashydraten.

Der entscheidende Vorteil der Nutzung von Erdgas gegenüber von Erdöl und seinen Produkten ist der hohe Anteil an Wasserstoff in Bezug auf den Kohlenstoffanteil. Hierdurch ergibt sich eine geringere Kohlendioxid-Emission bei der Verbrennung. Allerdings weisen die Erdgaslagerstätten einen teilweise sehr hohen Anteil an Kohlendioxid auf, der bei der Förderung in die Atmosphäre freigesetzt wird.

Ein weiterer Vorteil der Nutzung von Erdgas in Kraftwerken ist die einfachere Nutzung von Gasturbinen, die mit Verbrennungsabgasen unmittelbar betrieben werden können. Hierdurch können bei der Erzeugung elektrischen Stroms Wirkungsgrade von über 60 % erreicht werden.

Die Aufbereitung von Erdöl hingegen ist sehr komplex, da es aus einer Vielzahl von Kohlenwasserstoffen, Stickstoff und Schwefelverbindungen besteht. Die Aufbereitung findet in einer Raffinerie statt. Wesentliche Reinigungs- und Aufbereitungsschritte in den Raffinerien sind die Aufspaltung (Zerlegung oder „Cracken“) sowie die Trennung der Bestandteile des Erdöls (Destillation). Die Destillation ist eine Trennung der unterschiedlichen Bestandteile des Erdöls entsprechend ihrer Siedepunkte. In turmhohen Kolonnen werden Leichtbenzine (Siedetemperatur ca.  $150 ^\circ C$ ), Kerosin und Petroleum (ca.  $200 ^\circ C$ ), Diesel und Heizöl (ca.  $300 ^\circ C$ ), Schweröle (ca.  $370 ^\circ C$ ) sowie Schmieröle, Paraffin, Wachse, Bitumen, Teer und Koks ( $> 400 ^\circ C$ ) abgeschieden. Durch eine Steuerung der Crack- und Destillationsbedingungen können in den Raffinerien die einzelnen Fraktionen im größeren oder kleineren Umfang hergestellt werden. Ein Teil der Erdölprodukte wird von der chemischen Industrie verwendet, da fast alle organisch-chemischen Grundsubstanzen aus Erdöl hergestellt werden. Dennoch wird der überwiegende Anteil des Erdöls für einfache Verbrennungszwecke (Benzin, Diesel, Kerosin) genutzt.

Abbildung 14-24: Raffinerie von Shell.

Quelle: Shell ([www.shell.de](http://www.shell.de)).

Die Welterdölreserven werden für das Jahr 2005 auf ca. 162 Gt geschätzt (Gerling 2006:5). Die größten bekannten Lagerstätten finden sich im mittleren Osten (Saudi-Arabien, Iran, Irak und den Vereinigten Arabischen Emiraten), die etwas mehr als 60 % der bekannten Reserven umfassen. In Europa / Asien sowie in Afrika befinden sich jeweils ca. 10 %. In Nord und Südamerika sowie in Asien und im Pazifik befinden sich ca. 18 % der bekannten Weltreserven. Die Erdölförderung in 2005 betrug 3.900 Mt bzw. 3,9 Gt Rohöl. Die wichtigsten Förderländer in 2005 sind Saudi-Arabien (526 Mt), Russland (470 Mt), die USA (310 Mt), Iran (200 Mt), Mexiko (187 Mt) und China (180 Mt) (ebd.:7). Weitere Länder mit einer Förderung größer als 100 Mt sind Venezuela, Kanada, Norwegen und die Vereinigten Arabischen Emirate. Die weltweit größten Verbraucher sind die USA (950 Mt), China (327 Mt) und Japan (244 Mt). Deutschland nimmt den Rang sechs nach Russland und Indien mit 111 Mt ein (ebd.:8).

Bis 2005 wurden ca. 139 Gt Erdöl gefördert. Die Ressourcen werden auf ca. 82 Gt geschätzt. Der depletion mid-point mit 193,5 Gt, bei dem die Hälfte des Erdöls der Welt verbraucht sein wird, wird somit bei konstantem Verbrauch in 13 Jahren erreicht werden (ebd. 5) Es gibt allerdings auch Quellen, die davon ausgehen, dass wir diesen Punkt bereits in den letzten Jahren durchlaufen haben ([www.energiekrise.de](http://www.energiekrise.de)). Hierbei ist zudem zu berücksichtigen, dass seit einiger Zeit auch keine neuen großen Vorhaben mehr identifiziert werden konnten trotz erheblicher Prospektion in allen Weltgegenden (Gerling 2005:22). Infolge dessen rücken die nicht-konventionellen Erdöle – Schweröl, Schwerstöl und Ölsande – immer mehr ins Interesse der Ölfirmen. Die Vorkommen an diesen Öltypen werden z.B. für Kanada (Ölsande) auf ca. 28 Gt und für Venezuela (Schwerstöl) auf ca. 18 Gt geschätzt, die Gesamtvorkommen auf ca. 131 Gt. Darüber hinaus gibt es noch sehr große Reserven an Ölschiefer, einem ölhaltigen Gestein. Hierbei werden die Ressourcen auf 184 Gt geschätzt (ebd.:11).

### **Wärmeerzeugung für Gebäude**

Bis Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts war Kohle noch eine wichtige Quelle für die Erzeugung von Wärme für Wohngebäude. Hohe Emissionen insbesondere an Feinstaub und dem damit oft verbundenen Smog führten zu strengeren Emissionsverordnungen, weshalb Kohle von Erdgas und Heizöl abgelöst wurden. Angesichts steigender Energiepreise verbreiten sich auch zunehmend Heizungstechnologien auf Holzbasis (Holzheizungen) und die Nutzung der Umgebungswärme (Wärmepumpen, s.u.).

Abbildung 14-25: Pelletheizung und Brennwertheizung auf Gasbasis.

Quelle: HDG Bavaria Heizsysteme ([www.hdg-bavaria.com](http://www.hdg-bavaria.com)); Viessmann ([www.viessmann.de](http://www.viessmann.de)).

In der Heiztechnologie stehen heute verschiedene Kesselarten zur Verfügung. Brennwertkessel haben den höchsten Wirkungsgrad. Durch eine sehr niedrige

Abgastemperatur von 60°C – gegenüber von weit über 100 °C bei alten Heizungen – nutzen sie die Kondensationswärme des Abgases, d.h. der darin befindliche Wasserdampf wird zu Wasser kondensiert und gibt seine Verdampfungswärme ab. Hierdurch erreichen sie Wirkungsgrade von 95 %, gemessen am Heizwert des Brennstoffes sogar von bis zu 110 %. Brennwertkessel eignen sich für Erdgas und Heizöl, da diese einen relativ hohen Wasseranteil im Abgas haben. Um die notwendige niedrige Abgastemperatur und gleichzeitig eine effiziente Verbrennung zu gewährleisten, erfolgt diese nicht in einer offenen Flamme, sondern an Brenngittern.

Eine weitere Möglichkeit zur effizienten Energieausnutzung ist die Steuerung der Vorlauf- und der Rücklaufemperatur für das Heizungswasser. Je höher ein Medium erwärmt wird, desto mehr Energie muss aufgewendet werden. Mit geeigneter Heiztechnik (Brennwertkessel, Lamellenheizkörper, Fußbodenheizung) kann eine Vorlaufemperatur von 45 Grad ausreichen. Die Rücklaufemperatur beträgt dann nur noch 25 Grad. Alte Heizungen haben Vorlauftemperaturen von durchaus 70 bis 90 °C, wenn sie Rippenheizkörper aus Gussstahl verwenden. Hierdurch ergeben sich sehr hohe Energieverluste bei der Energieerzeugung. Besser in der Energieausbeute als herkömmliche Kessel aber schlechter als Brennwertkessel sind die Niedertemperaturkessel, die zwar mit geringen Verbrennungs-, Vorlauf- und Abgastemperaturen arbeiten, aber nicht die Kondensationswärme der Abgase nutzen.

Neben der Verbrennung von fossilen Rohstoffen bieten sich erneuerbare Energiequellen zur Heizung an. Holzheizkessel können sowohl mit Pellets – aufbereiteten Holzformstückchen – als auch mit Holzhackschnitzeln oder Holzscheiten befeuert werden. Ihr Vorteil ist die Nutzung von erneuerbaren Rohstoffen, ihre Nachteile sind die derzeit noch höheren Anlagenkosten. Der Wirkungsgrad von Pelletheizungen soll bei modernen Anlagen ähnlich dem von Brennwertheizungen liegen (vgl. [www.holz-pellets-heizung.de](http://www.holz-pellets-heizung.de)), auch wenn die Abgastemperaturen deutlich höher sind.

Abbildung 14-26: Die wichtigsten Holzbrennstoffe: Holzscheite, Holzhackschnitzel und Pellets.



Quelle: [www.pixelio.de](http://www.pixelio.de) / A. Maesing; BMU; CARMEN e.V. ([www.carmen-ev.de](http://www.carmen-ev.de)).

Eine weitere Alternative besteht in der Nutzung der (erneuerbaren) Umgebungswärme mit Wärmepumpen (siehe unten). Zur Heizungsunterstützung bieten sich solarthermische Anlagen an (siehe unten). Aufgrund der geringen Sonneneinstrahlung im Winter sind solarthermische Anlagen für die alleinige Wohnraumheizung bei mittlerem Dämmstandard nicht ausreichend. Allerdings ist es möglich, bei sehr gutem Standard ein Haus in Mitteleuropa ganzjährig mit Sonnenenergie zu heizen. Hierzu speichert man die im Sommer von der Solaranlage gelieferte Energie in einen großen Wasserspeicher und entnimmt ihm im Winter die notwendige Wärme (Beispiel Jenni Solarhaus Schweiz oder Solarhaus Solifer Sachsen).

#### **14.5 Themenbereich: Windenergie**

Wind geht wie die meisten anderen regenerativen Energien auf die Sonneneinstrahlung zurück. Die Sonne erwärmt Land und Meer sowie die darüber liegenden Luftschichten unterschiedlich stark. Wesentliche Ursachen hierfür sind die Ekliptik (Bahnneigung der Erde), die Kugelgestalt der Erde und damit der unterschiedliche solare Einstrahlungswinkel in Abhängigkeit von den Breitengraden sowie die Oberflächenbeschaffenheit der Erde (Vegetation, Wüsten etc.). Die Erwärmung von Land, Luft und Meeren sowie die Übertragung der Wärme auf die Luft führt zur partiellen Ausdehnung der Luft und damit zu unterschiedlicher Luftdichte und unterschiedlichem Luftdruck. Zwischen den unterschiedlichen Zonen entsteht Wind als Ausgleichsströmung, dessen Strömung noch von der Erdrotation und andere Faktoren beeinflusst wird. Zur Darstellung im Unterricht kann aber auf das einfache Modell der unterschiedlichen Erwärmung von Land und Meer zurückgegriffen werden, da die Vorstellung des heißen Landesinnern und des kühlen Meeres einfacher zu vermitteln ist.

Abbildung 14-27: Schematische Darstellung des Wasserzyklus und eine Möglichkeit, die Entstehung von Wind darzustellen.

Quelle: NASA (<http://watercycle.gsfc.nasa.gov>); Bearbeitung Scharp.

Windenergieanlagen nutzen die Bewegungsenergie des Windes, der einen Rotor in Bewegung setzt. Der Rotor dreht über eine Welle einen Generator, der Strom erzeugt. Der Leistungsbereich der meisten neuen Windenergieanlagen liegt derzeit zwischen 2 bis 5 MW je Anlage. Im Jahre 2006 wurden ca. 30.500 GWh Strom aus Windenergie in Deutschland gewonnen. Die Windenergie ist somit die wichtigste Quelle für erneuerbaren Strom. Die Kosten für die Produktion einer Kilowattstunde Strom lagen in 2003 zwischen 5,5 und 13 Cent (BMU 2004:23). Mit zunehmender Anlagengröße wird dieser Wert noch sinken.

Nach Berechnungen von Betz und Glauert liegt der optimale Wirkungsgrad von Windkraftmaschinen bei 59,3 %. Dieser (theoretische) Wert wird erreicht, wenn der Wind auf 1/3 seiner ursprünglichen Geschwindigkeit abgebremst wird. Praktisch treten noch weitere Verluste auf z.B. durch Reibung und bei der Energieumformung, d.h. der

tatsächliche optimale Wirkungsgrad von modernen Anlagen liegt bei ca. 50 %. Bei Windenergieanlagen wird in Anlehnung an die Luftfahrttechnik anstelle des Wirkungsgrades üblicherweise vom Leistungsbeiwert gesprochen.

Abbildung 14-28: Prinzipieller Aufbau einer Windenergieanlage.

