



Informationen zum Thema „Klimaschutz“:  
Erkenntnisse, Lösungsansätze und Strategien.

# Wissen

## Statt eines Vorwortes.

Die Diskussionen, ob es einen Klimawandel gibt und wer dafür verantwortlich ist, haben sich seit Beginn des Jahres 2007 weitgehend erledigt. Der damals veröffentlichte vierte Sachstandsbericht des Weltklimarates lässt keinen Zweifel mehr daran, dass ein Klimawandel stattfindet und vor allem durch den Menschen verursacht wird. Seitdem wird vielmehr darüber diskutiert, ob und wie die zur Vermeidung eines gefährlichen Klimawandels nötigen Emissionsreduktionen erreicht werden können und wer welchen Beitrag dazu leisten soll, kann oder muss.

Mit dieser Broschüre will die Allianz Umweltstiftung zur Versachlichung dieser oft sehr emotional und kontrovers geführten Diskussionen beitragen. Dazu wird dargestellt, welche Treibhausgase vor allem zur Klimaerwärmung beitragen, aus welchen Quellen sie stammen und wo Emissionsreduktionen am sinnvollsten sind. Welche Beiträge erneuerbare Energien, Energiesparen sowie andere Technologien dabei leisten könnten, ist ein weiterer Schwerpunkt dieser Broschüre. Abschließend wird ein Einblick in die internationale Klimapolitik gegeben und erläutert, welche Konzepte deutsche Wissenschaftler für eine weltweite Klimaschutzstrategie entwickelt haben.

Die Allianz Umweltstiftung wünscht Ihnen eine bereichernde Lektüre.



# Inhalt.

Informationen zum Thema „Klimaschutz“:  
Erkenntnisse, Lösungsansätze und Strategien.

2	Der Klimawandel ist da.
4	Mit dem Klimawandel leben.
8	Den Klimawandel bremsen.
10	Energieversorgung – eine Schlüsselfrage.
14	Erneuerbare Energien.
16	Energie aus der Sonne.
20	Energie aus Wasser.
22	Energie aus Wind.
24	Energie aus Biomasse.
26	Energie aus der Tiefe.
28	Die Regenerativen – was sie könn(t)en.
30	Energie effizient nutzen – Energie sparen.
34	Emissionen vermeiden.
36	Wie reagiert die Politik?
38	Strategien für die Zukunft.
42	Glossar.
46	Literatur und Internet.
48	Allianz Umweltstiftung.
	Folien.
	Impressum.
	Zahlen und Daten.

# Der Klimawandel ist da.

Rekordtemperaturen, schmelzende Gletscher, steigender Meeresspiegel – dass sich das Weltklima ändert, lässt sich kaum mehr bestreiten.

Dieses Kapitel informiert Sie über

- messbare und beobachtete Klimaänderungen
- Prognosen zur weiteren Entwicklung des Weltklimas
- Grenzen der Belastbarkeit.

## In der Atmosphäre tut sich was.

Klimaänderungen sind erdgeschichtlich gesehen eigentlich nichts Ungewöhnliches. Ungewöhnlich an den heutigen Vorgängen ist aber, dass sie mit natürlichen Ursachen allein nicht erklärbar sind und mit einer geradezu beispiellosen Geschwindigkeit ablaufen.

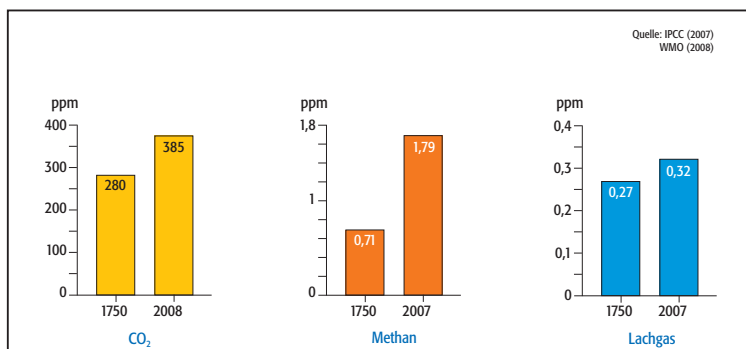
So lassen sich z. B. in unserer Atmosphäre deutliche Veränderungen bei den Konzentrationswerten so genannter **Treibhausgase** feststellen. Treibhausgase sind verantwortlich für den **Treibhauseffekt**, der die globale Jahresmitteltemperatur natürlicherweise auf etwa 14 °C hält und Leben auf der Erde, wie wir es kennen, erst möglich macht. Neben Wasserdampf (60 %) sind vor allem **Kohlendioxid/CO<sub>2</sub>** (20 %) sowie **Methan** und **Lachgas** von Bedeutung. Im Vergleich zur vorindustriellen Zeit (1750) zeigen sich dabei markante Unterschiede:

- ▶ Die Konzentration von **CO<sub>2</sub>** ist um **37 % gestiegen** und liegt heute mit 385 ppm so hoch wie noch nie in den letzten 800 000 Jahren.
- ▶ Die **Methan**-Konzentration in der Atmosphäre ist um **156 % gestiegen**, ebenfalls beispiellos im oben genannten Zeitraum.
- ▶ Die **Lachgas**-Konzentration ist um **19 % gestiegen** und so hoch wie seit 1 000 Jahren nicht mehr (Folie 1, Abb. 1.1).



Klimawirksam: Der natürliche Treibhauseffekt unserer Atmosphäre hält die globale Jahresmitteltemperatur bei etwa 14 °C.

Treibhausgase in der Atmosphäre (Abb. 1.1): Seit Beginn der Industrialisierung haben sich die Konzentrationen markant erhöht.



## Es wird wärmer.

Dass ein Anstieg der Treibhausgas-Konzentrationen den Treibhauseffekt verstärkt, ist heute unter Wissenschaftlern weitgehend unbestritten. Die weltweiten Beobachtungen und Messungen scheinen dies zu belegen:

- ▶ Die **globale Jahresmitteltemperatur** (gemessen an der Erdoberfläche) ist zwischen 1906 und 2005 **um 0,74 °C gestiegen**, in den letzten Jahren immer schneller. Sie liegt heute so hoch wie seit 500, wahrscheinlich sogar seit 1 300 Jahren nicht mehr (Folie 1, Abb. 1.2). Auch in den Ozeanen ist eine Temperaturerhöhung feststellbar.
- ▶ Die **Gebirgsgletscher ziehen sich fast überall zurück**, z. T. in dramatischem Ausmaß und mit hoher Geschwindigkeit. Gleiches gilt für die Permafrostböden.
- ▶ Die vom **Meereis** bedeckte Fläche in der Arktis **schrumpft**.
- ▶ Der **Meeresspiegel steigt** an, seit 1993 allein um 3 mm jährlich.
- ▶ In der nördlichen Hemisphäre hat sich der **Frühjahrsbeginn immer weiter nach vorne verschoben**.

## Welche Rolle spielt der Mensch?

Nachdem bereits in den 1970er und -80er Jahren weltweite Messdaten eine Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Atmosphäre gezeigt hatten, gründeten die Welt-Meteorologie-Organisation (WMO) und das Umweltprogramm der UN (UNEP) 1988 den **IPCC** – den zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimawandel der Vereinten Nationen. Er dokumentiert laufend den aktuellen Wissensstand auf dem Gebiet der Klima- sowie Klimafolgenforschung und gibt in Abständen von 5 bis 6 Jahren umfassende Berichte heraus. Der letzte IPCC-Bericht von 2007 lässt keinen Zweifel daran, dass der **Klimawandel** stattfindet und v. a. durch den **Menschen verursacht** wird:

Seit Beginn der Industrialisierung Mitte des 19. Jahrhunderts wurden immer mehr Treibhausgase in die Atmosphäre entlassen, die den natürlichen Treibhauseffekt verstärken und so zu einem Anstieg der Jahresmitteltemperaturen führen. Man spricht in diesem Zusammenhang von einem **anthropogenen** oder **zusätzlichen Treibhauseffekt**.

## Der Klimawandel legt zu.

In seinem Bericht hat der IPCC, ausgehend von verschiedenen **Szenarien**, die zukünftige Entwicklung des Weltklimas projiziert.

Im günstigsten Fall wird dabei bis 2100 (Bezugswert ist der Mittelwert 1980-99) mit einer weiteren **Zunahme der Jahresmitteltemperatur** um **1,8°C** gerechnet, im ungünstigsten Fall um **4°C** (Folie 1, Abb. 1.3). Regional können die Werte allerdings stark differieren.

Neben der Temperaturzunahme werden auch **Änderungen in der Niederschlagsverteilung**, eine **Häufung von Wetterextremen** und ein **weiterer Anstieg des Meeresspiegels** erwartet. Befürchtet werden u. a. auch ein beschleunigtes **Aussterben von Tier- und Pflanzenarten** und die **Ausbreitung von Krankheitserregern**.

## Eine kritische Grenze.

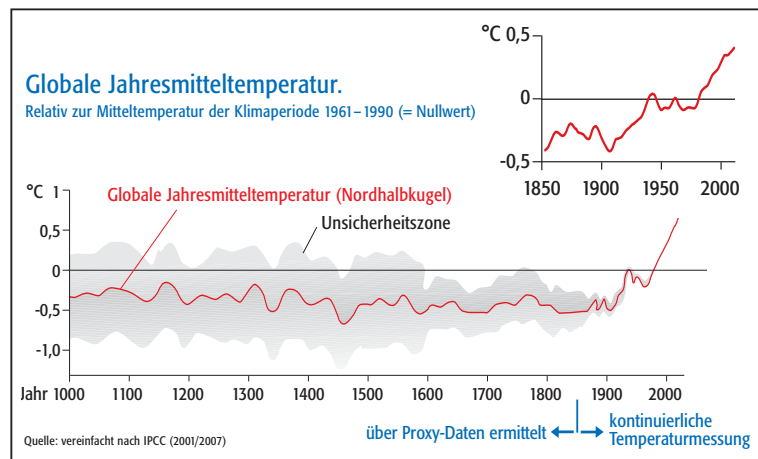
Niemand kann mit letzter Sicherheit sagen, wie genau sich eine weitere Erwärmung auf einzelne Länder, Ökosysteme oder das Gesamtsystem Erde auswirken wird – und welche Veränderungen möglicherweise irreversibel sein werden. Als **maximal tolerierbare Erwärmung** bis 2100 gegenüber vorindustriellem Niveau hat sich in Wissenschaft und Politik in den letzten Jahren ein Wert von **2°C** herauskristallisiert. Dieser Wert ist aus der Schwankungsbreite und -geschwindigkeit vergangener Klimaänderungen abgeleitet und berücksichtigt die für die Weltgemeinschaft gerade noch tragbaren Anpassungskosten.

## Weiter so?

Die Industrieländer der Erde, die bis heute am meisten zur Erhöhung der Treibhausgas-Konzentrationen beigetragen haben, werden voraussichtlich weniger stark vom Klimawandel betroffen sein als viele ärmere Staaten – oder sogar Vorteile daraus ziehen können. Diese unterschiedlichen

### Das Wichtigste in Kürze:

- ▶ Der Klimawandel ist Realität, seine Auswirkungen lassen sich bereits beobachten.
- ▶ Es bestehen kaum mehr Zweifel daran, dass der Mensch Verursacher des Klimawandels ist.
- ▶ In Zukunft wird sich der Klimawandel mit ziemlicher Sicherheit weiter verstärken.
- ▶ Um die Folgen in erträglichen Grenzen zu halten, ist eine Anpassung an den Klimawandel ebenso nötig wie eine Reduktion der Treibhausgas-Emissionen.



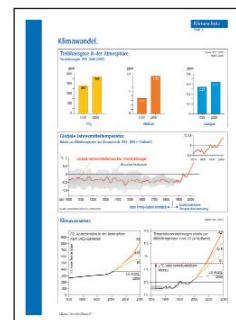
Globale Jahresmitteltemperatur (Abb. 1.2): Im 20. Jahrhundert wird es messbar wärmer.

Interessenlagen und Verantwortlichkeiten machen ein gemeinsames Handeln der Weltgemeinschaft nicht einfach, wie die mühsamen Verhandlungen bei Klimakonferenzen deutlich zeigen.

Der **Klimawandel** ist mehrfach als **größte Herausforderung** unserer Zeit bezeichnet worden. Zweifellos gibt es noch zahlreiche andere Probleme. Viele dieser Probleme, wie wirtschaftliches Ungleichgewicht, Armut oder die Ausbreitung von Krankheiten, werden aber durch den Klimawandel verschärft – oder auch gemildert, wenn es gelingt, staatenübergreifend Lösungen zu finden.

Als **Reaktion** auf den Klimawandel schlagen Wissenschaftler unter dem Motto „Das Unvermeidbare verhindern“ eine Doppelstrategie vor: Zum einen gilt es, sich an die unausweichlichen Folgen des Klimawandels **anzupassen**. Zum anderen sollen die **Emissionen von Treibhausgasen** so **reduziert** werden, dass sich der Klimawandel verlangsamt, seine Folgen abgemildert werden und Zeit für die nötige Anpassung bleibt.

**Übrigens:** Einen tieferen Einblick in das Klimageschehen der Erde, den historischen Verlauf des Klimas und viele Details zum Klimawandel gibt die Broschüre **Informationen zum Thema „Klima“: Grundlagen, Geschichte und Projektionen**, die kostenlos bei der Allianz Umweltstiftung angefordert oder heruntergeladen werden kann.



Klimawandel. Folie 1

### Standpunkte

▶◀ Klimaänderungen hat es im Lauf der Geschichte immer wieder gegeben. Kontinuität ist eher die Ausnahme als die Regel.

▶◀ Die Geschwindigkeit, mit der sich das Klima in jüngster Zeit ändert, ist beispiellos. Ob und wie der Mensch in der Lage sein wird, darauf zu reagieren, ist die große Frage.

# Mit dem Klimawandel leben.

*Viele Folgen des Klimawandels sind nicht mehr zu vermeiden. Deshalb gilt:  
„Nicht nur das Klima vor dem Menschen schützen, sondern auch den Menschen vor dem Klima.“*

Dieses Kapitel zeigt Ihnen,

- welche Strategien entwickelt werden müssen, um mit den unvermeidbaren Klimaveränderungen leben zu können
- dass die Umsetzung der Maßnahmen internationale Kooperation erfordert
- dass es Grenzen der Anpassung gibt.



Land unter: Vor allem an den großen Flüssen wird man sich auf häufigeres Hochwasser einstellen müssen.

Anpassung gefragt: Die Alpen werden besonders stark vom Klimawandel betroffen sein.



## Auf das Unvermeidbare reagieren.

In der öffentlichen Wahrnehmung spielt das Thema **Anpassung an den Klimawandel** bis heute eine untergeordnete Rolle. So wurde in den vergangenen Jahren zunächst leidenschaftlich diskutiert, ob es eine globale Erwärmung gibt, wer dafür verantwortlich ist und welche möglichen Folgen zu erwarten sind. Heute stehen die erforderlichen Emissionsreduzierungen sowie die daraus für die Weltgemeinschaft entstehenden Verpflichtungen im Vordergrund.

Doch selbst im günstigsten Szenario des IPCC wird mit einem weiteren Temperaturanstieg gerechnet (um 1,8 °C bis 2100). Sogar bei einem sofortigen Stopp aller Treibhausgas-Emissionen wäre aufgrund der **Trägheit des Klimasystems** ein Anstieg von mindestens 0,6 °C zu erwarten. Auch eine noch so drastische Emissionsreduzierung wird also den Klimawandel und die damit zusammenhängenden Folgen nicht völlig verhindern können. Lediglich die Höhe und die Geschwindigkeit des Temperaturanstiegs lassen sich durch eine entsprechende Klimapolitik noch beeinflussen.

## Klimaschutz – Schutz vor dem Klima?

**Strategien zur Anpassung** an die unvermeidlichen Folgen des Klimawandels sollten daher rasch entwickelt und umgesetzt werden. Ziel dabei ist, Menschenleben zu schützen, wirtschaftliche Schäden so gering wie möglich zu halten und, wenn möglich, positive Folgen zu nutzen. Unabhängig von zukünftigen Entwicklungen würden viele Regionen, die schon heute durch Starkregen, Überschwemmungen, Hitzeperioden oder Wirbelstürme gefährdet sind, von Anpassungsmaßnahmen profitieren.

Bereits in der **Klimarahmenkonvention von 1992** haben sich die beteiligten Länder verpflichtet, „nationale [...] Programme zu erarbeiten, umzusetzen und zu veröffentlichen und regelmäßig zu aktualisieren, in denen [...] Maßnahmen zur Erleichterung einer angemessenen Anpassung an die Klimaänderungen vorgesehen sind.“ Um derartige Anpassungsstrategien wirksam und zielgerichtet zu entwickeln, sind möglichst detaillierte Prognosen nötig. Forschungen befassen sich deshalb einerseits mit den möglichen **Auswirkungen** des Klimawandels auf eine bestimmte Region, andererseits mit der **Anfälligkeit** der verschiedenen Regionen bzw. ihrer **Fähigkeit zur Anpassung**.

## Aktionspläne.

Ein Beispiel auf internationaler Ebene ist das so genannte AIACC-Projekt (2001–2007). Ein Team internationaler Wissenschaftler unter Leitung des UN-Umweltprogramms (UNEP) untersuchte dabei die Auswirkungen des Klimawandels in verschiedenen Weltregionen und formulierte konkrete Empfehlungen für 24 besonders betroffene Länder.

Die deutsche Bundesregierung beschloss 2005 im Rahmen des „Nationalen Klimaschutzprogramms“ ein „Konzept zur Anpassung an den Klimawandel in Deutschland“. Am Umweltbundesamt wurde dazu das „**Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung**“ (KomPass) eingerichtet. Für unterschiedliche Bereiche, wie Gesundheit, Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Verkehr oder Tourismus, wird ermittelt, wie sie von den erwarteten Aus-

### Unter Palmen am Chiemsee?

Um möglichst zielgenaue Anpassungsstrategien entwickeln zu können, hat das Umweltbundesamt detaillierte Klimaszenarien für Deutschland bis zum Jahr 2100 erstellen lassen: Südwestdeutschland, Ostdeutschland und die Alpen werden demnach am stärksten betroffen sein. In Ostdeutschland sind die geringe Wasserverfügbarkeit und die Gefahr von Dürren im Sommer ausschlaggebend. Bis 2080 könnten hier Niederschlagsverhältnisse herrschen wie heute im südlichen Spanien. In Südwestdeutschland, vor allem im Oberrheingraben, wird mit der stärksten Erwärmung innerhalb Deutschlands gerechnet – je nach Anstieg der Treibhausgase um mehr als 4°C im Vergleich zum Durchschnitt der letzten 50 Jahre. In den Alpen beruht die Anfälligkeit auf der zunehmenden Hochwassergefahr sowie der Gefährdung vieler endemischer (nur hier vorkommender) Tier- und Pflanzenarten, die ein kühleres Klima bevorzugen und bei einer Erwärmung nicht in andere Regionen ausweichen können.

Insgesamt wird es im Sommer in weiten Teilen Deutschlands wahrscheinlich weniger Niederschläge geben. Im Winter werden im Süden und Südosten mehr Niederschläge fallen – allerdings weniger in Form von Schnee. Eine Zunahme von Wetterextremen wie Stürme, Starkniederschläge und Hitzeperioden gilt als wahrscheinlich.

wirkungen des Klimawandels betroffen sind, welche Anpassungsmaßnahmen sinnvoll und nötig sind, was sie kosten und ob technische oder finanzielle Grenzen bestehen. 2008 verabschiedete das Bundeskabinett die „Deutsche Anpassungsstrategie“, die für 15 Handlungsbereiche und ausgewählte Regionen mögliche Klimafolgen und Anpassungsstrategien skizziert. Bis 2011 soll dann gemeinsam mit den Bundesländern und anderen Beteiligten ein konkreter Aktionsplan „Anpassung“ erarbeitet werden.

### Umdenken in der Landwirtschaft.

In vielen Teilen der Welt wird in Zukunft Wasser immer weniger verfügbar sein. Betroffen sind v. a. die Regionen, in denen bereits jetzt das Wasser knapp und die Abhängigkeit der Menschen von der Landwirtschaft groß ist. Anpassung kann hier z. B. durch **innovative Bewässerungsmethoden** und die **Verwendung anderer Pflanzensorten oder**



**Nutztierarten** erfolgen. So könnte laut AIACC-Projekt in Gambia trotz ausbleibender Regenfälle die Hirsernte erhöht werden, wenn neue Sorten, Dünger oder ein anderes Bewässerungssystem eingesetzt würden.

### Auf Wetterextreme vorbereitet sein.

Die für viele Regionen prognostizierte Zunahme von Niederschlägen und Wetterextremen erfordert verstärkte Anstrengungen beim Schutz vor Überschwemmungen, Erdbeben und Stürmen – z. B. durch bessere **Vorhersage- und Frühwarnsysteme** oder **direkte Schutzmaßnahmen** (Deiche, Dämme, Schutzmauern ...). Auch indirekte und vorbeugende Maßnahmen wie die **Schaffung großer Überflutungsbereiche** und eine entsprechende **Bau- und Siedlungsplanung** sind Teil einer vorausschauenden Anpassungsstrategie. Ein Brennpunkt in diesem Zusammenhang sind die Küstengebiete: Sie zählen zu den besonders dicht bevölkerten Regionen und sind von steigendem Meeresspiegel und Stürmen besonders betroffen. Was Anpassungsmaßnahmen bewirken können, zeigt sich z. B. in Bangladesch. Nach katastrophalen Zerstörungen durch Zyklone in den Jahren 1970 und 1991 schuf die Regierung ein Programm zum Schutz der Bevölkerung: Eine Leitzentrale sammelt Informationen von Schiffen, Radarstationen sowie Wettersatelliten und löst bei einem anrückenden Zyklon über Radio und Fernsehen Alarm aus. Für die Bevölkerung wurden zahlreiche Schutzbauten errichtet. Der Erfolg des Programms zeigte sich 2007: Beim Zyklon „Sidr“ starben weit weniger Menschen als 1970 bzw. 1991.

Wenn der Regen ausbleibt: In vielen Regionen wird die Landwirtschaft auf geringere Niederschläge reagieren müssen – z. B. mit innovativen Bewässerungsmethoden.

Vorsorge statt Nachsorge: Verbesserte Vorhersage- und Frühwarnsysteme können zur Verminderung von Sturmschäden beitragen.





Einen kühlen Kopf bewahren: Gezielte Aufklärung hilft der Bevölkerung, sich bei Hitzewellen richtig zu verhalten.

In Zukunft wärmer und sonniger: Die Urlaubsorte an der Ostsee werden wahrscheinlich vom Klimawandel profitieren.



## Wenn das Klima krank macht.

Die erwarteten Klimaveränderungen werden sich nach Ansicht vieler Experten auch auf die menschliche Gesundheit auswirken. Die Zunahme hitzebedingter Erkrankungen und Todesfälle sowie die Ausbreitung typischer Tropenkrankheiten nach Norden werden als häufigste Folgen genannt. Anpassung kann hier durch eine **verbesserte Aufklärung** der Bevölkerung und des medizinischen Fach- und Pflegepersonals, die Einführung entsprechender **Frühwarnsysteme** und **spezieller Gesundheitsprogramme** erfolgen – wie die folgenden Beispiele zeigen:

Im Sommer 2003 kam es in Europa durch eine außergewöhnliche Hitzewelle zu ca. 35 000 Todesfällen. Allein in Frankreich starben 12 000 meist ältere Menschen. Dies lag insbesondere an mangelnder Information und Vorbereitung der Bevölkerung sowie des Pflegepersonals in Altenheimen. In den folgenden Jahren wurden europaweit Warn- und Informationssysteme aufgebaut – 2006 führten ähnlich hohe Temperaturen zu deutlich weniger Toten.

In den nördlichen Regionen Mexikos gab es zwischen 1980 und 1996 tausend Mal mehr Fälle des von einer Mücke übertragenen Denguefiebers als im Süden von Texas. Da beide Regionen über ein nahezu identisches Klima verfügen, ist dies nur mit den gesellschaftlichen Unterschieden (Gesundheitssystem, soziale und sanitäre Verhältnisse) zu erklären. Ähnliches gilt für die ebenfalls von einer Stechmücke übertragene Malaria. Sie tritt besonders dort auf, wo große Armut herrscht. Neben dem Angebot an Information sind also die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen ein wichtiger Faktor für die Anfälligkeit gegenüber Klimafolgen.

## Neue Konzepte im Tourismus.

Die Tourismusbranche wird sich allen Prognosen nach weltweit auf Veränderungen einstellen müssen. Manche Länder und Regionen können vom Klimawandel profitieren, andere zählen eher zu den Verlierern – z. B. die Mittelmeerländer, in denen es im Sommer unerträglich heiß werden könnte. Nordeuropa, speziell die deutsche Ostseeküste, darf sich dagegen auf steigende Touristenzahlen freuen. Für die Alpen wird ein Rückgang der winterlichen Schneebedeckung prognostiziert, was vor allem tiefer gelegene Skigebiete vor Probleme stellen dürfte. Dem könnte durch flexible und neue Urlaubsangebote begegnet werden.

## Lebensräume erhalten und schaffen.

Auch Tiere und Pflanzen werden vom Klimawandel betroffen sein, vor allem von veränderten Temperatur- und Niederschlagsverhältnissen. So reagieren zum Beispiel Korallenriffe sehr empfindlich auf Veränderungen der Wassertemperatur. Wird diese zu hoch, stört dies die lebenswichtige Symbiose zwischen Korallen und Algen. Es kommt zur Korallenbleiche und zum Absterben ganzer Riffe mit ihren komplexen Lebensgemeinschaften. Auch viele andere Ökosysteme oder einzelne Arten werden sich nur schwer anpassen können. Bei **Planung und Management von Schutzgebieten** sollte deshalb dafür gesorgt werden, dass sich betroffene Tiere und Pflanzen neue Lebensräume erschließen können, was v. a. in dichter besiedelten Ländern schwierig werden könnte. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den sogenannten „Hot Spots“ – Regionen oder Schutzgebieten, die eine besonders hohe oder einmalige Artenvielfalt aufweisen.

## Mehrere Fliegen mit einer Klappe.

**Anpassungsmaßnahmen** können **lokal und regional umgesetzt** werden, kommen der Bevölkerung vor Ort zugute und sind **unmittelbar wirksam**. Sie sind deshalb politisch besser durchsetzbar als die nachfolgend diskutierten Reduktionsmaßnahmen bei Treibhausgasen, die auf internationalen Konferenzen ausgehandelt werden und, wenn überhaupt, in ferner Zukunft und eher global wirken. Anpassung gibt dem Einzelnen, einer Region oder einem Land die Möglichkeit, direkt und unmittel-

bar auf klimabedingte Veränderungen zu reagieren. Eine rasche Umsetzung macht sich sofort in einer geringeren Anfälligkeit bemerkbar. Oft können mehrere Ziele gleichzeitig erreicht oder **positive Effekte** verstärkt werden. So dient beispielsweise das Freihalten von Überschwemmungsflächen auch dem Schutz von Auenwäldern. Der Aufbau eines gut funktionierenden Hitze- oder Sturmwarnsystems kommt der Bevölkerung auch bei „normalen“ Katastrophen zugute und vorbeugende Gesundheitsprogramme sowie Aufklärungskampagnen haben auch unabhängig von Klimafolgen positive Auswirkungen auf eine Gesellschaft.

## Internationale Kooperation.

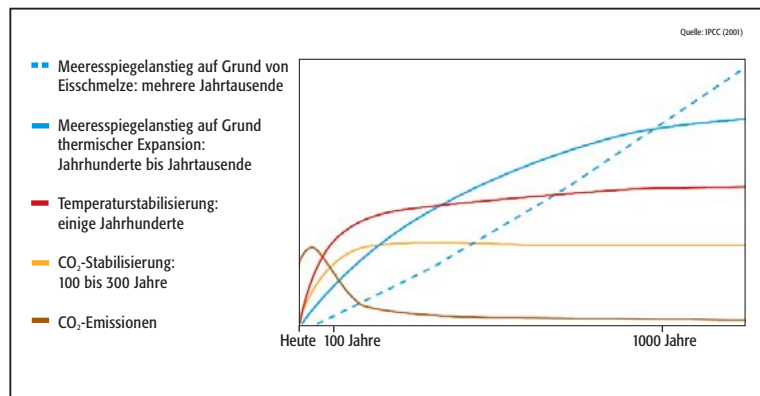
Die Fähigkeit eines Landes, sich an wetter- und klimabedingte Gefahren und Belastungen anzupassen, ist von seinen finanziellen und wirtschaftlichen Ressourcen sowie seinem politischen System abhängig. Viele Entwicklungs- und Schwellenländer sind deshalb doppelt benachteiligt: Zum einen werden sie wahrscheinlich am stärksten unter den Folgen des Klimawandels leiden, obwohl sie am wenigsten dazu beigetragen haben. Zum anderen können sie oft nicht die nötigen Mittel für Anpassungsmaßnahmen aufbringen. Auf der Klimakonferenz von Bali im Dezember 2007 wurde deshalb ein **Anpassungsfonds** eingerichtet, der über eine Abgabe auf Umsätze im Emissionshandel finanziert wird. Experten halten die daraus entstehenden Summen allerdings für nicht mehr als den sprichwörtlichen „Tropfen auf den heißen Stein“.

## Anpassung allein reicht nicht.

Inzwischen haben mehrere Studien gezeigt, dass die Kosten zur Behebung von durch den Klimawandel verursachten Schäden astronomische

### Das Wichtigste in Kürze:

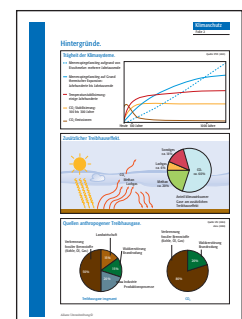
- ▶ Der Klimawandel ist nicht mehr aufzuhalten, allenfalls noch zu bremsen.
- ▶ Die Anpassung an die unvermeidbaren Folgen ist deshalb ein wichtiger Baustein einer weltweiten Klimastrategie.
- ▶ Vor allem die ärmeren Staaten werden sich kaum vor den Folgen des Klimawandels schützen können. Sie sind deshalb auf die Hilfe der Industriestaaten angewiesen.
- ▶ Um die Anpassungsfähigkeit nicht zu überfordern, ist gleichzeitig auch die Reduktion der Treibhausgas-Emissionen nötig.



Trägheit der Klimasysteme (Abb. 2.1): Auch wenn sich der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre stabilisiert, wird der Meeresspiegel noch über Jahrhunderte hinweg ansteigen.

Höhen erreichen, wenn sich die Treibhausgas-Emissionen weiter ungebremst entwickeln. Auch wenn konkrete Zahlen aufgrund vieler unbekannter Faktoren mit Vorsicht zu bewerten sind, zeigt sich immer deutlicher: **Je schneller und stärker der Klimawandel voranschreitet, desto teurer wird es.**

Bei einer stärkeren Temperaturerhöhung können zudem so genannte Kipp-Punkte – **Tipping-Points** – erreicht werden, wie z. B. das Abschmelzen des grönländischen Eisschildes. Einmal in Gang gekommen, ließe sich dieser Vorgang nicht mehr umkehren. Der Meeresspiegel würde unaufhaltsam um bis zu 7 m ansteigen – über Jahrhunderte hinweg, selbst wenn sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration stabilisieren bzw. zurückfahren ließe (Folie 2, Abb. 2.1). Anpassung alleine ist deshalb keine ausreichende Reaktion auf die Herausforderung Klimawandel. Ohne eine gleichzeitige Emissionsreduzierung wird sie rasch an ihre wirtschaftlichen und technischen Grenzen stoßen. Zudem sind Anpassungsmaßnahmen umso wirkungsvoller, je schneller parallel dazu der Ausstoß von Treibhausgasen reduziert wird.



Hintergründe.  
Folie 2

### Standpunkte

- ▶ Der Mensch ist ein Anpassungskünstler. Bei uns wird's wärmer? Macht nichts, in wärmeren Ländern leben ja auch Menschen. Außerdem hat der Klimawandel auch positive Effekte.
- ▶ Die Anpassungsfähigkeit hat Grenzen. Eine deutliche Klimaerwärmung könnte weltweit zu Millionen von Klimaflüchtlingen führen.
- ▶ In Entwicklungsländern muss vorrangig nach dem Prinzip „Hilfe zur Selbsthilfe“ die wirtschaftliche Entwicklung unterstützt werden. Denn die Schaffung von Wohlstand ist die beste Anpassungsmaßnahme.

# Den Klimawandel bremsen.

*Die Diagnose ist klar, die Ursachen sind bekannt, ein „Weiter so wie bisher“ ist kaum mehr zu verantworten. Doch wo und wie macht Handeln Sinn?*

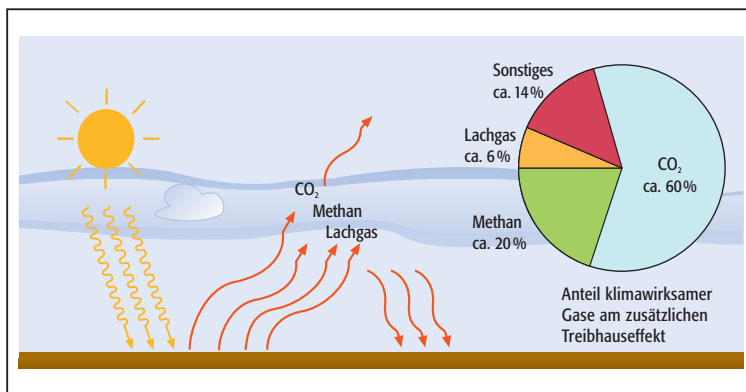
Dieses Kapitel erklärt Ihnen,

- wie der Mensch den Treibhauseffekt verstärkt
- welche Rolle die Energieversorgung dabei spielt.



Fossile Energieträger: Hauptstützen der weltweiten Energieversorgung und Hauptursache des anthropogenen Treibhauseffektes.

Der zusätzliche Treibhauseffekt (Abb. 2.2): CO<sub>2</sub>, Methan und Lachgas haben den größten Anteil.



## Die Wirkung der Treibhausgase.

Durch die **Emission von Treibhausgasen** verstärkt der Mensch den natürlichen Treibhauseffekt. Welchen Anteil einzelne Treibhausgase daran haben, hängt von ihrer Klimawirksamkeit und ihrer Menge ab.

Dem **Kohlendioxid** (CO<sub>2</sub>) kommt eine bedeutende Rolle zu. Sein Beitrag zum anthropogenen, zusätzlichen Treibhauseffekt wird auf etwa 60 % geschätzt. **Methan** ist zwar 20-mal wirksamer als CO<sub>2</sub>, jedoch in wesentlich geringeren Mengen vorhanden. Es wird für 20 % des zusätzlichen Treibhauseffektes verantwortlich gemacht, das 300-mal wirksamere **Lachgas** für nur 6 %. Den Rest machen verschiedene andere Gase aus, u. a. die extrem klimawirksamen **Fluorchlorkohlenwasserstoffe** (Folie 2, Abb. 2.2).

## Nachschub für das Treibhaus.

Das vom Menschen in die Atmosphäre verbrachte CO<sub>2</sub> stammt zu etwa drei Vierteln aus der **Verbrennung der fossilen Energieträger** Kohle, Erdöl und Erdgas (Folie 2, Abb. 2.3). Ein erheblicher Teil wird auch bei der **Brandrodung** großer Waldgebiete freigesetzt. Das in den Bäumen gespeicherte CO<sub>2</sub> entweicht dabei ebenso in die Atmosphäre wie ein Teil des im Boden gebundenen Kohlenstoffs. Eine weitere nicht zu unterschätzende



Energieerzeugung, Brandrodung und Landwirtschaft sind gemeinsam für 80 % des anthropogenen Treibhauseffektes verantwortlich.

Quelle sind großflächige unterirdische Brände von Kohleflözen – v. a. in Ländern wie China, Indien, Indonesien, aber auch den USA. Allein die chinesischen Brände setzen Schätzungen zufolge so viel CO<sub>2</sub> frei wie der gesamte deutsche Straßenverkehr.

Über die Hälfte der weltweiten **Methan-Emissionen** kommt vermutlich aus anthropogenen Quellen – u. a. aus der **Verbrennung fossiler Energieträger** oder durch **Ausgasungen aus Deponien**. Hauptquelle ist allerdings die **Landwirtschaft**, hier besonders der Reisanbau und die Viehzucht. Vor allem Rindermägen produzieren Methan. Der zunehmende Fleischkonsum – inzwischen auch in Schwellenländern wie China – führt weltweit zu immer größeren Viehbeständen und damit zu steigenden Emissionen.

Eine weitere, derzeit noch weitgehend ruhende Methanquelle sind die **Permafrostgebiete** der Nordhemisphäre, die immerhin 25 % der Land-

masse der Erde ausmachen. Sollten sie großflächig auftauen, befürchten Wissenschaftler die Freisetzung großer Mengen Methan – und CO<sub>2</sub>.

Auch die anthropogenen **Lachgas-Emissionen** hängen mit der Landwirtschaft zusammen, in erster Linie mit dem **Einsatz von Mineraldünger**. Daneben wird auch in der **industriellen Produktion** sowie bei der Verbrennung fossiler Rohstoffe und der Brandrodung Lachgas frei.

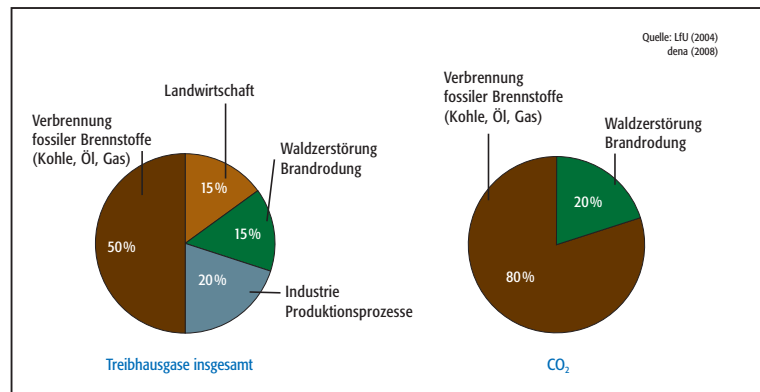
Berücksichtigt man alle relevanten Treibhausgase, sind am anthropogenen Treibhauseffekt die Brandrodung von Wäldern und die Landwirtschaft mit jeweils ca. 15% beteiligt, die chemische Produktion (z. B. FCKW) mit etwa 20% und die Verbrennung fossiler Energieträger mit 50%. Der **Energiebedarf der Welt** ist also **Hauptursache** für die steigenden Treibhausgas-Konzentrationen und den Klimawandel – denn über 80% des weltweiten Primärenergieverbrauchs entstammen fossilen Energieträgern (Folie 2, Abb. 2.3).

## Der Geist aus der Flasche.

Der weltweite **Bedarf an Energie** wird allen Prognosen nach **weiter steigen**. Grund ist neben dem stetigen **Anwachsen der Weltbevölkerung** das **starke Wirtschaftswachstum** in Schwellenländern wie Brasilien, Indien und besonders China. Zukünftig werden auch die bisher weniger entwickelten Länder einen höheren Wohlstand anstreben, was mit einem steigenden Energiebedarf verbunden ist. Die Internationale Energieagentur (IEA) rechnet damit, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 um 45% zunehmen (im Vgl. zu 2005). Die Konzentration von CO<sub>2</sub> würde dadurch weiter steigen und der daraus resultierende Klimawandel in den folgenden Jahrzehnten nicht mehr beherrschbare Ausmaße annehmen. Der IPCC empfiehlt, den CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre **nicht über 400 ppm** (derzeit 385 ppm) ansteigen zu lassen. Dies entspricht der bereits genannten 2°C-Marke.

### Das Wichtigste in Kürze:

- ▶ Der Klimawandel wird vor allem durch eine Zunahme der Treibhausgase CO<sub>2</sub>, Methan und Lachgas in unserer Atmosphäre verursacht.
- ▶ Diese Gase stammen aus der Brandrodung von Wäldern sowie aus Landwirtschaft und Industrie; Hauptquelle ist aber die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas zur Energiegewinnung.
- ▶ Wichtigste Stellschraube für unser künftiges Weltklima ist deshalb die Art der Energieversorgung bzw. die Wahl der Energiequellen.



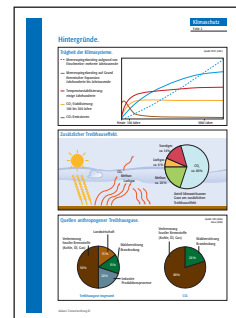
Quellen anthropogener Treibhausgase (Abb. 2.3): Die Energiewirtschaft ist bei den Treibhausgasen zu 50%, beim CO<sub>2</sub> sogar zu 80% beteiligt.