Quelle: Bundesverband Windenergie e.V. ([www.wind-energie.de](http://www.wind-energie.de))

Geschichtlicher Ausgangspunkt waren die Widerstandsläufer, die auf das Persische Windrad von 700 n. Chr. zurückgehen. Hierbei befinden sich aufrecht stehende Flügel an einer vertikalen Achse, wobei die Flügel einen Widerstand zum Wind bieten. Eine solche freistehende Anlage würde sich kaum bewegen, da sich die Windkräfte an den jeweils sich gegenüberstehenden Flügeln ausgleichen. Um dies zu verhindern, kann die eine Seite des Windrades durch eine Mauer abgeschattet werden. Derartige Anlagen haben einen theoretischen Wirkungsgrad von nur 16 %, denn ihre Flügel laufen vom Wind weg. Die auf die Flügel treffende relative Windgeschwindigkeit ist daher geringer als die tatsächliche.

Abbildung 14-29: Eine alte Windmühle und eine neue Windenergieanlage im Vergleich.

Quelle: Bundesverband Windenergie e.V.; BMU.

Eine weiterentwickelte - und heutzutage gängige Form - sind die Auftriebsläufer, die nicht den Winddruck, sondern die am Flügel ebenfalls auftretende Auftriebskraft ausnutzen. Die Auftriebskraft kommt durch unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten an der Vorderseite (Oberseite) und der Rückseite (Unterseite) zustande. Diese ergibt sich aus der gebogenen Oberseite und der flacheren Unterseite wie bei einem Flügel. Im Ergebnis führen die unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten zu einem Sog an den Flügeln, der auf dem einen Blatt aufwärts und auf dem anderen Blatt „gegenüber“ abwärts gerichtet ist. Hierdurch haben moderne Windenergieanlagen einen Leistungsbeiwert von bis zu 0,5. Um die Auftriebskraft bei gleicher Windstärke zu steigern, müssen vor allem die von den Flügeln überstrichenen Flächen vergrößert und Energieverluste vermieden werden. Durch größere Rotoren, geringere Massen und effizientere Technik kann man somit an gleichen Standorten größere Strommengen gewinnen.

Abbildung 14-30: Schematische Darstellung zur Erläuterung der Entstehung der Auftriebskraft.

Quelle: Scharp und Schmidhals 2007c.

In Europa sind die Gegenden mit mittleren Windgeschwindigkeiten von 5 m/s pro Jahr oder mehr vor allem an den Küsten anzutreffen, in Deutschland also in Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein. Die fortschreitende Technik ermöglicht den Einsatz von Windenergieanlagen aber auch schon ab einer Windgeschwindigkeit von drei Meter pro Sekunde und damit im Binnenland.

Abbildung 14-31: Entwicklung der Größe und der Leistung von Windenergieanlagen.

Quelle: Bundesverband Windenergie e.V. ([www.wind-energie.de](http://www.wind-energie.de))

Windenergie ist aufgrund einer gezielten Förderpolitik der Bundesregierung neben der Fotovoltaik, die sich am schnellsten entwickelnde erneuerbare Energie in Deutschland. Mit der aktuellen Gesamtleistung ist Deutschland weltweit der größte Windenergienutzer. Allerdings hat sich eine intensive Diskussion über den weiteren Ausbau im Binnenland entwickelt. Große Hoffnungen werden deshalb auf die sogenannten Offshore-Windparks auf See gesetzt, da hierbei Eingriffe in Umwelt und Landschaft minimiert werden und gleichzeitig auch die Windgeschwindigkeiten höher und konstanter sind. Das BMU schätzt hierbei, dass Windkraftparks mit insgesamt ca. 25.000 MW Leistung vor den Küsten Deutschlands errichtet werden können (BMU 2002:30).

Abbildung 14-32: Windpark Nysted Offshore in Dänemark mit 72 Windenergieanlagen und einer Leistung von 165 Megawatt.

Quelle: Siemens ([www.siemens.de](http://www.siemens.de)).

## 14.6 Themenbereich: Wasserkraft

Wasserkraft wurde nach historischen Aufzeichnungen erstmals in Griechenland 300 v. Chr. benutzt. Mit ihr wurden über Jahrhunderte traditionell Mühlen und Pumpen betrieben. Wasserkraft konnte jedoch nicht gespeichert oder transportiert werden, so dass sie immer am Entstehungsort genutzt werden musste. Mit dem Beginn der industriellen Entwicklung wurden die Energieerzeugungs- und Verteilungssysteme jedoch ausgefeilter, so dass z.B. die im 17. Jh. errichtete Brunnenanlage von Versailles mit einer Wasserkraftleistung von ca. 56 kW betrieben wurde. Mit der Erfindung der Turbine wurde auch die Nutzung der Wasserkraft effizienter, die von ca. 20 % ausgehend bis Mitte des 19. Jahrhundert einen Wirkungsgrad von 60-70 % erreichte. Moderne Francis- oder Kaplan-turbinen erreichen heute einen Wirkungsgrad bis zu 95 % (Fritz und Henry 1984).

Abbildung 14-33: Murecker Schiffsmühle auf der Donau in Österreich – ein Beispiel für schwimmende Mühlen.

Quelle: [www.pixelio.de](http://www.pixelio.de) / Sabine Jaunegg.

Die Nutzung der Wasserkraft ist heutzutage weit verbreitet. Nach der Biomasse ist sie weltweit gesehen die derzeit wichtigste erneuerbare Energiequelle, da ca. 18 % des weltweit erzeugten Stroms aus Wasserkraftwerken stammt (BMU 2002:36). Länder mit hohem Anteil an Wasserkraft bei der Stromerzeugung sind diejenigen mit Gebirgsregionen, wo Wasser mit großen Höhendifferenzen und daraus resultierenden hohen Drücken und Strömungsgeschwindigkeiten genutzt werden kann und zudem gute Speichermöglichkeiten in Talsperren zur Verfügung stehen. In Europa sind dies Norwegen, das über 90 % seiner elektrischen Energie aus Wasserkraft gewinnt, Österreich (72 %) und die Schweiz (70 %). In Deutschland wurden in 2006 ca. 21.600 GWh Strom aus Wasserkraft gewonnen. Damit liegt die Wasserkraft inzwischen deutlich hinter der Windenergie mit ca. 30.500 GWh (BMU 2007:5). Die Kosten für die Produktion einer Kilowattstunde lagen in Großanlagen in 2003 zwischen 3 und 10 Cent (BMU 2004b:30). Damit ist die Wasserkraft eine der kostengünstigsten Möglichkeiten zur Produktion von Strom.

Abbildung 14-34: Die Hohewartetalsperre – ein Beispiel für ein Speicherwasserkraftwerk.

Quelle: [www.pixelio.de](http://www.pixelio.de) / Marco Bernebeck.

Die Kraftwerke zur Erzeugung von Strom durch Wasserkraft lassen sich in Speicher- und Laufwasserkraftwerke unterteilen. Laufwasserkraftwerke nutzen die Strömungsenergie des Wassers aus. Hierbei können Laufwasserkraftwerke in solche an Flüssen – mit großer Wassermenge aber geringem Gefälle – und solche an (Gebirgs-)Bächen – mit geringer Wassermenge aber mit hohem Gefälle – unterschieden werden. Bei den Speicherkraftwerken werden die relativ geringen Wassermengen von Bächen in Talsperren gespeichert, um dann unter hohem Druck durch Turbinen geführt zu werden. In Deutschland überwiegt diese letztere Form der Wasserkraftnutzung. In verschiedenen anderen Ländern werden auch große Flüsse aufgestaut wie z.B. in Ägypten (Assuan Staudamm) oder China (Drei-Schluchten-Staudamm).

Abbildung 14-35: Prinzip des Speicher- und Laufwasserkraftwerkes.

Quelle: BINE 2003a.

In großen Speicherkraftwerken werden heutzutage Gesamtwirkungsgrade von bis zu 95 % erreicht, während bei Kleinanlagen nur von 70 % ausgegangen werden kann. Die

Leistung von Wasserkraftwerken reicht von einigen Kilowatt für Inselversorgungen im Hochgebirge über einige Megawatt zur Netzunterstützung bis hin zu großen Speicher- und Laufwasserkraftwerken im Gigawatt-Bereich. In Deutschland gibt es zwei Laufwasserkraftwerke mit einer Leistung von größer 100 Megawatt in Iffezheim und in Ryburg-Schwörstadt (beide am Rhein). Die Rappbode-Talsperre im Harz hat beispielsweise eine installierte elektrische Leistung 5,5 MW, die Edertalsperre von 20 MW und die Bleilochtalsperre an der Saale von 80 MW. Die größten Wasserkraftwerke in Deutschland sind die beiden Pumpspeicherwerke Godisthal und Markersbauch mit 1.060 bzw. 1.050 MW. Pumpspeicherwerke pumpen bei einem Überschussangebot an elektrischem Strom (z.B. in der Nacht) Wasser auf ein höheres Niveau in einen Stausee. Sie dienen in der Energieversorgung deshalb vor allem als Speicher, dessen Energie in Zeiten hoher Nachfrage wieder genutzt werden kann, indem das Wasser wieder talwärts durch die Turbinen strömt. Wesentlich größere Talsperren wurden jedoch in anderen Ländern gebaut. Beispiele hierfür sind der Hoover-Damm in den USA mit 2.000 MW, der Atatürk-Staudamm in der Türkei mit 2.400 MW, der Sajano-Schuschensker Stausee in Russland mit 6.400 MW, der Itaipu-Staudamm in Brasilien und Paraguay mit 14.000 MW und der Drei-Schluchten-Staudamm in China mit 18.200 MW. Diese Kraftwerke sind weltweit die größten Kraftwerke überhaupt.

Abbildung 14-36: Das Laufwasserkraftwerk Böfing-Halde an der Donau mit einer Leistung von 8.000 Kilowatt.



Quelle: Siemens ([www.siemens.de](http://www.siemens.de)).

Weitere Möglichkeiten zur Nutzung der Wasserkraft sind Strömungs-, Gezeiten- und Wellenkraftwerke. Gezeitenkraftwerke finden sich in Küstengebieten mit hohem Tidenhub z.B. in Frankreich oder England. Strömungsturbinen, die durch Flutbewegungen oder eine Meeresströmung angetrieben werden, sind derzeit ebenso wie Wellenkraftwerke, die die Hubbewegung der Wellen in Strom umsetzen, in der Erprobung. Derartige Kraftwerke könnten erst mittelfristig einen Baustein für eine nachhaltige Energieversorgung spielen.

In Mitteleuropa und insbesondere in Deutschland ist in weiten Bereichen die großtechnische Nutzung der Wasserkraft ausgereizt. Nur für Kleinwasserkraftwerke besteht in Deutschland noch ein Ausbaupotential, welches auf 500 bis 800 MW für die nächsten Jahre geschätzt wird (BMU 2002:36). Wo ein weiterer Ausbau von Großanlagen technisch möglich wäre, würde er große Eingriffe in Natur und Landschaft bedeuten und/oder eine unvertretbare Konkurrenz mit anderen Nutzungen der betroffenen Gewässer oder des zu überschwemmenden Landes bedeuten.

#### **14.7 Themenbereich: Sonnenenergie**

Das Thema Energie kann besonders gut über die Behandlung der Sonne und ihres Sonnenlichts eingeführt werden. Sonnenlicht ist erfahrbar: man kann es sehen und man kann die Wärme fühlen. Mit dem Sonnenlicht kann eine Vielzahl von Experimenten durchgeführt werden.

- Das Sonnenlicht kann umgelenkt und zurückgestrahlt werden mit Spiegeln (Reflexion);
- das Sonnenlicht kann Gegenstände erwärmen (Absorption);
- das Sonnenlicht kann mit Lupen oder Fresnell-Linsen gebündelt werden und
- der gebündelte Sonnenstrahl kann Gegenstände entzünden.

Die Sonne ist die bedeutendste Quelle für erneuerbare Energie. Sie strahlt mit  $1,5 \cdot 10^{18}$  kWh pro Jahr eine Energiemenge auf die Erde ab, die um mehr als 11.000-mal über dem menschlichen Energieverbrauch liegt (BINE 2003b:1). Wenn es gelänge, nur 1 Promille dieser Sonnenenergie in nutzbare Energie zu überführen, würde die nachhaltige Energiewirtschaft unmittelbar Realität werden. In unseren Breiten beträgt die Leistung der Globalstrahlung im Sommer kurzzeitig bis zu  $1,2 \text{ kW/m}^2$  horizontale Fläche die gelieferte Energiemenge beträgt um die  $5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{d}$ . Über das Jahr hinweg summiert sich die Sonnenstrahlung in unseren Breiten auf eine mittlere Energie von 1.000 kWh (pro Quadratmeter), welches dem Energieinhalt von 100 l Heizöl entspricht (BINE 2003b:2). Selbst bei uns in den gemäßigten Breiten liegt die pro Jahr eingestrahlte Energie um ca. den Faktor 80 über dem Bedarf an Primärenergie.

Abbildung 14-37: Die Sonne mit einer Sonneneruption und den Sonnenflecken (helle Bereiche).

Quelle: NASA ([www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)).

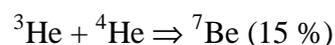
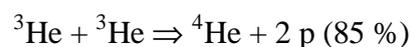
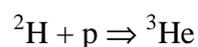
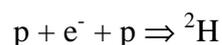
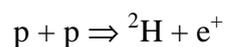
In der Sahara ergibt sich die pro Jahr eingestrahlte Energie im Mittel zu ca. 2500 kWh/m<sup>2</sup> horizontale Fläche. Die Leistung der Solarstrahlung unterscheidet sich nicht von der Leistung in Deutschland. Der Unterschied liegt allein in der eingestrahlten Energie.

Im Unterschied zur Energieerzeugung bzw. -umwandlung bei den erfahrbaren Energieträgern ist die Energieumwandlung in der Sonne kaum vorstellbar. Die Sonne besteht hauptsächlich aus Wasserstoff. Sie hat einen Durchmesser von 1,4 Mio. km (Erde: ca. 12.000 km, 109-facher Erddurchmesser) und hat eine Masse von  $2 \cdot 10^{30}$  kg (333.000-fache Erdmasse). Sie ist im Jahresmittel ca. 150 Mio. km – eine astronomische Einheit – von der Erde entfernt. Sie besteht zu ca. 73,5 % aus Wasserstoff und zu ca. 25 % aus Helium. Die übrigen 1,5 % sind schwere Elemente bis hin zum Eisen. Die Energie der Sonne stammt aus einem Fusionsprozess. Einen Fusionsprozess zu erklären ist sehr schwierig. Am ehesten kann es vielleicht mit dem Zusammendrücken von zwei unterschiedlich farbigen Knetmassen versucht werden, bei dem zwei Knetkugeln die Wasserstoff(isotope) darstellen.

Die Kernfusion in der Sonne ist weitgehend bekannt, birgt jedoch noch ein ungelöstes kosmologisches Problem, da die Fusion über Wasserstoffisotope abläuft. Isotope sind Elemente mit einer unterschiedlichen Neutronenzahl. Wasserstoff selbst hat kein Neutron, sondern nur ein Proton im Kern. Deuterium ist Wasserstoff mit einem Neutron, Tritium ist Wasserstoff mit zwei Neutronen. Die Kernfusion der Sonne basiert auf der Verschmelzung dieser Wasserstoffisotope. Welche Rolle der Wasserstoff spielt, ist ebenso ungewiss wie die Herkunft des Deuteriums. Derzeit geht eine Lehrmeinung davon aus, dass Deuterium sich bei der Entstehung des Universums gebildet hat.

Die Strahlungsleistung der Sonne stammt aus Kernfusionsprozessen. Hierbei werden über verschiedene Zwischenreaktionen vier Wasserstoffkerne zu einem Heliumkern verschmolzen. In der Sonne läuft die Fusion auf mehreren möglichen Wegen ab. Im sogenannten pp-Zyklus entsteht zunächst aus Protonen und Wasserstoff Deuterium. Anschließend bildet sich aus Deuterium und Protonen durch Fusion ein Heliumisotop. Dieses reagiert zumeist mit sich selbst zum Helium. Hierbei werden große Mengen an Energie freigesetzt. Voraussetzung für diese Fusion ist – aufgrund der Abstoßung der Kerne – der große Druck und die hohe Temperatur, die im Sonneninnern herrschen.

Tabelle 10: Wesentliche Reaktionsgleichungen für die Fusionsprozesse in der Sonne.



Quelle: Hampel 2002 (p = Proton, H = Wasserstoff, He = Helium, Be = Beryllium, hochgestellte Zahlen = Nukleonenzahl,  $^2\text{H}$  = Deuterium)

Durch die Erfindung der Kernspaltung - (Kernspaltung von Uran) zur Erzeugung von Strom in Atomkraftwerken als auch durch die Atom- (Kernspaltung von Uran) und die Wasserstoffbombe (Fusion von Deuterium und Tritium) hat sich der Mensch die Kern- und Fusionsenergie zu nutze gemacht. Es ist schwierig zu beurteilen, in wie weit man diese Themen auch anschneiden bzw. vermeiden soll.

Aufgrund der Fusionsreaktionen in der Sonne werden ungeheure Mengen an Energie freigesetzt. Die Sonne emittiert in einem breiten Frequenzspektrum mit Röntgenstrahlung, UV-Strahlung, sichtbarem Licht und Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung). Das Strahlungsmaximum der Sonne liegt aufgrund der Oberflächentemperatur der Sonne von ca.  $6.000^\circ\text{C}$  im gelb-grünen Bereich. Zusammen mit den blauen und roten Anteilen empfinden wir das Sonnenlicht insgesamt als weiß. UV-Strahlung, Infrarot und Röntgenstrahlung werden größtenteils von der Atmosphäre abgeschirmt. Die harten und kurzwelligen Strahlen (Röntgenstrahlen) verursachen die Polarlichter, indem sie Luftmoleküle ionisieren und zum Leuchten anregen. Die folgende Abbildung zeigt das Gesamtbudget der Strahlung, die die Erde von der Sonne erfährt:

Abbildung 14-38: Energiebilanz der Solarstrahlung.

Quelle: NASA (<http://eosweb.larc.nasa.gov/EDDOCS/images/Erb/components2.gif>).

Das Sonnenlicht ist essentiell für das Leben auf der Erde. In der Photosynthese nehmen Pflanzen das Sonnenlicht auf und erzeugen zum einen Biomasse und zum anderen Sauerstoff. Die Photosynthese und das Sonnenlicht sind somit unabdingbar für das Leben der Erde.

Sonnenlicht wirft jedoch in der Behandlung ein weiteres Problem auf. Newton gründete und belegte seine Theorie von Licht als Teilchen in seiner geometrischen Optik, da Licht sich wie eine „Billardkugel“ gegenüber Spiegeln verhält. Fresnell und Young zeigten in ihren Interferenzexperimenten, dass sich Licht wie eine Welle verhält, da es gestreut und überlagert werden kann. Maxwell formulierte dann die Wellengleichungen und fundierte darüber hinaus die elektromagnetische Natur des Lichts. Einstein zeigte dann, dass Licht aus Photonen (Teilchen) mit definiertem Energieinhalt bestehen muss. Broglie konnte darauf hin zeigen (berechnen), dass jedes Teilchen eine Wellennatur hat. Im Ergebnis hat sich daraus der Welle-Teilchen Dualismus ergeben. Licht kann somit als Welle (Strahlung) als auch als Teilchen (Photon) behandelt werden. Die Auffassung als Strahlung kann in Zusammenhang mit anderen Strahlungsarten (Röntgenstrahlung beim Röntgen, „Funkstrahlung“ beim Radio hören, zur Übertragung von Fernsehbildern oder bei mobilen Telefonen) von Vorteil sein, da wir Sonnenlicht wie anderen Strahlungsarten nicht „anfassen“ können. Die Auffassung von Sonnenstrahlung als

Teilchen ist bei Behandlung der Absorption von Vorteil, bei der Teilchen aufeinander einwirken und Gegenstände im Sonnenlicht erwärmt werden.

Abbildung 14-39: Schematische Darstellung des Sonnenlaufs mit den unterschiedlichen Höhen an verschiedenen Jahreszeiten in Berlin.

Quelle: DGS.

Ein weiteres Problem ist die Thematisierung von Licht und Wärme. Ein Standardatz im Unterricht ist gewiss, dass „die Sonne uns Licht und Wärme“ spendet. Dieser Satz ist nur bedingt richtig. Unmittelbar spendet die Sonne Licht, das von den Molekülen unserer Haut absorbiert wird und diese zu Schwingung anregt, was wir als Wärme wahrnehmen. Auch der größte Teil der Umgebungswärme geht auf diesen Prozess zurück.

#### **14.8 Themenbereich: Solarthermie (Sonnenwärme)**

Wenn Licht auf einen Körper scheint, absorbiert dieser einen Teil der Energie und erwärmt sich. Diesen Sachverhalt macht man sich in solarthermischen Anlagen zu Nutze, indem das Licht "eingefangen" und ein Trägermedium wie z.B. Wasser erwärmt wird. Zur Vermeidung von Frostschäden zirkulieren in den Anlagen zumeist Mischungen aus Wasser und Frostschutzmittel wie z.B. Glykol. Solarthermie wird vor allem für die Erzeugung von Warmwasser und Heizwärme genutzt. Der Energieertrag solarthermischer Anlagen liegt zur Zeit in Deutschland bei ca. 3.273 GWh pro Jahr (BMU 2007:11). Ihr besonderer Vorteil ist, dass sie nahezu überall auf Gebäuden und Freiflächen installiert werden können und die Energieproduktion in unmittelbarer Nähe zum Verbrauch stattfinden kann. Die Verluste sind somit sehr gering. Die Kosten für die Produktion einer Kilowattstunde Wärme lag in 2003 zwischen 10 und 25 Cent (BMU 2004b: 45). Bei der Solarthermie lassen sich drei Nutzungsarten unterscheiden:

Die häufigste Form sind **Sonnenkollektoren für den Niedertemperaturbereich**, die vor allem der Warmwassererzeugung dienen (BINE 2003b:3; BMU 2004b:45ff). Die einfachsten Typen sind Absorber, bei denen Wasser durch Schläuche oder schwarze Kunststoffmatten fließt, um z.B. Wasser für ein Freibad zu erwärmen. Die erzielbaren Temperaturendifferenzen oberhalb der Umgebungstemperatur liegen hierbei je nach Sonneneinstrahlung bei ca. 20 Grad.

Höhere Brauchwassertemperaturen nutzt man in Flachkollektoren. Dies sind in einem gedämmten Gehäuse mit einer transparenten Abdeckung versehene Röhrensysteme, die vor allem auf Dächern von Wohngebäuden installiert werden. Ihr Wirkungsgrad liegt bei 50 bis 60 % und mit ihnen können Temperaturen von 60 bis 90 Grad erzielt werden. Noch höhere Wirkungsgrade erreichen Vakuumröhrenkollektoren, bei denen die Röhren in Anlehnung an das Prinzip der Thermoskanne durch ein Vakuum isoliert und somit die Wärmeverluste minimiert werden.

Abbildung 14-40: Vakuumröhrenkollektoren.

Quelle: Viessmann ([www.viessmann.de](http://www.viessmann.de)).

Das Prinzip der Solarkollektoren ist einfach zu erklären. Mit einem Kollektorfeld wird hierbei Sonneneinstrahlung absorbiert und das Trägermedium erhitzt. Das heiße Trägermedium fließt in einen Wärmetauscher (Wasserspeicher), in dem es Trinkwasser erwärmt. Das kalte Trägermedium wird dann im Kreis wieder in das Kollektorfeld gepumpt. In den Heizungsübergangszeiten Herbst und Frühjahr kann die Solarthermie auch zur Heizungsunterstützung dienen.

Abbildung 14-41: Nutzung des Sonnenlichts in einer solarthermischen Anlage.

Quelle: DGS.

**Thermische Sonnenkraftwerke** werden heutzutage vor allem in Ländern mit hoher Sonneneinstrahlung für die Stromproduktion eingesetzt (BMU 2004b:39). Es gibt inzwischen in Spanien oder auch den USA Anlagen, die im Dauerbetrieb seit Beginn der 90-er Jahre (USA) ohne Probleme laufen. Bei thermischen Sonnenkraftwerken wird mit Hilfe von Parabolspiegeln die Sonnenstrahlung gebündelt und entweder auf einen zentralen Wärmetauscher (Turmkraftwerke, Paraboloidanlagen) oder mittels Spiegeln (Rinnenkollektoren) auf ein Röhrensystem ausgerichtet. Bei den Rinnenkollektoren wird in den Rinnen z. B. Öl auf 400 Grad erhitzt. Über einen Wärmetauscher wird Dampf erzeugt, der eine Turbine zur Stromproduktion antreibt. Bei den Paraboloidanlagen wird z.B. Luft auf bis zu 900 Grad erhitzt, mit der eine Turbine direkt angetrieben wird. Bei Aufwindkraftwerken wird Luft unter Glasdächern erwärmt, die durch einen Kamin aufsteigt und dabei durch eine Turbine geleitet wird.

Abbildung 14-42: Thermische Solarkraftwerke in Almeria (Spanien, linkes Bild) und in den USA (rechtes Bild).



Quelle: DGS.

Eine weitere Möglichkeit ist die **passive Sonnenenergienutzung** für die Erwärmung von Wohnungen, indem ein Wohngebäude so konstruiert wird, dass es einen großen Anteil der Sonnenenergie aufnimmt und als Wärme im Gebäude speichert (BMU 2004b:51ff.). Hierzu gehören eine günstige Orientierung des Gebäudes auf dem Grundstück sowie der intelligente Einsatz von Fenstern und Glasvorbauten.

Abbildung 14-43: Südorientierung eines Hauses mit großen Fensterflächen. Im Sommer verschattet der Balkon und die breite Traufe (Dachüberstand) die Fenster, im Winter belichtet die tiefstehende Sonne die Fenster.

Quelle: Scharp et al. 2007g.