## Stabilisieren.

Um dieses Ziel zu erreichen, müsste der Zuwachs der globalen **Treibhausgas-Emissionen bis spätestens 2020 gestoppt werden** – trotz Wirtschaftswachstum und Bevölkerungswachstum. Anschließend sollten die weltweiten Emissionen bis zum Jahr **2050 um 50% gegenüber 1990 sinken** und dieses Niveau dann auch langfristig nicht überschreiten. Für Industrieländer wird sogar eine Reduzierung um 80% bis 2050 gefordert, weil sie für den weitaus größten Teil der bisherigen Emissionen verantwortlich sind.

Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen sollten also rasch und an möglichst vielen Punkten gleichzeitig ansetzen. Das Löschen brennender Kohleflöze bietet sich hier genauso an wie entsprechende Maßnahmen in der Landwirtschaft. Besonders schnell und effektiv würde eine Reduzierung oder ein Stopp der Brandrodung von Wäldern wirken.

Die Schlüsselfrage und damit die wichtigste Stellschraube für das zukünftige Klima ist allerdings die **weltweite Energieversorgung**: Wie kann es gelingen, den Energiebedarf mit weniger Treibhausgas- und insbesondere weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen zu decken?



Hintergründe. Folie 2

### Standpunkte

▶ Die derzeitige Art der Energiegewinnung ist nicht zukunftsfähig. Um die Treibhausgas-Emissionen wirkungsvoll zu senken und den Klimawandel zu bremsen, ist ein schnelles und radikales Umsteuern in Sachen Energie nötig.

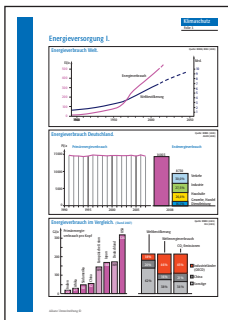
▶ Neben der Energiegewinnung dürfen andere Bereiche nicht vernachlässigt werden. Ein Stopp der Brandrodung von Wäldern in Asien und Südamerika wäre schneller umzusetzen und würde sofort wirken.

# Energieversorgung – eine Schlüsselfrage.

*Eine zuverlässige Energieversorgung hat unsere heutige Zivilisation erst möglich gemacht. Doch ist die Struktur der Vergangenheit auch die Lösung für die Zukunft?*

## Dieses Kapitel beleuchtet

- die Bedeutung von Energie für das menschliche Leben
- den aktuellen Stand der Energieversorgung
- den zukünftigen Energiebedarf
- die Problematik fossiler Energieträger.



Energieversorgung I.  
Folie 3

**Strom, Wärme, Mobilität:**  
ohne ausreichend Energie  
ist unser heutiges Leben  
nicht denkbar.



## Ohne Energie geht nichts.

Wie selbstverständlich kommt für uns Strom aus der Steckdose, heißes Wasser aus der Leitung und Treibstoff aus der Zapfsäule. Eine zuverlässige und ausreichende **Energieversorgung** ist Grundlage unseres Lebensstandards und unseres Alltagslebens. Energie bedeutet unter anderem:

- Wärme (Heizung, Warmwasser, Küchenherd ...)
- Kälte (Kühlschrank, Klimaanlage ...)
- Licht (Wohnung, Straße ...)
- Mobilität (Auto, Bahn, Flugzeug ...)
- Transport (Güter, Personen ...)
- Kommunikation (Telefon, Internet ...)
- Arbeiterleichterung (Haushalt, Industrie ...)
- Unterhaltung (Fernseher, Stereoanlage, Kino, Computer-Spiele ...)
- Produktion (Antrieb von Maschinen, Steuerungen ...).

Den meisten Menschen wird ihr **Energieverbrauch** erst bewusst, wenn – vor allem für Heizung und Auto – Öl, Gas, Benzin oder Strom bezahlt werden müssen. Dabei geht der **indirekte Energieverbrauch** in der Wahrnehmung oft unter, obwohl er den **direkten** um das 2,5-fache übersteigt. Zum indirekten Energieverbrauch zählen:

- Energie für die Umwandlung von **Primärenergie** (z. B. Kohle, Erdöl, Wind) in für Verbraucher nutzbare **Endenergie** (z. B. Heizöl, Benzin, Strom)
- Energie für die Herstellung von Lebensmitteln, Kleidung, Gegenständen des täglichen Bedarfs
- Energie für den Bau von Straßen, Häusern ...
- Energie für den Transport von Gütern und Personen.

Manche Energieträger dienen nicht nur der Energiegewinnung, sondern auch als **Rohstoff**. Erdöl z. B. steckt in den verschiedensten Pro-

dukten, von Kunststoffen über Kosmetikartikeln bis Medikamenten. In diesem Fall spricht man vom **nicht energetischen** Verbrauch.

## Immer mehr Energie.

Der **Welt-Primärenergieverbrauch** hat sich in den letzten 30 Jahren **beinahe verdoppelt** und betrug im Jahr 2008 über 500 000 EJ (Folie 3, Abb. 3.1). Ein Mensch verbraucht heute im Durchschnitt 16-mal mehr Energie als vor 130 Jahren, in den Industriestaaten noch wesentlich mehr. In Deutschland wurden 2008 14 003 PJ Primärenergie verbraucht. Nach Abzug der **Umwandlungsverluste** verblieben 8 730 PJ an **Endenergie**, die sich zu etwa je einem Drittel auf die Bereiche Haushalte, Verkehr und Bereitstellung von Waren und Dienstleistungen aufteilte (Folie 3, Abb. 3.2). Weltweit bestehen beim Energieverbrauch sehr große Unterschiede. 18 % der Weltbevölkerung leben in den Industriestaaten und sind für fast die Hälfte des weltweiten Primärenergieverbrauchs und der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich (Folie 3, Abb. 3.3). Bewohner der ärmsten Länder wie Jemen, Haiti oder Bangladesch müssen mit einem Dreißigstel der Energie auskommen, die ein US-Amerikaner verbraucht. Über 2 Milliarden Menschen haben keinen direkten Zugang zu Elektrizität.

## Das Ende der Fahnenstange?

Für die nächsten Jahrzehnte rechnen Experten mit einem **weiteren Anstieg** des **weltweiten Energiebedarfs**. Die **Weltbevölkerung** wird von derzeit 6,75 Mrd. (2008) auf geschätzte 8,2 Mrd. Menschen im Jahr 2030 anwachsen und dann entsprechend mehr Energie verbrauchen. Dazu kommt die **zunehmende Industrialisierung** in den Schwellen- und Entwicklungsländern, die den Energiebedarf



Energie hält unsere Welt in Bewegung: Neben dem direkten Energieverbrauch geht der indirekte in der Wahrnehmung meist unter, obwohl er um den Faktor 2,5 höher liegt.

weiter ansteigen lässt. Im Gegensatz dazu haben sich in vielen Industrieländern Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch entkoppelt, d. h. trotz Wirtschaftswachstums stagniert der Energieverbrauch – allerdings auf hohem Niveau.

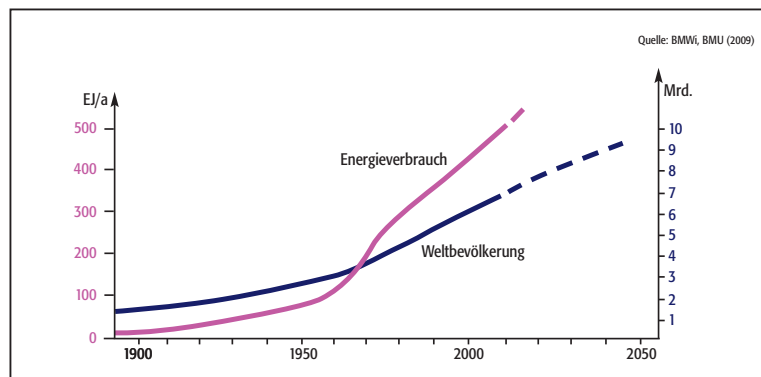
Auch die **Mobilität** nimmt weltweit ständig zu. Ein eigenes Auto fahren, in den Urlaub fliegen, – für viele ist das der Inbegriff von Freiheit und Wohlstand. In Deutschland kommen heute auf 1 000 Einwohner über 500 Autos. Seit den 1950er Jahren ist der PKW-Bestand weltweit 5-mal schneller gestiegen als die Weltbevölkerung: von 50 Mio. auf heute 800 Mio. Autos. 2050 wird mit 2 Milliarden Fahrzeugen gerechnet.

## Energie fossil.

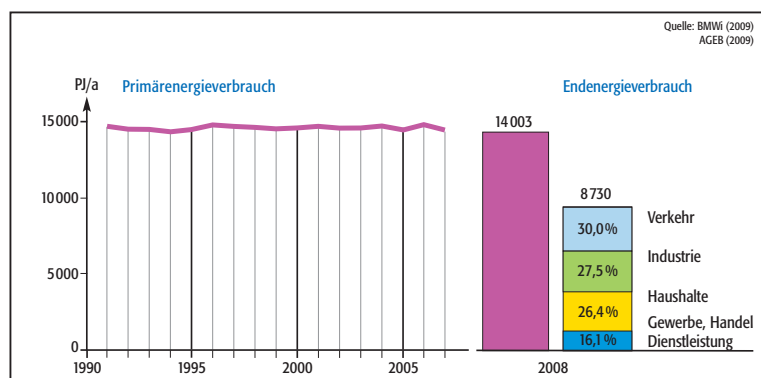
Die weltweite Energieversorgung stützt sich überwiegend auf die **fossilen Energieträger Kohle, Öl und Gas** (Folie 4, Abb. 4.1). Daran wird sich vermutlich auch in nächster Zukunft wenig ändern.

Der **globale Energiebedarf steigt** jährlich um ca. 2 %. Bis 2030 rechnet die IEA mit einer Zunahme um insgesamt 45 %. Der Ölbedarf wird demnach um 25 % steigen, bei Erdgas und Kohle wird eine Steigerung von 50 % bzw. 57 % vorausgesagt. Dazu trägt v. a. das Wachstum im asiatisch-pazifischen Raum bei. Allein China benötigte 2007 so viel Öl, wie Saudi-Arabien, Kuwait und Iran fördern. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Kohle. China verbraucht derzeit 40 % der weltweiten Kohleproduktion. Im Schnitt geht dort jede Woche ein 1 000-MW-Kohlekraftwerk ans Netz. Nicht zu unterschätzen ist auch die Rolle Indiens. 2010 wird Indien der viertgrößte Energieverbraucher nach den USA, China und Japan sein. Der Kraftwerkspark wird sich dort innerhalb von 10 Jahren verdoppeln.

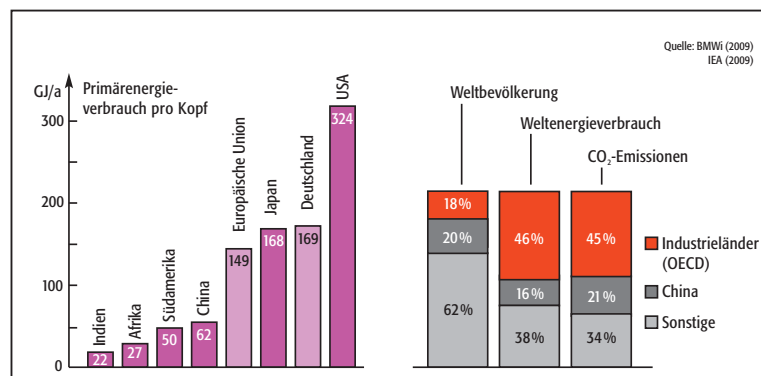
Auch in Deutschland dominieren die fossilen Energieträger (Folie 4, Abb. 4.1): Zur Erzeugung von Wärme – immerhin macht dies gut 50 % des gesamten Endenergieverbrauchs aus – wird zum Großteil Heizöl und Gas verwendet. Knapp die Hälfte davon verbrauchen die privaten Haushalte.



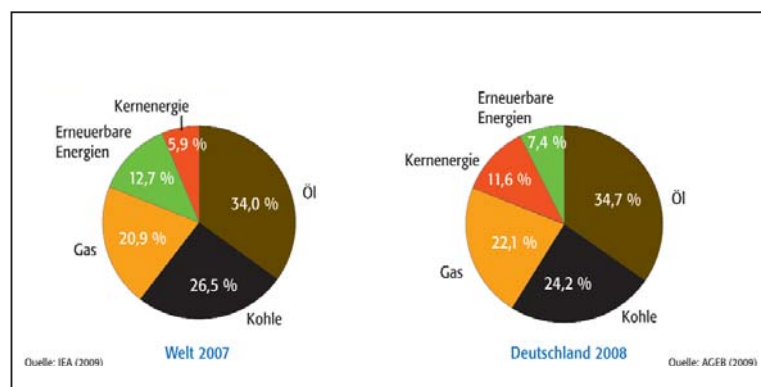
Weltbevölkerung und Energieverbrauch (Abb. 3.1): Tendenz steigend.



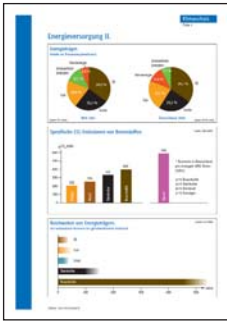
Energieverbrauch in Deutschland (Abb. 3.2): Stabilisierung auf hohem Niveau.



Energieverbrauch weltweit (Abb. 3.3): extrem ungleich.



Anteile der Energieträger an der Energieversorgung (Abb. 4.1): fossil dominiert.



Energieversorgung II.  
Folie 4



Kohle, Öl, Gas: Fossile  
Energieträger prägen  
weltweit die Energiever-  
sorgung.

Im Verkehrssektor mit einem Anteil von gut 30 % am Endenergieverbrauch kommen nahezu ausschließlich Mineralölprodukte zum Einsatz. Strom – seine Erzeugung schlägt mit gut 20 % zu Buche – wird fast zur Hälfte aus Braun- und Steinkohle gewonnen, mit steigender Tendenz aus Erdgas. Der Anteil der Kernkraft an der Stromerzeugung beträgt derzeit 23 %.

### Ab in die Atmosphäre.

Der Einsatz fossiler Energieträger führt immer zu **CO<sub>2</sub>-Emissionen**. Dabei gibt es erhebliche Unterschiede. Braunkohle setzt bei der Verbrennung pro Energieeinheit fast doppelt so viel CO<sub>2</sub> frei wie Erdgas (Folie 4, Abb. 4.2).

Nicht zu unterschätzen ist auch die **CO<sub>2</sub>-Bilanz** von Strom. Obwohl Strom in Deutschland nur ein Fünftel des gesamten Endenergieverbrauchs ausmacht, ist er für fast die Hälfte aller energiebedingten Treibhausgas-Emissionen verantwortlich. Das liegt vor allem am hohen Anteil fossiler Energieträger an der inländischen Stromerzeugung (mit 25 % Braun- und 22 % Steinkohle). Dies und die Energieverluste in den Kraftwerken sowie beim Stromtransport – zur Herstellung einer Energieeinheit Strom werden etwa 3 Einheiten Primärenergie verbraucht – belasten in Deutschland jede Kilowattstunde Strom mit knapp 600 g CO<sub>2</sub>. Dieser Wert liegt noch über den spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von Braunkohle. In Norwegen mit einem Anteil von fast 100 % regenerativer Energien an der Stromerzeugung entstehen pro Kilowattstunde lediglich 15 g CO<sub>2</sub>, in der Schweiz bei einem hohen Wasserkraftanteil sind es 41 g.

Der Stromverbrauch ist in den letzten Jahren in Deutschland kontinuierlich gestiegen. Zwar sind die Treibhausgas-Emissionen für die Herstellung einer kWh Strom durch den Einsatz

von erneuerbaren Energien und Gas und durch die besseren Wirkungsgrade der Kraftwerke gesunken, der Anstieg des Stromverbrauchs hat diese Reduktion allerdings kompensiert.

### Schlecht für das Klima.

Die Zahlen zeigen: Fossile Energieträger sind gegenwärtig die Grundpfeiler der Energieversorgung – weltweit. Im Moment deutet alles darauf hin, dass wir sie noch Jahrzehnte benötigen werden, möglicherweise sogar in größerem Ausmaß als heute. Denn wir wollen unseren Lebensstandard erhalten, andere wollen ihren erhöhen.

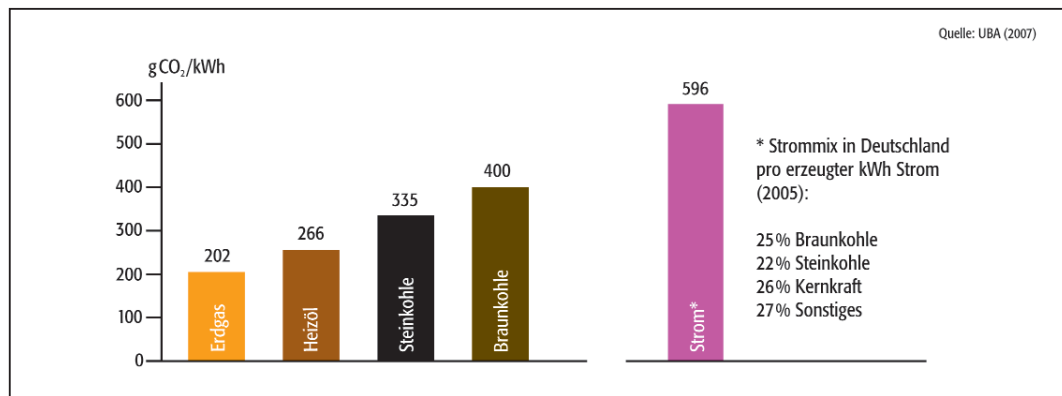
Bei einem „Weiter so wie bisher“ würden die CO<sub>2</sub>-Emissionen zwangsläufig stetig zunehmen. Eine Umstellung der Energieversorgung auf CO<sub>2</sub>-ärmere Energieträger wird in Zukunft aber auch aus einem weiteren Grund nötig werden: **Fossile Energieträger** – und auch Uran – sind **endlich**, die Vorräte begrenzt.

Wie lange sie in ausreichendem und bezahlbarem Umfang zur Verfügung stehen, hängt von den jeweiligen Reserven und Ressourcen ab.

### Bis zum letzten Tropfen.

Auf Folie 4, Abb. 4.3 sind die **Reichweiten** der so genannten **Reserven** dargestellt. Das sind Vorräte, die derzeit bekannt und wirtschaftlich abbaubar sind. Bei **Ressourcen** handelt es sich um Vorkommen, die noch nicht entdeckt sind, aber vermutet werden, sowie Vorkommen, die bekannt, aber derzeit technisch und/oder wirtschaftlich (noch) nicht abbaubar sind. Zu Letzteren zählen z. B. Ölschiefer, Ölsande, in Wasser führenden Schichten gebundenes Erdgas und Vorkommen in großer Tiefe. Schätzungen zufolge gibt es deutlich mehr Ressourcen als

Spezifische CO<sub>2</sub>-  
Emissionen von Brennstoffen (Abb. 4.2): Kohle setzt besonders viel CO<sub>2</sub> frei.



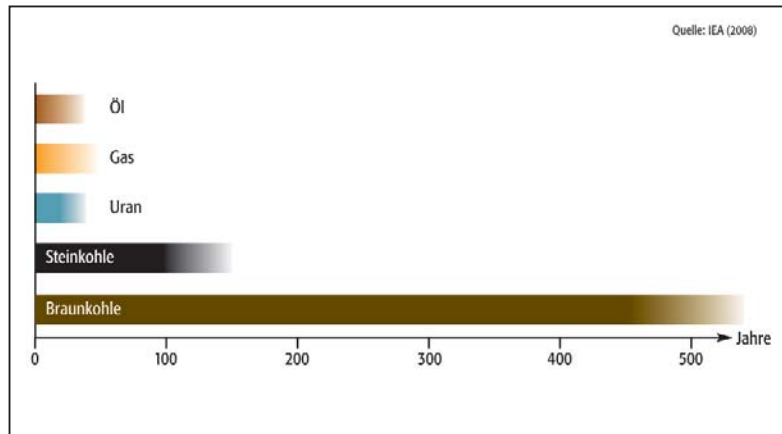


Energie auf Pump: Fossile Energieträger sind endlich.

Reserven. Trotzdem können die fossilen Energieträger und Uran den Energiebedarf der Menschheit langfristig nicht decken. Mit einer zunehmenden **Verknappung** dieser Energieträger wird vermutlich auch eine erhebliche **Verteuerung** verbunden sein. Auch wenn sich z. B. Rohöl als Folge der Finanzkrise deutlich verbilligt hat, zeigt die Entwicklung in den Jahren davor, wie sich eine steigende Nachfrage auf den Preis eines begrenzten Gutes auswirkt. Zur Erinnerung: Vom Ende der 1990er Jahre bis zum Beginn der Finanzkrise hatte sich der Rohölpreis mehr als versechsfacht. Erdöl ist im Verhältnis zu anderen fossilen Energieträgern bereits am stärksten ausgebeutet. Seit den 1980er Jahren wird weniger Öl gefunden als verbraucht. Aufgrund der gegenwärtigen Bedeutung von Erdöl wird man bald auf die teuren Ressourcen zurückgreifen müssen. Bei gleichbleibendem Verbrauch hat Erdöl mit ca. 42 Jahren die geringste Reichweite. Bezieht man die Ressourcen mit ein, steigt dieser Wert auf 63 Jahre. Die Reichweite von Erdgas beträgt ca. 64 Jahre, während uns bei der Kohle insbesondere die Braunkohle noch Jahrhunderte zur Verfügung steht. Sie hat allerdings auch die schlechteste CO<sub>2</sub>-Bilanz. Die Uranvorkommen reichen bei einer Nutzung in Leichtwasserreaktoren und ohne Aufbereitung der Kernbrennstoffe nur etwa 40 Jahre.

#### Das Wichtigste in Kürze:

- ▶ Wohlstand und Energieverfügbarkeit hängen eng miteinander zusammen. Weiteres Bevölkerungswachstum und das Streben nach wirtschaftlichem Aufschwung in Schwellen- und Entwicklungsländern wird den Energiebedarf weiter steigen lassen.
- ▶ Kohle, Öl und Gas sind die Träger der weltweiten Energieversorgung. Der Bedarf an diesen fossilen Energieträgern nimmt kontinuierlich zu.
- ▶ Die Nutzung fossiler Energieträger belastet das Weltklima. Außerdem sind die Vorräte endlich und in absehbarer Zeit erschöpft.



Reichweiten von Energieträgern (Abb. 4.3): Öl, Gas und Uran werden als Erste knapp.

Rechnet man einen steigenden Energiebedarf mit ein, verringern sich die Werte. Nach Berechnungen des Hamburger Weltwirtschaftsinstituts schrumpfen sie bei Öl auf nur noch 22 Jahre, bei Gas auf 42 Jahre.

### Nicht nachhaltig.

Die derzeitige Form der weltweiten Energieversorgung ist also aus mehreren Gründen problematisch: Zum einen **beeinflusst** das bei der **Verbrennung fossiler Energieträger** entstehende CO<sub>2</sub> das **Weltklima**. Zum anderen sind Kohle, Öl und Gas – wie auch Uran – **endlich**, eine Verknappung und damit Verteuerung ist absehbar. Außerdem bestehen **bedenkliche Abhängigkeiten**: Ein Großteil der Erdölreserven befindet sich in politisch instabilen Regionen und bei Erdgas sind die Abnehmer auf einige wenige Förderländer angewiesen. Es ist deshalb mehr als sinnvoll, Alternativen zu suchen oder zu entwickeln. Welche Rolle können die erneuerbaren Energien dabei spielen? Wie lässt sich der weltweite Energiebedarf reduzieren? Wie schnell muss ein Umsteuern erfolgen? Gibt es Übergangslösungen? Welche politischen Konzepte liegen dazu vor? Mit diesen und anderen Fragen beschäftigt sich die nachfolgenden Kapitel.

#### Standpunkte

▶ Wir können den Menschen in den ärmeren Staaten der Welt nicht einen Lebensstandard verbieten, den wir selbst in Anspruch nehmen. Der Energiehunger wird deutlich zunehmen. Fossile Energieträger bieten hier aber keine Perspektive, wir müssen uns so schnell wie möglich von ihnen verabschieden.

▶ Ohne Kohle, Öl und Gas wird es auch in Zukunft nicht gehen. Vor allem die Kohlevorräte reichen noch lange und Staaten mit reichen Vorkommen wie z. B. China werden kaum auf sie verzichten. Es müssen Wege gefunden werden, diese Energieträger effizienter und vor allem klimafreundlicher zu nutzen.

# Erneuerbare Energien.

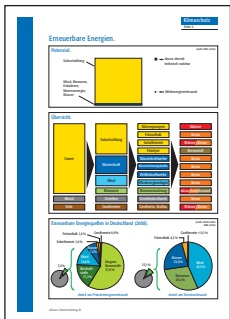
Über Jahrtausende stützte sich die Energieversorgung der Menschheit auf erneuerbare Energiequellen – bis sie von Kohle, Öl, Erdgas und Kernenergie verdrängt wurden. Doch die Erneuerbaren stehen vor ihrem Comeback.

Dieses Kapitel gibt Ihnen einen Überblick über

- die verschiedenen erneuerbaren Energieträger
- Stärken und Schwächen erneuerbarer Energien
- den aktuellen Beitrag erneuerbarer Energien zur Energieversorgung.

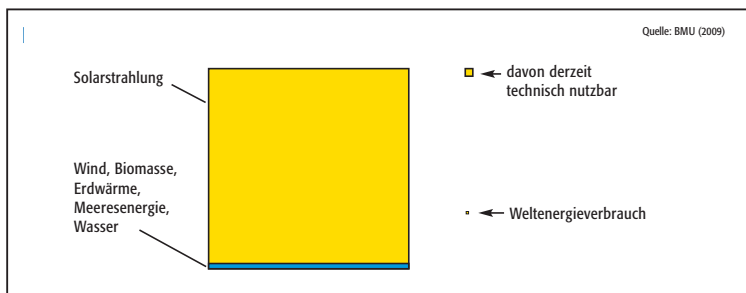


Unerschöpfliche Energiequelle: die Sonne.



Erneuerbare Energien. Folie 5

Potenziale erneuerbarer Energien (Abb. 5.1): Allein das derzeit technisch nutzbare Potenzial übersteigt den weltweiten Bedarf um ein Vielfaches.



## Unerschöpfliche Energie.

Fossile Energieträger werden eines Tages erschöpft sein. Sie bilden sich in vom Menschen überschaubaren Zeiträumen nicht neu. Anders ist es bei **erneuerbaren** oder **regenerativen Energieträgern**. Die wichtigste Quelle der erneuerbaren Energieträger ist die **Sonne**. In ihrem 15 Mio. °C heißen Inneren verschmilzt Wasserstoff zu Helium (Kernfusion), dabei wird energiereiche Strahlung frei und in den Weltraum abgestrahlt. Die auf der Erdoberfläche eintreffende Strahlung ist immer noch so groß, dass sie den menschlichen Bedarf bei Weitem übersteigt. Theoretisch – denn aktuell wird nur ein Bruchteil an Energie direkt aus der Sonnenenergie gewonnen (Folie 5, Abb. 5.1).

Die Sonne wärmt nicht nur die Erde, sie treibt den Wasserkreislauf an, bewirkt atmosphärische Strömungen (Wind) und ist Motor der Photosynthese. Damit beruhen nicht nur **Fotovoltaik** und **Solarthermie** auf der Kraft der Sonne, sondern auch **Wasser-** und **Windkraft** sowie die Nutzung von **Biomasse** (Folie 5, Abb. 5.2). Übrigens: Auch fossile Energieträger wie Kohle, Erdöl und Gas sind gespeicherte Sonnenenergie.

Eine nicht solare Energiequelle kommt aus dem mehrere 1 000 °C heißen Erdinneren. Hier ist, isoliert durch die Erdkruste, Energie aus der Erdentstehung gespeichert. Zusätzlich wird laufend Energie aus dem Zerfall radioaktiver Stoffe freigesetzt. Diese Energiequellen nutzt die **Geothermie**. Auch aus Planetenbewegungen und Anziehungskräften zwischen Erde, Mond und Sonne lässt sich Energie gewinnen. Beispiel hierfür ist die Nutzung der **Gezeitenenergie**.



Sonne, Wasser, Wind und Biomasse – gehört ihnen die Zukunft?

Folie 5 gibt einen Überblick über die verschiedenen regenerativen Energien und ihre Quellen.

## Stärken und Schwächen.

Im Hinblick auf die Einsparung von Treibhausgas-Emissionen werden in die regenerativen Energien große Hoffnungen gesetzt. Gegenüber den fossilen Energieträgern lassen sich folgende **Vorteile** nennen: Regenerative Energien

- ▶ verursachen kaum CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. sind klimaneutral
- ▶ sind unbegrenzt vorhanden bzw. erneuern sich
- ▶ lassen sich vergleichsweise gefahrlos nutzen und transportieren (keine Freisetzung problematischer Stoffe oder Strahlung)
- ▶ reduzieren die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und deren Förderländern
- ▶ können auch im Inland gewonnen werden, schaffen und sichern heimische Arbeitsplätze.

Ein weiteres Plus der erneuerbaren Energien: Die für den Bau der Anlagen eingesetzte Energie wird schnell wieder eingespielt, die **energetische Amortisationszeit** ist in der Regel kurz. Mit fossilen Energieträgern betriebene Kraftwerke amortisieren sich dagegen energetisch gesehen nie. Für

1 kWh Energie muss z. B. in einem Braunkohlekraftwerk Kohle mit einem Energiegehalt von 2,5 kWh verfeuert werden.

Auf der anderen Seite werden auch verschiedene **Nachteile** der erneuerbaren Energien in die Diskussion eingebracht:

- ▶ die zeitliche Verfügbarkeit ist beschränkt (v. a. bei Wind- und Sonnenenergie)
- ▶ die räumliche Verfügbarkeit ist eingeschränkt
- ▶ die erneuerbaren Energien sind nur sehr „verdünnt“ nutzbar und deshalb flächenintensiv
- ▶ Im Vergleich zu konventionellen Kraftwerken ist die Leistungsdichte meist geringer
- ▶ bei Biomasse besteht Konkurrenz zu Nahrungsmitteln oder zu Belangen des Natur- und Artenschutzes
- ▶ regenerative Energien sind z. T. noch nicht wirtschaftlich.

Die genannten Stärken und Schwächen sind nicht bei allen erneuerbaren Energieträgern gleich ausgeprägt. Näheres beleuchten die folgenden Kapitel.

## Erneuerbare Energien aktuell.

2007 wurden **12,7 %** des **Welt-Primärenergiebedarfs durch erneuerbare Energien gedeckt** (Folie 4, Abb. 4.1), davon fast **80 % durch Biomasse** und knapp über **17 % durch Wasserkraft**. Allerdings hat die Nutzung erneuerbarer Energien teilweise auch negative Auswirkungen:

In Afrika z. B. ist der Anteil der Erneuerbaren mit ca. 50 % zwar erfreulich hoch, beruht aber fast ausschließlich auf einer nicht nachhaltigen Nutzung von Brennholz und Holzkohle. Dies führt zum Raubbau an Wäldern und im Extremfall zur Versteppung ganzer Landstriche. Zudem kommt es bei der Verbrennung von Holz oder Viehdung an einfachen Feuerstellen zu gesundheitlichen Schäden durch Rauchbelastungen.

### Das Wichtigste in Kürze:

- ▶ Erneuerbare Energien sind praktisch unerschöpflich. Genutzt wird bislang nur ein Bruchteil.
- ▶ Die wichtigste erneuerbare Energiequelle ist die Sonne, die sich direkt (Fotovoltaik, Solarthermie) und indirekt (Wasserkraft, Wind, Biomasse) nutzen lässt. Erdwärme und Gezeitenenergie sind weitere erneuerbare Energiequellen.
- ▶ Die größten Vorteile erneuerbarer Energien sind ihre Klimaneutralität und ihre unbegrenzte Verfügbarkeit.
- ▶ Der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch der Welt liegt derzeit bei ca. 13 %, in Deutschland bei ca. 7 % – Tendenz steigend.



Der Drei-Schluchten-Staudamm in China: ein Mega-Projekt mit Risiken und Nebenwirkungen.

Wasserkraftwerke stellen, ob klein oder groß, immer auch einen ökologischen Eingriff in ein Gewässer dar. Für negative Schlagzeilen sorgten in der Vergangenheit vor allem Großprojekte wie der Drei-Schluchten-Staudamm am Jangtse in China. Hier kam es zu einer massiven Verschlechterung der Wasserqualität sowie sozialen Problemen durch Umsiedlungsmaßnahmen.

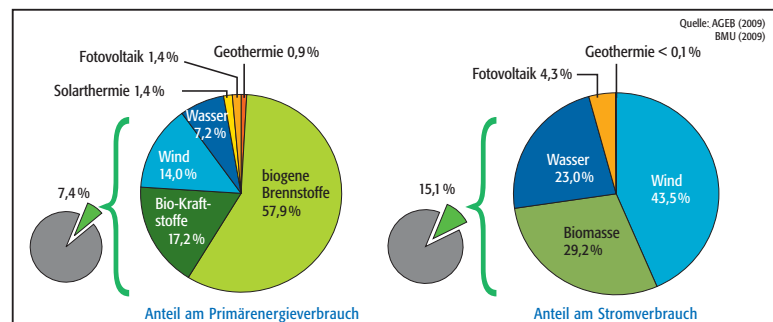
In Deutschland spielten regenerative Energien in den vergangenen Jahrzehnten kaum eine Rolle, allein die Wasserkraft konnte einen kleinen Beitrag zur Stromerzeugung liefern. In letzter Zeit ist der Anteil der erneuerbaren Energien jedoch deutlich gestiegen, befindet sich aber immer noch auf relativ niedrigem Niveau:

Erneuerbare Energien leisteten 2008

- 7,4 % des Primärenergieverbrauchs
- 9,7 % des Endenergieverbrauchs
- 15,1 % des Stromverbrauchs
- 7,7 % des Endenergieverbrauchs für Wärme
- 6,1 % des Kraftstoffverbrauchs.



Holz und Holzkohle leisten den größten Beitrag aller erneuerbaren Energieträger zum Weltenergieverbrauch – nicht immer besonders nachhaltig.



Die genaue Verteilung der verschiedenen erneuerbaren Energieträger in Deutschland zeigt Folie 5, Abb. 5.3. Bei der **Stromerzeugung** durch erneuerbare Energien spielen **Wasser, Wind** und **Biomasse** die größte Rolle, bei der **Wärmebereitstellung** dominiert die **Biomasse** (93,9%).

Erneuerbare Energiequellen in Deutschland (Abb. 5.3): klein, aber fein.

### Standpunkte

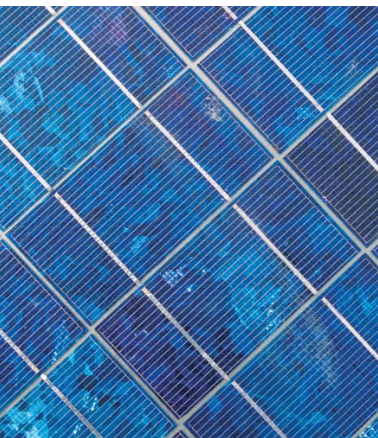
- ▶ Alleine die Sonne stellt uns Energie im Überfluss zur Verfügung. Wir müssen sie nur anzapfen.
- ▶ Das sind theoretische Zahlen. Technisch und vor allem wirtschaftlich nutzbar ist nur ein geringer Anteil. Er reicht längst nicht aus, den zunehmenden Energiehunger der Welt zu stillen.

# Energie aus der Sonne.

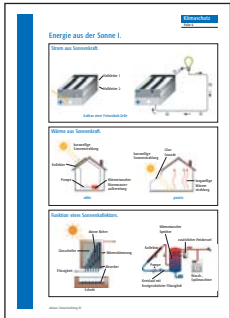
Die Sonne ist ein riesiges Energiereservoir. Pro Sekunde strahlt sie mehr Energie ab, als der Mensch seit Beginn der Zivilisation verbraucht hat. Und wie nutzen wir diese unerschöpfliche Energiequelle?

## Dieses Kapitel zeigt

- den Unterschied zwischen Fotovoltaik und Solarthermie
- die Nutzung der Sonnenwärme für den privaten Gebrauch
- den Einsatz der Sonnenenergie in großen Solarkraftwerken.

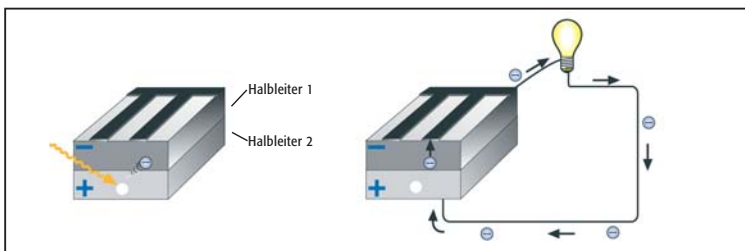


Unter Strom: Fotovoltaikzellen wandeln Licht direkt in Strom um.



Energie aus der Sonne I. Folie 6

Aufbau einer Fotovoltaikzelle (Abb. 6.1): Der Photoeffekt ist Grundlage der Fotovoltaik – zwei Halbleiter + Licht = Strom.



## Energiespender Sonne.

Bei der Solarenergienutzung unterscheidet man zwischen **Fotovoltaik** und **Solarthermie**. Fotovoltaikanlagen wandeln Sonnenenergie direkt in elektrischen Strom um. Bei der Solarthermie wird die Sonnenstrahlung genutzt, um zu heizen oder über Dampfturbinen Strom zu erzeugen (Solarkraftwerke).

## Fotovoltaik – Strom aus Sonnenkraft.

Strom fließt, wenn sich winzige, negativ geladene Teilchen – die **Elektronen** – von einem Minus- zu einem Pluspol bewegen. Nicht in allen Materialien kann Strom fließen. In Nicht-Leitern (Isolatoren) wie Glas oder Gummi sind die Elektronen fest „eingebaut“. Leiter (z. B. Kupfer) dagegen verfügen über „frei bewegliche“ Elektronen. **Halbleiter** weisen nur unter bestimmten Bedingungen „freie“ Elektronen auf. Licht z. B. führt den „locker“ eingebauten Elektronen Energie zu, sie werden beschleunigt und gelöst. Man spricht in diesem Fall vom **Fotoeffekt** – je intensiver das Licht, desto stärker ist der Effekt.

In einer **Solarzelle** sind zwei unterschiedliche Halbleiter kombiniert. Bei Lichteinwirkung beginnen sich die Elektronen zu bewegen, der untere Halbleiter wird zum Plus-, der obere zum Minus-Pol. Wie bei einer Batterie kann nun Strom fließen (Folie 6, Abb. 6.1).

Das derzeit wichtigste Halbleitermaterial ist **Silizium**. Es ist zwar das zweithäufigste Element der Erdrinde, um es aber in Reinform, z. B. aus Sand oder Quarz, zu gewinnen, ist ein aufwändiges Schmelzverfahren

mit Temperaturen von mehr als 1000 °C notwendig. Andere Halbleitermaterialien sind noch in der Entwicklungsphase.

Solarzellen können die solare Direkt-, aber auch die Diffusstrahlung nutzen. Einen relativ hohen Wirkungsgrad bis zu etwa 20% haben **monokristalline** Siliziumzellen. Sie sind dafür aber aufwändiger und teurer in der Herstellung als **polykristalline** Zellen oder **Dünnschichtzellen** mit entsprechend schlechterem Wirkungsgrad. Die Lebensdauer einer Solarzelle beträgt ca. 20 Jahre. Fotovoltaikzellen haben sich nach 3 bis 5 bzw. 2 bis 3 Jahren (Dünnschichtzellen) energetisch amortisiert.

## Als Insel oder am Netz.

Solarstrom eignet sich gut als **Insellösung** für Orte, die fernab eines öffentlichen Stromnetzes liegen, wie zum Beispiel für Leuchtböjen, Notrufsäulen oder Berghütten. Um auch in Zeiten ohne Sonneneinstrahlung Strom nutzen zu können, ist dessen Speicherung in Batterien oder die Kombination der Fotovoltaikanlage mit einem zusätzlichen Stromerzeuger erforderlich.