Andere technische Lösungen wie z. B. Trombe-Wand<sup>7</sup>, lichtdurchlässige Wärmedämmung und thermische Speicherelemente sind vielfach noch in der Erprobungsphase oder sind vor allem bei Häusern in Leichtbauweise, wie sie beispielsweise in den USA üblich sind, sinnvoll zu nutzen. Notwendig ist meist eine Regeleinrichtung, um eine Überhitzung in den Sommermonaten zu verhindern.

In 2005 wurden ca. 3.000 GWh und in 2006 ca. 3.300 GWh Wärme mit Hilfe der Solarthermie gewonnen. Ende 2006 waren ca. 8 Millionen Quadratmeter Kollektorflächen installiert. Hierbei ist zu beobachten, dass solarthermische Anlagen auch zunehmend zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden (BMU 2007:5). Diese Anlagen haben den großen Vorteil, dass mit ihrer Hilfe der Heizkessel in den

---

<sup>7</sup> Die Trombe-Wand ist eine Art vorgehängter Fassade vor einer Verglasung aus einem dunkel gestrichenen Material. Hinter der Wand entsteht warme Luft, die über Lüftungseinlässe in den Raum dahinter eindringen kann.

Sommermonaten u. z. T. in den Übergangszeiten ganz abgeschaltet werden kann, weil er nicht mehr für die Warmwassererzeugung benötigt wird. Gerade in dieser Zeit arbeiten Heizkessel häufig mit hohen Verlusten.

#### 14.9 Themenbereich: Fotovoltaik (Solarstrom)

Eine weitere Möglichkeiten zur Nutzung der Sonnenenergie ist die Fotovoltaik. Fotovoltaik ist eine Technik, die die direkte und die diffuse Sonneneinstrahlung zur Erzeugung von Strom nutzt. Sie ist überall einsetzbar in Deutschland. Die Anlagenleistung kann sehr variieren von wenigen Watt (stationäre Anlagen außerhalb des Stromnetzes z.B. zum Betrieb von Parkscheinautomaten) über 2 bis 50 Kilowatt (Anlagen auf Hausdächern und an Fassaden) bis zu einigen Megawatt (auf großen exponierten Freiflächen). Die Kosten für die Produktion einer Kilowattstunde Strom betragen in 2003 zwischen 50 und 80 Cent (BMU 2004b:34). Größere Anlagen ab 10 kW haben heutzutage (2006) Stromgestehungskosten knapp unter 50 Cent.

Das Kernstück einer Fotovoltaikanlage sind die Solarzellen in den Solarmodulen, die sowohl direktes als auch diffuses Sonnenlicht aufgrund des Photoelektrischeneffektes in Strom umwandeln. Der produzierte Gleichstrom wird mit Hilfe von Wechselrichtern in Wechselstrom überführt und kann in das Stromnetz eingespeist werden. Ein Zähler ermittelt die produzierte Strommenge.

Abbildung 14-44: Das linke Bild zeigt eine Solarzelle. Die Streifen auf der Solarzelle sind Leitungen, die den Strom aus der Zelle aufnehmen und weiterleiten. Das rechte Bild zeigt Solarmodule auf einem Dach. Das untere Bild zeigt eine Solarsiedlung.



Quelle: BMU / H.C. Oed / DGS.

Solarzellen sind Halbleiter, die zumeist auf Siliziumbasis hergestellt werden und unterschiedlich leitende Schichten enthalten. Halbleiter sind Materialien, die aufgrund der Einwirkung von Licht oder Wärme leitfähig werden (Eigenleitung). Zur Erzeugung von Strom lässt sich die Eigenleitung nicht einsetzen. Die Solarzelle besteht aus einer dünnen (ca. 0,002 mm) oberen n-Schicht, die so heißt weil sie z.B. mit Phosphor-Atomen dotiert ist, die leicht Elektronen abgeben können<sup>8</sup> und aus einer p-Schicht, die mit z.B. Bor-Atomen dotiert ist, die zusätzliche Elektronen aufnehmen können<sup>9</sup>, wobei positive „Löcher“ als Ladungsträger entstehen. An der Grenze der beiden Schichten (p-n-Übergang) entsteht ein Gebiet mit wenig freien Ladungsträgern. Dieses Gebiet wird als Raumladungszone bezeichnet. Gleichzeitig baut sich eine innere Spannung am p-n-Übergang auf, die der Bewegung der Ladungsträger entgegengerichtet ist. Wenn jetzt Sonneneinstrahlung weitere Elektronen aus dem Silizium freisetzt (durch die Energiezufuhr werden die Elektronenbindungen aufgebrochen), so werden diese, durch die innere Spannung am p-n-Übergang getrennt, zur n-Schicht transportiert. Die entstehenden Löcher wandern in die entgegengesetzte Richtung, das p-Gebiet. Dieser Vorgang wird photoelektrischer Effekt genannt. An den außenliegenden elektrischen Kontakten liegt nun eine Spannung an. Wird der Stromkreis geschlossen, fließt ein Strom. Der so gewonnene Strom kann entweder als Gleichstrom z. B. für die Aufladung von Batterien oder – unter Zuhilfenahme eines Wechselrichters – in Wechselstrom überführt und in das Stromnetz gespeist werden.

Abbildung 14-45: Prinzip der Solarzelle.

Quelle: Hahn-Meitner-Institut.

Derzeit gibt es drei Typen von Silizium-Solarzellen: monokristallin, polykristallin und amorph. Diese Typen werden aufgrund der Kristallstruktur des Trägermaterials Silizium unterschieden. Die Effizienz von monokristallinen Zellen liegt bei 14 bis 18 % (Labor: 24 %), bei polykristallinen Zellen bei 13 bis 15 % (Labor: 18 %) und bei amorphem Silizium bei 5 bis 9 % (Labor: 13 %, alle Daten gemäß Solarserver o.J.). Für spezielle Zellen wurden aber schon in 2003 auch höhere Wirkungsgrade bis zu 30 % im Laborversuch erreicht (BMU 2004b:3). Aufgrund der hohen Kosten bei der Produktion von monokristallinen Siliziumzellen wird intensiv in der Dünnschichttechnologie bzw. an amorphen Solarzellen geforscht. Trotz des schlechteren Wirkungsgrades ist dies gerechtfertigt, da zum einen der Energieaufwand zur Herstellung der Zellen geringer ist und zum anderen z.B. Dachfläche in ausreichender Menge überall in der Welt vorhanden ist. Die Kosten für die Gewinnung von Strom sind bei der Fotovoltaik jedoch insgesamt sehr hoch im Verhältnis zu anderen erneuerbaren Energien.

---

<sup>8</sup> Ursache ist hierbei die vierwertige Bindigkeit des Siliziums, wohingegen Phosphor ungerade vier Bindungen eingeht.

<sup>9</sup> Bor ist dreiwertig und kann deshalb keine gleichwertigen Bindungen mit dem Silizium eingehen.

Die Nutzung der Fotovoltaik als erneuerbare Energiequelle steckt derzeit noch in den Anfängen, entwickelt sich aber sehr hoffnungsvoll. Wurden in 1990 nur ca. 1 GWh Endenergie aus Fotovoltaikanlagen in Deutschland gewonnen, so lag diese Zahl Ende 2003 schon bei 323 GWh (ohne Inselanlagen, BMU 2004a:12f.). In 2006 stieg die solare Stromerzeugung auf ca. 2.000 GWh (BMU 2007:11).

Abbildung 14-46: Innovative Inselanlage – der Roboter Pathfinder auf dem Mars.

Quelle: Nasa (<http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/>).

#### **14.10 Themenbereich: Bioenergie**

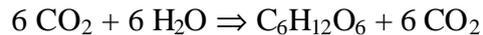
Bevor sich im Zuge der Industrialisierung die Nutzung der fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas für die Energiegewinnung durchsetzte, war die Biomasse v.a. in Form von Brennholz die wichtigste Energiequelle. In vielen Entwicklungsländern hat Biomasse auch heute noch diesen Status, so dass sie weltweit gesehen die am häufigsten genutzte Form der erneuerbaren Energien ist. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass insbesondere in den Entwicklungsländern ihre Nutzung aufgrund des Raubbaus an den Wäldern teilweise als nicht-zukunftsfähig gilt (BMU 2004a:31 und 35.). Das gleiche gilt für die wachsenden Monokulturen zur Palmölproduktion, die die letzten Regenwaldgebiete der Erde bedrohen .

Abbildung 14-47: Wichtige Quelle für Biomasse: Brennholz in Afrika; Holzhackschnitzel, Scheitholz; Zuckerrüben; Zuckerrohr; Ölpalme; Weizen Raps; Mist und Holzpellets.



Quelle: Michael Knoll; BMU; [www.pixelio.de](http://www.pixelio.de) / A. Maesing; Südzucker AG; [www.pBase.com](http://www.pBase.com) / Khen Kaeoh ; [www.pBase.com](http://www.pBase.com) / Marc Andeson; [www.aboutpixel.de](http://www.aboutpixel.de) / nomis; BMU; [www.pixelio.de](http://www.pixelio.de) / [typecosmic](http://typecosmic.com). CARMEN e.V. ([www.carmen-ev.de](http://www.carmen-ev.de))

Biomasse zählt zu den erneuerbaren Energien, da bei ihrer Verbrennung nur soviel Kohlendioxid entsteht, wie die Pflanzen der Luft zuvor entnommen haben. Die Nutzung der Biomasse stellt also nur einen Umweg des Kohlenstoffkreislaufs dar, der ansonsten durch die natürliche Zersetzung geschlossen würde. Biomasse wird durch Fotosynthese erzeugt, bei der das Sonnenlicht die Energiequelle für die Umwandlung von Kohlendioxid und Wasser in Zucker ist, welcher wiederum über viele Reaktionen z.B. in Stärke und Lignin („Holz“) umgewandelt wird.



Als Biomasse zur Energieerzeugung kann vieles eingesetzt werden wie z.B. Holz, Zucker- und Stärkepflanzen, Ölpflanzen, organische Reststoffe oder Bioabfall. Die klassische Form der Nutzung von Biomasse ist die Verbrennung z.B. zur Beheizung von Eigenheimen. Mit Anlagen, die z.B. Holzpellets oder -hackschnitzel verwenden, können auch große Gebäude beheizt werden.

Abbildung 14-48: Brennkammer einer Pelletheizung und eine Holzhackschnitzelheizung.

Quelle: Viessmann ([www.viessmann.de](http://www.viessmann.de)); HDG Bavaria Heizsysteme ([www.hdg-bavaria.com](http://www.hdg-bavaria.com)).

Moderne Heizkraftwerke, die Strom und Wärme erzeugen, können darüber hinaus aufgrund einer technisch optimierten Rauchgasreinigung auch vielfältige Abfälle wie z.B. Bauholz nutzen.

Abbildung 14-49: Biomassekraftwerk Malchin für Strom und Wärme mit einer Leistung von 10 Megawatt. Das Biomassekraftwerk kann auch mit Lacken und Farben behandeltes Altholz sowie Gartenabfälle und Zitronenschalen aus einer Fabrik nahe dem Kraftwerk verbrennen.

Quelle: Siemens (Kraftwerk, [www.siemens.de](http://www.siemens.de)).

Die Leistungen der Verbrennungsanlagen sind sehr unterschiedlich und können zwischen 1 kW (kleine Kaminöfen mit Pelletbeheizung) bis zu 50 MW (Holz-Heizkraftwerk) liegen. Die Kosten für die Produktion von Wärme lagen 2003 bei 1 bis 10 Cent pro kWh, für Strom zwischen 5 und 30 Cent (BMU 2004b:55). Bei Holzheizkraftwerken liegt die elektrische Leistung zumeist in der Größenordnung von 7,5 bis 20 MW elektrischer Leistung. Die Wärmeleistung liegt darüber. Als problematisch für große Kraftwerke kann sich erweisen, dass die Anlagen zum einen Holz in sehr großen Umfange benötigen. Moderne Heizkraftwerke benötigen sehr große Mengen an Holz. Das Kraftwerk Berlin-Rudow beispielsweise hat 20 MW elektrische und 60 MW thermische Leistung. Der Brennstoffbedarf liegt bei ca. 200.000 t (Alt)-Holz pro Jahr (Lamp o.J.). Ein Problem von Holzheizkraftwerken ist, dass die thermische Leistung der Kraftwerke zumeist im Sommer nicht ausreichend genutzt (DLR 2001: 49 und 67). Dies

ist meist nur dann zu vermeiden, wenn Wärmeleistung auch für Prozessdampf für industrielle Zwecke genutzt wird.

Bioabfälle wie z.B. Gülle können in Biogasanlagen zur Produktion von Gas als Brennstoff genutzt werden. Die Anlagen basieren auf dem anaeroben Abbau von organischen Substanzen durch Bakterien, wobei Biogas mit Methan als brennbarem Anteil entsteht. Durch Verbrennung des Biogases in einem Motor kann ein Generator angetrieben werden, mit dem Strom produziert wird. Die Abwärme der Verbrennung kann sowohl als Heizwärme als auch zur Erwärmung des Fermenters dienen.