Ein Großteil der Fotovoltaikanlagen ist heute an das öffentliche **Stromnetz** angeschlossen und kommt daher ohne Batterie aus. Die Leistungen von Fotovoltaikanlagen für Privathäuser liegen zwischen 2 und 5 kW (= 20–50 m<sup>2</sup>). Strom wird auch in Fotovoltaik-Kraftwerken produziert, die Leistungen von über 1 MW erbringen. Eine Großanlage mit einer Fläche von etwa 5 Fußballfeldern hat z. B. eine Leistung von knapp über 5 MW und produziert über das Jahr genügend Strom, um rein rechnerisch 1500 Haushalte versorgen zu können.

## Vorteile:

- Strom kann dort erzeugt werden, wo er benötigt wird
- Solarzellen arbeiten nahezu verschleißfrei, lautlos und ohne Emissionen.

## Nachteile:

- Problem der Energiespeicherung, tageszeitabhängig
- energieaufwändig in der Herstellung (lange Amortisationsdauer)
- hoher Flächenbedarf bei vergleichsweise geringem Energiegewinn.

## Vom Dach zur Steckdose.

Deutschland ist Weltmeister bei der Fotovoltaik. Die Kapazität ist in den letzten Jahren stetig gewachsen – auf inzwischen 5400 MW. Trotzdem ist der Gesamtbeitrag an der Stromerzeugung in Deutschland mit 0,6% relativ klein.

Weltweit betrachtet spielt die Fotovoltaik kaum eine Rolle. 2008 entfielen lediglich 0,2% der vorhandenen Stromerzeugungskapazität auf Solarzellen. Die größten Potenziale werden in den sonnenreichen Gebieten der Erde gesehen. So ist z. B. der Energieertrag einer Fotovoltaikzelle in Südspanien doppelt so hoch wie in Süddeutschland.

## Solarthermie – Wärme einfangen.

**Sonnenlicht** besteht aus **kurzwelliger Strahlung**. Trifft diese auf Materie, wird sie zum Teil reflektiert, zum Teil aufgenommen – **absorbiert**. Weiße Materialien oder Spiegelflächen reflektieren fast das gesamte Sonnenlicht, dunkle Materialien dagegen nehmen viel Strahlung in sich auf. Diese Energie geben sie dann als **langwellige Strahlung**, die wir als **Wärme** empfinden, wieder ab. Wird diese Energie mit Hilfe von Sonnenkollektoren für die Warmwasserbereitung, für Heizung oder auch zur Stromproduktion genutzt, spricht man (wie auch bei der Fotovoltaik) von **aktiver** Nutzung der Sonnenenergie.

Die Energie der Sonne lässt sich aber auch **passiv** über die Bauweise und Ausrichtung von Häusern nutzen. Die Umwandlung von direkter und diffuser Sonneneinstrahlung in Wärme erfolgt dann durch das Gebäude selbst, das zu einer Art Sonnenkollektor wird und weniger oder gar nicht beheizt werden muss (Folie 6, Abb. 6.2).

## Wärmesammler.

**Sonnenkollektoren** sammeln (lateinisch: colligere = sammeln) die Strahlung der Sonne über einen **Absorber**, der aufgrund seiner dunklen Farbe die Solarstrahlung aufnimmt und in Wärme umwandelt. Einen Teil dieser Wärme gibt er an eine Flüssigkeit (z. B. Wasser, Öl) ab, die den Kollektor durchfließt (Folie 6, Abb. 6.3).

Einfache Kollektorformen sind so genannte **offene Absorber**. Freibäder können über ein im Freien verlegtes Röhrensystem beheizt werden, in dem sich das Wasser erwärmt – vergleichbar etwa einem in der Sonne liegenden Gartenschlauch.

**Flachkollektoren** bestehen aus einem Kasten mit durchsichtiger Abdeckung (z. B. Glas), einem Absorberblech (Metalle oder Kunststoffe) und Röhren, die mit dem Absorber verbunden sind. Eine in den Röhren zirkulierende Flüssigkeit leitet die aufgenommene Wärme in einen Warmwasserspeicher (Folie 6, Abb. 6.4). Bei einem Einfamilienhaus werden für die Versorgung mit warmem Brauchwasser etwa 6 m<sup>2</sup> Flachkollektor installiert. Im Jahresmittel liefert die Anlage so etwa 60% des jährlichen Bedarfs an warmem Brauchwasser. Mit einer Fläche von 11 bzw. 14 m<sup>2</sup> lassen sich sogar 20 bis 30% des gesamten Wärmebedarfs inklusive Heizung solar abdecken.

Den höchsten Wirkungsgrad erreichen **Vakuumröhrenkollektoren**: Die Absorber liegen hier in mehreren nebeneinander befestigten Glasröhren, in denen ein Vakuum herrscht. Wärmeverluste sind dadurch fast gänzlich ausgeschlossen. Vakuumröhrenkollektoren liefern auch bei niedrigen Außentemperaturen noch Wärme. Sie sind jedoch erheblich teurer als Flachkollektoren.

Sonnenkollektoren haben sich im Schnitt nach 1,5–2,5 Jahren energetisch amortisiert. Sie nutzen sowohl die direkte als auch die diffuse Strahlung und funktionieren auch bei bewölktem Himmel – dann allerdings mit geringerer Leistung.

Nach dem Kollektor-Prinzip lassen sich auch Warmluftanlagen konstruieren. Luftkollektoren erwärmen dabei Luft, die dann direkt in einen Raum geblasen oder durch Hohlräume im Fußboden geleitet wird.

Die Wärmeenergie, die Sonnenkollektoren bereitstellen, kann in Kombination mit einer Kältemaschine auch für Klimaanlage genutzt werden und so gerade in Zeiten, in denen die Sonne am stärksten scheint, fossile Energieträger einsparen. Die Technologie zur thermischen Klimatisierung steckt noch in den Kinderschuhen, besitzt aber ein enormes Potenzial, wenn man an die heißen Regionen der Erde denkt.

### Vorteile:

- arbeiten geräuschlos und ohne Emissionen.

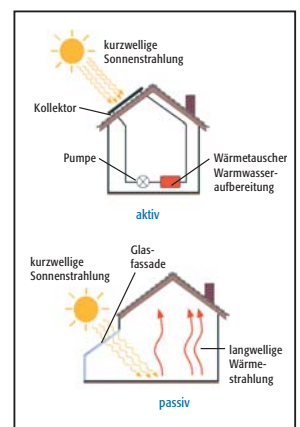
### Nachteile:

- Problem der Energiespeicherung
- relativ hoher Flächenbedarf.

Um das Problem der Speicherbarkeit in den Griff zu bekommen, sind verschiedene Speichermedien in der Entwicklung, z. B. Beton oder geschmolzenes Mineralsalz.



Passive Solarenergienutzung: Große Fenster und eine entsprechende Ausrichtung liefern kostenlos Wärme.



Aktive und passive Solarnutzung (Abb. 6.2): Die Energie der Sonne lässt sich mit und ohne Hilfsmittel nutzen.



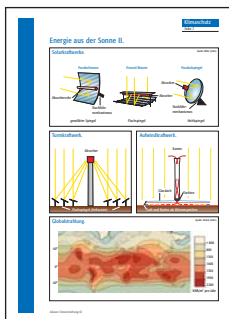
Ein Flachkollektor: Bei entsprechender Dimensionierung lassen sich 60% des jährlichen Warmwasserbedarfs decken.



Auf Solarkraftwerken ruhen große Hoffnungen: Zukünftig sollen riesige Anlagen in der Sahara Europa mit Strom versorgen. Im Bild eine Parabolrinnen-Anlage.

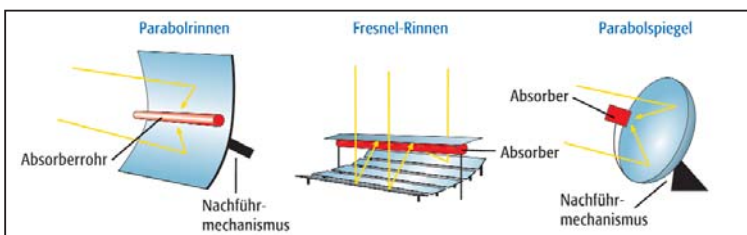
### Standpunkte

Das Potenzial an geeigneten Dach- und Fassadenflächen in Deutschland beträgt ca. 2.300 km<sup>2</sup>. Würde man die Hälfte davon für Fotovoltaik nutzen, könnten 135 TWh Strom/Jahr erzeugt werden, das entspricht etwa 1/3 des derzeitigen Verbrauchs. Auf den anderen 1.150 km<sup>2</sup> ließe sich mit Kollektoren die Hälfte des Wärmebedarfs erzeugen.



Energie aus der Sonne II. Folie 7

Solarthermische Kraftwerke (Abb. 7.1): Parabolrinnen-Kraftwerke sind bereits im Einsatz, der Fresnel-Rinnen-Typ noch in der Erprobung. Parabolspiegelanlagen eignen sich v. a. zum dezentralen Einsatz in Entwicklungsländern.



## Heizen mit Sonnenkraft.

Eine vielversprechende Einsatzmöglichkeit von Solarthermie ist der Aufbau solarer oder solar unterstützter Nahwärmenetze beim Neubau oder der Sanierung von Wohngebäuden bzw. Siedlungen. Dabei sind die großen Kollektorfelder auf den einzelnen Häusern oder einem zentralen Gebäude installiert und speisen ihre Wärme in einen gemeinsamen Speicher. Von diesem aus wird die Energie dann wieder bedarfsgerecht verteilt. Je nach Auslegung von Anlage und Speicher kann in derartigen Netzen ein Großteil des sommerlichen Wärmeüberschusses für die Nutzung im Winter gespeichert werden.

In Deutschland nimmt die Kollektorfläche stetig zu, zwischen 2004 und 2008 hat sie sich annähernd verdoppelt. Über 1,2 Mio. Anlagen mit insgesamt 11,3 Mio. m<sup>2</sup> Fläche (=1600 Fußballfelder) unterstützten 2008 die Erwärmung von Brauch- und Heizungswasser. Damit liegt Deutschland in Europa an der Spitze. Der Beitrag zur Gesamtwärmebereitstellung betrug allerdings nur 0,3%. Weltmeister bei der Installation von Solarthermie-Anlagen ist China, wo 2008 66% der weltweiten Kapazität zu finden war.

## 1000 °C und mehr.

Will man höhere Temperaturen erreichen, um wie bei einem konventionellen Kraftwerk mit Gas- oder Dampfturbinen Strom zu erzeugen, reichen einfache Sonnenkollektoren nicht mehr aus.

Dazu muss die Sonnenstrahlung durch Spiegel oder Linsen konzentriert werden, ehe sie auf einen Absorber oder Receiver gelenkt wird. Nach diesem Prinzip arbeiten konzentrierende solarthermische Kraftwerke. Der Absorber kann dabei Temperaturen von über 1000 °C erreichen. Prinzipiell kann ein Solarkraftwerk neben Strom gleichzeitig auch Kälte, industrielle Prozesswärme – oder über eine Meerwasserentsalzungsanlage Trinkwasser – erzeugen.

Derzeit sind verschiedene Typen solarthermischer Kraftwerke im Einsatz bzw. in der Entwicklung (Folie 7, Abb. 7.1, 7.2 und 7.3):

### Parabolrinnen-Kraftwerk

Bei diesem Kraftwerkstyp erhitzen gebogene Spiegel Thermoöl in einem Absorberrohr, das sich im Brennpunkt des Spiegels befindet, auf ca. 400 °C. Über einen Wärmetauscher wird daraus Wasserdampf erzeugt, der wiederum eine Turbine antreibt. Die Rinnen sind in der Nord-Süd-Achse ausgerichtet und können so von Ost nach West gekippt und dem Sonnenverlauf nachgeführt werden. Der Wirkungsgrad neuerer Parabolrinnen-Anlagen liegt bei über 20%.

Die ersten kommerziellen Parabolrinnen-Kraftwerke wurden von 1984 bis 1990 in Kalifornien errichtet. Sie verfügen über eine Gesamtleistung von 354 MW und liefern seit ihrer Fertigstellung zuverlässig Strom für etwa 150 000 Haushalte. Auch in Europa ist die Technik inzwischen im Einsatz. 2008 ging in Spanien mit Andasol 1 das erste von drei jeweils 50 MW starken Solar-Kraftwerken in Betrieb. Nummer 2 und 3 sollen bis 2011 folgen und dann zusammen Strom für über 500 000 Personen erzeugen. Das Besondere dieser Anlagen sind ihre thermischen Speicher. In riesigen Flüssigsalztanks wird tagsüber Wärme gespeichert, die nachts oder bei Bewölkung die für die Stromproduktion benötigte Energie bereitstellt. Dadurch wird im Sommer ein fast 24-stündiger Betrieb der Kraftwerke möglich.

### Fresnel-Rinnen-Kraftwerk

Im Unterschied zum Parabolrinnen-Kraftwerk wird das Licht über flache Spiegel und einen Sekundärkonzentrator gebündelt und auf das Absorberrohr gelenkt. Dabei wird im Rohr Wasser direkt verdampft und zur Stromerzeugung genutzt. Die Technik ist derzeit noch in der Erprobung, die Bauweise ist aber prinzipiell einfacher und kostengünstiger als beim Parabolrinnen-Kraftwerk, der Wirkungsgrad allerdings geringer.

### Parabolspiegel-Anlage

Der Absorber liegt im Brennpunkt eines Hohlspiegels, der der Sonne nachgeführt wird und das Sonnenlicht dadurch optimal bündelt. Im Absorber wird ein Gas (Helium, Luft) auf über 900 °C erhitzt, das dann eine Kraftmaschine (Gasturbine, Stirlingmotor) antreibt. Der Wirkungsgrad ist mit 30% relativ hoch, die Spiegelfläche aber wegen der angreifenden Windkräfte

auf etwa 20 m Durchmesser begrenzt. Mit einer maximalen Leistung bis 10 kW eignen sich diese Anlagen v. a. zum dezentralen Einsatz in Entwicklungsländern, z. T. auch in Kombination mit konventionellen Techniken (Biomassefeuerung).

### Turmkraftwerk

Einzelne, der Sonne nachgeführte Flachspiegel (Heliostaten) lenken das Sonnenlicht auf eine Turmspitze mit einem zentralen Receiver. Dort erhitzt sich der Absorber auf über 1000 °C. Ein Wärmeträgermedium – Wasserdampf, spezielle Salzschnmelzen oder auch Luft – führt die Wärme weiter zu einer Gas- oder Dampfturbine. Von diesem Kraftwerkstyp existieren bislang nur einige Pilotanlagen.

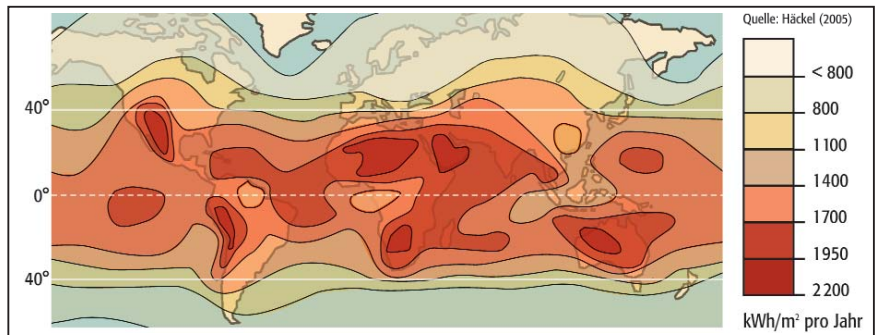
### Aufwindkraftwerk

Unter einem Kollektordach aus Glas oder Kunststoff erwärmt sich Luft. Die Warmluft steigt in der Mitte der Fläche über einen Kamin auf und treibt dabei am Kaminfuß eine oder mehrere Turbinen an. Weil nur Luft genutzt wird, ist die Technik ideal für sonnenreiche, aber wasserarme Gegenden. Da der Erdboden zusätzlich als Wärmespeicher dient, funktioniert die Anlage auch bei diffuser Strahlung und nachts. In Australien ist eine 200-MW-Anlage mit einem 1000 m hohen Kamin und einer Kollektorfläche von 7 km Durchmesser geplant.

Solarthermische Anlagen nutzen die Kombination von solarer Technologie und konventioneller Kraftwerkstechnik. Reicht die Sonnenwärme – z. B. an einem bedeckten Tag – für die Dampferzeugung nicht aus, kann durch fossile Energieträger zugeführt werden (Hybrid-Betrieb). Durch Kraft-Wärme-Kopplung ist zudem eine äußerst effiziente Nutzung der gesammelten solaren Primärenergie möglich.

#### Das Wichtigste in Kürze:

- ▶ Bei der direkten (aktiven) Nutzung der Sonnenenergie unterscheidet man zwischen Fotovoltaik und Solarthermie. Daneben lässt sich die Sonne z. B. durch eine entsprechende Bauweise von Gebäuden auch indirekt (passiv) nutzen.
- ▶ Fotovoltaik bezeichnet die Erzeugung von Strom aus Sonnenlicht durch Solarzellen.
- ▶ Unter Solarthermie versteht man die direkte Umwandlung von Sonnenstrahlung in Wärmeenergie. Diese wird dann entweder zur Erzeugung von Warmwasser und zur Heizungsunterstützung oder (in solarthermischen Kraftwerken) zur Stromerzeugung eingesetzt.
- ▶ Die besten Bedingungen für Fotovoltaik und Solarthermie finden sich im Sonnengürtel der Erde.



Welt-Globalstrahlung (Abb. 7.4): Die Karte zeigt, wo die Nutzung der Sonnenenergie die höchsten Erträge bringt.

#### Vorteile:

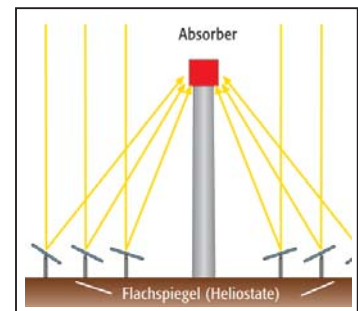
- Speicherung der Wärme über Stunden/Tage möglich
- wesentlich kürzere energetische Amortisationszeit als einfache Sonnenkollektoren (z. T. nur 5 Monate)
- kombinierbar mit herkömmlichen Kraftwerken (Hybridkraftwerke)
- Nutzung zur Wärme- und Stromerzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung).

#### Nachteile:

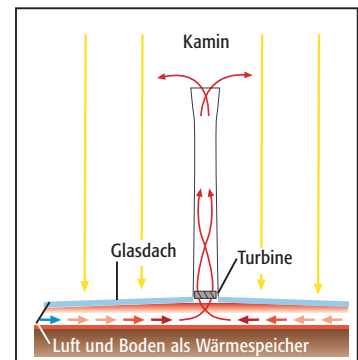
- relativ großer Flächenbedarf
- geografische Einschränkung (hohe Globalstrahlungsrate notwendig).

### Zukunftsmusik.

Großmaßstäbliche Solarthermie-Kraftwerke sind v. a. im Sonnengürtel der Erde mit einer entsprechend hohen Globalstrahlungsrate denkbar. Zwischen dem 40. Breitengrad nördlich und südlich des Äquators ist die Sonneneinstrahlung intensiv genug, um solche Kraftwerke schon heute wirtschaftlich betreiben zu können (Folie 7, Abb. 7.4). Auch wenn solarthermische Kraftwerke bei der Stromerzeugung weltweit betrachtet aktuell keine Rolle spielen, werden große Hoffnungen in die Technologie gesetzt. So befinden sich derzeit zahlreiche Kraftwerke in Planung oder im Bau. Aufsehen erregt dabei vor allem der Plan, mit riesigen Parabolrinnen-Kraftwerken in der Sahara große Mengen Strom für Europa zu erzeugen.



Turmkraftwerk (Abb. 7.2): Im Absorber werden Temperaturen von über 1000 °C erreicht.



Aufwindkraftwerk (Abb. 7.3): Funktioniert auch nachts und bei Bewölkung.

#### Standpunkte

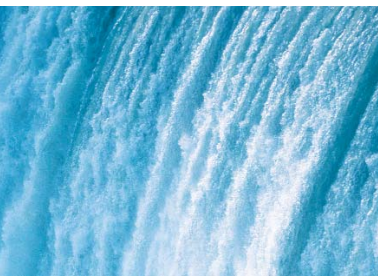
- ▶▶ Allein Spanien ist in der Lage, den gesamten europäischen Strombedarf über solare Energie zu decken.
- ▶▶ Theoretisch würden ca. 80000 km² in der Wüste Sahara reichen, um den Energiebedarf der Welt zu decken. Für die EU genügt eine Fläche von 20000 km², für Deutschland eine Fläche von nicht einmal 3000 km² (das ist etwas mehr als die Fläche des Saarlandes).

# Energie aus Wasser.

Flüsse sägen sich durch Gebirge und bilden tiefe Schluchten, Felsbrocken werden über lange Strecken transportiert und schließlich zu feinem Sand zerrieben. Die Kräfte des Wassers sind gewaltig und der Mensch nutzt sie seit Langem ...

In diesem Kapitel erfahren Sie,

- wie Wasserkräfte Energie erzeugen
- wie nicht nur Flüsse, sondern auch das Meer zur Energiegewinnung genutzt wird.



Wasserkraft ...



... eine uralte Technik.



Turbinentypen (Abb. 8.1): Für jeden Einsatzzweck das passende Modell.

## Eine uralte Technik.

Fließendes Wasser wird seit alters her als Energiequelle genutzt. Es gibt Hinweise, dass im Orient bereits vor über 2500 Jahren wasserkraftgetriebene Schöpfräder zur Feldbewässerung eingesetzt wurden. Jahrhundertlang nahmen wassergetriebene Getreide-, Säge- und Walkmühlen oder auch Hammerwerke den Menschen körperliche Arbeit ab. Seit Ende des 19. Jahrhunderts erzeugen Turbinen elektrischen Strom – heute die wichtigste Form der Wasserkraftnutzung.

## Technik im Fluss.

Wasserkraft nutzt die **Fallhöhe** und/oder **Bewegungsenergie** von Wasser. Diese wird über ein **Turbinenrad** in mechanische Rotationsenergie umgewandelt, die dem Antrieb von Maschinen oder Generatoren dient. Technisch ist die Wasserkraft weitgehend ausgereift. Die einfachen Wasserräder früherer Zeiten sind heute leistungsstarken Turbinen mit Wirkungsgraden von über 90 % gewichen. Je nach Einsatzort und Durchflussmengen werden unterschiedliche **Turbinentypen** eingesetzt (Folie 8, Abb. 8.1).

Auch verschiedene **Kraftwerkstypen** lassen sich unterscheiden (Folie 8, Abb. 8.2): **Laufwasserkraftwerke** an Flüssen erzeugen gleichmäßig Strom und dienen vorwiegend der Grundlast. **Speicherkraftwerke** können durch das schnelle Ablassen von Wasser Stromspitzen (Spitzenlast) abdecken. Eine Sonderform ist dabei das **Pumpspeicherkraftwerk**, bei dem in bedarfsschwachen Zeiten (z. B. nachts) Wasser in ein Oberbecken gefördert wird, um es als Energiereserve bei plötzlichen Bedarfsspitzen zu nutzen. Große Flusskraftwerke etwa an Rhein und Mosel erreichen je nach Wasserführung eine Leistung bis zu 85 MW, der chinesische Drei-Schluchten-Damm bis 18000 MW. Daneben gibt es zahlreiche Kleinwasserkraftwerke bis max. 1 MW. Die energetische Amortisationszeit beträgt 9 bis 13 Monate.

## Vorteile:

- robuste, ausgereifte und sichere Technik
- wartungsarm mit langer Nutzungsdauer (hoher Erntefaktor)
- hoher Wirkungsgrad
- je nach Kraftwerkstyp vielseitig einsetzbar (Grundlast bis Spitzenlast)
- keine Emissionen im laufenden Betrieb.

## Nachteile:

- anfänglich hohe Investitionskosten
- ökologische Probleme durch Eingriffe in das Gewässer (Aufstau)
- Bei Großanlagen wie z. B. dem Drei-Schluchten-Damm in China sind die Auswirkungen auf Wasserhaushalt, Klima, Vegetation und Gesellschaft kaum vorherzusehen.

## Mehr Energie aus dem Meer.

Neben den Flüssen werden seit den vergangenen Jahrzehnten zunehmend auch die Meere zur Energiegewinnung genutzt. Wasserkraftwerke im und am Meer arbeiten dabei meist in Küstennähe. **Strömungskraftwerke** sind relativ neue Entwicklungen. Sie nutzen Meeresströmungen und funktionieren wie „Windräder im Wasser“ (Folie 8, Abb. 8.3). Eine geringe Wassertiefe verstärkt die Düsenwirkung, begrenzt aber die Propellergröße. Heutige Anlagen weisen eine Leistung von knapp 800 kW auf. Nachteilig wirken sich Strömungsschwankungen aus. Auch das Salzwasser bereitet derzeit noch Probleme (schnelle Korrosion von Maschinenteilen).

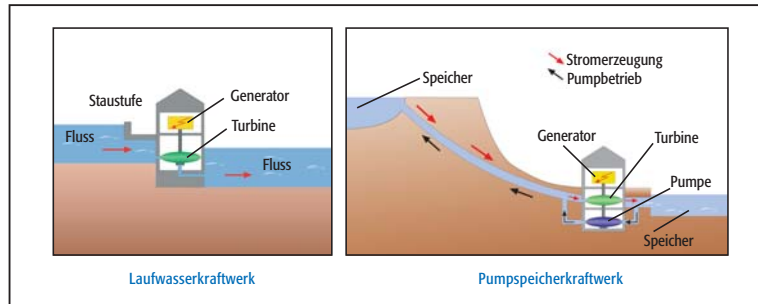
**Wellenkraftwerke** nutzen die Kraft der Wellen. Schwimmende Wellenkraftwerke sind noch in der Versuchsphase. Sie ähneln einer überdimensionierten Seeschlange und bestehen aus mehreren, über Gelenke miteinander verbundenen röhrenförmigen **Schwimmkörpern**. Die sich gegeneinander bewegenden Körper treiben über hydraulische Pumpen Generatoren an. Da die beweglichen Teile dem Salzwasser und auch Stürmen ausgesetzt sind, müssen noch manche Probleme gelöst werden. Bei Kraftwerken an der Küste werden die Turbinen durch **Luftbewegungen** angetrieben, die in Schächten durch das Auf und Ab der Wellen entstehen (Oscillating Water Column [OWC]-Prinzip). Die Anla-



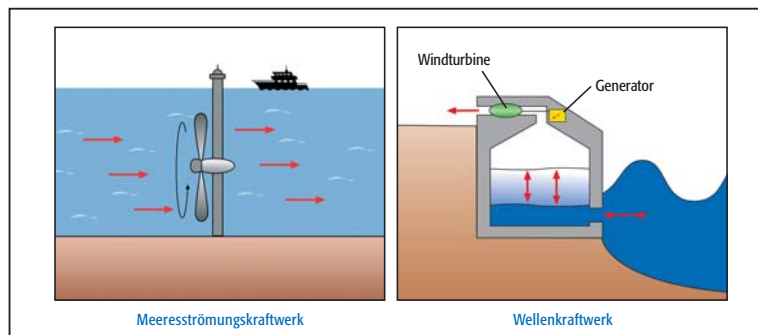
Alles im Fluss: Laufwasserkraftwerke dienen v. a. der Erzeugung von Grundlaststrom.

gen stehen nicht in direkter Verbindung mit dem aggressiven Salzwasser, Nachteil ist aber eine sehr schwankende Energieabgabe. Bislang wurde dieses Prinzip nur im kleinen Maßstab für die Befuerung von Leuchtbojen angewandt. Größere Anlagen sind noch nicht in Betrieb, die maximale Leistung liegt bislang bei ca. 500 kW.

Bei **Gezeitenkraftwerken** wird z. B. eine Bucht durch einen Damm abgeriegelt. Das im Damm befindliche Kraftwerk nutzt dann das aus- und einströmende Wasser von Ebbe und Flut. Antriebsenergie ist letztlich die **Anziehungskraft des Mondes**. Gezeitenkraftwerke weisen durchschnittlich Leistungsbereiche bis 20 MW auf, die Leistung schwankt relativ stark. Das mit 240 MW derzeit größte, bereits 1966 gebaute Kraftwerk befindet sich in St. Malo an der französischen Kanalküste. 2009 soll am Sihwa-See in Südkorea ein ebenfalls 240 MW starkes Gezeitenkraftwerk ans Netz gehen, weitere mit Leistungen bis 1000 MW befinden sich dort in Planung. Ein neuartiges Gezeitenkraftwerk arbeitet an der nordirischen Küste. Es funktioniert wie ein Strömungskraftwerk und nutzt durch einen Unterwasserpropeller die wechselnde Strömung in einem Meeresarm.



Fluss- und Speicherkraftwerke (Abb. 8.2): Für Grund- oder Spitzenlast geeignet.



Meereskraftwerke (Abb. 8.3): Ihre Nutzung steht noch am Anfang.

## Zukunft aus dem Wasser.

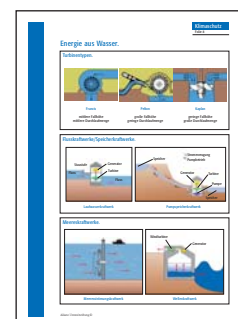
Wasserkraft trug 2007 weltweit mit 15,6% zur Stromversorgung bei (Anteil regenerativer Energien an der Weltstromerzeugung 18,2%).

In Deutschland lag der Anteil der Wasserkraft an der Stromerzeugung bei 3,4%. Ca. 400 Anlagen mit einer Leistung über 1 MW erzeugen 92% des Stroms aus Wasserkraft, den Rest bestreiten ca. 7000 Kleinanlagen unter 1 MW. 90% des Wasserkraftstroms stammen aus Bayern und Baden-Württemberg.

Weltweit gesehen bestehen noch erhebliche **Potenziale** zur Nutzung der Wasserkraft. Aktuell werden genutzt: Europa 75%, Nordamerika 70%, Südamerika 33%, Asien 22%, Afrika 7%. Ein massiver Ausbau stößt aber auch an **Grenzen**. Auf die ökologischen und gesellschaftlichen Probleme im

Zuge von Großprojekten wurde bereits hingewiesen. In Deutschland sind die Flüsse weitgehend ausgebaut und große Kraftwerksneubauten kaum mehr durchsetzbar. Potenzial steckt deshalb v. a. in der Modernisierung vorhandener Wasserkraftwerke. So wird z. B. in Rheinfelden eine neue Anlage das 100 Jahre alte Laufwasserkraftwerk ersetzen. Die installierte Turbinenleistung vergrößert sich dabei von 26 auf 100 MW. Gleichzeitig entsteht ein großes naturnahes Umgehungsgewässer, das Fischen und anderen Wasserlebewesen als Aufstiegs- und Laichgewässer dienen soll.

Die Nutzung der **maritimen Wasserkraft** steht erst am Anfang und ist in vielen Ländern **ausbaubar**. Großbritannien will in zwanzig Jahren 10% seines Strombedarfs aus Meeresenergie gewinnen.



Energie aus Wasser. Folie 8

### Das Wichtigste in Kürze:

- ▶ Wasserkraft ist eine bewährte Technik. Sie dient heute hauptsächlich der Stromerzeugung.
- ▶ Wasserkraft gilt als saubere Energiequelle. Wasserkraftwerke stellen aber einen Eingriff in die Natur dar, der insbesondere bei Großprojekten erheblich sein kann.
- ▶ Die Möglichkeiten zum Ausbau der Wasserkraftnutzung sind weltweit sehr unterschiedlich. In Deutschland ist das Potenzial weitgehend ausgereizt, Steigerungsmöglichkeiten bestehen fast nur noch in der Modernisierung und Erweiterung bestehender Anlagen.

### Standpunkte

- ▶ Theoretisch könnte der gesamte Weltstromverbrauch durch Wasserkraft gedeckt werden.
- ▶ Wellenkraftwerke haben Zukunft: Bis 2025 könnten über 10% des weltweiten Stromverbrauchs zu wirtschaftlichen Preisen erzeugt werden.

# Energie aus Wind.

*Wenn Bäume wie Streichhölzer umknicken und Dächer abgedeckt werden, wird deutlich, welche Energie im Wind steckt. Andererseits haben Flauten schon den alten Seefahrern zu schaffen gemacht. Der Wind ist, wie er ist – unberechenbar.*

## Das folgende Kapitel informiert Sie über

- moderne Windkraftanlagen und wie sie aus Wind Strom erzeugen
- den steilen Aufstieg der Windkraft in den vergangenen Jahren
- die Aussichten der Windkraftnutzung insbesondere vor den Küsten.



Erst seit Jahrtausenden genutzt, dann fast vergessen und heute zunehmend gefragt: Windenergie.

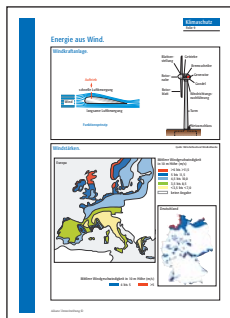
## Der Wind – das himmlische Kind.

Windkraft wird seit mindestens 5 000 Jahren vom Menschen genutzt. Die ersten Segel setzten wahrscheinlich die Ägypter um 3 000 v. Chr. auf ihren Nilbooten. Windräder entstanden vermutlich 1 000 v. Chr. im Orient und in Ägypten. Große Bedeutung erlangte die Windkraft ab dem Mittelalter mit der klassischen Windmühle, im Industriezeitalter setzte dann eine „Flaute“ ein. Seit der Ölkrise 1973 ist die Windkraft aber wieder im Aufwind. Aus den einfachen, mit Segeltuch bespannten Windmühlen sind heute moderne, leistungsstarke Windräder geworden.

In Deutschland dienen Windenergieanlagen ausschließlich der Stromerzeugung; in anderen Regionen der Welt z. B. auch zum mechanischen Antrieb von Pumpen. In jüngster Zeit erlebt die Windkraft in der Schifffahrt eine Renaissance. Große, schirmartige Segel in Form eines Zugdrachens am Bug von Handelsschiffen können den Treibstoffverbrauch merklich senken.

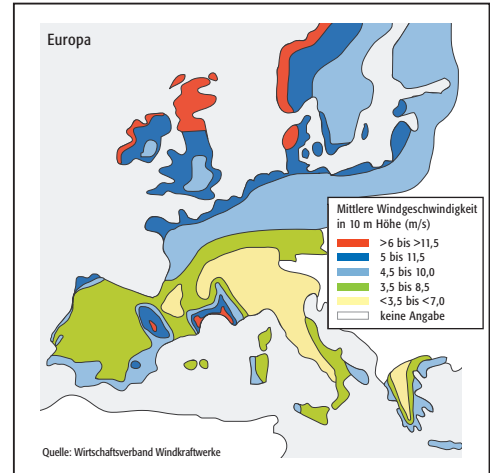
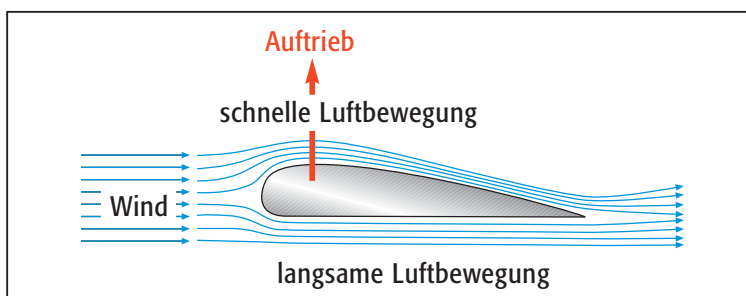
## Vom Winde bewegt.

Die heute allgemein verbreiteten dreiflügligen **Windkraftkonverter** arbeiten wie ein Flugzeugflügel nach dem **Auftriebsprinzip**. Ein Generator wandelt die Drehbewegung des Rotors dann in Strom um (Folie 9, Abb. 9.1 und 9.2). Dabei lässt sich heute ein Wirkungsgrad von bis zu 50% erzielen (z. Vgl: Alte Windmühlen, die nach dem Widerstandsprinzip funktionieren, nutzen ledig-



Energie aus Wind. Folie 9

Prinzip einer Windkraftanlage (Abb. 9.1): Auftrieb wie beim Flugzeugflügel.



Windstärken in Europa (Abb. 9.3): Die besten Standorte finden sich an der Küste und in den Mittelgebirgen.

lich 12% der Windenergie). Der Trend geht zu immer größeren Konvertern. Heute werden schon Windkraftanlagen mit mehr als 60 m langen Flügeln und über 150 m Höhe gebaut – so hoch wie der Kölner Dom.

## Eine schwache Brise reicht ...

**Ideale Windstandorte** finden sich in den **Mittelgebirgen** und vor allem an der **Küste**. Dort liegt der Jahresdurchschnitt der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über 4 m/s (Folie 9, Abb. 9.3). Moderne Anlagen beginnen sich bereits bei 2 m/s zu drehen. Da der Wind in Bodennähe gebremst wird und hierbei auch Verwirbelungen entstehen, werden die Rotoren möglichst hoch installiert. Ab 170 m Rotorhöhe sind allerdings technische Grenzen erreicht. Schon der Transport und die Aufstellung solcher Giganten sind eine echte Herausforderung. Große Rotoren moderner Bauart drehen sich 10-bis 30-mal pro Minute. Eine Verdoppelung der Windgeschwindigkeit verachtfacht die Leistung, bis irgendwann ein Maximum erreicht ist. Bei noch stärkerem Wind muss die Anlage abgeschaltet werden. Bei Windkraftanlagen unterscheidet man mehrere Konstruktionstypen: **Stallgeregelte** Anlagen sind relativ einfache Konstruktionen. Ab einer bestimmten Windgeschwindigkeit reißt die Strömung ab, es erfolgt kein weiterer Leistungszuwachs.

Bei **pitcheregelten** Anlagen sind die Rotorblätter verstellbar. Die Bauweise ist komplizierter, dafür ist die Energieausbeute höher und die Rotoren werden weniger belastet.

**Active-stalleregelte** Anlagen kombinieren beide Anlagentypen.

2008 lag die durchschnittliche Leistung einer Anlage in Deutschland bei 1,9 MW, es gibt Anlagen von 0,05 bis zu derzeit max. 6 MW je Windrad. Die energetische Amortisationszeit beträgt 3 bis 7 Monate.

Zunehmende Bedeutung erfahren **Offshore-Anlagen**. Zwar sind die Investitionskosten hier höher – die Gründung im Meeresboden und die Verkabelung sind aufwändig – aber aufgrund größerer Windgeschwindigkeiten ist die Ausbeute deutlich besser. Bei Wassertiefen bis ca. 50 m dominieren am Meeresboden montierte Tragkonstruktionen, bei größeren Wassertiefen schwimmende Konstruktionen.

#### Vorteile:

- hoher Erntefaktor
- relativ hoher Wirkungsgrad
- keine Emissionen im Betrieb.

#### Nachteile:

- Wind ist in der Stärke schwankend, damit kaum planbares Energiedargebot, nicht grundlastfähig
- Energiereserve bei Flaute nötig, z. B. durch konventionelle Kraftwerke oder Energiespeicher
- Geräuschentwicklung
- ästhetische Aspekte („Verspargelung“ der Landschaft).

An Land sind die Standorte aus ökonomischen und ökologischen Gründen begrenzt. Bei Offshore-Anlagen können die Umweltauswirkungen – z. B. auf Seevögel – noch nicht endgültig beurteilt werden. Beeinträchtigungen ergeben sich hier vor allem während des Baus (Lärm).

#### Das Wichtigste in Kürze:

- ▶ Windkraft dient fast ausschließlich der Stromerzeugung. Sie wurde in den vergangenen Jahren kontinuierlich ausgebaut.
- ▶ Windkraftanlagen sind nicht unumstritten. Kritiker bemängeln eine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes und weisen auf das schwankende Energiedargebot hin.
- ▶ Die Zukunft der Windkraft liegt vor den Küsten (offshore). Hier gibt es noch erhebliche Potenziale.

## Im Aufwind.

Die Windkraft hat sich in den vergangenen Jahren rasant entwickelt. Dabei war Deutschland lange Zeit unangefochten Weltmeister bei der Errichtung von Windenergieanlagen und wurde erst 2008 von den USA abgelöst.

20301 Anlagen mit einer Leistung von 23 903 MW waren hierzulande 2008 in Betrieb (was 20% der weltweit installierten Leistung entspricht). Und auch gesamtwirtschaftlich ist die Windkraft eine feste Größe. Ca. 90 000 Arbeitsplätze entstanden in der Branche, und Windkraftanlagen „made in Germany“ sind weltweit gefragt.

Aktuell werden nur etwa 0,1% des globalen Windangebotes genutzt. Dabei sind die wirtschaftlichen Perspektiven insbesondere der Windkraft auf dem Meer hervorragend. So schätzt der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) das bis 2050 nachhaltige nutzbare Windkraftpotenzial auf ca. 140 EJ – immerhin 30% des weltweiten Energieverbrauchs von 2007.