Abbildung 14-50: Prinzip der Biogasherstellung.

Quelle: C.A.R.M.E.N. e.V.; Bearbeitung Scharp und Hartmann 2007e.

Eine dritte Form der energetischen Nutzung von Biomasse ist die Herstellung von Treibstoffen wie Bioalkohol aus Zuckerpflanzen oder Biodiesel aus Raps. Diese Nutzung erhält ihre Bedeutung dadurch, dass mit den Treibstoffen ein lagerfähiger und gut transportierbarer Energieträger erzeugt wird.

Die Wirtschaftlichkeit der Energiegewinnung aus Biomasse ist vor allem eine Frage der Preise für fossile Energieträger, mit denen die Bio-Brennstoffe konkurrieren müssen. Zuckerrüben, Mais und Getreide, die auch zur Herstellung von Bioethanol eingesetzt werden, konkurrieren u. a. mit den Viehfutterpreisen. Eine starke Nachfrage nach Mais in den USA führte zu einem deutlichen Ansteigen der Maispreise in Mexiko in 2007 und löste Spannungen zwischen den Ländern aus. Wirtschaftlich lassen sich heutzutage vor allem Kraft-Wärme-Anlagen betreiben, die Holz als Brennstoff nutzen. Biogasanlagen, die z.B. Gülle aus der Viehhaltung nutzen, haben darüber hinaus den besonderen Vorteil, dass in ihnen Abfälle verwertet und somit auch Entsorgungskosten eingespart werden. Die Pilotprojekte zur Nutzung eigens für die Biosprit- und Biodieselherstellung angebaute Energiepflanzen sind dagegen nur in Ausnahmefällen bereits wirtschaftlich. Verglichen mit der Biogasgewinnung haben sie darüber hinaus den Nachteil, jeweils nur einen (kleinen) Anteil der produzierten Biomasse (z.B. Rapsöl) statt der ganzen Pflanze energetisch zu nutzen.

In 2006 wurden ca. 2,8 Mio. t biogene Treibstoffe hergestellt (BMU 2007:9). Der größte Anteil war Biodiesel mit 2,0 Mio. t. Auf Bioethanol entfielen 0,5 Mio. t und auf Pflanzenöl 0,3 Mio. t. Die Endenergie der biogenen Treibstoffe belief sich somit auf ca. 27,5 Mrd. kWh bzw. ca. 4,7 % des Kraftstoffverbrauchs in Deutschland.

Biokraftstoffe lassen sich relativ einfach gewinnen. Aus zuckerhaltigen Pflanzen wie Zuckerrüben und Zuckerrohr, aber auch aus Mais oder Getreide wird Ethanol gewonnen. Das Verfahren ist sehr einfach und entspricht der Herstellung von Bier. In einem ersten Schritt werden die Rohstoffe zerkleinert und der Zuckeranteil mit Wasser herausgelöst. Anschließend werden Enzyme hinzugegeben, um den Zucker vergärbar zu

machen. In einem weiteren Schritt erfolgt die eigentliche Vergärung (Fermentation) mit Hefe, die Zucker in Ethanol und Kohlendioxid umwandelt. Abschließend wird destilliert und getrocknet, um einen reinen wasserfreien Alkohol zu erhalten.

Abbildung 14-51: Energiepflanzen zur Herstellung von Treibstoffen: Zuckerrüben, Mais und Getreide.



Quelle: [www.pixelio.de](http://www.pixelio.de): L.M. / qay / cajul.

In Deutschland wird vor allem die Herstellung von Biodiesel verfolgt. Zunächst werden Rapsamen in einer Ölmühle gepresst und das Rapsöl gereinigt. Das Rapsöl liegt als Ester mit Glycerin vor. In einem weiteren Schritt wird der Ester mit Methanol umgeestert. Hierbei wird das Glycerin – welches drei Fettsäuren bindet – gegen Methanol ausgetauscht und es entsteht ein Fettsäure-Methylester (REM, Rapssäure-Methylester). Das Glycerin kann in der Pharmazie, für Kosmetik oder für Farben und Lacke verwendet werden.

Abbildung 14-52: Produktion von Biodiesel nach dem CD-Prozess

Quelle: Archer Daniels Midland Company ([www.biodiesel.de](http://www.biodiesel.de)).

### 14.11 Themenbereich: Geothermie – Erdwärme und Umgebungswärme

Je tiefer man in Richtung Erdkern vordringt, desto wärmer wird das Gestein. Heiße Quellen oder Vulkane sind ein sichtbarer Beleg für den heißen Erdkern, dessen Temperatur auf 4.000 bis 5.000 Grad Celsius geschätzt wird. Geothermie ist die Nutzung der Erdwärme, wobei unterschiedliche Verfahren verwendet werden je nach Tiefe, aus der die Wärme entnommen wird, und den dort herrschenden Temperaturen.

Abbildung 14-53: Temperaturen und Tiefenzonen der Erde.

Quelle: DGS; Bearbeitung Scharp und Hartmann 2007e.

In geothermisch aktiven Zonen wie z.B. in Island oder Italien, aber auch an wenigen Standorten in Deutschland fließt heißes Wasser relativ dicht unter der Erdoberfläche. Heiße Quellen sind hierbei ein Zeichen für diese oberflächennahen Heißwasserströme. Diese Ströme werden "angezapft" und können zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden (hydrothermale Geothermie).

Abbildung 14-54: Geothermisches Kraftwerk zur Stromerzeugung in Island.

Quelle: [www.pixelio.de](http://www.pixelio.de) / Phillip Schindler.

In Deutschland sind diese Quellen jedoch selten, so dass zwei weitere Wege gegangen werden. Im ersten Fall werden Tiefenbohrungen zumeist als Bohrungsdublette bis in die heißen Gesteinszonen gesetzt. In die eine Bohrung wird kaltes Wasser gepresst, welches sich in der Tiefe auf ca. 200 Grad Celsius erwärmt und durch die andere Bohrung wieder an die Oberfläche gepumpt oder gedrückt wird. Über einen Wärmetauscher wird Dampf erzeugt, welcher über Turbinen und Generatoren Strom und Wärme erzeugt. (Hot-Dry-Rock Verfahren). Geothermie in dieser Form befindet sich zum Teil im Erprobungsstadium. Das zweite Verfahren, das in mehreren Anlagen in Deutschland schon genutzt wird (z. B. in Neustadt/Glewe in Mecklenburg/Vorpommern), ist das sogenannte hydrothermale Verfahren. Hierbei wird direkt heißes Wasser, das sich in bestimmten geologischen Schichten befindet, an die Oberfläche gefördert und Strom und Wärme erzeugt. Im Jahr 2006 waren 0,2 MW geothermische elektrische Leistung in Deutschland installiert. Die bereitgestellte Energie (Strom) betrug 0,4 GWh/a (BMU 2007:11).

Abbildung 14-55: Geothermische Stromerzeugung nach dem Hot-Dry-Rock-Verfahren.

Quelle: Geothermische Vereinigung / Helmut Tenzer; Bearbeitung Scharp und Hartmann 2007e.

Der zweite Weg, der wesentlich verbreiteter ist, ist die Nutzung der Umgebungswärme, die auch als oberflächennahe Erdwärme bezeichnet wird. Sie bezieht ihre Energie aber nicht aus dem Wärmereservoir des Erdkerns, sondern ist zum größten Teil gespeicherte Sonnenenergie, die das Erdreich oder das Grundwasser zuvor erwärmt hat. Hierbei wird das Temperaturniveau z.B. des Grundwassers oder des Erdreichs mittels Wärmepumpen angehoben und die enthaltene Umgebungswärme zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser genutzt. In 2006 existierten ca. 44.000 Anlagen zur Nutzung von Wärmepumpen (BMU 2007:5), die im breiten Umfange bei Wohngebäuden aber auch bei größeren Gebäuden eingesetzt werden. Bei der Nutzung der Umgebungswärme muss aber häufig zur Absicherung der Spitzenlast bei sehr tiefen Wintertemperaturen auch noch ein zusätzlicher Heizkessel vorhanden sein.

Abbildung 14-56: Typen von Wärmepumpen.

Quelle: Viessmann ([www.viessmann.de](http://www.viessmann.de)).

Wärmepumpen funktionieren wie (umgekehrte) Kühlschränke. Bei der Wärmepumpe wird ein Wärmeträgermedium (z.B. Wasser mit Glykol) durch oberflächennahe Rohre durch das Erdreich geleitet. Der Wärmeträger nimmt die Wärme des Bodens auf und mit dieser Wärme wird in der eigentlichen Wärmepumpe ein Arbeitsmedium (z.B. Kohlenwasserstoffe oder Fluorkohlenwasserstoffe) im Verdampfer in die Gasform gebracht. In einem Verdichter wird das Arbeitsmedium komprimiert, wobei es sich stark erhitzt. Hierbei nutzt man das Prinzip der adiabatischen Kompression, bei der das Medium schnell komprimiert wird ohne dass ein Wärmeaustausch unregelt erfolgt. Die Wärme des Arbeitsmediums wird auf das Heizungssystem übertragen und zur Heizung und Warmwasserbereitung genutzt. Aufgrund der Wärmeabgabe verflüssigt sich das Arbeitsmedium. Entspannungsventile sorgen für den Druckausgleich, so dass in einem neuen Zyklus das Medium wieder verdampft werden kann.

Abbildung 14-57: Prinzip der Wärmepumpe.

Quelle: Bundesverband WärmePumpe e.V. ([www.waermepumpe-bwp.de](http://www.waermepumpe-bwp.de)); Bearbeitung Scharp und Hartmann 2007e.

Die Leistungsbereiche von Wärmepumpen liegen zwischen 1 kW und 1 MW. Die Kosten für die Produktion einer Kilowattstunde Wärme lagen in 2003 zwischen 5 und 10 Cent (BMU 2004b:72). Die Nutzung der Umgebungswärme mit Hilfe von Wärmepumpen als erneuerbare Energie ist nicht ganz unumstritten, da hier ein erheblicher Anteil sog. „Fremdenergie“ in Form von elektrischem Strom zum Verdichten des Wärmeträgermediums verwendet werden muss. Wichtig ist, dass der Anteil der erzeugten erneuerbaren Energie, der genutzten Umgebungswärme, überwiegt. Moderne Anlagen mit einer Jahresarbeitszahl von mindestens 4, d.h. vier Teile Wärme auf einen Teil Strom, erfüllen diese Anforderungen. Ebenfalls wichtig ist ein niedriges Temperaturniveau der Heizungsanlage; der Einsatz von Wärmepumpen in nicht sanierten Altbauten mit hohen Temperaturen in der Heizung ist nicht sinnvoll, da die Jahresarbeitszahl in diesen Fällen den Wert 3 nicht überschreitet. Ökologisch sinnvoller ist die Nutzung von erdgasbetriebenen Kompressoren, deren Abwärme dann ebenfalls für die Heizung genutzt wird. Zu 100 % erneuerbar ist dieses System, wenn Biogas verwendet wird.

Abbildung 14-58: Temperaturprofil für unterschiedliche Monate und Tiefen.

Quelle: Bundesverband WärmePumpe e.V. ([www.waermepumpe-bwp.de](http://www.waermepumpe-bwp.de)), Temperaturprofil nach BINE 2001; Bearbeitung Scharp und Hartmann 2007e.

Im Jahre 2003 wurden ca. 1.530 GWh und in 2006 ca. 1.800 GWh Wärmeenergie durch Geothermie (tiefe und oberflächennahe Geothermie) gewonnen (BMU 2007:11). Geothermie liegt damit noch hinter der Solarthermie mit ca. 3.300 GWh und deutlich hinter der Energiegewinnung durch Biomasse mit ca. 84.000 GWh Wärme (BMU 2007:11). Die Stromgewinnung durch Geothermie befindet sich zur Zeit im Pilotstadium in Deutschland. Die Kosten für die Produktion einer Kilowattstunde Wärme bei tiefen Erdwärmesonden lagen in 2003 zwischen 8 und 10 Cent (BMU 2004b:72).

#### **14.12 Themenbereich: Klimawandel**

Die natürliche Umwelt ist ein sehr kompliziertes System, das sich je nach der Stärke einer Beeinflussung durch menschliches Handeln schnell oder langsam ändern kann. In trockenen und heißen Gebieten bewirkt das Abholzen der Wälder oder ein Eingriff in den natürlichen Wasserhaushalt sehr schnell eine Versteppung, so dass die Folgen innerhalb kurzer Zeit sichtbar werden. Auch Überschwemmungen wie z.B. in Thüringen oder Sachsen in den vergangenen Jahren können die unmittelbare Folge der Verringerung der Rückhaltefähigkeit von Böden sein, wenn zunehmend Flächen versiegelt und natürliche Überschwemmungsgebiete eingedeicht werden.

Ein Eingriff in sehr große – globale – Systeme wie z.B. unser Klimasystem ist hingegen nicht unmittelbar sichtbar. Nur die Wissenschaft vermag durch langjährige Forschung diese Veränderungen aufzuzeigen wie z.B. den langsamen Anstieg der durchschnittlichen globalen Temperatur um ca. 0,6 Grad seit Beginn der Wetteraufzeichnungen.