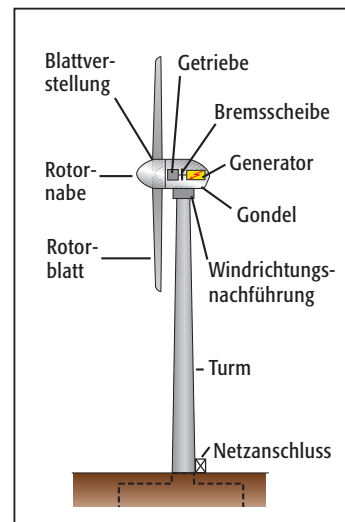
In Deutschland gibt es deutliche Wachstumspotenziale nur noch offshore. In der 200-Meilen-Zone entlang der Küsten von Nord- und Ostsee können laut Schätzungen 25 000 MW Leistung installiert werden. Der erwartete Stromertrag von 85 bis 100 TWh/a entspräche einem Anteil von 15% des heutigen Stromverbrauchs.

Andere Studien rechnen mit einem Potenzial von 35 000 MW. Ende 2005 hat das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie erstmals besondere Eignungsgebiete für Windenergieanlagen in Nord- und Ostsee ausgewiesen (700 km<sup>2</sup>); einige der geplanten Windparks hätten eine Leistung von 1000 MW, dies entspricht einem durchschnittlichen Großkraftwerk konventioneller Art.

Im Binnenland liegt das Potenzial in Deutschland im so genannten **Repowering** – der Modernisierung – bestehender Anlagen.



Offshore-Anlage: Die Zukunft der Windenergie in Deutschland liegt an der Küste.



Aufbau einer Windkraftanlage (Abb. 9.2): Die größten Anlagen sind so hoch wie der Kölner Dom.

#### Standpunkte

▶◀ Bereits zwischen 2010 und 2015 könnte Windstrom zu gleichen Preisen angeboten werden wie konventioneller Strom.

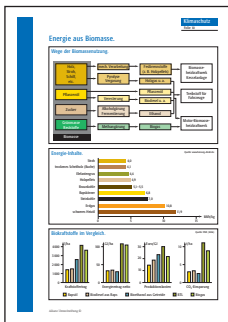
▶◀ Das Winddargebot schwankt stark, die Stromerzeugung ist dadurch im Voraus kaum planbar. Konventionelle Kraftwerke sind zusätzlich nötig, die als Reserve mitlaufen und bei Flaute „einspringen“.

# Energie aus Biomasse.

Die Landpflanzen der Erde – vor allem die Bäume – bilden durch Fotosynthese jedes Jahr schätzungsweise 150 Milliarden Tonnen Biomasse. Und in 3 t pflanzlicher Trockenmasse steckt etwa so viel Energie wie in 1 t Erdöl. Genug Energie für alle?

## Dieses Kapitel zeigt

- verschiedene Wege, aus Biomasse Energie zu gewinnen
- die Potenziale, aber auch Grenzen der verstärkten Nutzung von Biomasse als Energieträger.

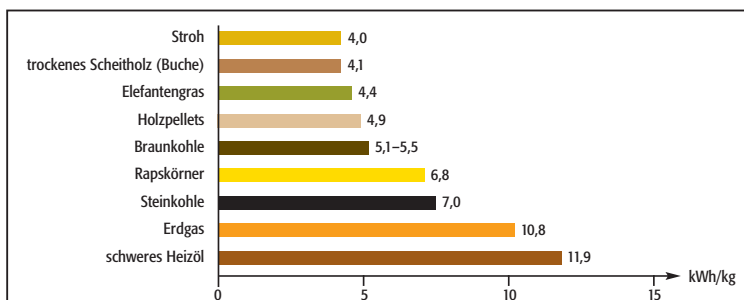


Energie aus Biomasse.  
Folie 10



Flexibel einsetzbar: Biomasse kann zur Wärmeenergiegewinnung, Stromproduktion oder Herstellung von Kraftstoffen verwendet werden.

Energieinhalte (Abb. 10.2): Die fossilen Energieträger sind kaum zu schlagen.



## Mehr als nur Verheizen.

Biomasse umfasst das gesamte von **Lebewesen aufgebaute Material**. Dazu zählen nicht nur alle Pflanzen, Tiere, Pilze und Bakterien (und Menschen), sondern auch alle organischen Abfälle aus Natur, Haushalt und Industrie sowie Tier- und Pflanzenprodukte. Biomasse kann auf verschiedenen Wegen Energie liefern (Folie 10):

Seit der Steinzeit bekannt ist die **direkte Verbrennung** von Holz zur **Wärmeenergiegewinnung**. Heute werden dazu auch Holzreste (Pellets, Hackschnitzel), Stroh, Getreide oder Energiepflanzen (Chinaschilf) verwendet.

Mit Biomasse kann aber auch **Strom** erzeugt werden. Dazu wird wie bei einem konventionellen Kraftwerk Biomasse verbrannt und mit dem erhitzten Wasserdampf über eine Dampfturbine und einen Generator Strom erzeugt (Biomassekraftwerk). Bei einer zusätzlichen Nutzung der Wärmeenergie in einem Nah- oder Fernwärmenetz spricht man von einem Biomasseheizkraftwerk und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK).

**Flüssige Kraftstoffe** für Verbrennungsmotoren lassen sich aus **ölhaltigen Pflanzen** wie Raps, Ölpalmen oder Sonnenblumen gewinnen (**Pflanzenöl, Biodiesel**) oder durch **Vergärung** zucker- oder stärkehaltiger Pflanzen wie Mais, Rüben, Zuckerrohr, Getreide oder Kartoffeln (**Bioalkohol, Bioethanol**). Große Hoffnungen werden auf die Entwicklung von so genannten **Biokraftstoffen der 2. Generation** gesetzt. Hierbei werden die ganze Pflanze bzw. deren Reststoffe genutzt. Durch Vergasung und eine anschließende Verflüssigung entsteht ein synthetischer

Flüssigkraftstoff (**BTL-Kraftstoff** = Biomass to Liquid). Das Verfahren dazu ist aber technisch noch nicht vollständig ausgereift. Das Gas kann auch direkt verwendet und in ein Erdgas-Netz eingespeist werden (**Biomethan**).

**Gasförmige Kraftstoffe** entstehen unter Luftabschluss durch **Vergärung** von Biomasse. Das **Biogas** genannte Gemisch aus Methan und CO<sub>2</sub> kann dann ähnlich wie Erdgas verwendet werden. (Der Heizwert von 1 m<sup>3</sup> Biogas liegt bei 6 kWh, das entspricht etwa 0,6 l Heizöl oder 0,6 m<sup>3</sup> Erdgas.) Neben Biogas kann auch Gas aus Kläranlagen und Deponien genutzt werden, im Gespräch sind auch Biowasserstoff und Holzgas.

## Vorteile:

- CO<sub>2</sub>-neutral: Die Menge an CO<sub>2</sub>, die durch die Verbrennung der Biomasse freigesetzt wird, wurde vorher für deren Aufbau gebunden.
- jederzeit und bedarfsgerecht einsetzbar; lagerfähig.

## Nachteile:

- Energie- und Klimabilanzen nicht immer optimal
- ökologische Belastungen durch Dünger, Pflanzenschutzmittel etc. beim Anbau von Energiepflanzen
- Emissionen beim Verbrennungsvorgang (CO, Feinstäube u. a.)
- flächenintensiv, Konkurrenz zu anderen Flächenansprüchen, z. B. der Nahrungsmittelerzeugung oder des Natur- und Artenschutzes.

## Energie vom Acker.

In Deutschland trug die Bioenergie 2008 zur Bereitstellung von Wärme zu 7,3%, von Strom zu 4,2% und von Kraftstoffen zu 6,1% bei. Auf 20000 km<sup>2</sup> Fläche wurden Energiepflanzen angebaut, was einem Anteil von ca. 17% der deutschen Ackerfläche entspricht. Bei der Produktion von Biodiesel ist Deutschland weltweit führend. Etwa 60% des Biodiesels werden dabei dem normalen Diesel beigemischt, der Rest wird in Reinform getankt. Eine Erhöhung des Anteils der Biomasse am Primärenergieverbrauch in Deutschland von derzeit 5,3% auf 9% wird für möglich gehalten – bei einer Ausdehnung der Anbaufläche auf bis zu 25000 km<sup>2</sup>, einer nachhaltigen Bewirtschaftung sowie der konsequenten Nutzung von Rest- und Abfallstoffen.

## Teller oder Tank.

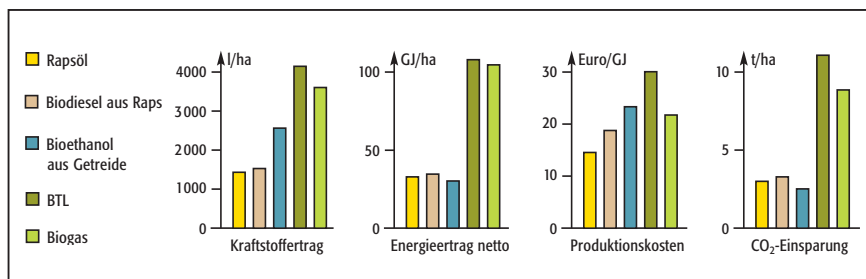
Ein Problem bei der Nutzung von Bioenergie ist die **Flächenkonkurrenz** zur Nahrungsmittelproduktion. Für etwa 20 000 km Fahrleistung eines Pkw, der mit Rapsöl betrieben wird, ist z. B. ein Hektar Fläche nötig. Kritisiert wird auch der Import landwirtschaftlicher Produkte aus Entwicklungs- und Schwellenländern zur energetischen Nutzung in den Industrienationen. Dadurch gehen in diesen Ländern Flächen für die Nahrungsmittelproduktion verloren und sie sind stärker auf den Import von Nahrungsmitteln angewiesen – meist zu hohen Weltmarktpreisen.

## Lohnt sich der Aufwand?

Auch die **Klimabilanzen** der verschiedenen Bioenergienutzungen stehen in der Diskussion. So gibt es in den Energiegehalten z. T. beträchtliche Unterschiede (Folie 10, Abb. 2 und 3). Berücksichtigt man zusätzlich alle vom Anbau der Energiepflanzen bis zur Nutzung beim Verbraucher entstehenden Emissionen, können insgesamt mehr klimawirksame Treibhausgase entstehen, als durch den Ersatz der fossilen Energieträger vermieden werden. Aus diesem Grund empfehlen verschiedene Expertengremien, sich im Bereich Bioenergie in Deutschland vor allem auf die Biogaserzeugung aus Gülle, die kombinierte Strom- und Wärmegewinnung mit Hackschnitzel aus Waldrestholz oder die Co-Verbrennung von Hackschnitzel in bestehenden Kraftwerken zu konzentrieren. Darüber hinaus wird eine intensive Forschung an den Biokraftstoffen der 2. Generation empfohlen.

## Die Sache mit dem Palmöl.

Neben der Verdrängung der Nahrungsmittelproduktion ist die Bioenergie zuletzt wegen eines anderen Aspekts in die Kritik geraten. Die gestiegene



Biokraftstoffe im Vergleich (Abb. 10.3): je höher der Aufwand, desto größer die CO<sub>2</sub>-Einsparung.

Nachfrage nach **Palmöl**, das u. a. auch zur Produktion von Biodiesel und als Brennstoff in Blockheizkraftwerken verwendet wird, führt weltweit zur Anlage neuer Palmölplantagen, für die oft Regenwälder gerodet werden. Dabei entstehen nicht nur durch Brandrodung erhebliche Mengen CO<sub>2</sub>. Oft werden zur Anlage der Plantagen Moorböden entwässert, diese setzen in der Folge über Jahrzehnte den im Torf gebundenen Kohlenstoff als CO<sub>2</sub> frei. Die Verwendung von Palmöl aus diesen Flächen verkehrt den Klimaschutz also in sein Gegenteil. Um derartige Entwicklungen nicht zu fördern, hat die EU für den Bereich Bioenergie inzwischen konkrete Nachhaltigkeitskriterien festgelegt. Energiepflanzen müssen demnach von nachhaltig bewirtschafteten Flächen stammen und für die verschiedenen Bioenergienutzungen sind feste Emissionsreduktionen im Vergleich zu den fossilen Energieträgern festgelegt.

## Wie grün ist die Zukunft?

Unter Berücksichtigung aller bisher genannten Faktoren hat der WBGU das weltweite Potenzial der Bioenergie untersucht. Dabei wurden strenge Nachhaltigkeitskriterien angelegt, die effektive Klimaschutzwirkung bewertet und die Flächenkonkurrenz mit der Nahrungsmittelerzeugung ausgeschlossen. Als Ergebnis empfiehlt der Beirat vor allem die Verwendung von Rest- und Abfallstoffen sowie den Anbau mehrjähriger Energiepflanzen auf Böden mit geringer Fruchtbarkeit zur (am besten kombinierten) Strom- und Wärmerezeugung. Das Potenzial der Bioenergie bis 2050 wird bei bis zu 10% des weltweiten Primärenergieeinsatzes gesehen.



Von Experten empfohlen: Die kombinierte Strom- und Wärmerezeugung z. B. aus Holz hackschnitzel oder aus Stroh leistet einen wirkungsvollen Beitrag zum Klimaschutz.



Gülle und Reststoffe geschickt genutzt: In Biogasanlagen wird aus Abfall Energie.

### Das Wichtigste in Kürze:

- ▶ Biomasse kann sehr unterschiedlich eingesetzt werden: in fester Form für Heizungen und Kraftwerke, als Biogas ähnlich wie Erdgas oder in flüssiger Form als Treibstoff.
- ▶ Die Nutzung von Biomasse ist CO<sub>2</sub>-neutral.
- ▶ Ein Nachteil ist der hohe Flächenbedarf, der in direkter Konkurrenz zu anderen Flächenansprüchen steht, wie der Nahrungsmittelproduktion oder dem Naturschutz.
- ▶ Der energetischen Verwertung von Rest- und Abfallstoffen wird das größte Klimaschutzpotenzial zugeschrieben.

### Standpunkt

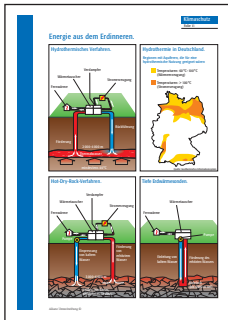
- ▶◀ Rein rechnerisch könnten 2 Mio. km<sup>2</sup> nachhaltig bewirtschafteter Wälder den jetzigen Jahresbedarf der Welt an Erdöl decken (z. Vgl.: Deutschland hat eine Gesamtfläche von 357 000 km<sup>2</sup>).

# Energie aus der Tiefe.

*Je tiefer man in die Erdkruste eindringt, desto wärmer wird es. Quelle dieser Wärme ist das mehrere 1000 °C heiße Erdinnere. Diese Energiequelle übersteigt den aktuellen Weltenergiebedarf um ein Vielfaches.*

## Dieses Kapitel erläutert Ihnen

- die verschiedenen Möglichkeiten geothermischer Energieerzeugung
- wie sich Wärme im Boden und in der Luft nutzen lässt.



Energie aus dem Erdinneren.  
Folie 11



Aufwändig, aber ergiebig:  
Die Energie aus dem Erdinneren liefert Wärme und Strom.

## Heiße Luft aus heißem Wasser.

Die Nutzung der Erdwärme hat eine lange Tradition. Bereits die alten Chinesen und die Römer nutzten Thermalquellen zum Baden und Heizen. Im 14. Jahrhundert entstand in Chaudes-Aigues in Frankreich ein noch heute existierendes geothermisches Fernwärmenetz und 1904 wurde in Landorello in der Toskana zum ersten Mal geothermischer Strom erzeugt.

Im Durchschnitt nimmt die Temperatur mit zunehmender Tiefe alle 100 Meter um 3 °C zu, in „begünstigten“ Gegenden, z. B. in Vulkangebieten, um bis zu 20 °C. Diese in der Erde gespeicherte Wärme lässt sich unterschiedlich nutzen (Folie 11, Abb. 11.1, 11.2 und 11.3):

**Hydrothermale Systeme** nutzen heißes Wasser, das sie über eine Bohrung aus **Thermalwasser**-Vorkommen im Untergrund fördern. Mittels einer zweiten Bohrung gelangt das abgekühlte Wasser wieder zurück in die Tiefe.

Beim so genannten **Hot-Dry-Rock-Verfahren** wird Wasser über eine Injektionsbohrung in tiefe, mindestens 200 °C heiße, trockene Gesteinsschichten gepresst. Das Wasser erhitzt sich und wird an anderer Stelle wieder entnommen.

**Erdwärmesonden** nutzen bereits vorhandene Tiefbohrungen, die z. B. bei der Suche nach Erdgas

entstanden sind. In einem Doppelrohr wird Wasser in einem geschlossenen Kreislauf bis zu 4 km tief in das Bohrloch hinabgeleitet und dabei erwärmt. Das geförderte heiße bzw. erhitze Wasser gibt seine Wärme in einem **Wärmetauscher** an ein **Fernwärmenetz** oder an einen zweiten Kreislauf ab, über den Dampfmaschinen zur Stromproduktion angetrieben werden. Für die Gewinnung von Strom sind Temperaturen von über 100–150 °C sowie eine entsprechende Wassermenge nötig. Bei der **ORC-Technik** (Organic-Rankine-Cycle) wird im zweiten Kreislauf nicht mit Wasser, sondern mit Substanzen gearbeitet, die einen niedrigeren Siedepunkt haben (z. B. Ammoniak).

Da Erdwärme ständig zur Verfügung steht, lässt sich die Stromerzeugung bedarfsgerecht regeln. Erdwärmekraftwerke sind damit **grundlastfähig**. Die Leistungen geothermischer Anlagen reichen von 6 bis 8 kW bei oberflächennahen Erdwärmesonden, bis zu 1 bis 50 MW bei Anlagen im Hot-Dry-Rock-Verfahren. Sie haben sich energetisch nach 5 bis 7 Monaten amortisiert.

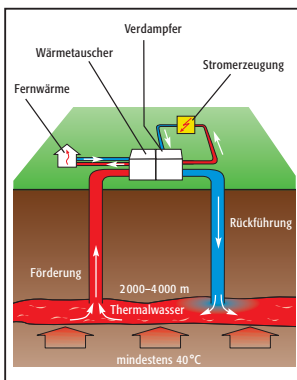
### Vorteile:

- saubere Energie, keine Emissionen
- ständig verfügbar, grundlastfähig.

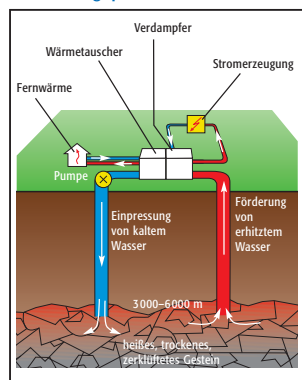
### Nachteile:

- nicht überall wirtschaftlich nutzbar, da oft in zu großer Tiefe
- Probebohrungen nötig, Erfolg ungewiss; Tiefbohrungen sehr teuer.

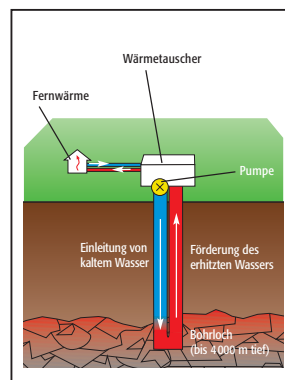
Hydrothermie (Abb. 11.1): Thermalwasser als Energiequelle.



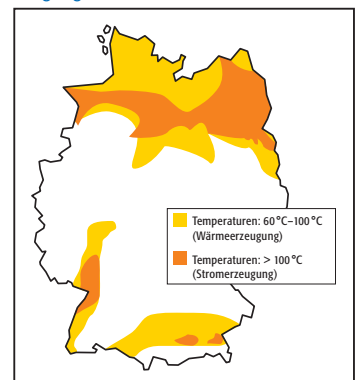
Hot-Dry-Rock-Verfahren (Abb. 11.2): Wasser wird in heiße Gesteinsschichten gepresst.



Erdsonden (Abb. 11.3): Wasser zirkuliert in einem Doppelrohr.



Hydrothermie in Deutschland (Abb. 11.4): Der Norden, der Oberrheingraben und das Alpenvorland bieten die besten Bedingungen.



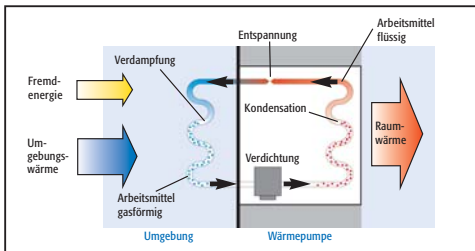
## Warme Quellen anzapfen.

2006 waren weltweit 33 000 MW für die Wärmebereitstellung und 9 500 MW für die Stromerzeugung installiert. Erheblich ausbaufähig ist die Geothermie v. a. in den „begünstigten“ Gebieten. So werden auf Island schon heute ca. 90 % der Heizenergie und knapp 20 % des Stroms mit heißem Wasser erzeugt.

In Deutschland sind bisher nur wenige Anlagen in Betrieb. Thermalwasservorkommen für die Gebäudeheizung und Warmwasseraufbereitung finden sich hierzulande meist in einer Tiefe zwischen 1000 bis 2500 m. Thermalwasser in ausreichender Menge und Temperatur für die Stromerzeugung gibt es erst ab 4000 m Tiefe – z. B. im Oberrheingraben, im Voralpenland und in Norddeutschland (Folie 11, Abb. 11.4). 2008 waren drei Anlagen mit zusammen 7,4 MW installierter Leistung in Betrieb. Mit dem Hot-Dry-Rock-Verfahren in kristallinen Gesteinen, die es in Deutschland nahezu überall gibt, könnte die gesamte Grundlast des deutschen Stromverbrauches gedeckt werden. Dies ist im Moment aber noch nicht wirtschaftlich, da die Bohrungen sehr tief und damit teuer sind.

## Temperaturunterschiede nutzen.

Wärmeenergie steckt in jeder Materie mit einer Temperatur über  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dem absoluten Nullpunkt. Diese Energie nutzen **Wärmepumpen**, indem sie die

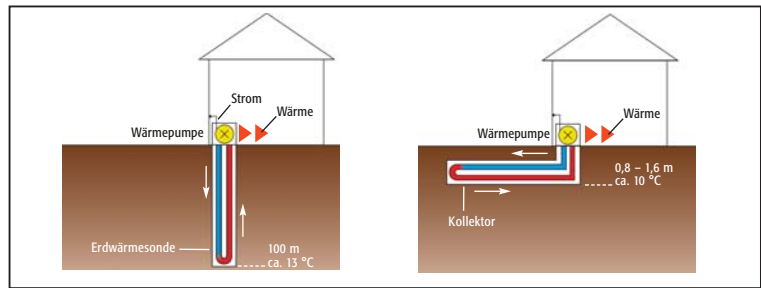


Funktion einer Wärmepumpe (Abb. 12.1): das Kühlschrankprinzip, nur umgekehrt.

so genannte **Umwelt-** oder **Umgebungswärme**, die im Erdreich, der Luft und dem Grund- oder Meerwasser gespeichert ist, in nutzbare Wärme umwandelt. Wärmepumpen arbeiten vom Prinzip her wie

### Das Wichtigste in Kürze:

- ▶ Geothermie nutzt die Energie im Erdinneren zur Erzeugung von Wärme und Strom.
- ▶ Geothermie ist bisher oft noch nicht wirtschaftlich, da v. a. die Tiefbohrungen sehr teuer sind.
- ▶ Wärmepumpen sammeln die in Boden, Luft und Wasser gespeicherte Sonnenenergie und führen sie z. B. einem Heizsystem zu. Je höher die Jahresarbeitszahl, desto effektiver die Wärmepumpe.

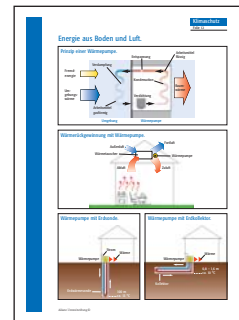


Wärmepumpe mit Erdsonde/ Erdkollektor (Abb. 12.3/4): In 1 bis 2 m Tiefe sinken auch im Winter die Temperaturen nicht unter  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

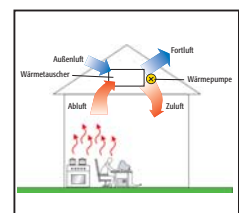
Kühlschränke: Über eine Flüssigkeit bzw. ein Gas, das in Röhren zirkuliert, wird einem Bereich Wärmeenergie entzogen (z. B. dem Erdreich oder dem Kühlschrankinneren) und einem anderen Bereich zugeführt (z. B. der Heizungsanlage eines Hauses oder beim Kühlschrank über die rückseitigen Rippen der Raumluft (Folie 12, Abb. 12.1). Wärmepumpen benötigen zum Betrieb **Fremdenergie** und arbeiten in der Regel mit einem Gas- oder mit einem Elektromotor.

Am häufigsten wird die Energie der **Umgebungsluft** genutzt (Folie 12, Abb. 12.2). Sie ist immer und überall verfügbar, allerdings dann am kältesten, wenn am meisten Wärme gebraucht wird. Energetisch günstiger ist die Nutzung des **Erdreichs** – allerdings auch teurer: Denn im Boden müssen vertikal oder horizontal Rohre/Kollektoren verlegt werden (Folie 12, Abb. 12.3 und 12.4).

Entscheidend für die Effizienz einer Wärmepumpe ist die so genannte **Jahresarbeitszahl**, die das Verhältnis zwischen eingesetzter Fremdenergie und gewonnener **Nutzenergie** kennzeichnet. Sie ist u. a. abhängig von der Anlagengröße, der Art der genutzten Außenwärmequelle (Erdreich, Außenluft) und des Heizsystems. Eine typische, elektrisch betriebene Wärmepumpe hat eine Arbeitszahl von 3, d. h. mit 1 kWh Strom können 3 kWh nutzbare Wärme erzeugt werden. Auf den ersten Blick eine gute Energiebilanz. Doch für die Bereitstellung von 1 kWh Strom werden im Kraftwerk fast 3 kWh Primärenergie eingesetzt. Zum deutschen Strommix tragen zudem überwiegend fossile Energieträger bei. Eine Wärmepumpe sollte deshalb mindestens eine Arbeitszahl über 3 aufweisen, um einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. V. a. aber müsste die Stromerzeugung stärker auf regenerativen Energien beruhen.



Energie aus Boden und Luft. Folie 12



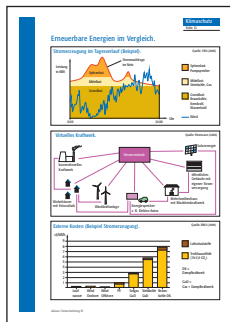
Wärmerückgewinnung mit Wärmepumpe (Abb. 12.2): Mit der Energie der Abluft wird die Frischluft erwärmt.

# Die Regenerativen – was sie könn(t)en.

*Theoretisch steht dank erneuerbarer Quellen Energie im Überfluss zur Verfügung. Praktisch führen die Erneuerbaren allerdings eher ein Nischendasein. Noch!*

In diesem Kapitel erfahren Sie,

- welche Rolle die erneuerbaren Energien zukünftig spielen können
- und welche Hindernisse dabei zu überwinden sind.



Erneuerbare Energien im Vergleich.  
Folie 13

## Vision oder Illusion?

Die zukünftige Rolle der **erneuerbaren Energien** wird kontrovers diskutiert. Für die einen sind sie die Lösung aller Klima- und Energieprobleme, andere glauben, dass man auch in Zukunft nicht auf fossile Energieträger und vor allem Kernkraft verzichten kann.

Fest steht: Das natürliche Angebot an Energie übertrifft den Weltenergiebedarf um das 3000-Fache, das technisch nutzbare Potenzial immer noch um das 6-Fache. Fest steht aber auch: Der Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung weltweit ist immer noch relativ gering. Das hat verschiedene Ursachen.

## Erneuerbares aus der Zapfsäule?

Oft erschweren **historisch gewachsene Strukturen** die Nutzung der erneuerbaren Energien. So ist der **Verkehrssektor** weltweit von fossilen Energieträgern geprägt. Infrastruktur, Antriebstechnologien und Verkehrsmittel sind darauf ausgerichtet und werden sich nur langsam umstellen lassen. Zudem ist bei der einzigen derzeit realistischen regenerativen Alternative, dem **Biokraftstoff**, aus den bereits erläuterten Gründen Ernüchterung eingetreten. So rechnet selbst das BMU für Deutschland 2020 mit lediglich 12%, für 2050 mit 16% Anteil Biokraftstoffen am gesamten Kraftstoffverbrauch.

## Mehr Wärme durch Sonne und Co.

Auch der **Wärmebereich** ist derzeit von den fossilen Energieträgern dominiert. Allerdings bestehen hier wesentlich bessere Möglichkeiten zum Umsteuern als im Verkehrssektor. **Solare Brauchwassererwärmung** und **Heizungsunterstützung** bieten sich ebenso als Alternativen an wie Nah- und Fernwärmenetze mit **Kraft-Wärme-Kopplung** auf Biomassebasis. Für Deutschland rechnet das BMU deshalb bis 2020 mit 14,4%, bis 2050 mit 50% Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien. Den Großteil davon sollen Bioenergie, Solar- und Geothermie liefern.

## Probleme mit dem grünen Strom.

Bei der **Stromerzeugung** stehen die erneuerbaren Energien vor großen Herausforderungen. Hier ist die Struktur weltweit darauf ausgelegt, Energie zentral in leistungsstarken Kraftwerken aus meist fossilen Energieträgern sowie Uran herzustellen und über entsprechende Leitungsnetze an die Verbraucher zu verteilen. Welche Schwierigkeiten es bereitet, die tages- und jahreszeitlich **oft stark schwankenden regenerativen Energien** in die bestehenden Systeme zu integrieren, zeigt das Beispiel Deutschland (> Kasten, Folie 13, Abb. 13.1), wo die Erneuerbaren nach Vorstellung des BMU 2020 30%, 2030 50% und 2050 80% zur deutschen Stromversorgung beitragen sollen. Ein Großteil davon soll aus Windkraft stammen.

## Alles viel zu teuer?

Ein „Hemmschuh“ bei der Einführung der erneuerbaren Energien sind bislang auch ihre **Kosten**. Die Energieerzeugung aus Kohle, Gas, Öl oder Uran ist heute meist deutlich günstiger als die jeweiligen erneuerbaren Alternativen. Die erfreulich hohen Anteile erneuerbarer Energien in Europa und Deutschland beruhen deshalb meist auf **staatlichen Förderprogrammen**. Experten erwarten zukünftig jedoch deutliche Kostenverschiebungen.

So ist zum einen durch verbesserte Technik, neue Materialien und Technologien sowie vor allem durch die Massenproduktion bei den regenerativen Energien mit sinkenden Kosten zu rechnen. Zudem ist bei den endlichen Energieträgern Öl, Gas, Uran und Kohle aufgrund der begrenzten Reichweiten in Zukunft von einer **Verknappung** und einer **Verteuerung** auszugehen. Selbst wenn neue Vorräte entdeckt oder neue Energieträger (wie z. B. Methaneis) einsatzbereit werden sollten, ist bei den fossilen Energieträgern besonders im Strombereich zukünftig mit zusätzlichen Kosten aus Emissionshandel, der Berücksichtigung von Klimafolgeschäden sowie ggf. CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -lagerung zu rechnen. Zum anderen sind bei der fossilen und atomaren Energieerzeugung die so genannten **externen Kosten** nicht in den Preisen berücksichtigt (Folie 13, Abb. 13.3). Dazu gehören z. B. die Kosten für Umweltschäden beim Betrieb der Anlagen oder die Rekultivierung der Lagerstätten, bei Kernkraft v. a. die langfristige Entsorgung der Abfälle.

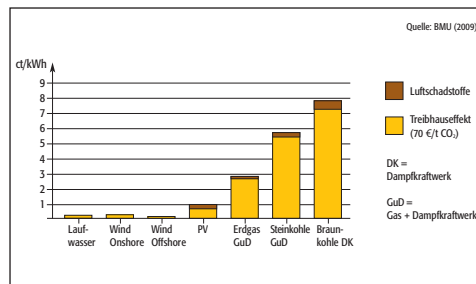
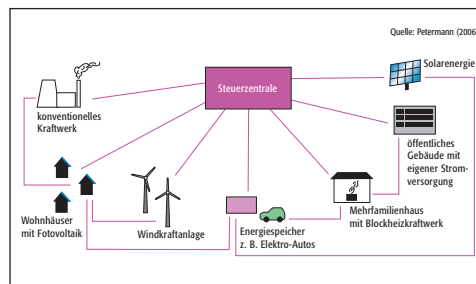
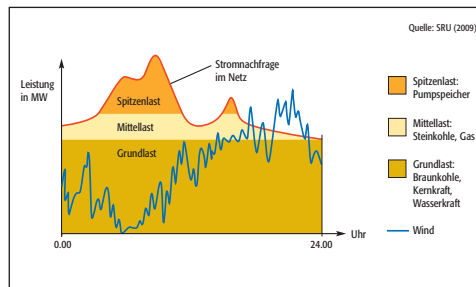
Sonnenkraft hat Zukunft: Als Energiereservoir ist die Sonne unschlagbar.

### Deutschland unter Strom.

In Deutschland wird Grund- und Mittellaststrom v. a. durch Atom-, Laufwasser- und Kohlekraftwerke gedeckt, für Lastspitzen stehen Pumpspeicher- und Gasturbinenkraftwerke zur Verfügung. Bei einer Beibehaltung des aktuellen Kraftwerksparks und einer Steigerung der Windenergiekapazitäten müssten in Zeiten mit hohem Windenergieertrag zukünftig entweder Mittel- oder sogar Grundlastkraftwerke ihre Leistung reduzieren – oder Windkraftanlagen abgeschaltet werden (Abb. 13.1). Da beides nicht wirtschaftlich ist, fordern Befürworter der erneuerbaren Energien eine rasche Umstellung der gesamten Stromversorgungsstruktur. In einem neuen Mix aus Großkraftwerken und dezentralen Anlagen hätte regenerativ erzeugter Strom grundsätzlich Vorrang. Eine Steuerzentrale würde in einem derartigen **virtuellen Kraftwerk** regeln, welche Komponenten ab- bzw. zugeschaltet werden (Abb. 13.2). Auch der Aus- und teilweise Neubau von Stromleitungen und ein so genanntes „intelligentes“ Stromnetz, das den Verbrauchern je nach Stromangebot Informationen zum Ein- oder Ausschalten elektrischer Geräte und Anlagen gibt, wären Teil dieses Systems. Zusätzlich müssten zur Überbrückung möglicher Stromlücken neue, schnell einsatzbereite Gaskraftwerke und zusätzliche Speichermöglichkeiten (Pumpspeicher, Druckluftspeicherkraftwerke) für überschüssigen Strom geschaffen werden. Modelle einer zukünftigen Energieversorgung sehen solche Speicher z. B. auch in einer hohen Zahl an Elektroautos, deren Batterien in bedarfsarmen Zeiten (z. B. nachts) mit überschüssigem Windstrom geladen werden. Da tagsüber nie alle Autos im Einsatz sind, könnten diese bei Bedarf wieder Strom zurück ins Netz geben.

### Die Zeit läuft davon.

Das Potenzial der erneuerbaren Energien ist unerschöpflich, die Technologien zu ihrer Nutzung zumeist vorhanden und auch bei der Kostenentwick-



lung scheint alles auf die Erneuerbaren zuzulaufen. Ihr Durchbruch ist somit eigentlich nur noch eine Frage der Zeit. Die könnte jedoch knapp werden, denn neueste Forschungsergebnisse zeigen, dass zur Einhaltung der 2°C-Grenze und der Vermeidung eines gefährlichen Klimawandels eine rasche und drastische Senkung der Treibhausgas-Emissionen nötig ist.

Dass sich die notwendigen Emissionsreduktionen alleine mit dem Ersatz fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien erreichen lassen, wird von vielen Experten bezweifelt. In den folgenden Kapiteln werden deshalb weitere Handlungsoptionen näher beleuchtet.

Mal viel – mal wenig (Abb. 13.1): Das Beispiel Windkraft zeigt, wie schwer sich erneuerbare Energien in das bisherige System der Stromversorgung mit Grund- und Mittellastkraftwerken einbauen lassen.

Virtuelles Kraftwerk (Abb. 13.2): Eine Steuerzentrale regelt, wann welche Systeme zum Einsatz kommen. Damit lässt sich die Stromerzeugung perfekt dem Bedarf anpassen.

Kein fairer Kostenvergleich (Abb. 13.3): Fossile Energieträger verursachen z. T. erhebliche externe Kosten, die bisher nicht in den Energierechnungen auftauchen und von der Allgemeinheit getragen werden.

### Standpunkte

Die regenerativen Energien werden den steigenden Energiebedarf der Welt nicht decken können. Fossile Energieträger und Kernkraft sind weiter unerlässlich.

Eine Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien ist möglich. Wer jetzt auf regenerative Energien setzt, hat auch in Zukunft die Nase vorn.

### Das Wichtigste in Kürze:

- Die Rolle der regenerativen Energien in einem zukünftigen Energiekonzept wird sehr unterschiedlich gesehen.
- Vor allem im Bereich der Wärme- und Stromversorgung bestehen gute Chancen, den Anteil der erneuerbaren Energien deutlich zu erhöhen.
- Zur Verhinderung eines gefährlichen Klimawandels sind aber noch weitere Maßnahmen nötig.

# Energie effizient nutzen – Energie sparen.

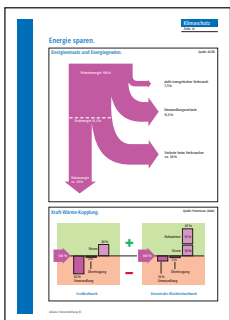
*Energie sparen ist eine der wichtigsten Klimaschutzmaßnahmen. Denn Energie, die nicht benötigt wird, verursacht keine Treibhausgase, schont die Ressourcen – und den Geldbeutel.*

Dieses Kapitel verdeutlicht,

- wie sich Energie effizienter nutzen lässt
- welche Möglichkeiten es gibt, Energie zu sparen.



**Ineffizient:** Beim Lesen eines Buches mit einer herkömmlichen Glühbirne werden nur 2-3 % des Energiegehaltes der Kohle tatsächlich genutzt.



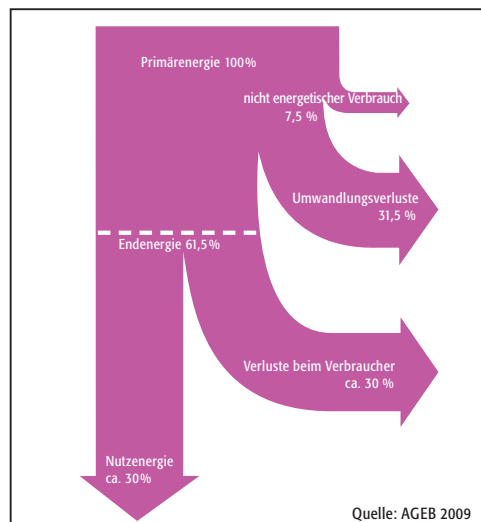
Energie sparen.  
Folie 14

**Mehr Effizienz spart Energie (Abb. 14.1):** Allein bei der Umwandlung von Primär- in Endenergie geht viel Energie verloren.

## Weniger ist mehr.

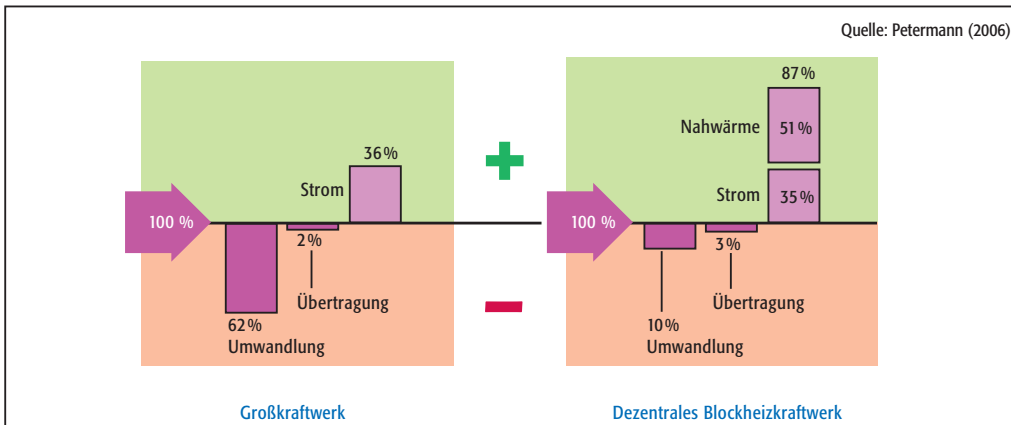
Zahlreiche Experten befürchten, dass bei einem weiter steigenden Energiebedarf der fossile Anteil noch lange hoch bleiben wird – mit entsprechenden Emissionen. Umso wichtiger ist es daher, den Energiebedarf selbst zu begrenzen. Auch optimistische Szenarien, die einen hohen Anteil der erneuerbaren Energien an einem zukünftigen Energiemix beschreiben, setzen deshalb zusätzlich auf einen **sparsameren Umgang mit Energie**.

Beim Energiesparen lassen sich zwei „Varianten“ unterscheiden: Zum einen kann der Energieverbrauch durch eine **Reduzierung der „Energiedienstleistung“** gesenkt werden, also durch eine Verringerung der Raumtemperatur in geheizten Gebäuden, weniger Auto fahren, weniger Konsum oder eine geringere industrielle Produktion. Zum anderen lässt sich der Energieverbrauch aber auch ohne größere Einschränkungen alleine durch den **effizienteren Einsatz von Energie** senken: Durch bessere Wärmedämmung an Gebäuden, sparsamere Fahrweise oder Fahrzeuge, bewussten Konsum sowie Energie sparende Produktionsprozesse. Die in Anspruch genommenen Energiedienstleistungen Raumtemperatur, Fahrleistung, Konsum oder



**Energieverluste:** Sie zu vermeiden, birgt ein enormes Sparpotenzial.

Produktion bleiben in diesem Fall gleich – nur der Energieaufwand wird reduziert. Beide „Varianten“ werden vielfach als unsere größte und am einfachsten anzupassende Energiequelle bezeichnet. Zudem sind sie innerhalb der bestehenden Strukturen vergleichsweise **schnell, unkompliziert** und oft sehr **kosteneffizient** umzusetzen. Außerdem amortisieren sich die Maßnahmen ganz oder zumindest teilweise, das aufgewendete Geld wird durch Einsparungen beim Energieeinkauf anschließend wieder eingespart.



Mehr Effizienz durch doppelte Nutzung (Abb. 14.2): Bei Kraft-Wärme-Kopplung werden gleichzeitig Strom und Wärme genutzt.

## Wo Energie verpufft.

Die **Energieeffizienz** ist in vielen Bereichen verbesserbar. So sind allein die **Verluste** bei der **Umwandlung von Primär- in Endenergie** beträchtlich, ebenso die beim **Energietransport** (Folie 14, Abb. 14.1). Schätzungen besagen, dass Europa dadurch heute 20% mehr Energie verbraucht, als eigentlich nötig wäre. Auch beim Endverbraucher gibt es zahlreiche Möglichkeiten, die Energie wesentlich effizienter zu nutzen. Experten halten es für technisch möglich, aus jeder Kilowattstunde das 4- bis 5-Fache an Nutzen herauszuholen. Nachfolgend einige Beispiele:



Schlechter Wirkungsgrad: In herkömmlichen Kraftwerken geht viel Energie als Abwärme verloren.

## Verbesserung der Wirkungsgrade

Höhere Wirkungsgrade bedeuten mehr nutzbare Energie bei gleichem Energieeinsatz. Beispielsweise lassen sich die Wirkungsgrade bestehender fossiler Kraftwerke durch Nachrüstung mit neuester Technik steigern. Der Ersatz alter Kraftwerke ist eine weitere Möglichkeit zur Steigerung der Energieeffizienz. Auch bei den regenerativen Energien wird permanent an einer Verbesserung der Wirkungsgrade gearbeitet.

## Kraft-Wärme-Kopplung

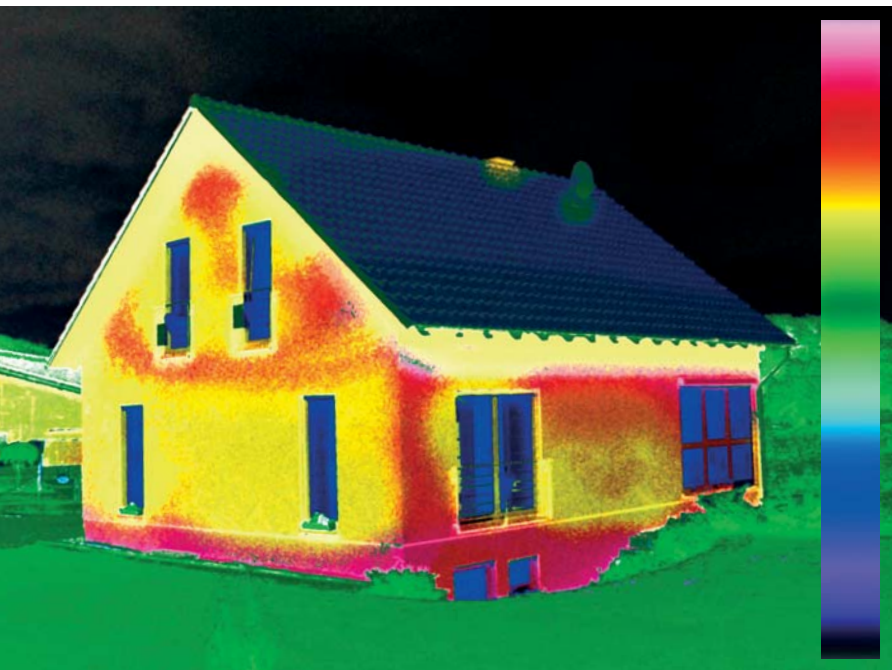
Die deutschen Großkraftwerke haben aktuell einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 36%. Das bedeutet: Über 60% der Energie gehen als Abwärme über Kühltürme bzw. Flüsse verloren. Bei der **Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)** wird auch diese Abwärme genutzt. Am sinnvollsten ist die KWK dabei in Bereichen mit konstantem Wärmebedarf, z. B. in der industriellen Produktion oder bei der Wärmeversorgung von Stadtteilen, Wohngebieten oder Einzelgebäuden. KWK-Anlagen kommen in allen Größenordnungen zum Einsatz: vom Heizkraftwerk mit mehreren GW Leistung bis hin zu „Kellerkraftwerken“ mit wenigen kW. Besonders effektiv sind kleinere, dezentrale Anlagen, so genannte Blockheizkraftwerke (BHKW). Sie stehen direkt am Ort des Verbrauchs, übertragen v. a. die Wärme ohne größere Verluste (Folie 14, Abb. 14.2) und erreichen Gesamtwirkungsgrade (Wärme und Strom) von bis zu 90%.

In Deutschland stammen derzeit ca. 15% des Stroms aus KWK, Länder wie z. B. Dänemark, die diese Technik schon seit Jahren intensiv fördern, bringen es auf über 50%. Studien beziffern das wirtschaftliche KWK-Potenzial Deutschlands im Wärmebereich auf ca. 30%, beim Strom auf über 50%.

## Standpunkte

Die deutschen Kraftwerke sind in die Jahre gekommen. Neue Kohlekraftwerke sind viel effizienter als alte. Eine umfassende Erneuerung des Kraftwerksparks ist ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz.

Das ist zwar richtig. Wenn in den nächsten Jahrzehnten alte Kohlekraftwerke durch neue ersetzt werden, zementiert das aber nur den aktuellen Strommix. Für erneuerbare Energien ist dann kaum mehr Platz.



Das Infrarotbild zeigt die Schlupflöcher: Bei den roten Flächen entkommt die Wärme aus dem Haus.

### Verbesserte Energieübertragung

Bei der Energieumwandlung und im Bereich des Energietransportes, v. a. über größere Strecken, geht immer noch viel wertvolle Energie verloren. Experten schätzen den gesamten Verteilungsverlust im deutschen Stromsektor vom Kraftwerk bis zum Endverbraucher auf bis zu 5%. Deshalb wird intensiv an **Fernübertragungssystemen** gearbeitet, die Strom nahezu verlustfrei vom Kraftwerk zum Verbraucher bringen. Wichtig wäre dies v. a., wenn in Nordafrika produzierter „Sonnenstrom“ zu den Industriezentren in Europa transportiert werden soll.



Energietransport: Ziel ist eine weitgehend verlustfreie Stromübertragung über weite Strecken.

### Wärmedämmung

Bei den privaten Haushalten liegen die größten Einsparpotenziale im Wärmebereich, der ca. 70% des Energieverbrauchs dieses Sektors ausmacht. Am sinnvollsten ist hier die **Wärmedämmung von Gebäuden**, am besten kombiniert mit modernen Heizungs- und Lüftungsanlagen. Lag der mittlere jährliche Raumwärmebedarf pro m<sup>2</sup> Wohnfläche im Jahr 1987 noch bei 220 kWh, benötigen **Niedrigenergiehäuser** heute nur noch 30 kWh. Energiestandards bei Neubauten leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Senkung des Energieverbrauchs.

Allerdings wurden über 95% der Gebäude in Deutschland vor 2002 errichtet, ca. 75% sind älter als 25 Jahre. Die eigentliche Herausforderung, aber auch ein riesiges Potenzial, liegt damit in der energetischen **Bestandssanierung**: Würde ab sofort bei jeder anfallenden Sanierung oder Instandsetzung von Wohngebäuden auch eine energetische Aufwertung erfolgen und darüber hinaus die Effizienz der Anlagentechnik verbessert, könnte der Primärenergiebedarf des Wohnsektors nach Expertenmeinung jährlich um 3% reduziert werden!

### Energie sparen.

Allein durch den bewussten Umgang mit Energie lassen sich z. B. im privaten Bereich ohne Komfortverlust bis zu 10% sparen. Einfache Hilfsmittel wie schaltbare Steckerleisten, Energiesparlampen, Thermostatventile etc. erzielen mit geringem Aufwand nochmals bis zu 10%. Werden zusätzlich noch die großen „Energiefresser“ wie alte Kühlschränke ausgetauscht, kann allein die Stromrechnung eines durchschnittlichen Haushalts um bis zu 2/3 gesenkt werden. Auch in der Industrie könnte viel Energie gespart werden: 1/3 des gesamten Stromverbrauchs geht hier Schätzungen zufolge auf veraltete Industrieaggregate zurück!

Im Verkehrsbereich sind ebenfalls deutliche Einsparungen möglich, z. B. durch sparsamere Fahrzeuge, aber auch durch eine entsprechende Fahrweise. Ein großes Sparpotenzial bieten der **indirekte Energieverbrauch** und somit unsere Konsumgewohnheiten. Der Becher für den Coffee-to-go, die Verpackung für das Essen vom Pizza-Service – alles ist Energie bzw. wird unter Einsatz von Energie hergestellt und entsorgt. Auch der Warentransport geht in den indirekten

Verbrauch ein. Das Mineralwasser aus Süditalien, die Tomate aus Spanien, das Kinderspielzeug aus Fernost – jedes Produkt muss vor seinem Verbrauch transportiert werden und enthält damit mehr oder weniger viele Transportkilometer bzw. Energie. Durch einen bewussten Konsum wie z. B. den Kauf regional erzeugter oder auch langlebiger Produkte kann jeder Einzelne einen Beitrag zum Energiesparen und somit zum Klimaschutz leisten – ohne Verzicht und Einschränkungen.

## Effizienzbremsen.

Angesichts einer Vielzahl von Möglichkeiten ist es verwunderlich, dass das riesige Energiesparpotenzial nicht viel stärker in Anspruch genommen wird. Einige Experten führen dies auf die immer noch verhältnismäßig **geringen Energiekosten** zurück. Tatsächlich machen die Kosten für Energie in Industrie, Gewerbe, Dienstleistungen und im privaten Bereich oft nur einen kleinen Teil aller Ausgaben aus. Auch an den Endpreisen von Waren und Dienstleistungen haben die Energiekosten meist nur einen geringen Anteil. Die wirtschaftliche Notwendigkeit zur Effizienzsteigerung ist deshalb oft noch gering. Zudem erfordert die Umsetzung entsprechender Maßnahmen meist größere Investitionen, z. B. im industriellen und Gebäudebereich. Schließlich ergibt sich im Mietwohnungssektor das Problem, dass die Investitionen vom Eigentümer bzw. Vermieter getätigt werden müssen, der Mieter aber von den Energieeinsparungen profitiert. Viele dieser Hemmnisse ließen sich nach Expertenmeinung aber durch steuerliche Anreize, Investitionszulagen, Verbraucherberatung oder auch

### Das Wichtigste in Kürze:

- ▶ Energie effizienter nutzen und Energie sparen sind „Energiequellen“ mit einem beträchtlichen Potenzial. Wo keine Energie verbraucht wird, entsteht auch kein CO<sub>2</sub>.
- ▶ Einsparpotenziale bestehen sowohl an der Quelle (Erneuerung der Kraftwerke, Kraft-Wärme-Kopplung u. a.) als auch auf der Verbraucherseite (Wärmedämmung, Strom sparende Geräte).
- ▶ Noch schlagen sich die Energiekosten kaum in den Preisen für Waren und Dienstleistungen nieder, sodass zum Energiesparen zusätzliche Anreize nötig wären.
- ▶ Global betrachtet sind Maßnahmen zu mehr Effizienz v. a. in Ländern mit veralteter Kraftwerks- und Übertragungstechnik wirkungsvoll. Hier sind die Industriestaaten auch aufgrund ihrer historischen Verantwortung aufgerufen, Entwicklungs- und Schwellenländer zu unterstützen.



Vom Netz getrennt: Nur wer den Stecker wirklich zieht, verhindert die oft erheblichen Stromverbräuche bei Stand-by-Schaltungen.

entsprechende Vorschriften beseitigen. Andere meinen, dass alleine die Verknappung und Verteuerung der fossilen Energieträger mittelfristig von selbst zu einem entsprechenden Energiespar- und -effizienzschub führen wird.

## Weltweite Potenziale.

Weltweit gesehen ergeben sich besonders in Ländern mit veralteter Kraftwerks- und Übertragungstechnik oder sanierungsbedürftigem Gebäudebestand enorme Einsparmöglichkeiten. Dabei kann es global betrachtet effektiver sein, Mittel hier einzusetzen als in den Industriestaaten. Allerdings haben die Industrieländer bezüglich Energieeffizienz und Energiesparen auch Vorbildfunktion und aufgrund ihrer bisherigen Emissionen auch eine historische Verantwortung. Nur wenn es gelingt, unseren Wohlstand mit immer weniger Energie zu halten oder sogar zu mehr, wird Energiesparen vor allem für die aufstrebenden Schwellenländer ausreichend attraktiv.

### Standpunkte

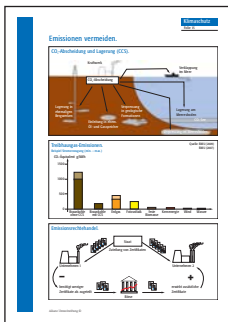
- ▶ Durch technische Energiesparmaßnahmen könnten in Deutschland rund 40 % der Endenergie eingespart werden. Insgesamt ließen sich bis 2015 110 Mrd. kWh einsparen, das entspricht dem Verzicht auf 30 Kraftwerke.
- ▶ Das Wuppertal-Institut schätzt, dass sich bis 2050 der Pro-Kopf-Primärenergieverbrauch in Deutschland ohne Komfortverlust um ca. 2/3 verringern ließe.

# Emissionen vermeiden.

Langfristig gehört den regenerativen Energien die Zukunft. Doch eine Umstellung der Energieversorgung ist nicht von heute auf morgen möglich. Gibt es Übergangslösungen?

In diesem Kapitel erfahren Sie,

- welche alternativen Techniken zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung diskutiert werden
- wie diese Techniken zu bewerten sind.



Emissionen vermeiden.  
Folie 15

## Eine Zeit des Übergangs?

Dass auf lange Sicht eine Energieversorgung auf der Basis regenerativer Energieträger und mehr Energieeffizienz alternativlos ist, wird inzwischen kaum mehr bestritten. Darüber, wie schnell und wie umfassend der Umbau der Energieversorgung erfolgen kann, herrschen allerdings sehr unterschiedliche Ansichten. Für die Übergangszeit werden derzeit verschiedene **Brückentechnologien** diskutiert.

## Saubere Kohle?

Der fossile Energieträger Kohle wird noch vergleichsweise lange zur Verfügung stehen und von Ländern mit ergiebigen Lagerstätten – allen voran China – vermutlich auch entsprechend genutzt werden. Um v. a. diesen Energieträger möglichst klimaschonend einsetzen zu können, ist derzeit die so genannte **CCS-Technologie (Carbon Capture and Storage)** in der Entwicklung. Dabei wird das bei der Verbrennung entstehende CO<sub>2</sub> abgeschieden, zu unterirdischen Lagerstätten (z. B. ausgebeuteten Kohle-, Öl- oder Gaslagerstätten) transportiert und dort gespeichert (Folie 15, Abb. 15.1). Mit der unterirdischen Lagerung wäre – so die Befürworter dieser Technik – das durch die Verbrennung von Kohle freigesetzte CO<sub>2</sub> wieder dauerhaft in der Lithosphäre gespeichert. In Deutschland sind bereits zwei Pilotanlagen in Betrieb, das erste CCS-Kraftwerk ist für 2014 geplant. Allerdings bestehen noch zahlreiche offene Fragen bzw. Kritikpunkte:

- CCS erhöht den Primärenergieeinsatz um bis zu 44 %, Transport und Lagerung sind ebenso mit einem **zusätzlichem Energieaufwand** verbunden.
- Das CO<sub>2</sub> wird nicht vollständig abgetrennt. Je nach Technik werden 88 – 99 % abgeschieden.
- CCS ist für den Klimaschutz nur wirksam, wenn das CO<sub>2</sub> über **sehr lange Zeiträume** sicher gelagert werden kann. Ob und wie das geschehen kann, ist derzeit noch völlig offen.

## CO<sub>2</sub>-Kompensation

Eine Möglichkeit, CO<sub>2</sub>-Emissionen zwar nicht zu verhindern, aber zu „neutralisieren“, bietet die so genannte CO<sub>2</sub>-Kompensation. Dabei ermitteln Unternehmen, Organisationen oder Privatpersonen zunächst den CO<sub>2</sub>-Ausstoß, den sie z. B. durch Reisen, Veranstaltungen oder andere Tätigkeiten verursachen. Gegen Zahlung eines Geldbetrags werden diese Emissionen dann an anderer Stelle durch Klimaschutzprojekte eingespart. Inzwischen bieten zahlreiche Institutionen diesen Service. Wichtig ist dabei v. a., in welche Projekte die Kompensationszahlungen fließen. Nach dem von mehreren Umweltorganisationen und dem WWF entwickelten „Gold Standard“ sollte das Geld nur in Projekte aus den Bereichen erneuerbare Energien und Energieeffizienz fließen. Zudem müssen die Projekte zusätzlich, dauerhaft sowie nachhaltig sein und die lokale Bevölkerung mit einbeziehen. Aufforstungsprojekte und Baumpflanzungen zählen nicht zu den Gold-Standard-Projekten.

- Die **Speicherkapazitäten sind begrenzt** und stehen in Konkurrenz zu anderen Nutzungen wie z. B. Geothermie oder Druckluftspeicherung.
- Der großmaßstäbliche Einsatz von CCS ist **noch nicht erprobt**.
- CCS wird, wenn überhaupt, in größerem Umfang frühestens 2015 – 2020 zur Verfügung stehen.

Vor diesem Hintergrund ist derzeit unklar, ob CCS den erhofften Beitrag zum Klimaschutz leisten kann. Der WBGU hält mit CCS betriebene fossile Kraftwerke deswegen global gesehen bestenfalls für eine mittelfristige Übergangslösung.

## Kohle ersetzen.

Kohle hat von allen fossilen Energieträgern die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Deshalb bietet sich an fossilen Alternativen die **verstärkte Nutzung von Erdgas** an (Folie 15, Abb. 15.2). Zudem sind Erdgaskraftwerke in der Stromerzeugung **sehr flexibel einsetzbar** und passen damit gut in ein Energiesystem mit hohem Anteil regenerativer Energieträger. Allerdings: Auch die Erdgasvorräte sind begrenzt und dürften bei einer verstärkten Nutzung noch schneller zur Neige gehen.



Der Traum von der sauberen Kohle: Bei der CCS-Technologie sind noch viele Fragen offen.



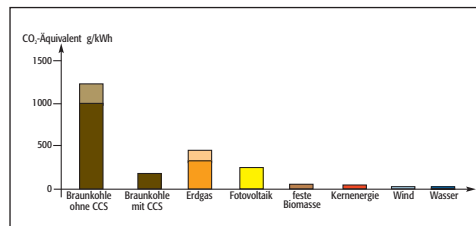
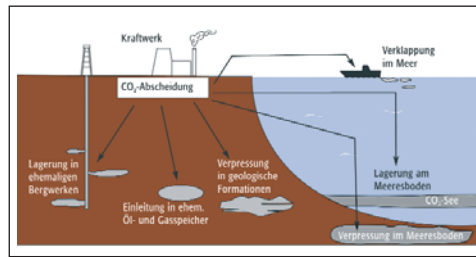
CO<sub>2</sub>-freie Kernkraft? Bau und Abriss der Kraftwerke sowie der Uranbergbau erzeugen Emissionen. Die Kernkraft bleibt umstritten.

## Kernkraft, ja bitte?

Weil **Kernkraftwerke** im laufenden Betrieb **kein CO<sub>2</sub> emittieren**, wird die Atomenergie von ihren Befürwortern als wichtiger Beitrag zur Lösung des Klimaproblems gesehen, zumindest aber als Brücke, bis regenerative Energien die weltweite Energieversorgung sicherstellen können. Derzeit sind weltweit etwa 440 Atomkraftwerke in Betrieb. Ihr Anteil am globalen Primärenergieverbrauch liegt bei 6 %, am erzeugten Strom bei 16 %. Um bis 2050 allein 10 % der fossilen Energie ersetzen zu können, müssten 1000 neue Atomkraftwerke gebaut werden. Ob dies angesichts **potenzieller Risiken** beim Betrieb und der noch nicht gelösten Endlagerung radioaktiver Abfälle einen gangbaren Weg darstellt, ist sehr umstritten. Kritiker warnen zudem vor militärischem Missbrauch und der Gefahr, dass radioaktives Material in die Hände von Terroristen gelangen könnte. Darüber hinaus sind Kernkraftwerke klassische Grundlastkraftwerke und daher mit einem immer höheren Anteil erneuerbarer Energien nur schwer in Einklang zu bringen.

## Das Wasserstoffzeitalter.

Wasserstoff wird häufig als „die“ Lösung für eine CO<sub>2</sub>-freie Energiezukunft bezeichnet. Er kann in Verbrennungsmotoren, Gasturbinen oder Brennstoffzellen in mechanische Energie, Strom sowie Wärme umgewandelt werden und hinterlässt als Abfallprodukt lediglich Wasser. Allerdings ist Wasserstoff nur ein **sekundärer Energieträger**. Er muss zunächst unter Energieaufwand hergestellt werden und ist damit nur so „sauber“ und effektiv wie der Prozess, bei dem er hergestellt und genutzt wird. Die heute üblichen Herstellungsarten sind die Dampfreformierung aus fossilen Energieträgern (z. B. Erdgas) und die Elektrolyse aus Wasser. Bei der Dampfreformierung wird als Nebenprodukt genau die Menge CO<sub>2</sub> frei, die auch bei der direkten Nutzung des fossilen Energieträgers entstanden wäre. Berücksichtigt man noch Umwandlungs-



und Wirkungsgradverluste bei der weiteren Nutzung des Wasserstoffs, kann die Klimabilanz in den negativen Bereich kippen. Ähnlich ist die Bilanz, wenn Wasserstoff als Speichermedium für Strom aus erneuerbaren Energien genutzt wird. Experten gehen davon aus, dass in der Nutzungskette Elektrolyse, Speicherung, Transport und Verstromung in Brennstoffzellen weniger als die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Energie beim Verbraucher ankommt. Sie empfehlen deshalb, kurz- bis mittelfristig auf andere Speichermedien (Druckluft, Pumpspeicher) zu setzen. Erst wenn sehr hohe Anteile erneuerbarer Energien mit anderen Speicherformen nicht mehr zu bewältigen sind, wäre diese Art der Wasserstoffwirtschaft ein gangbarer Weg.

## Der Traum von unerschöpflicher Energie.

Bei der Suche nach alternativen Energiekonzepten wird in verschiedenen Richtungen gearbeitet. Die **Kernfusion** z. B. beschäftigt die Forscher seit Jahrzehnten. Der anfängliche Enthusiasmus über eine schier unerschöpfliche Energiequelle ist inzwischen weitgehend verfliegen. 2050 soll der erste Fusionsreaktor in Betrieb gehen – vielleicht aber auch später.

CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Lagerung (Abb. 15.1): Mit CCS sollen Kohlekraftwerke nahezu CO<sub>2</sub>-frei betrieben werden.

Treibhausgas-Emissionen bei der Stromerzeugung (Abb. 15.2): Kohle hat die schlechteste Bilanz, Erdgas unter allen fossilen Energieträgern die beste.



Als Abfall nur Wasser? Wasserstoff ist nur so sauber wie der Energieträger, mit dem er erzeugt wurde.

### Standpunkte

Die nächsten Jahrzehnte entscheiden über den Erfolg des Klimaschutzes. Deshalb müssen alle Möglichkeiten genutzt werden, schnell zu signifikanten Reduktionen zu kommen – auch auf der Basis konventioneller Energieträger und der Kernkraft! Übergangstechniken helfen, Zeit für den Umbau der Energieversorgung zu gewinnen.

Die Entwicklung angeblich sauberer Kohlekraftwerke mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung sowie die Unterstützung der Kernenergie verhindern einen raschen Umstieg auf regenerative Energien. Falsch angelegtes Geld!

### Das Wichtigste in Kürze:

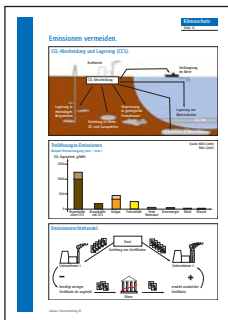
- ▶ Der Umbau der Energieversorgung hin zu regenerativen Energien braucht Zeit. Deshalb werden parallel dazu alternative CO<sub>2</sub>-Vermeidungs-Strategien diskutiert.
- ▶ Mit der Abscheidung und unterirdischen Lagerung von CO<sub>2</sub> (CCS) sollen Kohlekraftwerke weitgehend CO<sub>2</sub>-frei arbeiten, allerdings sind bei dem Verfahren noch viele Fragen ungeklärt.
- ▶ Der Ersatz von Kohle durch Gas reduziert die Emissionen, beschleunigt aber auch das Ende der Gaslager.
- ▶ Kernkraftwerke arbeiten zwar weitgehend CO<sub>2</sub>-frei, die Technik ist aber nach wie vor umstritten.
- ▶ Wasserstoff ist als Energieträger nur so „sauber“ wie die Energie, mit der er erzeugt wird.

# Wie reagiert die Politik?

*Der Klimawandel ist ein globales Problem, das auch nur global gelöst werden kann. Doch wer muss bis wann wie stark zu einer Lösung beitragen? Gerade die Detailfragen erschweren Fortschritte in den internationalen Verhandlungen.*

## In diesem Kapitel erfahren Sie

- den aktuellen Stand der internationalen Klimapolitik
- welche Klimaschutzziele international und national aufgestellt wurden
- und wie sie umgesetzt werden können.



Emissionen vermeiden.  
Folie 15

## Allgegenwärtig – der Klimawandel.

Das Thema Klimawandel nimmt in der öffentlichen Wahrnehmung inzwischen einen hohen Stellenwert ein – nicht zuletzt seit der Veröffentlichung des 4. Sachstandsberichtes des IPCC 2007. Auch auf politischer Ebene hat sich viel bewegt. So besteht im Wesentlichen Konsens, dass eine **gemeinsame Anstrengung der internationalen Staatengemeinschaft** notwendig ist, um der Herausforderung Klimawandel zu begegnen. Immer deutlicher wird auch, dass eine **umfassende und weltweite Umstellung der Energieversorgung unumgänglich** ist.

### Standpunkte

► Da die Industrieländer die Hauptverursacher des Klimawandels sind, müssen sie bei der Reduktion der Treibhausgas-Emissionen vorangehen.

► Nur wenn die reichen Industriestaaten zeigen können, dass Wohlstand (und damit eine sichere Energieversorgung) mit Klimaschutz kompatibel ist, werden die übrigen Staaten nachziehen.

## Von Rio bis Kopenhagen.

Seit dem „Erdgipfel“ 1992 in Rio de Janeiro finden regelmäßig internationale **Klimakonferenzen** statt. Allgemein bekannt ist dabei v. a. die 3. Vertragsstaatenkonferenz 1997 in Kyoto/Japan. Im dort ausgehandelten **Kyoto-Protokoll** gingen erstmals eine Reihe wichtiger Industriestaaten konkrete Reduktionsverpflichtungen für Treibhausgase ein. Um diese einhalten zu können, wurden drei Mechanismen entwickelt (> Kasten).

Das Kyoto-Protokoll trat 2005 in Kraft und hat eine Laufzeit bis 2012. Dabei wurde immer wieder bemängelt, dass die USA als Industrienation mit

## Die Kyoto-Mechanismen

### 1. Emissionshandel (Emission Trading)

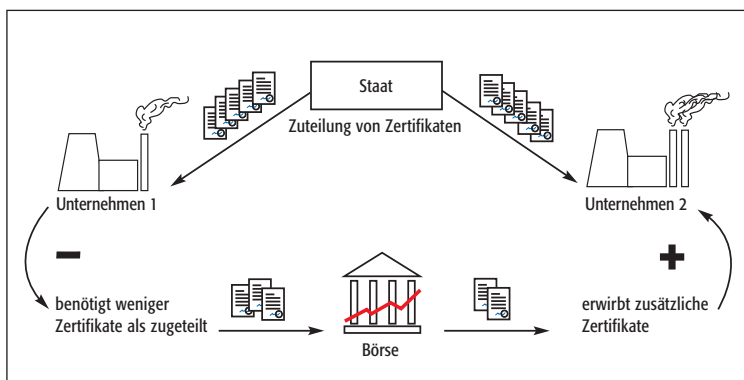
Ein Land teilt die ihm erlaubte Emissionsmenge in einzelne Zertifikate und verteilt diese an die vom Emissionshandel erfassten Unternehmen – bzw. diese ersteigern die Zertifikate an einer Börse. Überschreitet ein Unternehmen die ihm zugeteilte Emissionsmenge, muss es an der Börse zusätzliche Zertifikate von anderen Unternehmen erwerben, die ihre Emissionen bereits reduziert haben. Wer Emissionen einspart, kann damit Geld verdienen! (Folie 15, Abb. 15.3)

### 2. Gemeinsame Umsetzung (Joint Implementation, JI)

Finanziert ein Industriestaat in einem anderen Projekte zur Emissionsreduktion, kann er die Reduktion auf seine eigene Emissionsmenge anrechnen lassen und selbst mehr emittieren.

### 3. Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung (Clean Development Mechanism, CDM)

Hier finanzieren Industriestaaten Klimaschutzprojekte in Entwicklungsländern und können sich die erzielten Emissionsreduzierungen auf ihr eigenes Emissionskonto gutschreiben lassen. Die Projekte müssen die nachhaltige Entwicklung fördern.



Handel mit Emissionen (Abb. 15.3): Reduktionen sollen dort erzielt werden, wo sie die größte Wirkung haben und wo es am wirtschaftlichsten ist.

den größten Emissionen das Protokoll zwar unterzeichnet, aber nie ratifiziert haben. Auch die Schwellenländer China, Indien und Brasilien sind bisher keine Reduktionsverpflichtungen eingegangen. Angesichts des fortschreitenden Klimawandels und weltweit weiter steigenden Emissionen sind ab 2012 aber dringend neue Vereinbarungen notwendig. So konnte man sich im Dezember 2007 auf Bali immerhin darauf einigen, bis Dezember 2009 in **Kopenhagen** ein Klimaschutzabkommen zu verhandeln, das auch die Schwellen- und Entwicklungsländer mit einbindet.

Auch bei den **G8-Gipfeltreffen** der vergangenen Jahre spielte der Klimawandel eine wichtige Rolle. In L'Aquila (Italien) stimmten im Frühjahr 2009 die wichtigsten Industrienationen der Welt dem grundsätzlichen Ziel zu, die Temperaturzunahme bis 2100 auf **2 °C** (gegenüber dem vorindustriellen Niveau) zu begrenzen.

## Mit gutem Beispiel voran?

Die **Europäische Union sieht sich als Motor einer nachhaltigen Klimapolitik**. Sie beschloss, ihren Ausstoß an Treibhausgasen bis 2020 um 20 % gegenüber dem Basisjahr 1990 zu senken – je nach Beteiligung weiterer Industriestaaten außerhalb der EU auch um bis zu 30 %. Im Januar 2008 setzte die Europäische Kommission Vorgaben zur Intensivierung des Emissionsrechtshandels. Ab 2013 soll ein einheitliches CO<sub>2</sub>-Budget für alle Mitgliedstaaten gelten. Ebenfalls bis 2020 soll der **Beitrag der erneuerbaren Energiequellen** zur europäischen Energieversorgung auf einen Anteil von **20 %** ausgebaut sein. Deutschland legte sich im Kyoto-Protokoll auf eine Reduktion der Treibhausgase bis 2012 um 21 % fest. Im August 2007 beschloss das Bundeskabinett in Meseberg, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Deutschland bis 2020 um 40 % zu senken. Dazu hat das UBA einen detaillierten Umsetzungsplan vorgestellt.



**Gleiche Rechte für alle:** Die CO<sub>2</sub>-Pro-Kopf-Emissionen liegen in vielen Entwicklungsländern weit unter denen von Bewohnern reicher Staaten.

### Das Wichtigste in Kürze:

- ▶ Der Klimawandel ist ein globales Problem, das nur global gelöst werden kann. Auf internationalen Klimakonferenzen werden Wege für ein gemeinsames Handeln der Staatengemeinschaft gesucht.
- ▶ Wichtiger Baustein der Klimaschutzpolitik ist die Förderung regenerativer Energien.

## Klimaschutz national.

Ein wichtiger Baustein aktiver Klimapolitik ist die **Förderung erneuerbarer Energien**. Hier hat die Bundesregierung mit dem **Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)** seit dem Jahr 2000 eine Maßnahme auf den Weg gebracht, die inzwischen von vielen anderen Staaten in ähnlicher Form übernommen wurde. Das EEG regelt z. B., dass Erzeuger, die regenerativ erzeugten Strom in das öffentliche Netz einspeisen, dafür vom Netzbetreiber bzw. den Energieversorgungsunternehmen eine staatlich festgelegte Vergütung erhalten, die von diesen dann auf den allgemeinen Strompreis umgelegt wird. Ein weiteres Beispiel ist das Anfang 2009 verabschiedete **Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz**. Es verpflichtet Eigentümer von Neubauten, ihren Wärmebedarf zu einem gewissen Anteil aus erneuerbaren Energien zu decken.

Dem Umweltbundesamt gehen diese Regelungen noch nicht weit genug. Um die angestrebte Reduzierung des deutschen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes um 40 % bis 2020 zu erreichen, hält es die Energiebesteuerung, einen Energieeffizienzfonds, die Kennzeichnung besonders energiesparsamer Geräte und viele weitere Maßnahmen für nötig.

## Wohin geht die Reise?

Da der Klimawandel ein globales Problem ist, können die entscheidenden Weichenstellungen nur global getroffen werden. Dabei sind die unterschiedlichen Bedingungen in den einzelnen Ländern und deren Leistungsfähigkeit zu berücksichtigen. Um auch Entwicklungsländer und vor allem die Schwellenländer China, Indien und Brasilien mit einzubinden, werden **Pro-Kopf-Emissionsrechte** als Grundlage für internationale Vereinbarungen diskutiert. Auf dieser Basis hätten die Industrieländer mit vergleichsweise hohen Pro-Kopf-Emissionen einen deutlich größeren Beitrag zur Reduktion der Emissionen zu leisten als etwa Schwellen- oder Entwicklungsländer. Mehr dazu im abschließenden Kapitel.



**Vorreiter im Klimaschutz:** Die EU und vor allem Deutschland haben sich hohe Ziele gesteckt. Folgen auf Worte auch Taten?

### Standpunkte

▶ Das EEG führt dazu, dass die Betreiber von Fotovoltaikanlagen auf Kosten aller Stromkunden gute Gewinne einfahren. 2007 wurden ca. 7,6 Mrd. Euro Vergütungen ausgezahlt, die auf den allgemeinen Strompreis umgelegt wurden.

▶ 7,6 Mrd. Euro sind zwar eine gewaltige Summe. Für einen Durchschnittshaushalt mit 3500 kWh Jahresstromverbrauch ergeben sich daraus aber lediglich Mehrkosten von ca. 3 Euro pro Monat. Und dafür wurden zahlreiche Fotovoltaikanlagen errichtet.

# Strategien für die Zukunft.

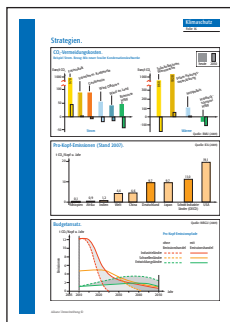
*Der Kampf gegen den Klimawandel erfordert eine Kraftanstrengung der gesamten Staatengemeinschaft. Die Umstellung der Energieversorgung und eine faire Lastenverteilung sind dabei die Schlüsselfragen.*

Dieses Kapitel informiert Sie darüber,

- welche Auswege es aus der Problematik gibt
- welchen Ansprüchen eine zukünftige Energieversorgung gerecht werden muss
- wie ein gemeinsames Vorgehen der Staatengemeinschaft aussehen könnte.



Die Zeit wird knapp: Die Treibhausgas-Emissionen müssen reduziert werden – schnell und drastisch.



Strategien.  
Folie 16



Freier Zugang zu Energie: Die Menschen in den Entwicklungsländern haben die gleichen Anrechte auf Energie und Wohlstand wie in den Industrienationen.

## Die Realität im Blick.

Die Folgen eines ungebremsen Klimawandels sind bedrohlich, die Zeit zum **Umsteuern** wird zunehmend knapp. Umso öfter werden Ideen und Vorschläge formuliert, aktiv in das Klimasystem einzugreifen und den Klimawandel auf diese Weise zu bremsen oder sogar zurückzudrehen. Diese als **Geo-Engineering** bezeichneten Maßnahmen umfassen Ideen wie das Einbringen von Sonnensegeln im Weltall oder das Ausbringen von Eisen in den Weltmeeren, um so das Algenwachstum anzuregen und CO<sub>2</sub> zu binden. Unabhängig von ihrer meist fragwürdigen Realisierbarkeit und Wirksamkeit behandeln diese Vorschläge nur Symptome, lassen das eigentliche Problem, den anthropogenen Treibhauseffekt, aber unberücksichtigt. Zudem bergen derartige Eingriffe – die letztlich in großem Maßstab erfolgen müssen, um Wirkung zeigen zu können – **unkalkulierbare Risiken**. An einer drastischen und raschen Reduktion der Treibhausgas-Emissionen führt deshalb nach Meinung der meisten Experten kein Weg vorbei.

## Energie für die Welt.

Untrennbar mit einer Reduktion der Treibhausgas-Emission verbunden ist die **Energiefrage**. Eine weitreichende Umstellung der Energieversorgung von fossilen Energieträgern zu regenerativen Quellen erscheint alternativlos. Wenn dies eine rasche Realisierungschance haben soll, muss sich eine zukünftige Energieversorgung an drei wichtigen Kriterien orientieren:

### Versorgungssicherheit

Sie beinhaltet den freien Zugang zu Energie für alle, was auch eine weltweit gerechte Verteilung von Energie einschließt.

### Wirtschaftlichkeit

Energie soll für alle bezahlbar sein. Erneuerbare Energien werden sich deshalb letztlich nur durchsetzen, wenn sie günstiger sind als fossile Energien.

### Nachhaltigkeit

Um auch zukünftigen Generationen menschenwürdige Lebensbedingungen zu ermöglichen, muss die Energieerzeugung ressourcen- und klimaschonend sein.