Das Klimasystem der Erde wird vor allem durch die Sonneneinstrahlung beeinflusst. Diese wirkt auf die Teilsysteme Atmosphäre, Hydrosphäre (v.a. die Ozeane), Biosphäre (v.a. die Vegetation), Kryosphäre (eisbedeckte Flächen) und die Lithosphäre (Gesteinszone). Zahlreiche Wechselwirkungen zwischen diesen Sphären bewirken einen chemischen (z.B. Kohlendioxidaufnahme der Pflanzen und des Meeres) und energetischen (z.B. Reflexion der Sonneneinstrahlung durch Eisflächen und Wolken) Austausch zwischen den Teilsystemen, der das Klima beeinflusst.

Im Laufe der Jahrtausende haben sich zwischen den Teilsystemen diffizile Gleichgewichte eingestellt, die natürlichen Schwankungen unterliegen z.B. in Form von Warm- und Kaltzeiten. Der Mensch hat jedoch schon in der frühen Geschichte z.B. durch Rodungen in Teile des Systems eingegriffen und damit in vielen Gebieten der Erde das Klima beeinflusst wie z.B. im Mittelmeerraum. Aber mit Beginn der Industrialisierung hat ein neuer umfassender globaler Prozess eingesetzt, indem im größten Maßstab klimaaktive Gase (Kohlendioxid, Methan, N<sub>2</sub>O, FCKW, FKW u.a.) freigesetzt wurden und werden, die unmittelbar in der Atmosphäre wirksam werden.

Nach den Erkenntnissen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), einem internationalen Zusammenschluss von auf dem Gebiet der Klimaentwicklung tätigen Forschungsinstituten, hat die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Erdatmosphäre seit 1750

um 31 % zugenommen und mit über 360 ppm (Parts per Million) in 2000 und mit ca. 380 ppm in 2004 ein Niveau erreicht, das zumindest in den letzten 420.000 Jahren und wahrscheinlich auch nicht während der letzten 20 Millionen Jahre überschritten wurde. Auch die gegenwärtige Zunahmerate ist in den letzten 20.000 Jahren ohne Beispiel (IPCC 2001:7).

Abbildung 14-59: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf dem Mauna Loa in Hawaii.

Quelle: Thoning und Tans 2000.

Die wichtigste Wirkung der Emission der verschiedenen Gase ist die drastische Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes. Hiermit wird die Wirkung o.g. Gase bezeichnet, auf der einen Seite durchlässig für die sichtbare Sonnenstrahlung ("Licht") zu sein, auf der anderen Seite aber die von der Erde ausgehende Wärmestrahlung ("Infrarotstrahlung") zu absorbieren und zurückzuhalten und somit die Atmosphäre zu erwärmen.

Abbildung 14-60: Prinzip des Treibhauseffektes.

Quelle: Bundesverband Windenergie e.V. ([www.wind-energie.de](http://www.wind-energie.de)) / Bearbeitung Scharp und Janssen 2007f.

Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts ist mit einem Temperaturanstieg um 1,4 bis 5,8 °C zu rechnen, falls die Emissionen der Treibhausgase nicht reduziert werden. Bereits jetzt ist ein Temperaturanstieg von 0,4 bis 0,8 °C gegenüber dem vorindustriellen Wert zu verzeichnen. Erste Auswirkungen wie die Zunahme extremer Wetterereignisse (Dürren, Hochwasserkatastrophen usw.) sowie die Verringerung der Eismasse durch das Abschmelzen der Pole und der Gletscher sind nicht zu übersehen. Eine weitere Zunahme dieser Tendenzen sowie der Anstieg des Meeresspiegels gelten als sicher. Dies würde dazu führen, dass immer größere küstennahe Gebiete durch Überflutung und die Beeinträchtigung der landwirtschaftlichen Nutzung unbewohnbar werden. In Folge dessen ist weltweit mit einer Zunahme der Migrationsbewegungen und Verteilungskämpfe um die immer knapper werdenden nutzbaren Flächen und Ressourcen zu rechnen.

Bei einem Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiedener Länder wird deutlich, dass die Industriestaaten wegen des höheren Verbrauchs fossiler Energieträger deutlich über dem weltweiten Durchschnitt liegen (siehe Tabelle unten). Gegenüber den Industrieländern, wie beispielsweise den USA, Deutschland und Japan, haben die Entwicklungsländer noch einen großen Aufholbedarf bei der Industrialisierung, um für die Einwohner menschenwürdige Lebensbedingungen zu schaffen. Deshalb wird diesen Ländern ein gewisses Wachstum – auch der CO<sub>2</sub>-Emissionen – zugestanden. Besonders die führenden Industrieländer sind dazu angehalten, Zeichen für eine nachhaltige

Entwicklung zu setzen, da sich die meisten ärmeren Länder an der Entwicklung in den Industrieländern orientieren.

Tabelle 11: CO<sub>2</sub>-Emissionen ausgewählter Länder und Kontinente im Vergleich [2005].

	<b>Einwohnerzahl (Mio.)</b>	<b>jährliche CO<sub>2</sub>- Emissionen (Mio. t)</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf (t/Ew.)</b>
USA	296	6.526	21,9
BRD	82	880	10,7
Japan	128	1.406	10,8
VR China	1.304	5.327	3,7
Lateinamerika	559	1.021	1,8
Indien (2002)	1.104	1.016	0,9
Afrika	906	944	1,0
<b>Welt</b>	<b>6.477</b>	<b>29.166</b>	<b>3,8</b>

Quelle: BMWi 2006; DSW 2006.

Nur noch sehr vereinzelt wird von Regierungen und Wissenschaftlern bestritten, dass die menschlichen Aktivitäten der letzten 150 Jahre das Klimasystem entscheidend beeinflusst haben. Ungewiss ist nur die Frage, in welchem Umfang aufgrund dieses Handelns Klimaänderungen stattfinden werden. Die verschiedenen Szenarien reichen von einer moderaten Warmzeit, bei der die Erwärmung der Atmosphäre nur wenig verstärkt wird bis hin zu apokalyptischen Szenarien mit extremen Wetterereignissen, hohem Anstieg des Meeresspiegels und dem Abriss des Golfstroms.

Welche Wirkungen unser Handeln hat, kann die Wissenschaft heute noch nicht exakt sagen. Es ist jedoch gewiss, dass schon geringe Auswirkungen wie der Anstieg der durchschnittlichen Temperaturen um wenige Grade oder geringere Niederschlagsmengen in den südeuropäischen und afrikanischen Ländern gravierende Auswirkungen auf die Lebens- und Produktionsbedingungen haben werden. Während die entwickelten Länder durch aufwändige Technologien und große Investitionen in der Wasserwirtschaft z.B. auch in trockenen Gebieten Ackerbau betreiben können, trifft dies für die Länder der Dritten Welt nicht zu. Es ist zu befürchten, dass durch die Veränderung des Klimas insbesondere den Menschen dort die essentielle Nahrungsmittelgrundlage entzogen wird. Aber auch andere Länder müssen durch die Zunahme extremer Wetterereignisse hohe volkswirtschaftliche Schäden befürchten, insbesondere weil sich im Lauf der letzten Dekaden vor allem Städte an den Küsten- und Flussregionen sehr stark entwickelt haben und somit dort vermehrt Schäden auftreten können. Doch auch extreme Niederschläge wie beispielsweise in Mitteleuropa im Sommer 2002 haben Schäden von 15 bis 20 Mrd. € verursacht. Diese Summen fehlen nun für die wirtschaftliche Entwicklung ganzer Nationen.

Langfristig, d.h. bis etwa zum Jahr 2050 stehen die Industrieländer vor der Aufgabe, die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 80 % zu reduzieren, damit weltweit insgesamt eine Halbierung der Emissionen erreicht werden kann, was zur Stabilisierung des CO<sub>2</sub>-Gehalts der

Erdatmosphäre und zur Begrenzung der negativen Auswirkungen des Klimawandels notwendig ist.

### 14.13 Themenbereich: Energiesparen

In Wissenschaft und Politik wird eine zukunftsfähige Energieversorgung grundsätzlich unter drei Aspekten betrachtet: Energiesparen, Energieeffizienz und die Nutzung erneuerbarer Energien. Energieeffizienz ist die Verwendung energiesparender Technik bzw. die Nutzung von Technologien, die die verschiedenen Energien mit einem hohen Wirkungsgrad in Strom und Wärme bzw. in die gewünschte Nutzenergie (Licht, Bewegung, Raumwärme usw.) umwandeln. Der erste Aspekt, das Energiesparen, kann in der Primarstufe eine zentrale Rolle spielen, da dieses am einfachsten für die SchülerInnen erfahrbar und selbst umsetzbar ist. Im folgenden soll ein kurzer Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten in den drei Bereichen gegeben werden.

#### Energiesparen

Der erste Weg für eine nachhaltige Energienutzung ist der bewusste Umgang mit Energie. Dies bedeutet zu wissen, dass wir Energie für unser Leben brauchen, aber nicht jede Energieverwendung notwendig ist. Hierzu zwei Beispiele:

- Ein Kühlschrank braucht Energie, um Lebensmittel zu kühlen. Aber je öfter wir ihn öffnen, je länger er offen steht, je mehr Eis sich an den Kühlelementen gesammelt hat und je kälter er eingestellt ist, desto mehr Energie verbraucht er unnötigerweise.
- Ein Fernseher braucht Energie, um Bilder zu erzeugen. Er braucht aber auch Strom im Stand-by, wenn wir nicht fernsehen. Er verbraucht noch mehr Strom, wenn wir den Kontrast sehr hoch einstellen ohne dass wir sehen, dass das Bild besser geworden ist.

Abbildung 14-61: Beispiel Licht – Effektive Nutzung des Stroms.

Glühlampe	Halogenlampe	Leuchtdiode	Leuchtstofflampe
			
5 Teile Licht	10 Teile Licht	20 Teile Licht	25 Teile Licht
95 Teile Wärme	90 Teile Wärme	80 Teile Wärme	75 Teile Wärme
17 Teile Licht/Watt	30 Teile Licht/Watt	65 Teile Licht/Watt	100 Teile Licht/Watt

Quellen: BMU / H.C.Oed; [www.pixelio.de](http://www.pixelio.de): montrean / R.B. / Petra Morales; Bearbeitung Scharp.

Energiesparen ist somit der erste Weg, um mit Energie bewusst umzugehen. Hierzu müssen Schüler/innen ein "Gefühl" dafür bekommen, dass das alltägliche Leben immer auf Energie angewiesen ist. Die Erfassung des Energieverbrauchs in der Schule oder zu

Hause ist ein geeigneter Weg, um die Bedeutung der Energie zu erkennen. Im folgenden sollen Hinweise zur Beschäftigung mit den praktischen Konsequenzen, d.h. wie jeder Einzelne zu Hause und in der Schule zum Klimaschutz beitragen kann, gegeben werden (Oswald 2007:12).

### *Handlungsfeld Wärme*

- 1) Oft kann die Raumtemperatur in Wohnräumen reduziert werden: 20°C sind im allgemeinen ausreichend. Dies ist gesünder als zum Beispiel 23 °C und spart 5 bis 6 % Heizenergie pro Grad Temperaturabsenkung.
- 2) Lüftung durch dauerhaft angekippte Fenster kostet Energie! Durch kurzes und kräftiges Lüften (ca. 5 min) wird verbrauchte Luft ausgetauscht, aber die Abkühlung der wärmespeichernden Wände, Möbel usw. vermieden.
- 3) Durch Temperaturabsenkung bei elektrischen Warmwasserspeichern auf 40 bis 50 °C und Abschaltung bei Abwesenheit ab einem Tag spart viel Strom.
- 4) Stromheizungen und alte Heizkessel fressen Energie und Geld. Bei der Erneuerung sollte wenn möglich Brennwerttechnik eingesetzt und die Sonnenenergie genutzt werden!

### *Handlungsfeld elektrische Energie*

- 5) Die Stand-by-Verluste elektrischer Geräte lassen sich durch Netzabschaltung vermeiden – deshalb: Stecker ziehen, schaltbare Steckdosenleisten oder spezielle, im Elektrofachhandel erhältliche Vorschaltgeräte nutzen.
- 6) Die volle Auslastung elektrischer Haushaltsgeräte (Waschmaschine, Geschirrspüler) bei Benutzung spart Strom und Wasser. Noch besser ist es, wenn das warme Wasser für diese Geräte mit einer modernen Heizung oder noch besser über eine Solaranlage und nicht über die Heizsysteme der Maschinen erfolgt, da diese mit Strom Wasser erwärmen.
- 7) Schon bei der Anschaffung elektrischer Haushaltsgeräte kann Strom gespart werden, indem die Energieeffizienzklasse A<sup>++</sup> gewählt wird. Auch bei eventuell höheren Anschaffungskosten wird über die Lebensdauer des Gerätes durch die geringeren Betriebskosten in der Regel auch viel Geld gespart.
- 8) Mit Energiesparlampen oder LED's reduziert sich der Stromverbrauch gegenüber Glühlampen um 4/5. Die höheren Anschaffungskosten amortisieren sich sehr schnell durch die eingesparten Energiekosten und die höhere Lebensdauer.

### *Handlungsfeld Ernährung*

- 9) Durch die Reduzierung des Fleischverzehr, vor allem aus energieintensiver Massentierhaltung, wird neben dem CO<sub>2</sub> auch die Entstehung anderer klimaschädlicher Gase wie z.B. Methan (CH<sub>4</sub>) vermieden.
- 10) Wenn (mehr) Produkte aus Ihrer Region und aus ökologischem Anbau gekauft werden, verkürzen sich die Transportwege bzw. werden energiesparende und umweltschonende Anbaumethoden gefördert.
- 11) Beim Einkauf sollte auf unverpackte bzw. umweltfreundlich verpackte Produkte geachtet werden, denn die Herstellung von Verpackungen, insbesondere von Blech, Glas und Kunststoffen ist energieintensiv und die Recyclingquote noch immer gering.

### *Handlungsfeld Mobilität*

- 12) Die meisten Wege können statt mit dem Auto besser zu Fuß bzw. Fahrrad oder mit öffentlichen

Verkehrsmitteln erledigt werden. Dies bringt neben einer Senkung der Benzinkosten unter Umständen auch eine Erhöhung der Lebensqualität.

- 13) Die Entdeckung der Urlaubsparadiese in der Nähe, statt in ferne Länder zu fliegen, trägt neben dem Klimaschutz auch zur Erhöhung des Bruttoinlandsproduktes bei!

### *Klimaschutztipps für die Schule*

- 14) An der Schule kann ein Energieteam mit einem verantwortlichen Fachlehrer, Schülern/innen und dem Hausmeister gebildet werden. Man kann auf einem Schulrundgang überlegen, wie Energie eingespart werden kann.
- 15) Mit dem Schulträger kann eine fifty/fifty-Vereinbarung abgeschlossen werden. Das bedeutet, dass die Schule die Hälfte der eingesparten Energiekosten zur freien Verfügung erhält.
- 16) Man kann die Temperaturen in der Schule raumweise erfassen (räumliches Temperaturprofil) und den Hausmeister bzw. Schulleitung veranlassen, dass die Temperaturregelung abgeglichen wird (Sollwert: 20 °C).
- 17) Man kann den zeitlichen Temperaturverlauf messen und dafür sorgen, dass die Raumtemperaturen nachts, an den Wochenenden und in den Ferien auf 15 °C abgesenkt werden.
- 18) Lichtschalter können gekennzeichnet werden, um eine bedarfsgerechte Bedienung der Beleuchtung zu ermöglichen.
- 19) Auf Merkblättern können die wichtigsten Regeln für energiesparendes Verhalten notiert und in den Klassenräumen ausgehängt werden.
- 20) In den Klassen können Energieverantwortliche gewählt werden, die auf die Einhaltung der Verhaltensregeln achten.
- 21) Fifty/fifty-Erlöse können in eine Solaranlage, Schulhofbegrünung oder in andere Klimaschutzmaßnahmen investiert werden.
- 22) Durch die Vermeidung von Abfällen kann Energie gespart werden. Schulen können mit den Lieferanten Abmachungen treffen, dass Automaten mit besonders umweltbelastenden Verpackungen (z.B. Getränkedosen) nicht ausgestattet werden und dafür ein Ersatz durch umweltfreundlichere Alternativen eingesetzt wird.
- 23) Abfälle können getrennt werden, um ein Recycling der wiederverwertbaren Anteile zu ermöglichen.
- 24) An Schulen können Kampagnen veranstaltet werden, damit Lehrer/innen und Schüler/innen mit öffentlichen Verkehrsmitteln oder mit dem Fahrrad zur Schule kommen.

### **Energieeffizienz in der Technik**

Der zweite Weg für eine nachhaltige Energieversorgung ist der Einsatz effizienterer Technik. Dieser Einsatz ist vor allem relevant bei der Bereitstellung (Erzeugung von Endenergie) von Energie und bei der Nutzung von Energie (Nutzenergie). Die folgende Tabelle listet einige Beispiele auf:

Tabelle 12: Beispiele für Energieeffizienz bei der Energieerzeugung und Energienutzung.

<b>Handlungsfeld</b>	<b>Konventionelle Technik</b>	<b>Effizienztechnik</b>
Energieerzeugung	Windenergieanlagen < 1 MW	Windenergieanlagen > 5 MW
Energieerzeugung	Verstromung von fossilen Energieträgern	Kraft-Wärme-Kopplung
Energieerzeugung	Stein- und Braunkohlekraftwerke mit einem elektrischen Wirkungsgrad von ca. 30 %	Kohlekraftwerke mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 40 bis 45 % mittels Kohlewirbelschichtfeuerung, Kohledruckverfeuerung und Kohlevergasung (BINE 2004b)
Energieerzeugung	Niedertemperaturkessel in Wohngebäuden	Brennwertkessel in Wohngebäuden
Energieerzeugung	Konventionelle Gaskraftwerke mit einem Wirkungsgrad von ca. 60 %	Gas- und Dampfkraftwerke mit einem Wirkungsgrad von 80 % (BINE 2004b)
Energieerzeugung	Verbrennung von Gas zur Stromerzeugung	Brennstoffzellen mit Gas
Energieerzeugung	Dampfturbinen mit der Nutzung der kinetischen Energie von Dampf	Gasturbinen mit der Nutzung der kinetischen Energie von Verbrennungsgasen
Mobilität	Benzinmotoren	Dieselmotoren
Mobilität	PKW's mit Verbrauch > 8 l/100 km	PKW's mit Verbrauch < 6 l/100 km (Leichtbautechnik, Minderung der Rollwiderstände, leichtflüssige Öle, Aerodynamik)
Mobilität	Konventionelle KFZ-Motoren	Hybrid-Motoren
Elektrogeräte	Lichttechnik mit Glühlampen und Halogenlampen	Lichttechnik mit Energiesparlampen und LED's
Elektrogeräte	Kühlschränke, Wasch- und Spülmaschinen Effizienzklasse < A	Kühlschränke, Wasch- und Spülmaschinen Effizienzklasse > A
Elektrogeräte	Stand-by Schalter > 15 W	Stand-by Schalter < 3 W
Elektrogeräte	Ampelbeleuchtung mit Glühlampen	Ampelbeleuchtung mit LED's
Elektrogeräte	Trafos unter Dauerspannung	Elektronische (Ein-)Schaltung der Trafos
Wohnen	Umwälzpumpen für Warmwasser > 100 W	Umwälzpumpen für Warmwasser < 50 kW, drehzahlgeregelte Steuerung
Wohnen	Konventionelle Bauweise	Wärmeverbundsysteme, Niedrig- und Passivhäuser, solares Bauen mit Südorientierung
Wohnen	Einfach- oder Doppel-Verglasung mit $k > 1,7$	Doppel- und Dreifach-Verglasung mit $k < 1,7$
Wohnen	Lüftung über Fenster	Wärmerückgewinnung über Luftaustausch
Gewerbe & Industrie	Konventionelle Steuerung von Elektromotoren	Elektronische Drehzahlregelung von Elektromotoren

Handlungsfeld	Konventionelle Technik	Effizienztechnik
Gewerbe & Industrie	Heizungsanlagen mit fossilen Rohstoffen für Gebäude und Hallen	Nutzung der Produktionsabwärme zur Heizung der Gebäude oder Erzeugung von Prozesswärme
Gewerbe & Industrie	Dauerbetrieb von Anlagen und Maschinen	am Arbeitsverlauf optimierte Steuerung von Anlagen und Maschinen mit dem Betrieb entsprechend der Funktion (Abschaltung von Pumpen, Sägen, Lüftungs- und Trocknungsanlagen etc.)
Gewerbe & Industrie	Energieversorgung über Netze	Block-Heizkraftwerke zur Erzeugung von Produktionsstrom und Nutzung der Wärme für Heiz- und Produktionszwecke

Quelle: Scharp et al. 2007g.

### Erneuerbare Energien

Der dritte Weg einer nachhaltigen Energieversorgung ist die Nutzung erneuerbarer Energien anstelle von Kohle, Öl, Gas und Kernenergie. Die Möglichkeiten hierzu wurden oben beschrieben. Die folgende Darstellung orientiert sich an einer Behandlung aller Möglichkeiten der erneuerbaren Energien, allerdings müssen die Technologien hinsichtlich ihrer Effizienz und Einsatzmöglichkeit differenziert bewertet werden:

- **Windenergie:** Die Windenergie ist in Deutschland gegenwärtig die tragende Säule der technologischen Nutzung der erneuerbaren Energien. Die Errichtung von Windenergieanlagen zu Lande wird in Zukunft nur noch im geringeren Umfange erfolgen. Zu Lande wird stattdessen vor allem „Repowering“ durchgeführt werden. Hiermit ist gemeint, dass man ältere Anlagen mit geringer Leistung (<1 MW) durch größere und effizientere Anlagen ersetzt. Große Möglichkeiten ergeben sich bei der Off-Shore-Technologie, bei der Windkraftanlagen in der Nord- und Ostsee errichtet werden.
- **Wasserkraft:** Die Technologie der Wasserkraftnutzung ist ausgereift. Es gibt jedoch kaum noch weitere Standorte in Deutschland für neue Wasserkraftwerke. Insbesondere große Talsperren lassen sich in Deutschland heutzutage kaum noch bauen. Aufgrund unserer Struktur der Energieerzeugung wird allerdings die Frage der Energiespeicherung von größter Bedeutung sein. Windenergieanlagen liefern beispielsweise nicht immer Strom und nicht immer wird ihr Strom auch im vollem Umfange gebraucht. Deshalb sind Speichertechnologien wie Pumpspeicherkraftwerke sinnvoll, da sie mit einem sehr hohen Wirkungsgrad elektrische Energie mit dem Medium Wasser speichern können.
- **Solarthermie:** Die Nutzung der Solarthermie für Warmwasser und Heizungsunterstützung ist ausgereift und weit verbreitet. Solarthermische Kraftwerke hingegen befinden sich in Europa noch im Erprobungsstadium. Auch hier ist die Technologie weitgehend verfügbar, es fehlt aber an der praktischen Nutzung, zumal diese in sonnenreicheren Gebieten wesentlich effizienter erfolgen könnte.
- **Fotovoltaik:** Die Fotovoltaik ist die Technologie, die zur Zeit in großem Umfang aus technologiepolitischen Gründen gefördert wird. Deutschland hat aus diesem Grund eine Spitzenstellung in der Welt. Derzeit gibt es eine Vielfalt von Solarzellenmaterialien: Silizium (monokristallin, polykristallin und amorph), Cadmium-Tellur, Kupfer-Indium-Selen, Kupfer-Indium-Schwefel und andere mehr. Die erreichte Effizienz von bis zu 20 % bei speziellen monokristallinen Siliziumzellen und

10 % bei amorphem Siliziummaterial ist verbesserungsbedürftig. Besonders bei Dünnschichtzellen wie z. B. Cadmium-Tellur besteht ein großes Entwicklungspotenzial besonders bei den Herstellungskosten. Aufgrund zur Zeit noch hoher Produktionskosten sind die Kosten für den Solarstrom in Deutschland recht hoch.

- **Biomassenutzung** : Die energetische Biomassenutzung hat sich in den letzten Jahren sehr stark entwickelt sowohl bei Kleinanlagen im Wohnungsbau als auch bei Kraftwerken. Die Technologie hat hierbei große Fortschritte gemacht, weshalb Abgasemissionen und Rückstandsanfall bei modernen Heizkesseln und Kraftwerken – aber nicht bei Altanlagen – nur noch von geringerer Bedeutung sind. Allerdings besteht die Befürchtung, dass mit zunehmender Biomassenutzung die Bedarfe nicht mehr aus eigenen Ressourcen bereitgestellt werden können. Ein Konflikt ergibt sich beispielsweise bei der Biodieselherstellung, bei dem zunehmend auch auf Palmöl, welches aus Plantagen stammt, die teilweise in gerodeten Tropenwäldern angelegt wurden, zurückgegriffen wird. Hohe ungenutzte Potenziale bestehen aber auch noch bei der bäuerlichen und auch städtischen Abfallnutzung mittels Biogasanlagen. Diese können außer tierischen Abfällen auch pflanzliche Reststoffe (Grünabfall) verwerten.
- **Geothermie**: Die Technologie der Nutzung der Umgebungswärme zur Wärmeversorgung von Gebäuden mittels Wärmepumpen ist ausgereift und wird vielfach eingesetzt. Die Potenziale sind bei weitem für Wohngebäude nicht ausgenutzt. Die Nutzung dieser Ressource macht insbesondere dann energiepolitischen Sinn, wenn der Betrieb der Anlagen mit Erd- oder sogar mit Biogas erfolgt und die Gebäude energetisch saniert sind.