## Das Problem mit den Kosten.

Wirksamen Klimaschutz und eine Umstellung der Energieversorgung wird es nicht zum Nulltarif geben. Da jeder Euro aber nur einmal aufgewendet werden kann, ist es ebenso logisch wie sinnvoll, bei der Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen wirtschaftlich so effizient wie möglich vorzugehen. Eine Richtschnur dazu bieten die so genannten **CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten**. Sie bezeichnen die Kosten, die bei unterschiedlichen Maßnahmen zur Vermeidung einer Tonne CO<sub>2</sub> entstehen. Obwohl sich die Berechnungsgrundlagen für unterschiedliche Reduktionsmaßnahmen oft sehr unterscheiden, lassen sich aus den in zahlreichen Studien ermittelten Werten zumindest grobe Anhaltspunkte für wirtschaftlich sinnvolle Klimaschutzmaßnahmen in Deutschland ableiten.

Bei den erneuerbaren Energien z. B. weisen Photovoltaik und Solarthermie derzeit sehr hohe CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten auf, Windkraft und die Wärmeerzeugung aus Biomasse vergleichsweise niedrige (Folie 16, Abb. 16.1). Im Bereich Energieeffizienz und Energiesparen gibt es zahlreiche Maßnahmen, die sogar negative CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten aufweisen, also neben der Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes sogar noch einen wirtschaftlichen Gewinn erbringen. Die Wärmedämmung im Gebäudebestand, die Erneuerung von Heizungskesseln und der Austausch von elektrischen Geräten und Aggregaten werden in diesem Zusammenhang am häufigsten genannt.

Ein wichtiger Vergleichs- bzw. Standardwert ist dabei der Preis, mit dem CO<sub>2</sub>-Zertifikate im Emissionshandel bewertet werden.

2009 schwankte er an der Leipziger Börse zwischen ca. 8 und 15 Euro/t, für die Jahre 2013 bis 2020 wird nach einer Umfrage ein Preis von nicht über 30 Euro erwartet.

## Ein Welt-Klima-Pakt.

Neben den Kosten sind es v. a. die vielen unterschiedlichen Interessen und Verantwortlichkeiten, die ein rasches Handeln auf internationaler Ebene erschweren.

Da 2012 nach Auslaufen des Kyoto-Protokolls ein **neues internationales Klimaschutzabkommen** benötigt wird, haben Spezialisten des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) eine Klimaschutz-Strategie entwickelt, in der viele der bisher vorgestellten Aspekte enthalten bzw. zusammengeführt sind. Diese Strategie könnte den Rahmen einer zukünftigen internationalen Klimapolitik abstecken und wird nachfolgend in ihren Grundzügen vorgestellt.

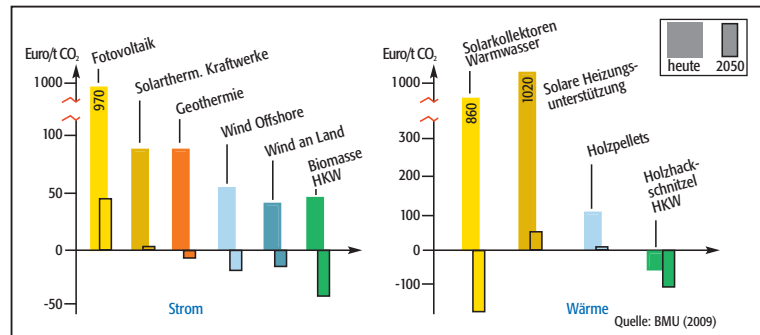
Die Herausforderung des Klimawandels sehen die PIK-Forscher vor allem darin, den **Ausstoß von Treibhausgasen zu senken, ohne die wirtschaftliche Entwicklung zu gefährden**. Denn gerade den Entwicklungsländern kann aufgrund ihrer geringen historischen CO<sub>2</sub>-Emissionen ökonomisches Wachstum nicht verwehrt werden. Zielrichtung des Konzeptes ist deshalb, das Klimasystem zu vertretbaren ökonomischen Kosten zu stabilisieren, einen gefährlichen Klimawandel zu verhindern, wirtschaftliche Schäden durch überzogene oder schlecht gestaltete Klimapolitik zu vermeiden und die Armen der Welt vor den schlimmsten Auswirkungen des Klimawandels zu schützen. Der Vorschlag orientiert sich an folgenden Prinzipien:

### Umweltwirksamkeit

Oberste Priorität hat die Begrenzung des Klimawandels auf ein akzeptables und beherrschbares Maß. Das **2°C-Ziel** ist deshalb Grundlage aller Überlegungen. Es verhindert einen gefährlichen Klimawandel, ermöglicht eine Anpassung an die unvermeidbaren Folgen und könnte mit einem finanziellen Aufwand von 1–2% des weltweiten Bruttosozialprodukts eingehalten werden.

### Kosteneffizienz

Bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Klimaschutz und wirtschaftlicher Entwicklung soll das 2°C-Ziel zu **möglichst geringen Kosten** erreicht werden. Um die Emissionen dort zu reduzieren, wo es am billigsten ist, werden alle Emissionssektoren und Weltregionen in das Konzept mit einbezogen.



Ansetzen, wo es am meisten bringt (Abb. 16.1): Die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten sind bei den verschiedenen regenerativen Energieträgern unterschiedlich hoch.

### Gerechtigkeit

Aufgrund der historischen Verantwortung der Industrieländer für den Klimawandel wird eine **faire internationale Kostenteilung** bei der Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen und der Anpassung an den Klimawandel angestrebt.

Auf Grundlage dieser drei Prinzipien schlägt das PIK einen **Welt-Klima-Pakt** (A Global Contract on Climate Change) vor, der sich auf vier Hauptziele konzentriert:

- 1) Herstellung eines weltweiten Kohlenstoffmarktes
- 2) Förderung kohlenstoffarmer Technologien
- 3) Emissionsreduzierung aus Entwaldung und Walddegradation
- 4) Anpassung an den unvermeidlichen Klimawandel.

## Weltweiter Emissionshandel.

Um das 2°C-Ziel möglichst kosteneffizient zu erreichen, sollen die Treibhausgas-Emissionen durch ein **Emissionshandelssystem** einen Preis erhalten, der im Idealfall weltweit gilt und alle Emissionsbereiche und Regionen abdeckt. Auf diese Weise können Emissionen dort vermieden werden, wo es am kostengünstigsten ist. Die Herausforderung besteht vor allem darin, die aktuell existierenden Handelssysteme in ein unter Umweltaspekten effektives, ökonomisch effizientes, faires und vor allem weltweites Handelssystem zu überführen. Weil sie bei weiterhin steigender Tendenz bereits für über die Hälfte der weltweiten Emissionen verantwortlich sind, sollen die Entwicklungs- und Schwellenländer möglichst rasch mit in den Emissionshandel eingebunden werden. Außerdem weisen sie erhebliche „low-cost“-Verminderungspotenziale auf, und ein weltweiter Emissionshandel könnte Ausweicheffekte (wie z. B. die Verlagerung energieintensiver Industrien in Entwicklungsländer) vermeiden.



Emissionsfrei: Allein durch die Windkraft konnten 2008 in Deutschland über 30 Mio. t CO<sub>2</sub> eingespart werden.

### Standpunkte

▶◀ Fotovoltaikanlagen sind reine Spielerei, unter Kostenaspekten bringen sie für den Klimaschutz nichts. Das Geld sollte in andere Techniken investiert werden.

▶◀ Die Kosten für Fotovoltaikanlagen haben sich in den letzten Jahren massiv reduziert. Diese Entwicklung wird dank neuer Techniken weitergehen und die Fotovoltaik langfristig konkurrenzfähig machen.



**Zukunftstechnologie:**  
Riesige Sonnenkraftwerke  
in der Wüste könnten  
genug Strom liefern.

## Förderung neuer Technologien.

Nach Auffassung des PIK wird der weltweite Emissionshandel alleine nicht ausreichen, um den notwendigen, grundlegenden Umbau des globalen Energiesystems zu vollziehen. Zusätzlich sollen deshalb die **Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich kohlenstoffarmer Technologien**, öffentlich geförderte Demonstrationsprojekte für komplexe Technologien (z. B. CCS) und Markteinführungs- oder -anreizprogramme den erneuerbaren Energien zum Durchbruch verhelfen. Dazu ist eine faire Lastenteilung der Industrienationen bei Forschung und Entwicklung wie auch bei der Markteinführung nötig.

Der Bereitstellung von erneuerbaren Energien für die Entwicklungs- und Schwellenländer wird höchste Bedeutung zugemessen. Um diese beim Sprung in eine kohlenstoffarme Zukunft zu unterstützen, werden zusätzlich ein Umsteuern in der Entwicklungspolitik, ein entsprechender Technologietransfer und die Schaffung geeigneter Finanzierungsinstrumente für die am wenigsten entwickelten Länder und Regionen gefordert.

## Verhinderung weiterer Entwaldung.

Entwaldung und Walddegradation sind für fast 20% der weltweiten Treibhausgas-Emissionen verantwortlich und können nach zahlreichen Schätzungen zu sehr geringen Kosten reduziert



**Wichtiger CO<sub>2</sub>-Speicher:**  
Große Waldgebiete binden  
CO<sub>2</sub>, ihre Rodung setzt das  
Treibhausgas frei.

werden. Zur effektiven **Reduzierung der durch Entwaldung entstehenden Emissionen** (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation, REDD) müssen nach Ansicht des PIK vor allem die Dauerhaftigkeit der Emissionsreduzierungen und Kohlenstoffspeicherung garantiert sowie das Ausweichen der Entwaldung auf andere Regionen verhindert werden.

## Hilfen bei der Anpassung.

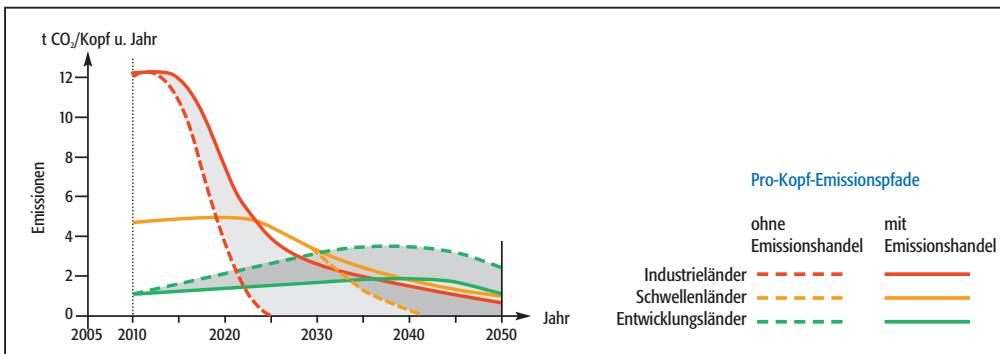
Für die Finanzierung von **Anpassungsmaßnahmen** in den Entwicklungs- und Schwellenländern fordert das PIK einen solide aufgestellten Finanzierungsmechanismus.

Die Anpassungsmaßnahmen müssen dabei eng mit bestehenden Programmen zur Armutsbekämpfung und Förderung einer nachhaltigen Entwicklung sowie anderen Politikbereichen verzahnt werden. Gleichzeitig dürfen die Mittel, die für Anpassung aufgewendet werden, nicht zulasten bestehender Entwicklungshilfeprogramme gehen.

Mit dem Vorschlag zu einem Welt-Klima-Pakt hat das PIK eine umfassende Klimastrategie entwickelt, dabei aber offengelassen, wie sie politisch umgesetzt werden kann. Dazu hat der WBGU in einem Sondergutachten zur Klimakonferenz 2009 in Kopenhagen jedoch einen entsprechenden Vorschlag skizziert, den so genannten „**Budgetansatz**“.

## Atmosphärenkapital.

Angangspunkt des WBGU-Vorschlages ist die Gesamtmenge CO<sub>2</sub>, die bis 2050 weltweit emittiert werden kann, ohne die 2°C-Leitplanke zu durchbrechen. Bei einem „Weiter so wie bisher“ wäre diese Menge bereits in 25 Jahren aufgebraucht. Es wird deshalb vorgeschlagen, das erlaubte **Emissions-Budget** für den Zeitraum zwischen 2010 und 2050 über einen **Pro-Kopf-Schlüssel** gleichmäßig auf die Staaten der Erde zu verteilen, wobei 2010 als demografisches Referenzjahr gelten soll. Jeder Staat verfügt damit über ein genau festgelegtes „**Atmosphärenkapital**“, mit dem er bis 2050 flexibel wirtschaften und international handeln kann. Länder, deren Budget schnell ausgeschöpft ist –



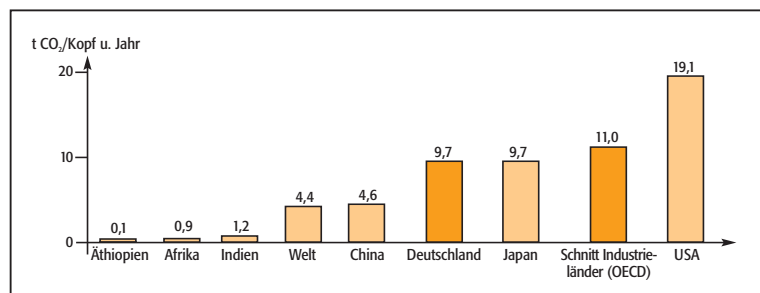
Nur gemeinsam ist der Umbau machbar (Abb. 16.3): Industrieländer müssen ihre Emissionen viel drastischer reduzieren als etwa Schwellen- oder Entwicklungsländer.

z. B. die Industriestaaten – , müssten von anderen, die weniger emittieren, als ihnen zusteht, entsprechende **Emissionsrechte** erwerben. Daraus ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten, **Vermeidungsmaßnahmen** oder **Technologietransfers** zu finanzieren (Folie 16, Abb. 16.2 und 16.3). Der Vorschlag bezieht sich nur auf CO<sub>2</sub>, für andere Treibhausgase werden separate Maßnahmen vorgeschlagen.

Der Budgetansatz liefert auf einer klar nachvollziehbaren Grundlage konkrete Zahlen für nationale Emissionsbegrenzungen. Das zunehmend schwieriger werdende Aushandeln individueller, nationaler Reduktionsverpflichtungen und die damit einhergehenden Verhandlungen auf internationalen Klimakonferenzen könnten weitgehend entfallen. Zur Finanzierung von Anpassungsmaßnahmen sowie des Stopps der Entwaldung in Entwicklungsländern wird zusätzlich ein finanzieller Ausgleich zwischen Nord und Süd vorgeschlagen, der sich an den nationalen Unterschieden der Pro-Kopf-Emissionen im Zeitraum zwischen 1990 und 2010 orientiert. Dadurch würde auch das Verursacherprinzip sowie die historische Verantwortung der Industrieländer aufgegriffen.

## Eine Welt mit Zukunft.

Die Herausforderung, vor der die Weltgemeinschaft steht, ist groß. Der WBGU spricht deshalb von einer globalen Herkulesaufgabe, die international



Gleiches Recht für alle (Abb. 16.2): Noch ist die Welt von vergleichbaren Pro-Kopf-Emissionen weit entfernt.

ähnlich anspruchsvoll sei wie die Überwindung des Ost-West-Konfliktes. Er sieht aber auch die Chance, dass die Menschheit sich als globale Interessengemeinschaft zu verstehen beginnt und entsprechend verhält. Dazu sind entschieden handelnde politische Akteure, aber auch eine breite Unterstützung aus Wirtschaft und Bevölkerung von Bedeutung. Jeder Einzelne wird dazu in seinem Wirkungsbereich einen Beitrag leisten müssen.

Wir hoffen, mit dieser Broschüre dazu beigetragen zu haben.

### Das Wichtigste in Kürze:

- ▶ Eine Schlüsselfrage im Kampf gegen den Klimawandel ist die Frage nach dem Energiesystem der Zukunft. Es muss Versorgungssicherheit gewährleisten, bezahlbar bleiben, die natürlichen Ressourcen schonen und klimaverträglich sein.
- ▶ Zur Bekämpfung des Klimawandels wird ein internationaler „Welt-Klima-Pakt“ vorgeschlagen, der den Handel mit Emissionen, die gezielte Förderung klimaverträglicher Technologien, die Verhinderung weiterer Entwaldung und konkrete Anpassungsmaßnahmen enthält.
- ▶ Um die Lasten möglichst gerecht zu verteilen, wurde ein Konzept entwickelt, das jedem Staat auf der Grundlage gleicher Pro-Kopf-Emissionen ein nationales CO<sub>2</sub>-Budget zuteilt.



Sonnige Aussichten: Die Solarenergienutzung in großen Kraftwerken steht erst am Anfang ihrer Entwicklung.

# Glossar.

## **Amortisationszeit**

Zeitdauer, in der die eingesetzte Energie zum Bau einer Anlage (z. B. eines Wasserkraftwerkes) durch die Energieerzeugung der Anlage wieder ausgeglichen ist. Kraftwerke, die mit > fossilen Energieträgern betrieben werden, amortisieren sich aufgrund der > Umwandlungsverluste energetisch gesehen nie.

## **Biomasse**

Gesamtes von Lebewesen aufgebautes Material.

## **Blockheizkraftwerk**

Meist kleineres, dezentrales Kraftwerk in Siedlungsnähe, bei dem durch > Kraft-Wärme-Kopplung neben Strom auch die Wärme in einem Nahwärmenetz genutzt wird. Damit liegt der > Wirkungsgrad deutlich höher als bei einem Kraftwerk, das nur der Stromerzeugung dient.

## **Brennstoffzelle**

In einer Brennstoffzelle reagiert Wasserstoff mit Sauerstoff unter Energiefreisetzung. Als „Abfallprodukt“ entsteht Wasser. Das Prinzip der Brennstoffzelle wurde bereits 1838 entdeckt.

## **BTL-Kraftstoff**

engl. Biomass to Liquid. BTL-Kraftstoffe werden aus der gesamten Pflanze bzw. aus Rest- und Abfallstoffen hergestellt, also nicht nur aus den energiereichen Samen.

## **CCS (Carbon Capture and Storage)**

Technologie, die das bei der Verbrennung von > fossilen Energieträgern entstehende > CO<sub>2</sub> abscheidet und in unterirdischen Speichern oder im Meer lagert.

## **CO<sub>2</sub>-neutral**

Bei der Verbrennung von Biomasse wird > CO<sub>2</sub> freigesetzt. Da die Pflanze dieses CO<sub>2</sub> zuvor beim Wachstum der Atmosphäre entzogen hat, ist die Bilanz ausgeglichen – CO<sub>2</sub>-neutral.

## **CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten**

Kosten, die notwendig sind, um z. B. eine Tonne CO<sub>2</sub> bei der Energieerzeugung einzusparen. Damit ergibt sich auch eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Maßnahmen zum Klimaschutz, beispielsweise sind die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten bei Fotovoltaik derzeit um ein Vielfaches höher als bei Wind.

## **Effizienz**

In Bezug auf die Energieversorgung bedeutet Effizienz, aus der vorhandenen > Primärenergie mit möglichst geringen > Umwandlungsverlusten und

bei hohem > Wirkungsgrad möglichst viel > Endenergie zu erzeugen – und diese wiederum in entsprechenden Geräten optimal zu nutzen.

## **Emission**

Abgabe von Substanzen, Gasen u. a. in die Umwelt (von lat. „emittere“ = aussenden), z. B. von > Kohlendioxid bei Verbrennungsprozessen.

## **Emissionszertifikat**

„Verschmutzungsrecht“. Betriebe können die Menge CO<sub>2</sub>, die sie emittieren wollen, an einer „Börse“ ersteigern. Wer viel emittiert, muss entsprechend viel zahlen.

## **Endenergie**

Der Teil der Energie, der nach Abzug aller > Umwandlungsverluste z. B. in Form von Strom, Benzin etc. zur Verfügung steht.

## **Energie-Dreieck**

Das Energie-Dreieck betrachtet bei der Frage nach der zukünftigen Energieversorgung drei Aspekte als gleichwertig nebeneinander: Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit.

## **Energiemix**

Einsatz unterschiedlicher Energieträger für die Energieversorgung bzw. die Stromerzeugung eines Staates bzw. der gesamten Welt.

## **Erneuerbare/regenerative Energieträger**

Von Quellen gespeist, die nach menschlichen Zeitmaßstäben unerschöpflich sind (z. B. Sonne).

## **Erntefaktor**

Der Erntefaktor gibt an, wie viel Mal mehr Energie ein Kraftwerk, eine Wind- oder Solaranlage während des gesamten Betriebes liefert, als für Bau, Betrieb und Entsorgung verbraucht wird.

## **Fossile Energieträger**

Entstanden durch biologische und/oder chemische und geologische Prozesse im Laufe der Erdgeschichte (Kohle, Erdöl, Erdgas). Sie bilden sich in überschaubaren Zeiträumen nicht neu.

## **Fotovoltaik**

Direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie (S. 16).

## **Generator**

Maschine, die mechanische Energie in elektrische Energie (Strom) umwandelt. Die mechanische Energie kann z. B. mit einer > Turbine oder

einem Windrad erzeugt und über eine Welle an den Generator übertragen werden.

### Geothermie

Nutzung der im Erdinnern gespeicherten Energie (S. 26).

### Globale Jahresmitteltemperatur

Ermittelt in Bodennähe, Grundlage für die Beurteilung des globalen Klimas.

### Grundlast

Grundlastfähige Kraftwerke – z. B. Wasser-, Braunkohle und Kernkraftwerke – liefern über den ganzen Tag eine gleichmäßige Strommenge und decken dabei den Teil des täglichen Stromverbrauchs ab, der sich nicht verändert.

### Hydrothermie

Nutzung von heißem Wasser aus tieferen Erdschichten.

### Industrielle Revolution

Periode Ende 18./Anfang 19. Jahrhunderts, in der bahnbrechende Erfindungen (z. B. Dampfmaschine) die industrielle Massenfertigung von Gütern einleiteten. Basis war die Nutzung fossiler Energiequellen (Kohle, später Erdöl) in großem Stil.

### Joule (J)

Einheit, in der Energie gemessen wird (benannt nach dem engl. Physiker James Prescott Joule). 3600 J entsprechen dabei einer Kilowattstunde (> Watt).

1 Kilojoule (kJ) = 1000 J, 1 Petajoule (PJ) =  $10^{15}$  (= 1 Billion) J, 1 Exajoule (EJ) =  $10^{18}$  (= 1 Trillion) J.

### Kipp-Punkte (Tipping-Points)

Durch den Klimawandel können im Klimasystem der Erde Entwicklungen in Gang gesetzt werden, die, einmal angestoßen, nicht mehr rückgängig gemacht werden können und das Klimageschehen der Erde über Jahrhunderte bis Jahrtausende verändern.

### Klima

Charakteristischer Verlauf des Wetters an einem Ort oder in einem bestimmten Raum über einen längeren Zeitraum hinweg.

### Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

Spurengas der Atmosphäre, wichtiges > Treibhausgas. Wird v. a. mit dem zusätzlichen > Treibhauseffekt und damit mit dem Klimawandel in Verbindung gebracht.

### Kollektor

von lat. collegere = sammeln. Solarkollektoren sammeln die Wärmeenergie aus der Sonnenstrahlung und geben sie an ein anderes Wärmemedium, meist eine spezielle Flüssigkeit, weiter.

### Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Verknüpfung von Strom- und Wärmeerzeugung. Damit steigt der > Wirkungsgrad einer energie-technischen Anlage, der eingesetzte Energieträger wird effizienter genutzt.

### Lachgas, Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O)

Klimawirksames Spurengas der Atmosphäre. Wird v. a. mit dem zusätzlichen > Treibhauseffekt in Verbindung gebracht.

### Methan (CH<sub>4</sub>)

Klimawirksames Spurengas der Atmosphäre. Wird v. a. mit dem zusätzlichen > Treibhauseffekt in Verbindung gebracht.

### Mittellast

Zu den Mittellastkraftwerken zählen Steinkohle- und Gaskraftwerke. Sie können bei der Stromerzeugung dem täglichen Strombedarf leicht angepasst werden.

### Nachhaltigkeit

Wirtschaftsprinzip, das durch Schonung der natürlichen Lebensgrundlagen auch künftigen Generationen ein lebenswertes Dasein garantiert.

### Niedrigenergiehaus, Nullenergiehaus

Häuser, die durch eine entsprechende Bauweise (Dämmung, Wärmeschutzverglasung) und eine effiziente Energietechnik deutlich weniger Energie pro Jahr und m<sup>2</sup> verbrauchen als konventionelle Gebäude. Nullenergiehäuser benötigen keine Energie von außen, Plusenergiehäuser erzeugen selbst mehr Energie, als sie verbrauchen.

### Ökobilanz

Berücksichtigt z. B. bei der Bewertung eines Energieträgers alle Aspekte, vom Energiegewinn über den Energieverbrauch für Förderung, Aufbereitung, Transport bis zu sonstigen Beeinträchtigungen der Umwelt (Wasserverbrauch, -verschmutzung etc.).

### Offshore

Bei Windenergieanlagen: Anlagen vor der Küste, also im Meer (schwimmend oder bei geringen Wassertiefen im Untergrund verankert). Im Gegensatz zu Onshore-Anlagen an der Küste oder im Binnenland.

### Permafrostboden

Dauerfrostboden (25 % der Oberfläche der Kontinente, in Skandinavien bis 20 m, in Sibirien bis 1,5 km tief). Es wird befürchtet, dass weite Bereiche dieser Böden auftauen und damit zusätzlich CO<sub>2</sub> und Methan freigesetzt wird.

### Primärenergie

Direkter Energieinhalt von Kohle, Rohöl oder Wind, ohne Umwandlungsverluste z. B. in Strom.

### Reserven

Vorräte an > fossilen Energieträgern, die bekannt und wirtschaftlich abbaubar sind.

### Ressourcen

Hier: Vorräte an > fossilen Energieträgern, die nur vermutet werden und/oder derzeit nicht wirtschaftlich abbaubar sind.

### Rückkopplung

Wechselwirkung, die einen Effekt verstärkt (positive R.) oder abschwächt (negative R.).

### Schwellenland

Länder im Übergang vom Entwicklungsland zum Industrieland. Z. B. China, Indien, Brasilien.

### Solarthermie

Nutzung der Sonnenwärme zur Wärme- oder Stromerzeugung (S. 17 ff).

### Spitzenlast, Spitzenstrom

Der Stromverbrauch pro Tag schwankt und weist mitunter starke Verbrauchsspitzen auf. Diese Spitzenlast wird durch Pumpspeicherkraftwerke abgedeckt, die in bedarfsschwachen Zeiten mit Überschussstrom Wasser in ein hoch gelegenes Becken pumpen, um es bei Bedarf schnell ablassen und wertvollen – weil teuren – Spitzenstrom erzeugen zu können.

### Treibhauseffekt

Ähnlich wie die Scheiben eines Gewächshauses wirken in der Atmosphäre bestimmte Gase, z. B. Wasserdampf, > Kohlendioxid und > Methan. Die mittlere Temperatur der Erde liegt damit nicht bei -18 °C, sondern bei +14 °C (natürlicher Treibhauseffekt). Aktivitäten des Menschen, z. B. die Verbrennung fossiler Energieträger, erhöhen die Konzentration klimawirksamer Gase und verstärken den Effekt (zusätzlicher oder anthropogener Treibhauseffekt).

### Treibhausgase

Gase, die die Wärmerückstrahlung der Erdoberfläche in den Weltraum behindern (wie die Glasscheibe eines Treibhauses). Z. B. Wasserdampf, > Kohlendioxid und > Methan.

### Turbine

Maschine zur Energieumwandlung. Strömendes Wasser, heißer Dampf, Gas oder Wind setzen ein Laufrad in rotierende Bewegung, die zum Antrieb von Maschinen oder > Generatoren genutzt werden kann.

### Umwandlungsverluste

Entstehen bei der Umwandlung von > Primärenergieträgern wie Kohle und Erdöl in vom Verbraucher nutzbare > Endenergie in Form von Strom oder Benzin.

### Wärmepumpe

Anlage, die mit Energiezufuhr – meist durch elektrische oder Gasturbinen – Wärme von einem niedrigen auf ein höheres Temperaturniveau pumpt, z. B. von im Erdreich oder der Umgebungsluft gespeicherter Wärme auf Zimmertemperatur.

### Watt (Kilowatt, Kilowattstunde)

Einheit, in der die physikalische Leistung gemessen wird (benannt nach dem engl. Erfinder James Watt). Watt steht dabei für > Joule pro Sekunde (1 W = 1 J/s) und drückt aus, wie viel Energie (J) pro Zeiteinheit z. B. ein Kraftwerk liefert oder eine Maschine verbraucht.

1 Kilowatt (kW) = 1000 W, 1 Megawatt (MW) = 1000 kW, 1 Gigawatt (GW) = 1000 MW, 1 Terawatt (TW) = 1000 GW

Eine Kilowattstunde (kWh) steht für die Energiemenge in kW pro Stunde.

### Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad bezeichnet das Verhältnis zwischen der eingesetzten und der abgegebenen, nutzbaren Leistung. Je höher der Wirkungsgrad einer Anlage zur Energieerzeugung, desto effektiver arbeitet sie.

### Im Text genannte Abkürzungen:

**BMU** (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit)

**EEG** (Erneuerbare-Energien-Gesetz)  
Regelt die Einspeisung von regenerativ erzeugtem Strom in das öffentliche Stromnetz zu einem festgelegten Vergütungssatz.

**IEA** (International Energy Agency)  
Internationale Energie Agentur mit Sitz in Paris, gegründet 1973 von damals 16 Industrienationen im Zusammenhang mit der Ölkrise.

**IPCC** (Intergovernmental Panel on Climate Change) Interdisziplinärer Kreis aus Wissenschaftlern, die den aktuellen Stand der Klimaforschung bündeln und alle 6–7 Jahre in Berichten wiedergeben. Gegründet 1988 in Toronto.

**OECD** (Organisation for Economic Co-operation and Development) Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit mit Sitz in Paris. Derzeit 30 Mitgliedsstaaten, vorwiegend reiche Industrienationen.

**PIK** (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)  
Das PIK untersucht wissenschaftlich und gesellschaftlich relevante Fragestellungen in den Bereichen globaler Wandel, Klimawirkung und nachhaltige Entwicklung.

**ppm** (parts per million)  
Zahlenwert (engl. = ein Teil auf eine Million), der vielfach in der Chemie, Physik und Umweltwissenschaft Verwendung findet. Z. B. beträgt der Anteil von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre z. Zt. knapp über 380 ppm.

**UBA** (Umweltbundesamt)  
Eigenständige Bundesbehörde mit Sitz in Dessau, die das Bundesumweltministerium berät.

**UNEP** (United Nations Environment Programme)  
Umweltprogramm der UNO, gegründet 1972.

**WBGU** (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen)

**WMO** (World Meteorological Organization)  
Weltorganisation für Meteorologie unter dem Dach der UNO, Sitz in Genf. Fördert die Standardisierung und den internationalen Austausch klimarelevanter Daten.

# Literatur und Internet.

## Allgemeine Informationen:

- Allianz Umweltstiftung (2007): Informationen zum Thema „Klima“. München
- Agentur für Erneuerbare Energien  
> [www.unendlich-viel-energie.de](http://www.unendlich-viel-energie.de)
- BMU Bundesministerium f. Umwelt (2009): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung. Berlin
- BMU (2009): Erneuerbare Energien – Innovationen für die Zukunft. Berlin
- Dow, K.; Downing, Th. (2006): Weltatlas des Klimawandels. Europäische Verlagsanstalt
- IEA International Energy Agency (2009): Key world energy statistics.
- Petermann (Hrsg.) (2006): Sichere Energie im 21. Jahrhundert. Hamburg

## Spezielle Informationen zu einzelnen Kapiteln:

### Der Klimawandel ist da.

- IPCC (2007): Bericht der Arbeitsgruppe I – Wissenschaftliche Grundlagen. Zusammenfassung > [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- Deutsche Fassung des Syntheseberichtes:  
> [www.de-ipcc.de/\\_media/AR4\\_SynRep\\_Gesamtdokument.pdf](http://www.de-ipcc.de/_media/AR4_SynRep_Gesamtdokument.pdf)
- WMO (2008): Greenhouse gas bulletin.

### Mit dem Klimawandel leben.

- > [www.aiaccproject.org](http://www.aiaccproject.org)
- > [www.anpassung.net](http://www.anpassung.net)
- Allianz Umweltstiftung (2007): Benediktbeurer Gespräche 2007: Unter Palmen am Chiemsee?
- Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin
- Stehr, N. (2007): Vortrag im Rahmen der Benediktbeurer Gespräche der Allianz Umweltstiftung 2007; > [www.allianz-umweltstiftung.de/upload/allianzumweltstiftung/download/bb07/bb07\\_stehr.pdf](http://www.allianz-umweltstiftung.de/upload/allianzumweltstiftung/download/bb07/bb07_stehr.pdf)
- Stehr, N. (2004): Plädoyer für eine andere Klimapolitik, in „Berliner Republik“, 5/2004
- Von Storch, H.; Stehr, N. (2007): Anpassung an den Klimawandel, in „Aus Politik und Zeitgeschichte“, 48/2007
- UBA Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau  
> [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de) > Publikationen  
(2008): Deutschland im Klimawandel – Anpassung ist notwendig.  
(2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland.

(2008): Kipp-Punkte im Klimasystem – Welche Gefahren drohen? Hintergrundpapier.

(2006): Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland.

## Den Klimawandel bremsen.

- Bayer. Landesamt für Umwelt LfU (Hrsg.) (2004): Treibhausgase > [www.bayern.de/lfu](http://www.bayern.de/lfu)
- dena Deutsche Energie-Agentur (2008)  
> [www.thema-energie.de](http://www.thema-energie.de) > Zahlen, Daten, Fakten
- IPCC (2007): Bericht der Arbeitsgruppe I – Wissenschaftliche Grundlagen. Zusammenfassung > [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- UBA Umweltbundesamt (2007): Klimaänderungen, deren Auswirkungen und was für den Klimaschutz zu tun ist. Dessau
- WBGU (2003): Über Kioto hinaus denken – Klimaschutzstrategien für das 21. Jahrhundert.

## Energieversorgung – eine Schlüsselfrage.

- AGEV Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.: Jahresberichte
- BMU Bundesministerium für Umwelt (2009): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung. Berlin
- BMWi Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin  
(2009): Energie in Zahlen.  
(2009): Energie in Deutschland – Trends und Hintergründe zur Energieversorgung in Deutschland.
- IEA International Energy Agency (2009): Key world energy statistics.
- IEA (2008): World energy outlook (Zusammenfassung).
- UBA Umweltbundesamt (2007): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix. Dessau

## Erneuerbare Energien.

### inkl. Folgekapitel S. 16-27.

- AGEV Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.: Jahresberichte
- BMU Bundesministerium f. Umwelt. Berlin  
(2009): Erneuerbare Energien – Innovationen für die Zukunft.  
(2009): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung.  
(2008): Erneuerbare Energien – Fragen und Antworten.  
(2007): Entwicklung der erneuerbaren Energien im Jahr 2006 in Deutschland.

(2006): Erneuerbare Energien – Innovationen für die Zukunft.

- Bührke, Wengenmayr (Hrsg.) (2007): Erneuerbare Energien. Weinheim
- FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2006): Jahresbericht
- IFEU (2007): Erneuerbare Energien kompakt.
- Häckel (2005): Meteorologie. Stuttgart
- REN21 (2008): Globaler Statusbericht 2007 Erneuerbare Energien. Paris
- SRU Sachverständigenrat f. Umweltfragen (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Berlin
- WBGU (2008): Welt im Wandel. Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Berlin
- Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim BMELV (2007): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik. Berlin/Bonn
- UBA Umweltbundesamt (2008): Elektrische Wärmepumpen – eine erneuerbare Energie? Dessau
- Wirtschaftsverband Windkraftwerke  
> [www.wvwindkraftwerke.de](http://www.wvwindkraftwerke.de)

#### Die Regenerativen – was sie könn(t)en.

- BMU Bundesministerium f. Umwelt, Berlin (2009): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung. (2008): Leitstudie 2008.
- IER (2008): Stromerzeugungskosten im Vergleich. Stuttgart
- Rat für Nachhaltige Entwicklung (2008): Entwicklung des deutschen Kraftwerksparks und die Deckung des Strombedarfs. Berlin
- SRU Sachverständigenrat für Umweltfragen (2009): Weichenstellungen für eine nachhaltige Stromversorgung. Thesenpapier. Berlin
- UBA Umweltbundesamt (2007): Externe Kosten kennen – Umwelt besser schützen. Dessau/Berlin

#### Energie effizient nutzen – Energie sparen.

- BMU Bundesministerium für Umwelt (2008): Nationaler Energieeffizienzplan. Berlin
- Institut Wohnen und Umwelt (2007): Energie im Wohngebäudebestand. Darmstadt
- Petermann (Hrsg.) (2006): Sichere Energie im 21. Jahrhundert. Hamburg
- UBA Umweltbundesamt, Dessau (2007): Klimaschutz in Deutschland: 40%-Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2020 gegenüber 1990.

(2007): Stromsparen: weniger Kosten, weniger Kraftwerke, weniger CO<sub>2</sub>.

(2006): Wie private Haushalte die Umwelt nutzen – höherer Energieverbrauch trotz Effizienzsteigerungen. Hintergrundpapier

#### Emissionen vermeiden.

- BMU Bundesministerium f. Umwelt (Hrsg.), Berlin (2009): Themenpapier. Atomkraft – kein Weg für die Zukunft. (2007): RECCS, Strukturell-ökonomisch-ökologischer Vergleich regenerativer Energietechnologien mit CCS.
- UBA Umweltbundesamt, Dessau (2009): CCS – Rahmenbedingungen des Umweltschutzes für eine sich entwickelnde Technik. (2006): Technische Abscheidung und -speicherung von CO<sub>2</sub> – Nur eine Übergangslösung? (2006): Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung. Zusammenfassung
- WWF (2008): CO<sub>2</sub>-Kompensation: Augenwischerei oder wirksamer Klimaschutz? Frankfurt
- IFEU (2009): Wasserstoff- und Stromspeicher in einem Energiesystem mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien: Analyse der kurz- und mittelfristigen Perspektive (Kurzgutachten im Auftrag des BMU). Heidelberg
- > [www.cdmgoldstandard.org](http://www.cdmgoldstandard.org)

#### Wie reagiert die Politik?

- BMU Bundesministerium für Umwelt, Berlin (2009): Neues Denken – neue Energien. Roadmap Energiepolitik. (2007): Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung.
- Kemfert, C. (2008): Die andere Klimazukunft. Hamburg
- UBA Umweltbundesamt (2009): Klimaschutz konkret – Mut zum Handeln. Dessau

#### Strategien für die Zukunft.

- Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (2008): A Global Contract on Climate Change. Potsdam
- UBA Umweltbundesamt (2009): Konzeption des Umweltbundesamtes zur Klimapolitik – Notwendige Weichenstellungen 2009.
- WBGU (2009): Kassensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz. Sondergutachten

# Allianz Umweltstiftung.

*Umweltschutz macht Spaß, wenn er sich nicht nur auf Verbote und den erhobenen Zeigefinger beschränkt – das zeigt die Allianz Umweltstiftung mit ihren Förderprojekten.*



Dabei ergreift die Allianz Umweltstiftung auch selbst die Initiative: durch die Festlegung der Förderbereiche und die aktive Mitgestaltung der Projekte.

## Förderbereiche.

Es gibt viele Bereiche, in denen sich ein Engagement für die Umwelt lohnt. Um hier einer Beliebigkeit vorzubeugen und ein eigenes Profil zu entwickeln, hat die Allianz Umweltstiftung verschiedene Förderbereiche festgeschrieben:

- Natur, Artenschutz und Landschaftspflege
- Lebendige Gewässer
- Grün in Städten
- Gartenkunst
- Umweltkommunikation.

Neben der Fördertätigkeit in diesen Bereichen werden die Aktivitäten der Stiftung durch die Benediktbeurer Gespräche und die Aktion „Der Blaue Adler“ abgerundet.

## Wissen.

Um möglichst viele Menschen für ein Engagement in Sachen Umwelt zu begeistern, erstellt die Allianz Umweltstiftung in ihrer Publikationsreihe „Wissen“ Informationsbroschüren. Bisher sind die Ausgaben **Wasser**, **Tropenwald** und **Klima** erhältlich.

## Deutscher Klimapreis.

Um das aktive Klimaschutz-Engagement von Schülern und Schulen auszuzeichnen, hat die Allianz Umweltstiftung den Deutschen Klimapreis ins Leben gerufen. Er wird jährlich verliehen und soll Schüler dazu motivieren, sich dem wichtigen Thema Klimaschutz mit Spaß und positivem Engagement zu widmen. Der Deutsche Klimapreis der Allianz Umweltstiftung besteht aus fünf gleichwertigen Auszeichnungen, die mit jeweils 10 000 Euro dotiert sind.