Die Nutzung der hydro-thermalen Geothermie und der Hot-Dry-Rock-Technologie hingegen steht in Deutschland erst am Anfang. Das langfristige Potenzial zur Wärme- und Stromerzeugung beträgt für Strom 150 TWh/a und für Wärme 330 TWh/a (nur hydrothermale Quellen).

Der Anteil der erneuerbaren Energien hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen und ist - wenn auch nicht dominant - zu einer deutlich messbaren Größe geworden. In 2006 haben die erneuerbaren Energien einen Anteil an dem gesamten Primärenergieverbrauch von 5,8 % (2003: 3,1 %) und einen Anteil von 8,0 % am Endenergieverbrauch (BMU 2007: 11). Der Anteil der Endenergie am Bruttostromverbrauch betrug schon 12,0% !

## 15 Quellen, Internetseiten und Literatur

### 15.1 Bildquellen und Internetseiten zum Thema Energie und erneuerbare Energien

Biodiesel (Archer Daniels Midland Company): [www.biodiesel.de](http://www.biodiesel.de)

Biomasse und nachwachsende Rohstoffe (C.A.R.M.E.N. e.V.): [www.carmen-ev.de](http://www.carmen-ev.de)

Braunkohle (Bundesverband Braunkohle): [www.braunkohle.de](http://www.braunkohle.de)

Energiedaten (AGEB Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen): [www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de)

Energietechnik und Grundlagen der erneuerbaren Energien (BINE Fachinformationszentrum Karlsruhe): [www.bine.info](http://www.bine.info)

Erdbilder, planetare Objekte und Raumfahrt (NASA): [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov) und  
<http://visibleearth.nasa.gov>

Erdölaufbereitung (Shell): [www.shell.de](http://www.shell.de)

Erdöl und Ergas (WEG Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung): [www.erdoel-erdgas.de](http://www.erdoel-erdgas.de)

Erneuerbare Energie (BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit): [www.erneuerbare-energien.de](http://www.erneuerbare-energien.de)

Erneuerbare Energien – Technik, Statistik (Quaschning – Erneuerbare Energiesysteme):  
[www.volker-quaschning.de](http://www.volker-quaschning.de).

Fotodatenbanken: [www.aboutpixel.de](http://www.aboutpixel.de) und [www.pixelio.de](http://www.pixelio.de)

Geothermie (Bundesverband Geothermie e.V.): [www.geothermie.de/](http://www.geothermie.de/)

Heizanlagen Biomasse (HDG Bavaria Heizsysteme): [www.hdg-bavaria.com](http://www.hdg-bavaria.com)

Heizanlagen Heizöl und Gas (Viessmann): [www.viessmann.de](http://www.viessmann.de)

Kraftwerkstechnologie (E.ON): [www.eon-kraftwerke.com](http://www.eon-kraftwerke.com)

Kraftwerkstechnologie (RWE): [www.rwe.com](http://www.rwe.com)

Kraftwerkstechnologie: [www.siemens.de](http://www.siemens.de)

Nicht-erneuerbare Energien: [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de) (siehe Energie)

Solarenergie (DGS Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie): [www.dgs.de](http://www.dgs.de)

Steinkohle (Deutsche Steinkohle AG): [www.deutsche-steinkohle.de](http://www.deutsche-steinkohle.de)

Wasserkraft (Bundesverband Deutscher Wasserkraftwerke): [www.wasserkraft.org](http://www.wasserkraft.org)

Windenergie (Bundesverband Windenergie): <http://www.wind-energie.de>

Windenergie (Danish Windindustry Association): [www.windpower.org](http://www.windpower.org)

Wärmepumpen (Bundesverband WärmePumpe e.V.): [www.waermepumpe-bwp.de](http://www.waermepumpe-bwp.de)

## 15.2 Literaturquellen

- AGEB (2005) Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland 2003/2004. AGEB: o.O. Online: [www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de). (Stand: Februar 2005).
- AGEB (2006) Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland 2005/2004. AGEB: o.O. Online: [www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de). (Stand: März 2007).
- AGEB Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2004): Primärenergieverbrauch in Deutschland 2003 auf Vorjahresniveau. AGEB: o.O. Online: [www.ag-energiebilanzen.de/daten/daten13.htm](http://www.ag-energiebilanzen.de/daten/daten13.htm) (Stand: Dezember 2004).
- AGEB Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (o.J.): Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland. AGEB: o.O. Online: [www.ag-energiebilanzen.de/daten/daten13.htm](http://www.ag-energiebilanzen.de/daten/daten13.htm) (Stand: Dezember 2004).
- BINE Fachinformationszentrum Karlsruhe (2001): basisEnergie 8 – Geothermie. BINE: Karlsruhe.
- BINE Fachinformationszentrum Karlsruhe (2003a): basisEnergie 1 - Energie. BINE: Karlsruhe.
- BINE Fachinformationszentrum Karlsruhe (2003b): basisEnergie 4 - Thermische Nutzung der Sonnenenergie. BINE: Karlsruhe.
- BINE Fachinformationszentrum Karlsruhe (2004a): basisEnergie 18 – Wasserkraft. BINE: Karlsruhe.
- BINE Fachinformationszentrum Karlsruhe (2004b): basisEnergie 17 – Effiziente Kraftwerke. BINE: Karlsruhe.
- BINE Fachinformationszentrum Karlsruhe (2006): projektinfo 09 – Kraftwerke mit Kohlevergasung. BINE: Karlsruhe.
- BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004a): Umweltpolitik - Erneuerbare Energien in Zahlen. BMU: Berlin. Online: [www.erneuerbare-energien.de/1024/index.php?fb=/sachthemen/ee/statistik/start/&n=12100](http://www.erneuerbare-energien.de/1024/index.php?fb=/sachthemen/ee/statistik/start/&n=12100). (Stand: Februar 2005)
- BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Daten zur Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland im Jahr 2004. In: BMU 2005:212-215.
- BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2005): Umwelt Nr. 4./2005. BMU: Berlin, S.212-215.
- BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004b): Erneuerbare Energien – Innovationen für die Zukunft. BMU: Berlin.

- BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2002): Erneuerbare Energien und Nachhaltige Entwicklung. BMU: Berlin.
- BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2007): Erneuerbare Energien in Zahlen. BMU: Berlin. Stand: Juni 2007. Online: <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/38788/5466/>.
- BMWA Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (2005): Energiedaten 2006. Berlin: BMWi. Online: [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de) (siehe Energiestatistiken). [Zugriff 15.08.2006]
- BMWi Bundesministerium für Wirtschaft (2006): EWI-Prognos Studie - Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahre 2030. BMWi: Berlin. Dokumentation Nr. 545. Berlin: BMWi.
- BMWi Bundesministerium für Wirtschaft (2007): Zahlen und Fakten - Energiedaten. BMWi: Berlin. Online: [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de) (Stand: März 2007).
- DLR-Institut für Technische Thermodynamik, Institut für Energie- und Umweltforschung, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie, Wuppertal (2001): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien. Stuttgart, Heidelberg, Wuppertal – November.
- Dresdner Bank (2005): Energie für die Welt von Morgen. Frankfurt: Dresdner Bank. Online: [www.dresdnerbank.de/dresdner\\_bank/06\\_economic\\_research/img/0511\\_studie\\_energie.pdf](http://www.dresdnerbank.de/dresdner_bank/06_economic_research/img/0511_studie_energie.pdf). (Zugriff: März 2007).
- E.ON: Atomkraftwerk. E.ON: Hannover. Online: <http://www.eon-kraftwerke.com>. (Zugriff: März 2007).
- E.ON: Steinkohlekraftwerk. E.ON: Hannover. Online: <http://www.eon-kraftwerke.com>. (Zugriff: März 2007).
- Ewers, Johannes (2005): CO<sub>2</sub> fossil-arme gefeuerte Kraftwerke – Grundbaustein für den effizienten weltweiten Klimaschutz. O.O.: RWE. Online: [www.bine.info](http://www.bine.info). (Zugriff: März 2007).
- Ewers, Johannes und Lambertz, Johannes (2006) Clean Power Coal. VGB PowerTech 5/2006. Online: [www.bine.info](http://www.bine.info). (Zugriff: März 2007).
- Fritz, Jack. J.; Henry, Jean-Francois (1984): Small and mini Hydropower Systems - Resource Assessment and Project Feasibility. New York, St. Louis.
- Fromme, Johannes; Russler, Steffen (2006): Zwischenevaluation des Online-Spiels powerado. Arbeitsbericht PC5. Magdeburg: Universität Magdeburg – Lehrstuhl für Erziehungswissenschaftliche Medienforschung.
- Gasch, R. (Hrsg.) (1991): Windkraftanlagen, Teubner, Stuttgart
- Gerling, J.P. (2005): Erdöl – Reserven, Ressourcen und Reichweiten. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften.

- Gerling, J.P. (2006): Erdöl und Erdgas – Gesamtressourcen und Verfügbarkeit. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften. Online: [www.wec-austria.at/en/files/download/Vortrag\\_Bregenz\\_kurz.pdf](http://www.wec-austria.at/en/files/download/Vortrag_Bregenz_kurz.pdf). (Zugriff: März 2007).
- Hampel, W. (2002): Astronomie mit Neutrinos. Max-Planck-Institut für Kernphysik: Heidelberg.
- IPCC (Hrsg. 2001): Climate Change 2001: Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report, IPCC Cambridge.
- Kraftwerke Online: Online: <http://www.kraftwerke-online.de>. Nöther & Partner: Berlin (Zugriff: März 2007)
- Lamp, Hartmut (o.J.): Bioenergie in Kommunen. Bundesverband Bioenergie: Bonn. Online: [http://www.bioenergie.de/veranstaltungen/online/Lamp\\_Einf%C3%BChrung.pdf](http://www.bioenergie.de/veranstaltungen/online/Lamp_Einf%C3%BChrung.pdf). (Zugriff November 2007)
- MS Encarta (2007): Erdöl. Microsoft: o.O. Online: <http://de.encarta.msn.com>. (Zugriff: März 2007)
- Oswald, Hartmut (2007): Erfahrbare EE – Klimaballon EE. Arbeitspapier ME6. UfU: Berlin.
- Planet Wissen / Claudia Kracht (2005): Entstehung der Steinkohle. Köln/Mainz: WDR/SWR. Online: <http://www.planet-wissen.de> (Zugriff: März 2007).
- Planet Wissen / Harald Brenner (2005): Entstehung der Steinkohle. Köln/Mainz: WDR/SWR. Online: <http://www.planet-wissen.de> (Zugriff: März 2007).
- Scharp, Michael; Dinziol, Martin (2007): Materialien erneuerbare Energien für die Primarstufe – Energie und mit Energie leben. Berlin: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung.
- Scharp, Michael; Behringer, Rolf (2007): Materialien erneuerbare Energien für die Primarstufe – Erneuerbare Energien und nicht-erneuerbare Energien im Überblick. Berlin: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung.
- Scharp, Michael; Behringer, Rolf (2007): Materialien erneuerbare Energien für die Primarstufe – Sonnenenergie, Sonnenwärme und Solarstrom. Berlin: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung.
- Scharp, Michael; Schmidthals, Malte (2007): Materialien erneuerbare Energien für die Primarstufe – Wasserkraft und Windenergie. Berlin: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung.
- Scharp, Michael; Hartmann, Uwe (2007): Materialien erneuerbare Energien für die Primarstufe – Bioenergie und Geothermie. Berlin: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung.
- Scharp, Michael; Janssen, Sigrid (2007): Materialien erneuerbare Energien für die Primarstufe – Klimawandel und Energie sparen. Berlin: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung.

- Scharp, Michael; Schmidthals, Malte; Hartmann, Uwe (2007): Materialien erneuerbare Energien für die Primarstufe – Hintergrundmaterialien erneuerbare Energien und nicht-erneuerbare Energien. Berlin: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung.
- Schmidthals, M., Manjock, A. Twele, J. (2002): Unterrichtseinheit Windenergie, UfU e.V. und BWE Service GmbH, Berlin, Osnabrück
- Solarserver (o.J.): Solarzelle. Tübingen: Heindl GmbH. Online: <http://www.solarserver.de/lexikon/solarzelle.html>. Zugriff März 2007.
- Thoning, K.W.; Tans, P.P. (2000): Atmospheric carbon dioxide record from continuous in situ measurements at Mauna Loa, Hawaii. Colorado (USA): National Oceanic and Atmospheric Administration, Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory. Online: <http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/nocm-ml.htm> [Zugriff: 14.08.2006].
- UBA Umweltbundesamt (o.J.): Umweltdaten Deutschland Online: Energieverbrauch. UBA: Berlin. Online: <http://www.env-it.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2326>. (Stand: März 2007).
- USDI/USGS (2006) = US Department of the Interior / US Geological Survey, Mineral Commodities Summary 2006, Washington D.C.
- WEG Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V. (o.J.): Hannover: WEG. Online: [www.erdoel-erdgas.de](http://www.erdoel-erdgas.de). (Zugriff: März 2007)