Allianz  
Umweltstiftung 

## „Mitwirken an einem lebenswerten Dasein in einer sicheren Zukunft“.

Diese Maxime hat die Allianz Umweltstiftung in ihrer Satzung verankert. Mit Gründung der Umweltstiftung im Jahr 1990 setzte die Allianz ein weiteres Zeichen für die Übernahme gesellschaftlicher Verantwortung.

## Ziele.

Ziel der Stiftungstätigkeit ist, Kreativität zu fördern, Innovation zu ermöglichen und Freude an der Natur zu vermitteln. Im Mittelpunkt der Stiftungsaktivitäten steht deshalb der Mensch – denn seine Aktivitäten prägen unsere Umwelt und seine Träume und Visionen bestimmen unsere Zukunft.

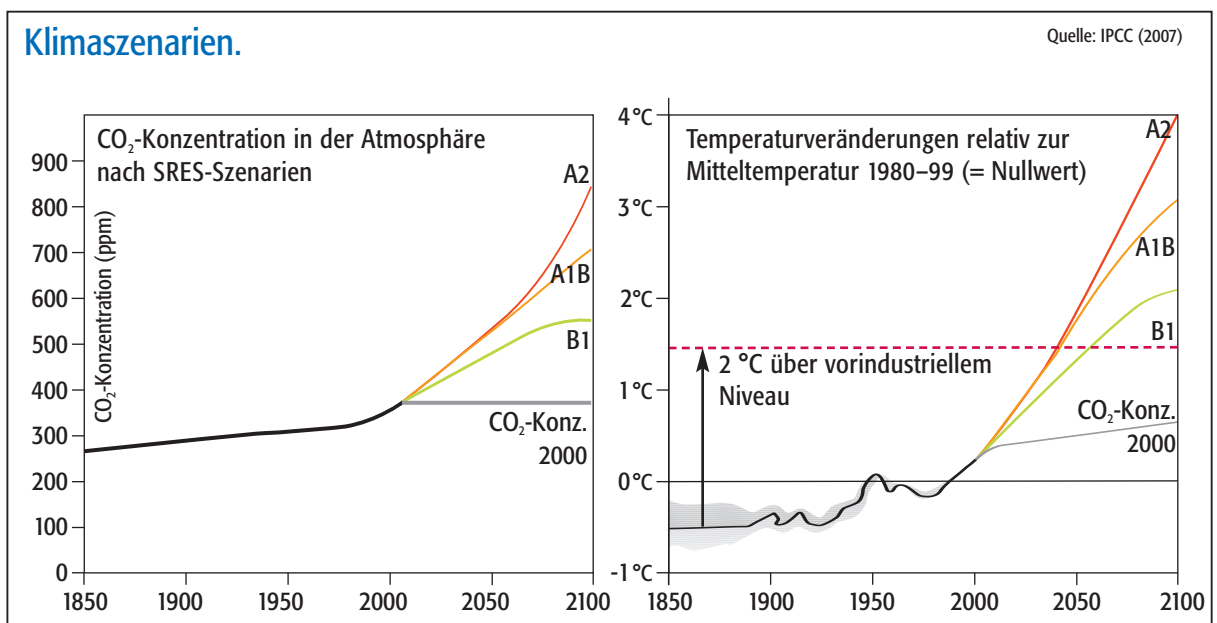
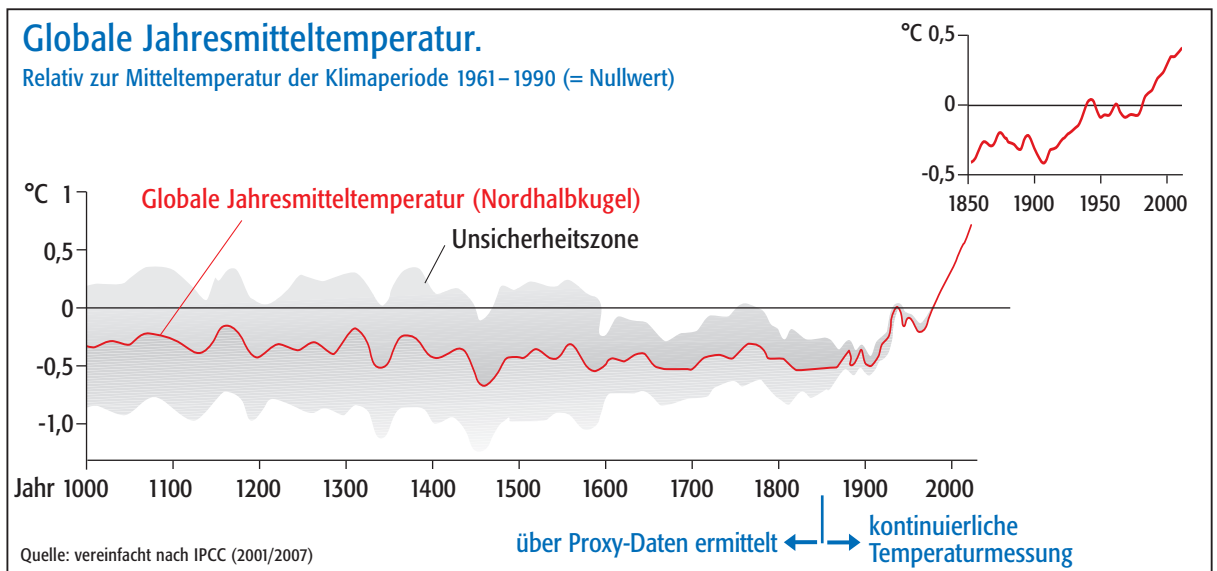
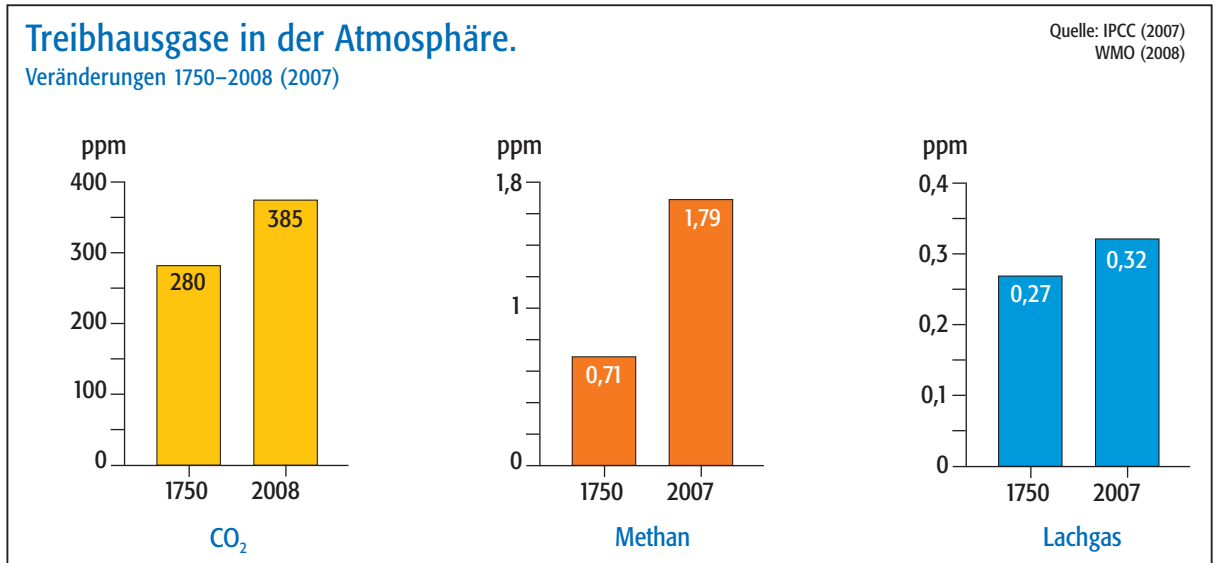
## Fördergrundsätze.

Um mit ihren Mitteln das maximal Mögliche zu erreichen, orientiert sich die Allianz Umweltstiftung bei der Projektauswahl an den folgenden Grundsätzen. Gefördert werden Projekte,

- die nicht allein die Natur bzw. die Umwelt im Blick haben, sondern den Menschen und seine Bedürfnisse mit einbeziehen,
- die auf eine nachhaltige Verbesserung der Umweltsituation abzielen,
- die Umweltaspekte mit sozialen, kulturellen und bildungsbezogenen Anliegen verknüpfen,
- die als Modellprojekte einen Impuls geben und dadurch andere Institutionen zur Fortsetzung oder Nachahmung anregen,
- die Forschung in praktisches Handeln umsetzen und so den Natur- und Umweltschutz weiterentwickeln.



# Klimawandel.

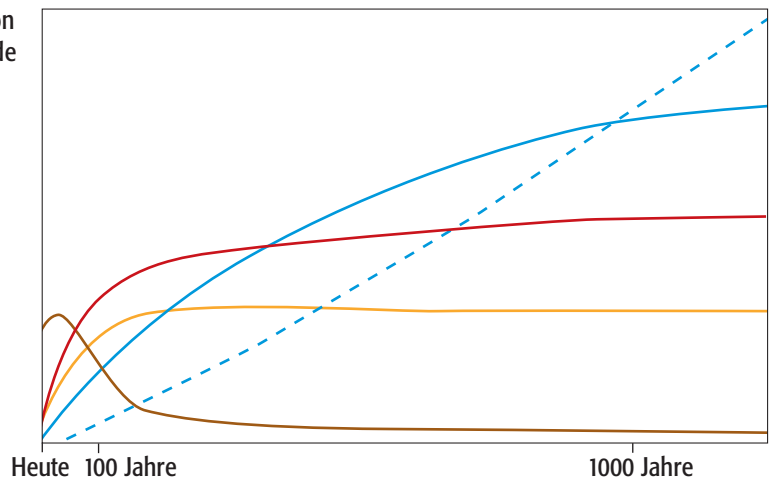


# Hintergründe.

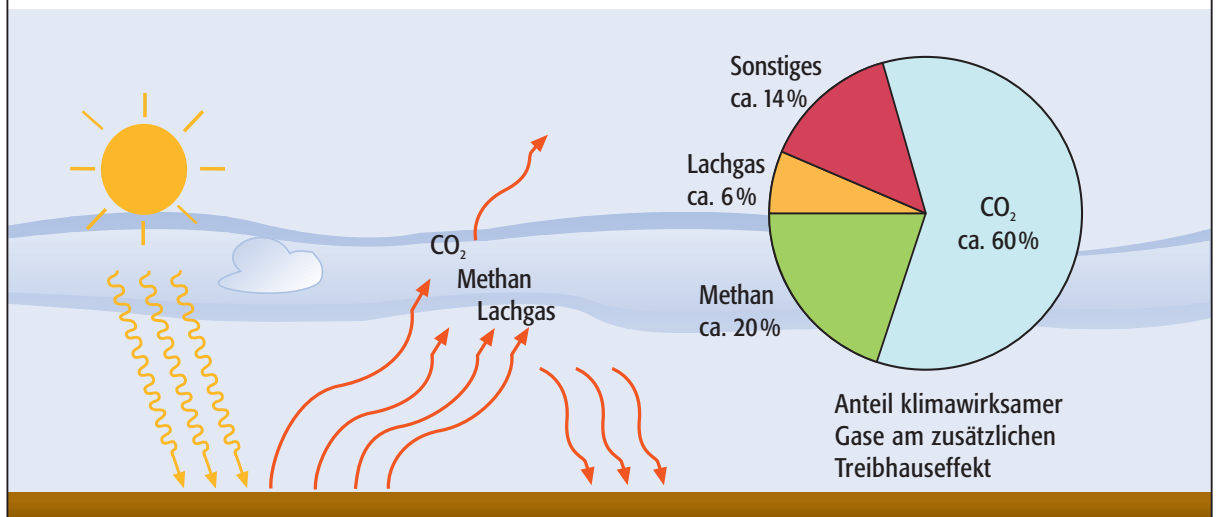
## Trägheit der Klimasysteme.

Quelle: IPCC (2001)

- Meeresspiegelanstieg aufgrund von Eisschmelze: mehrere Jahrtausende
- Meeresspiegelanstieg auf Grund thermischer Expansion: Jahrhunderte bis Jahrtausende
- Temperaturstabilisierung: einige Jahrhunderte
- CO<sub>2</sub>-Stabilisierung: 100 bis 300 Jahre
- CO<sub>2</sub>-Emissionen

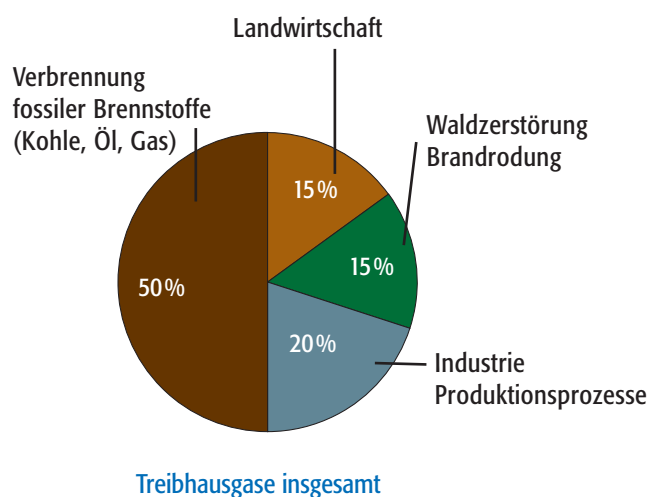


## Zusätzlicher Treibhauseffekt.

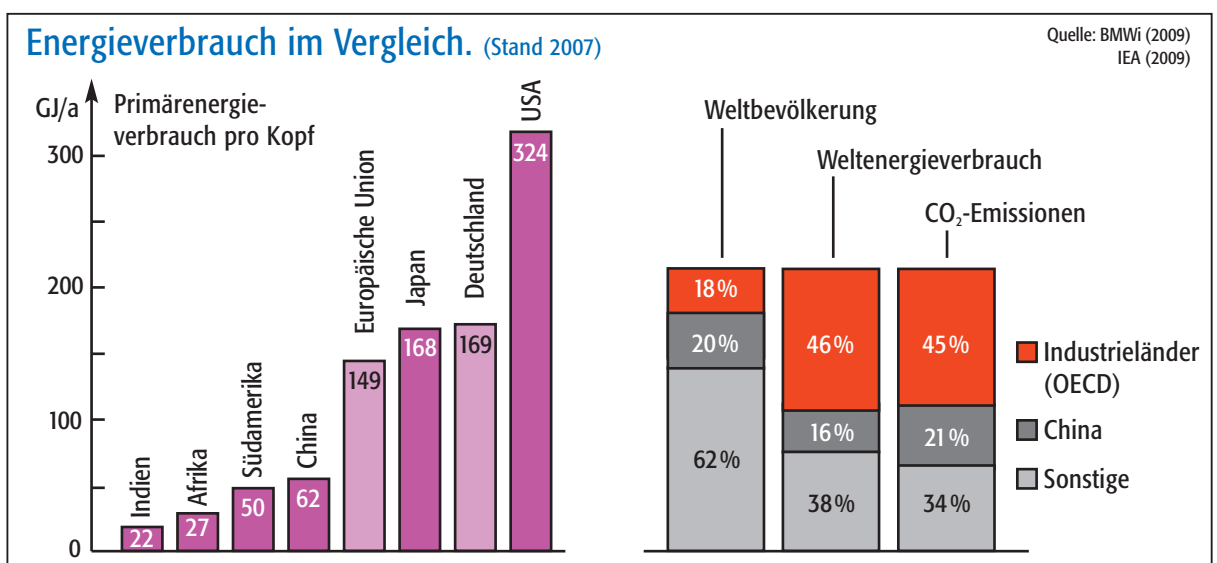
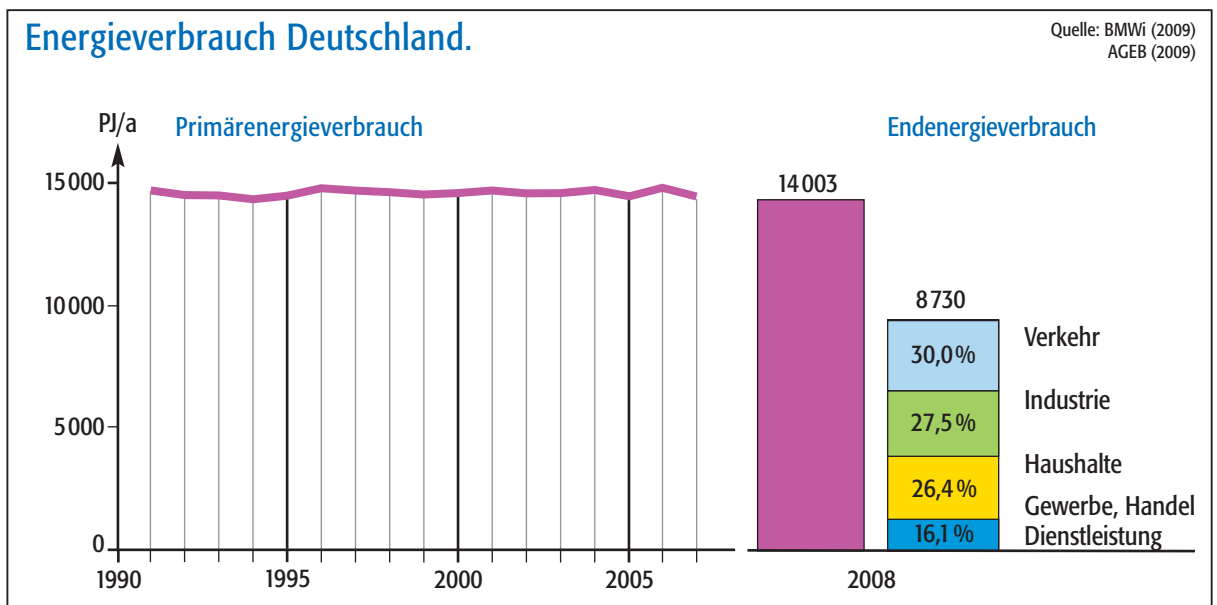
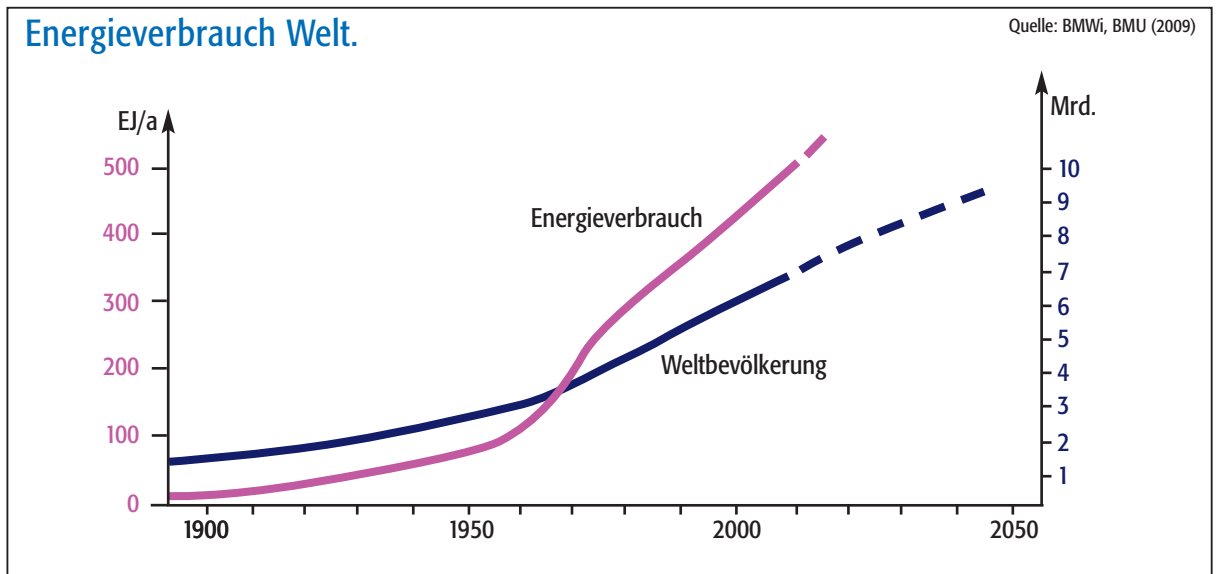


## Quellen anthropogener Treibhausgase.

Quelle: LfU (2004)  
dena (2008)



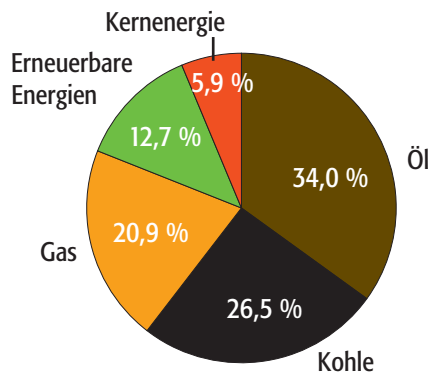
# Energieversorgung I.



## Energieversorgung II.

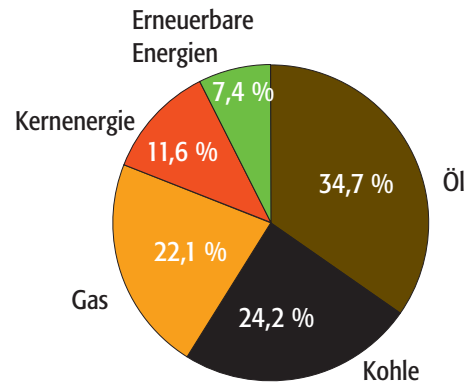
### Energieträger.

Anteile am Primärenergieverbrauch



Quelle: IEA (2009)

Welt 2007

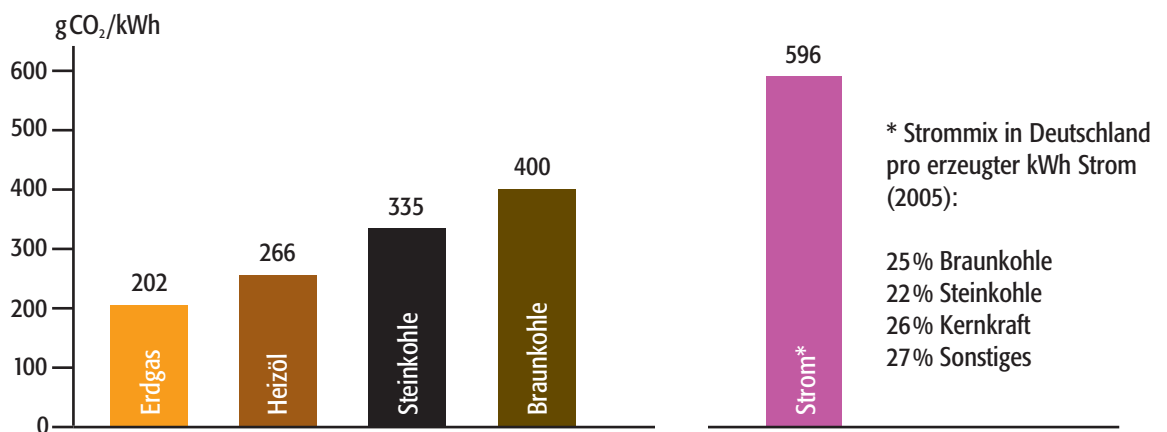


Quelle: AGEB (2009)

Deutschland 2008

### Spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen von Brennstoffen.

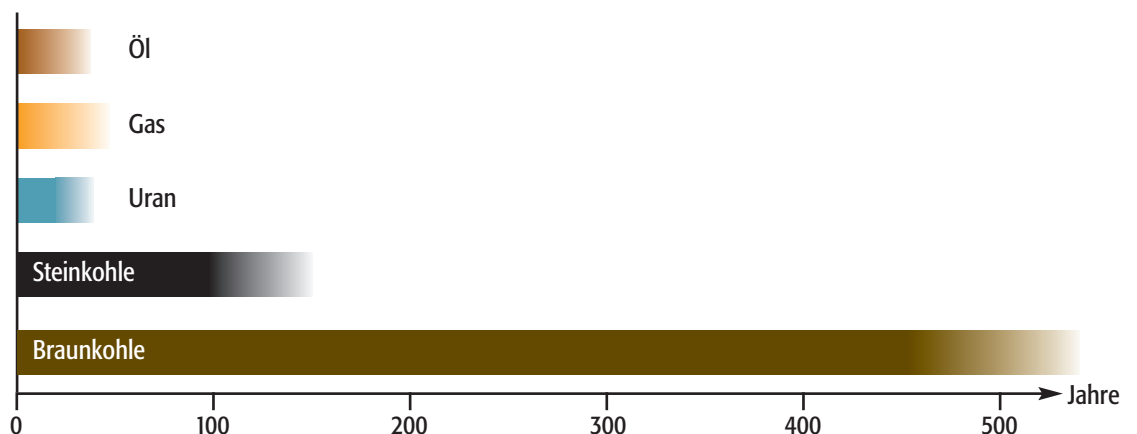
Quelle: UBA (2007)



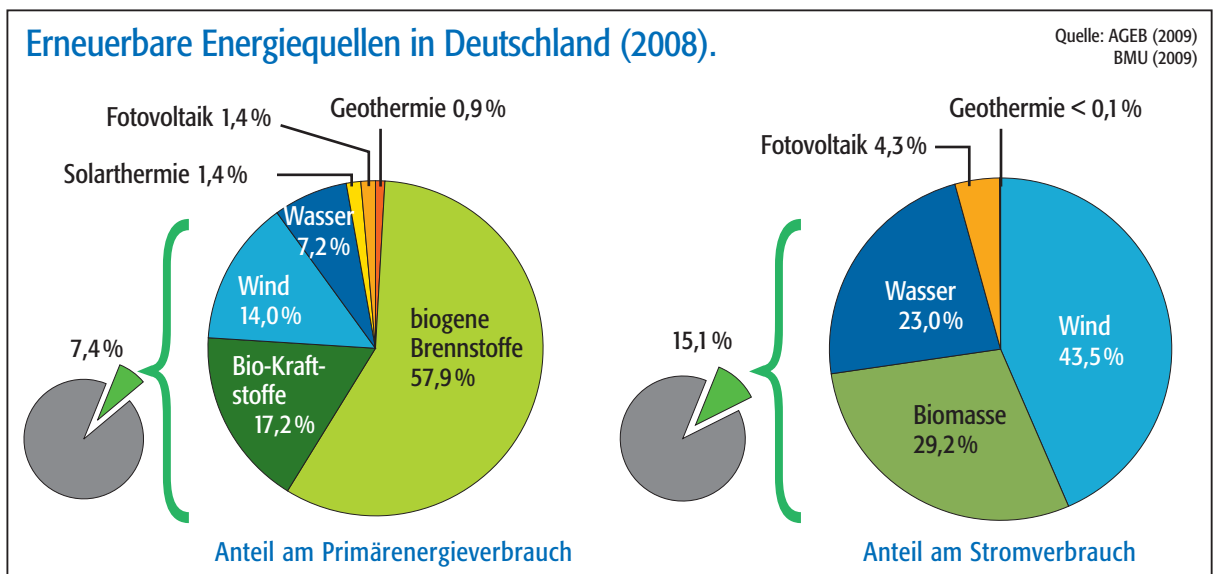
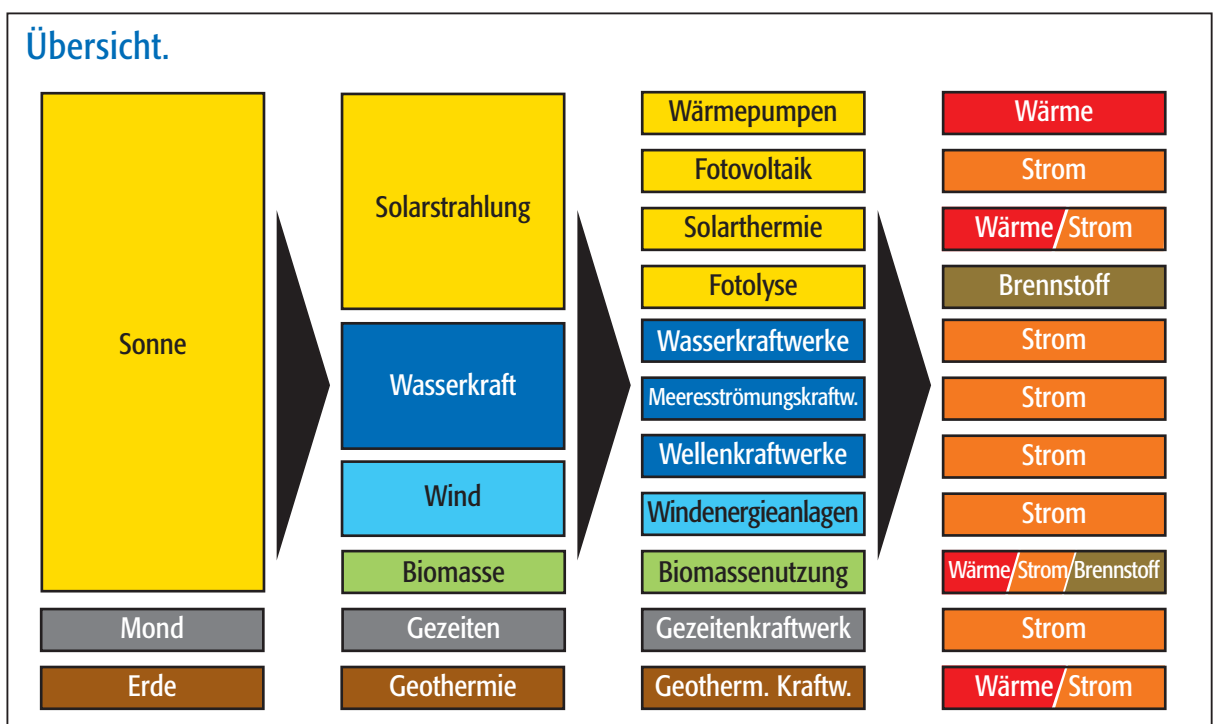
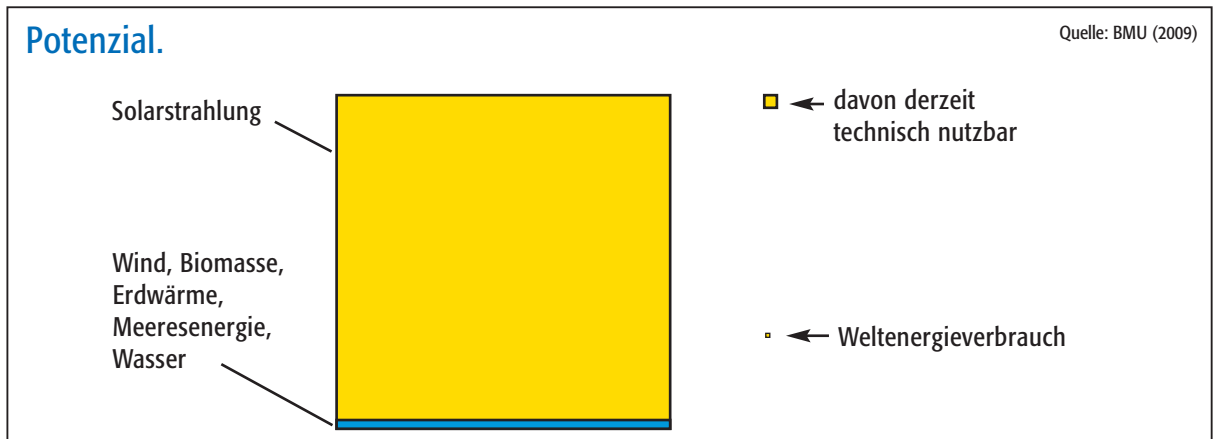
### Reichweiten von Energieträgern.

Quelle: IEA (2008)

aus vorhandenen Reserven bei gleichbleibendem Verbrauch

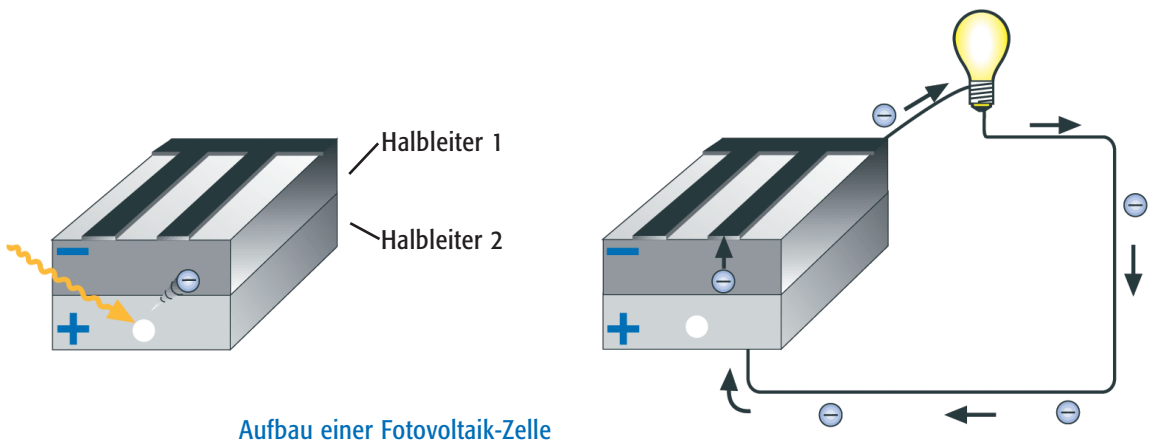


# Erneuerbare Energien.

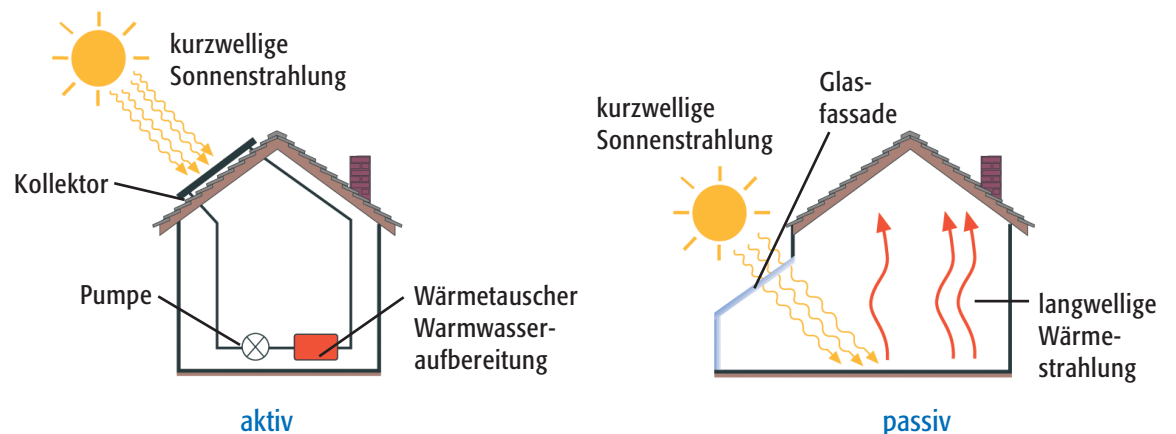


## Energie aus der Sonne I.

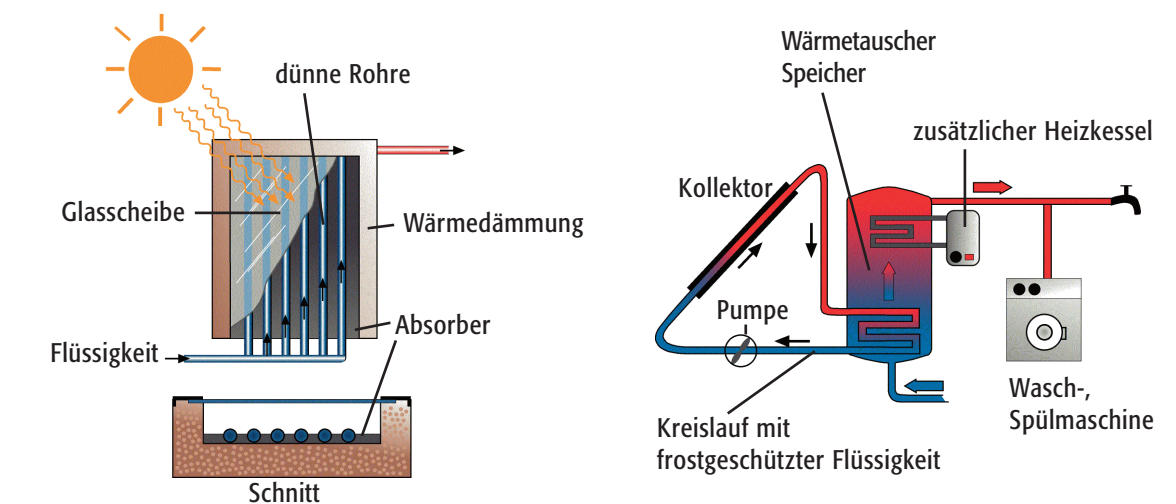
### Strom aus Sonnenkraft.



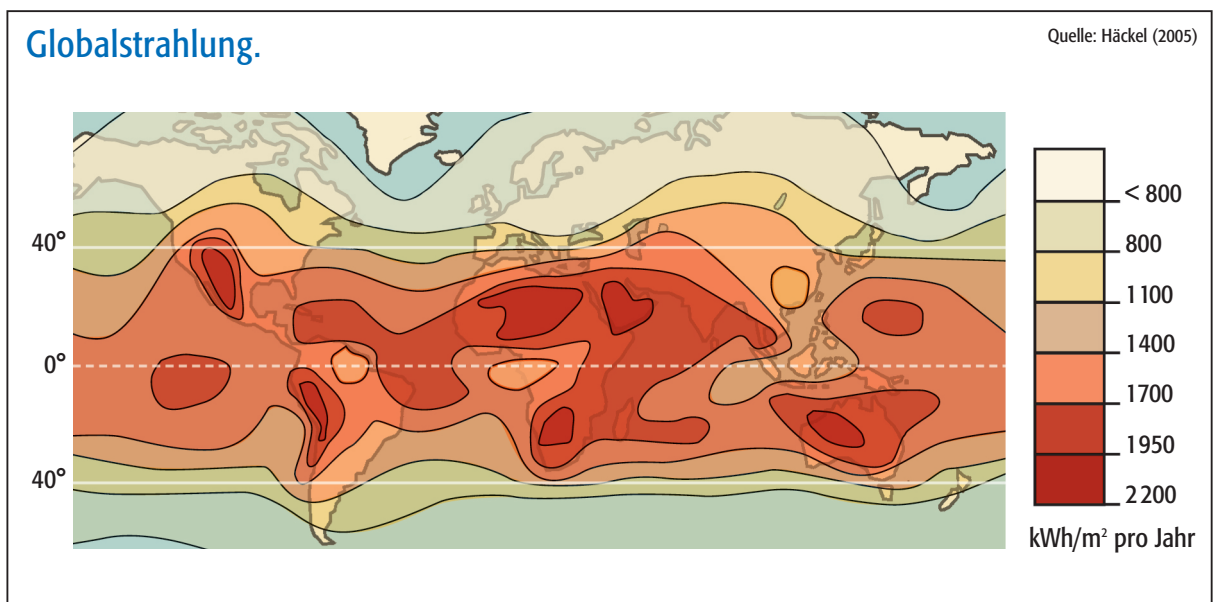
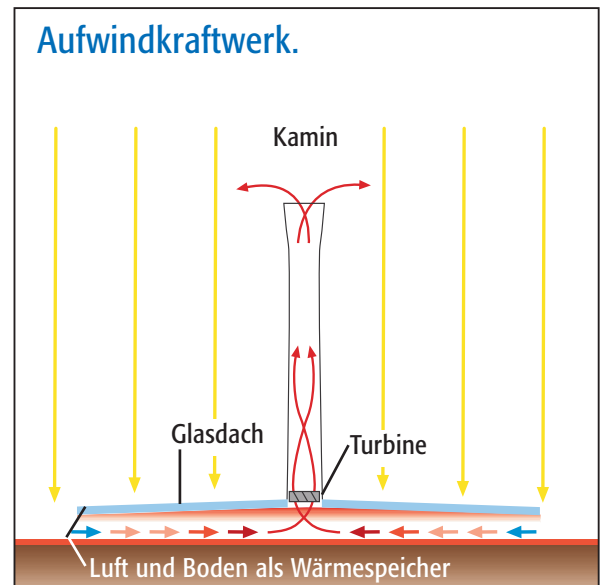
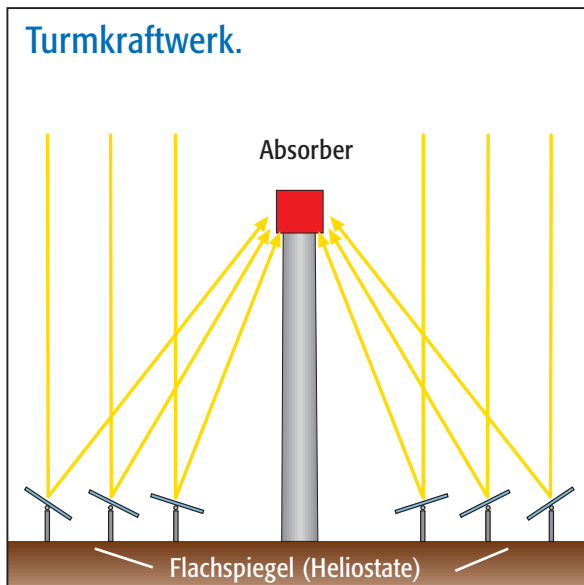
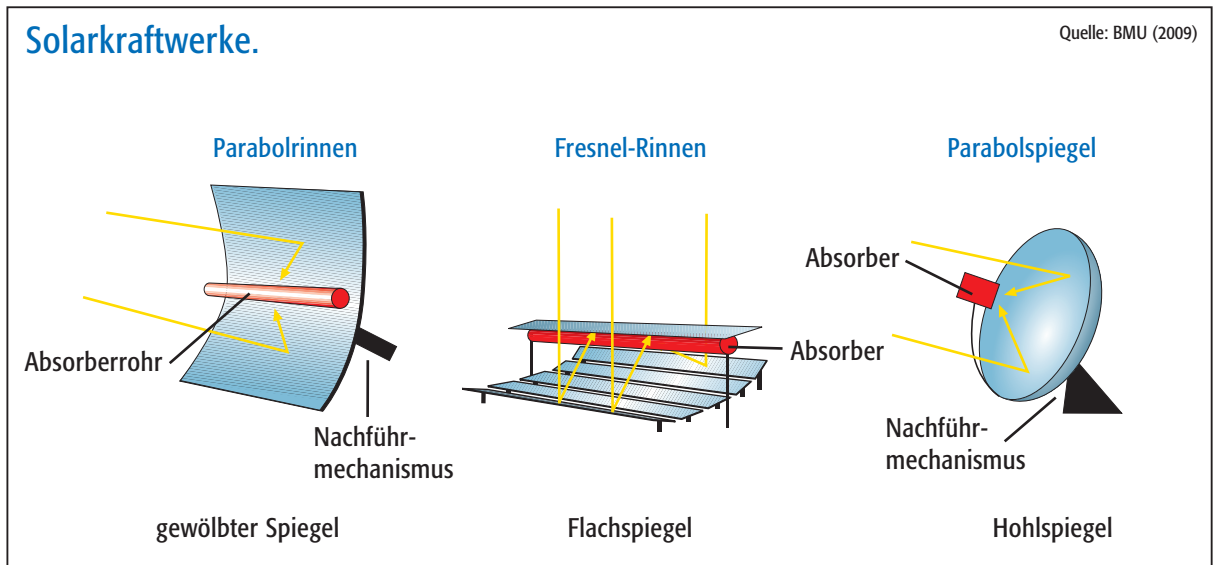
### Wärme aus Sonnenkraft.



### Funktion eines Sonnenkollektors.

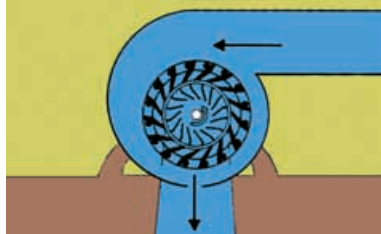


# Energie aus der Sonne II.



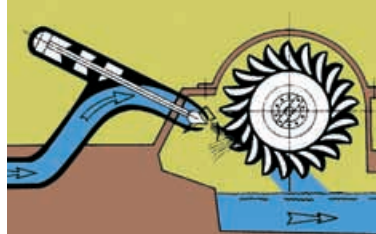
# Energie aus Wasser.

## Turbinentypen.



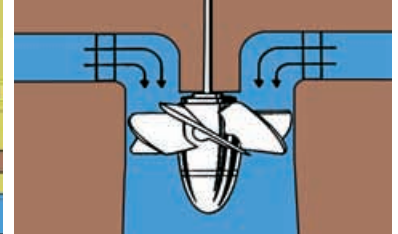
Francis

mittlere Fallhöhe  
mittlere Durchlaufmenge



Pelton

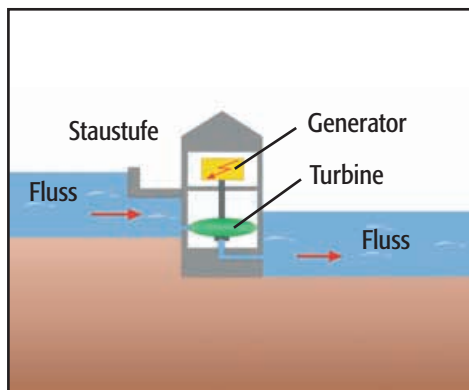
große Fallhöhe  
geringe Durchlaufmenge



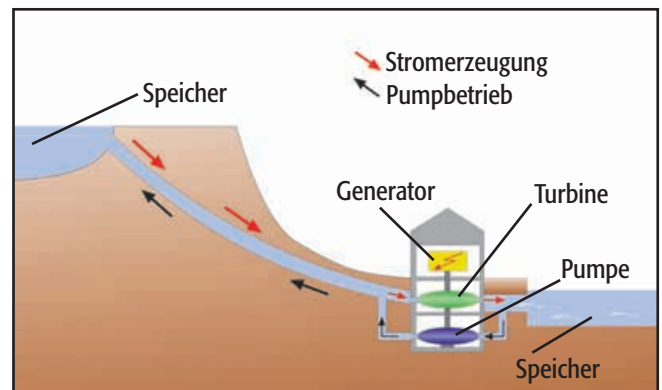
Kaplan

geringe Fallhöhe  
große Durchlaufmenge

## Flusskraftwerke/Speicherkraftwerke.

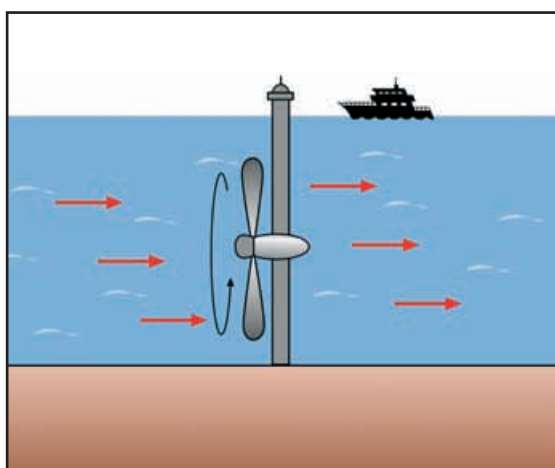


Laufwasserkraftwerk

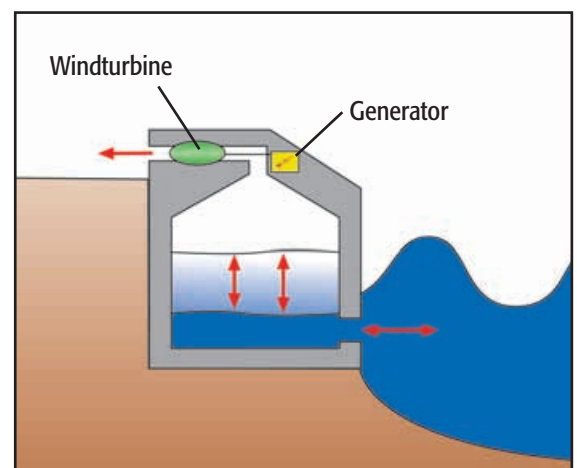


Pumpspeicherkraftwerk

## Meereskraftwerke.



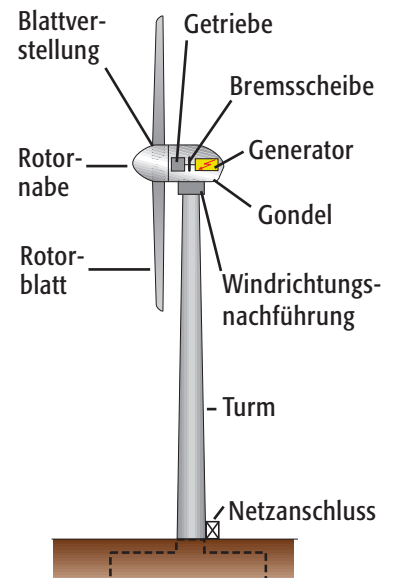
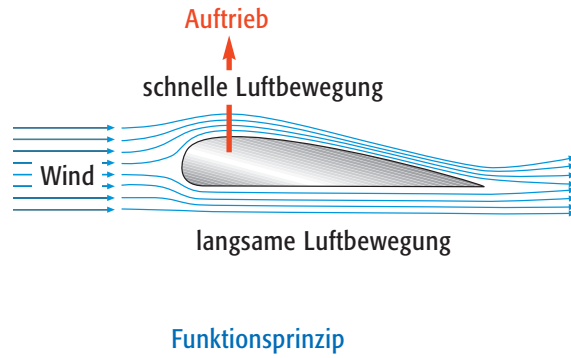
Meeresströmungskraftwerk



Wellenkraftwerk

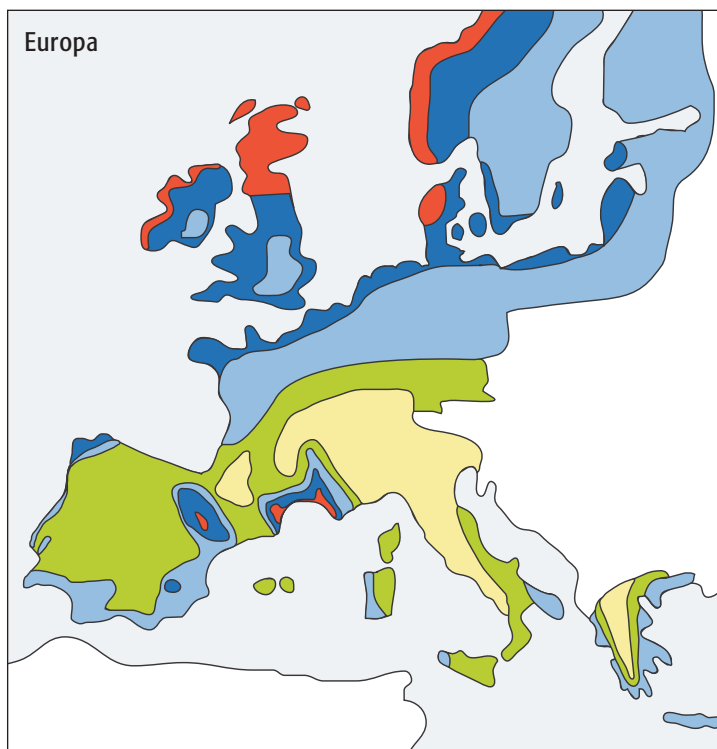
# Energie aus Wind.

## Windkraftanlage.



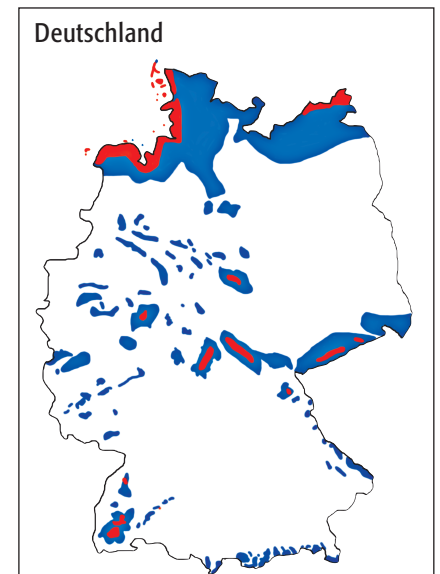
## Windstärken.

Quelle: Wirtschaftsverband Windkraftwerke



Mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe (m/s)

- >6 bis >11,5
- 5 bis 11,5
- 4,5 bis 10,0
- 3,5 bis 8,5
- <3,5 bis <7,0
- keine Angabe

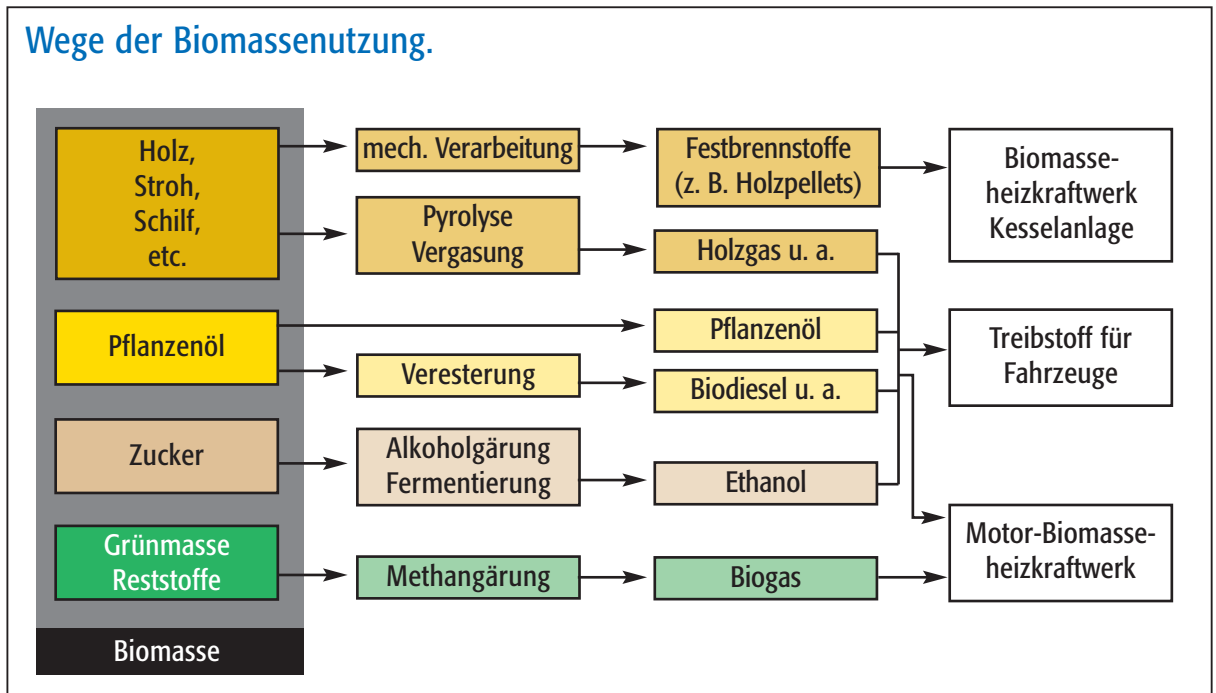


Mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe (m/s)

- 4 bis 5
- >5

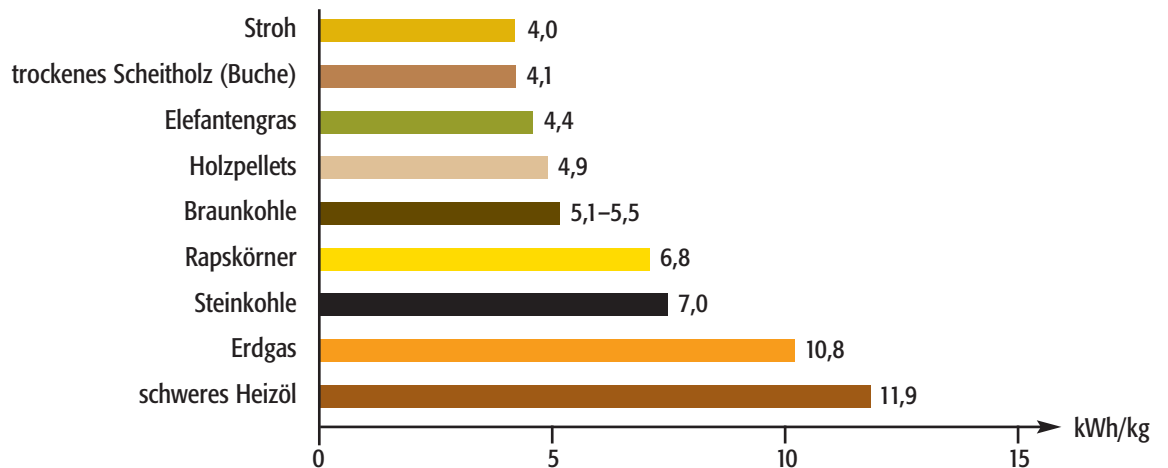
# Energie aus Biomasse.

## Wege der Biomassenutzung.



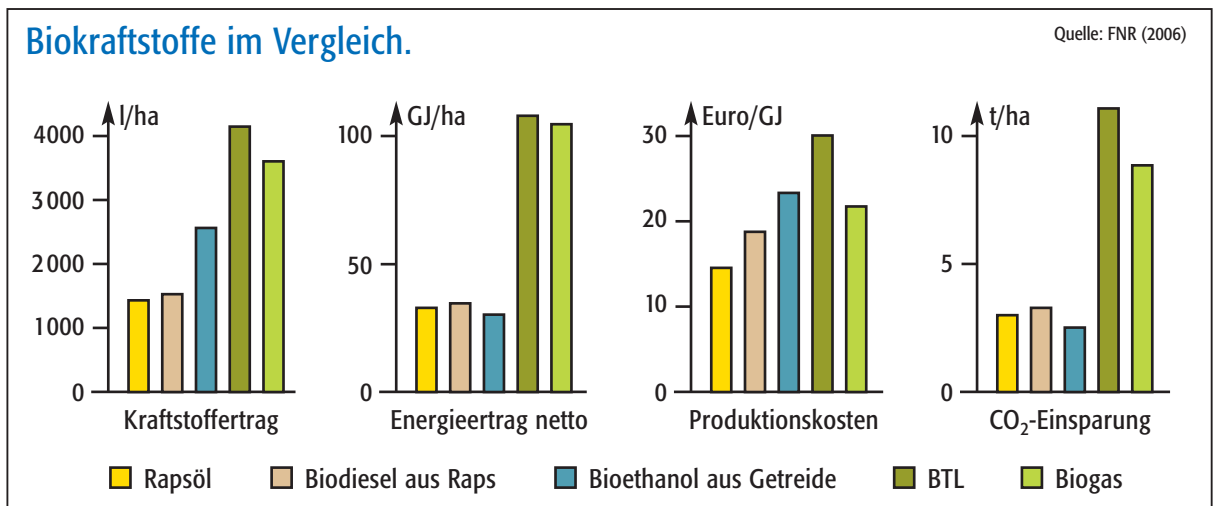
## Energie-Inhalte.

Quelle: www.heizung-direkt.de



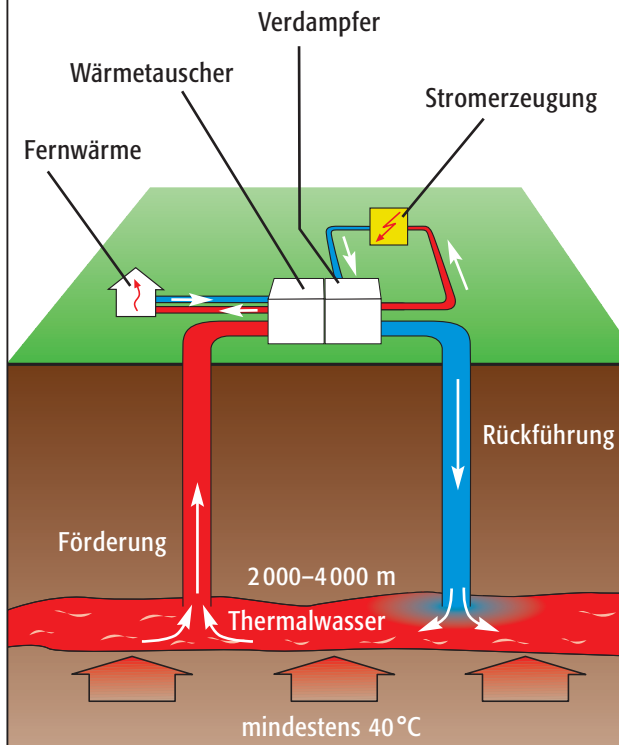
## Biokraftstoffe im Vergleich.

Quelle: FNR (2006)



# Energie aus dem Erdinneren.

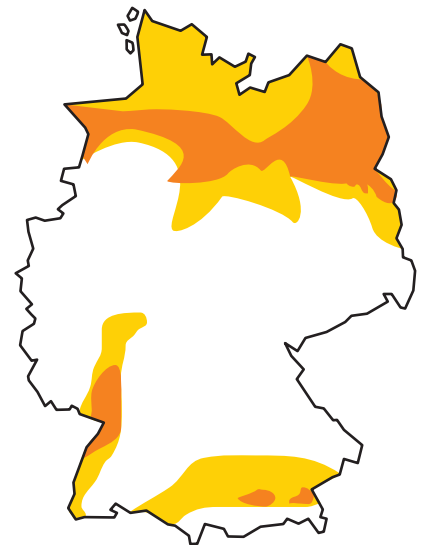
## Hydrothermisches Verfahren.



## Hydrothermie in Deutschland.

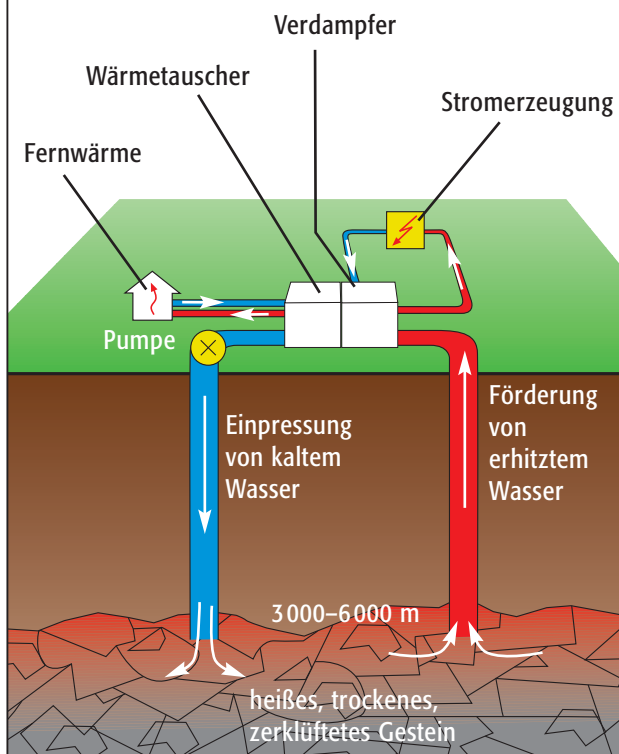
Regionen mit Aquiferen, die für eine hydrothermische Nutzung geeignet wären

- Temperaturen: 60°C–100°C (Wärmeerzeugung)
- Temperaturen: > 100°C (Stromerzeugung)

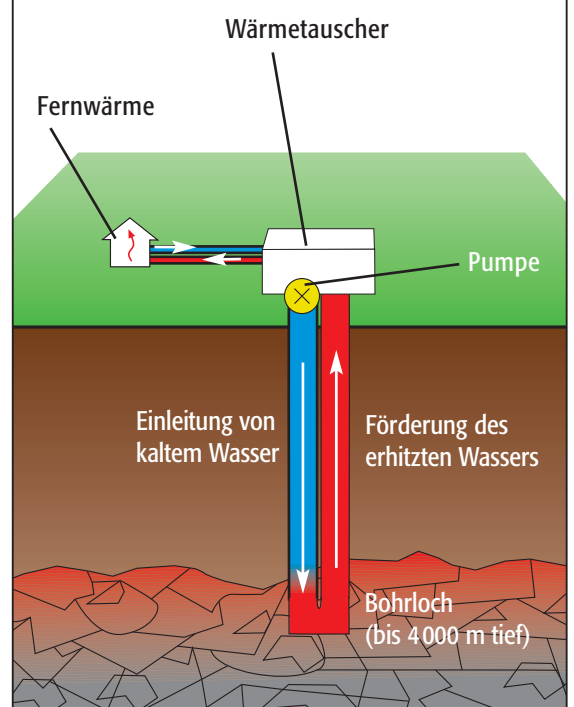


Quelle: Geothermisches Informationssystem

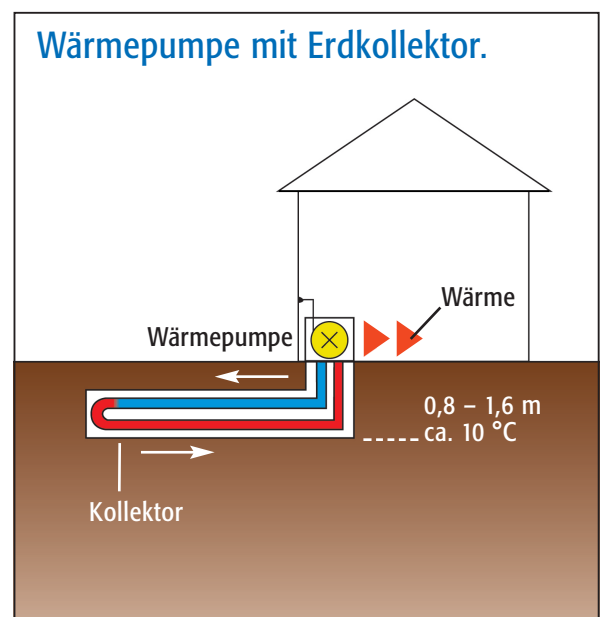
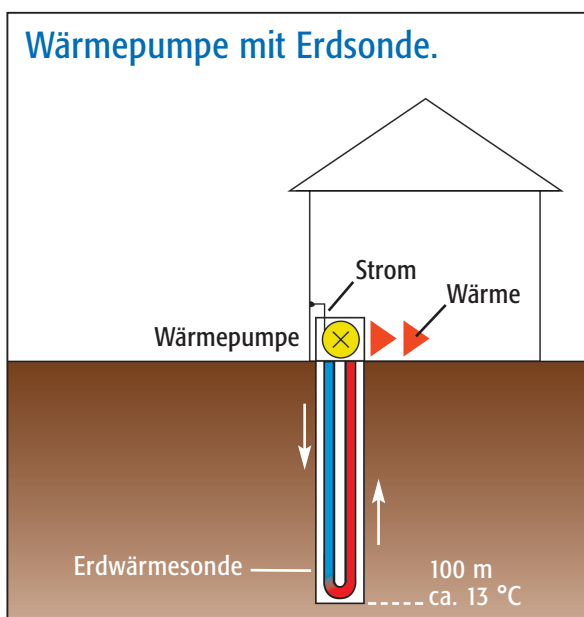
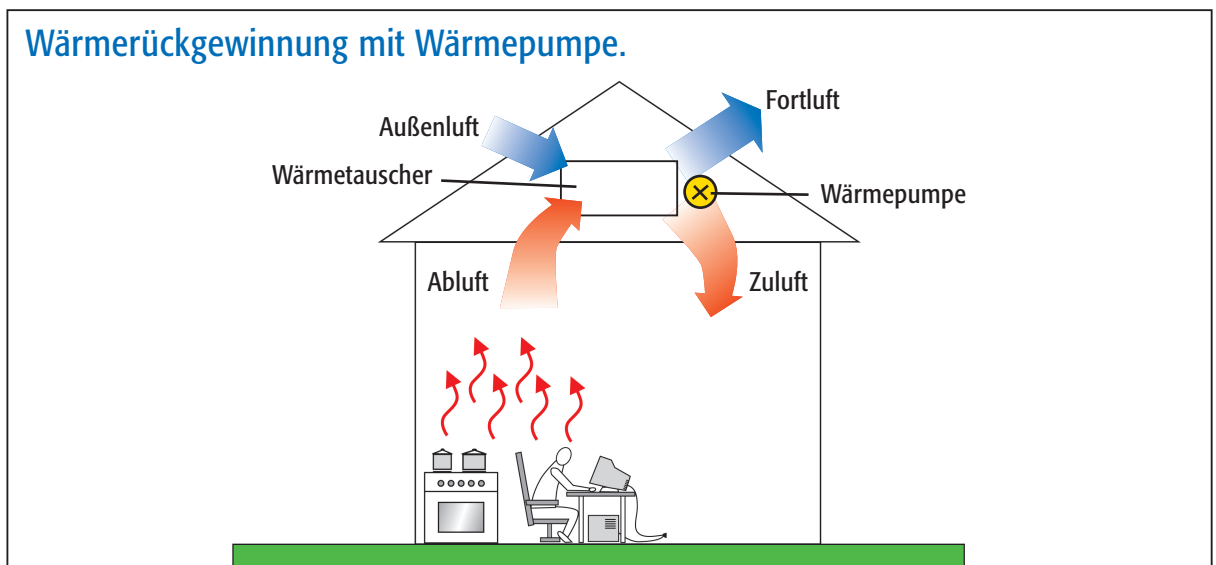
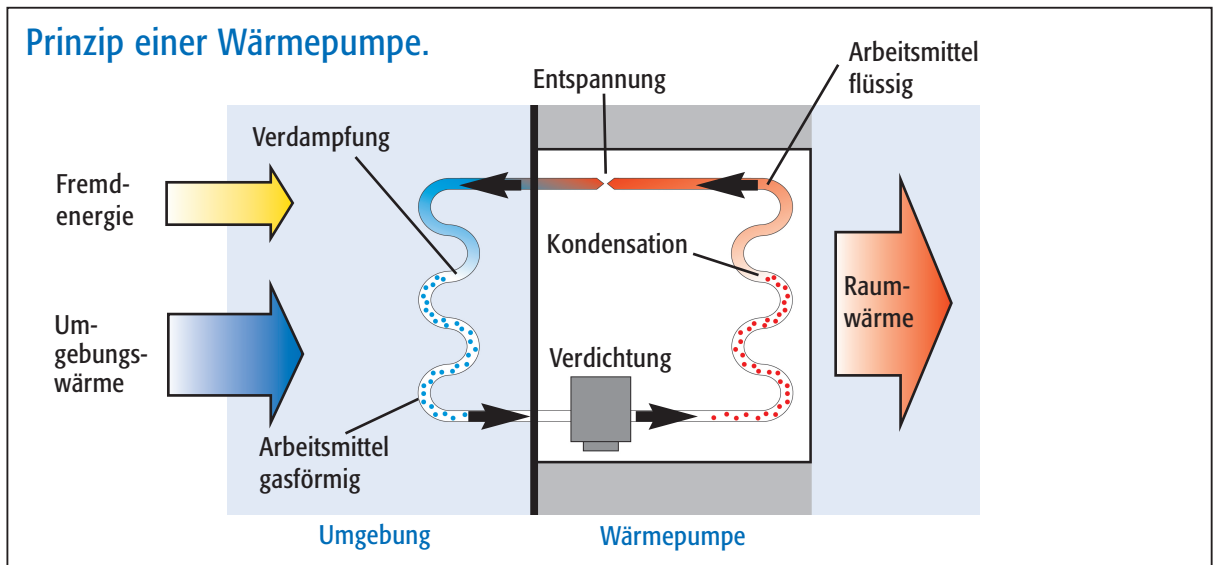
## Hot-Dry-Rock-Verfahren.



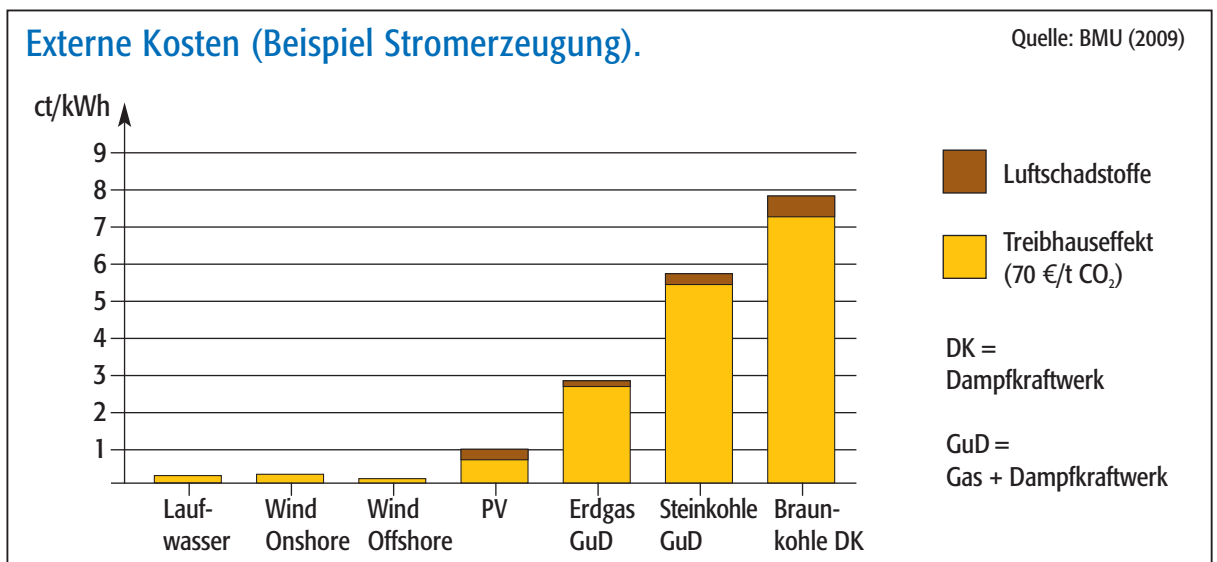
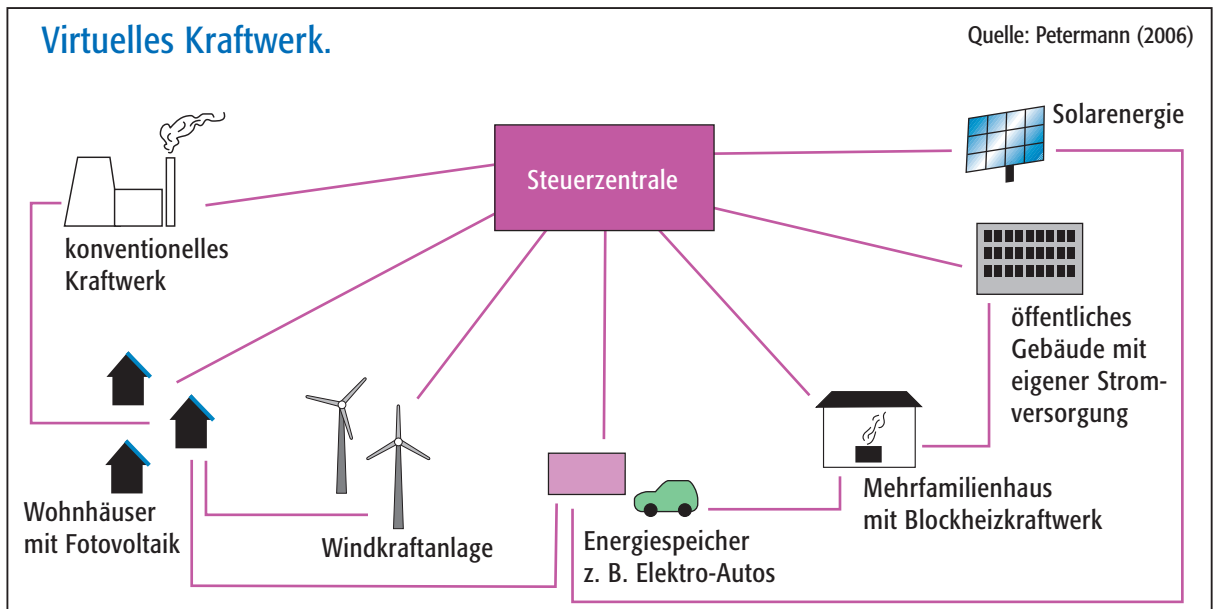
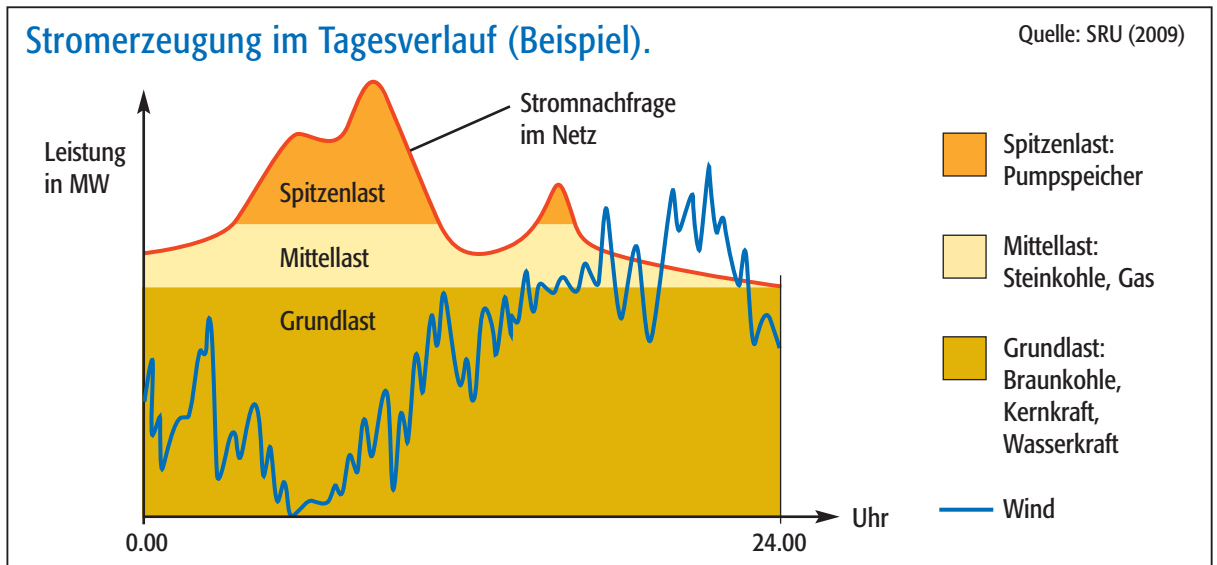
## Tiefe Erdwärmesonden.



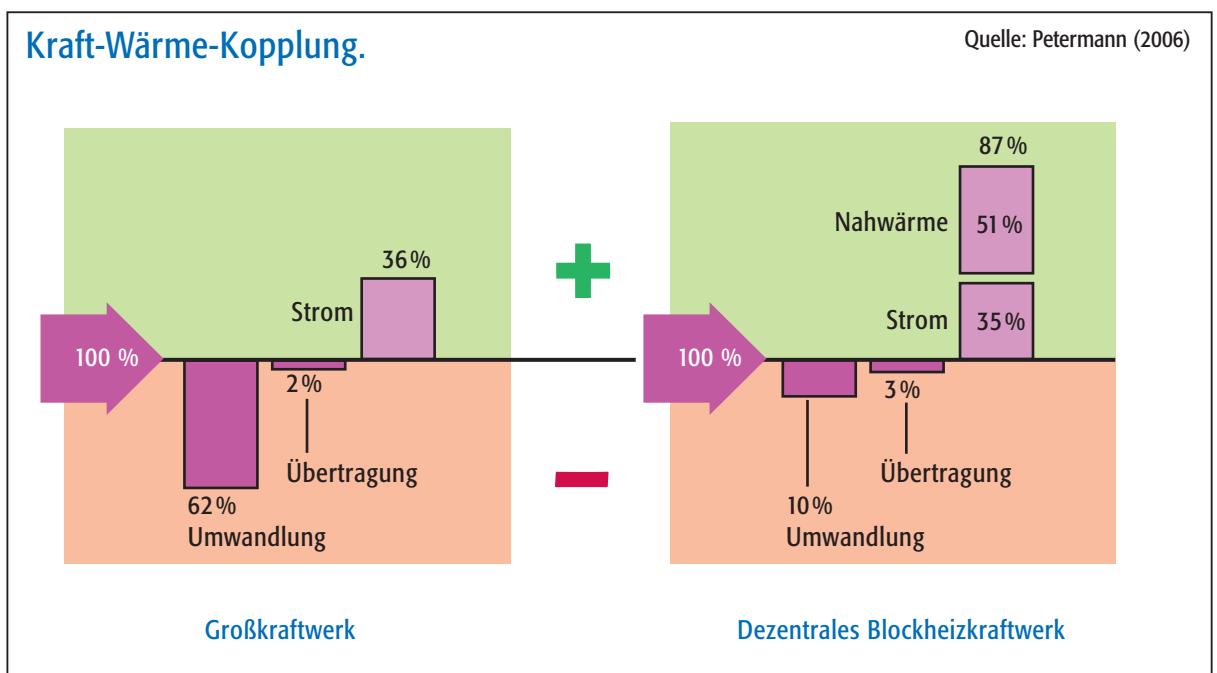
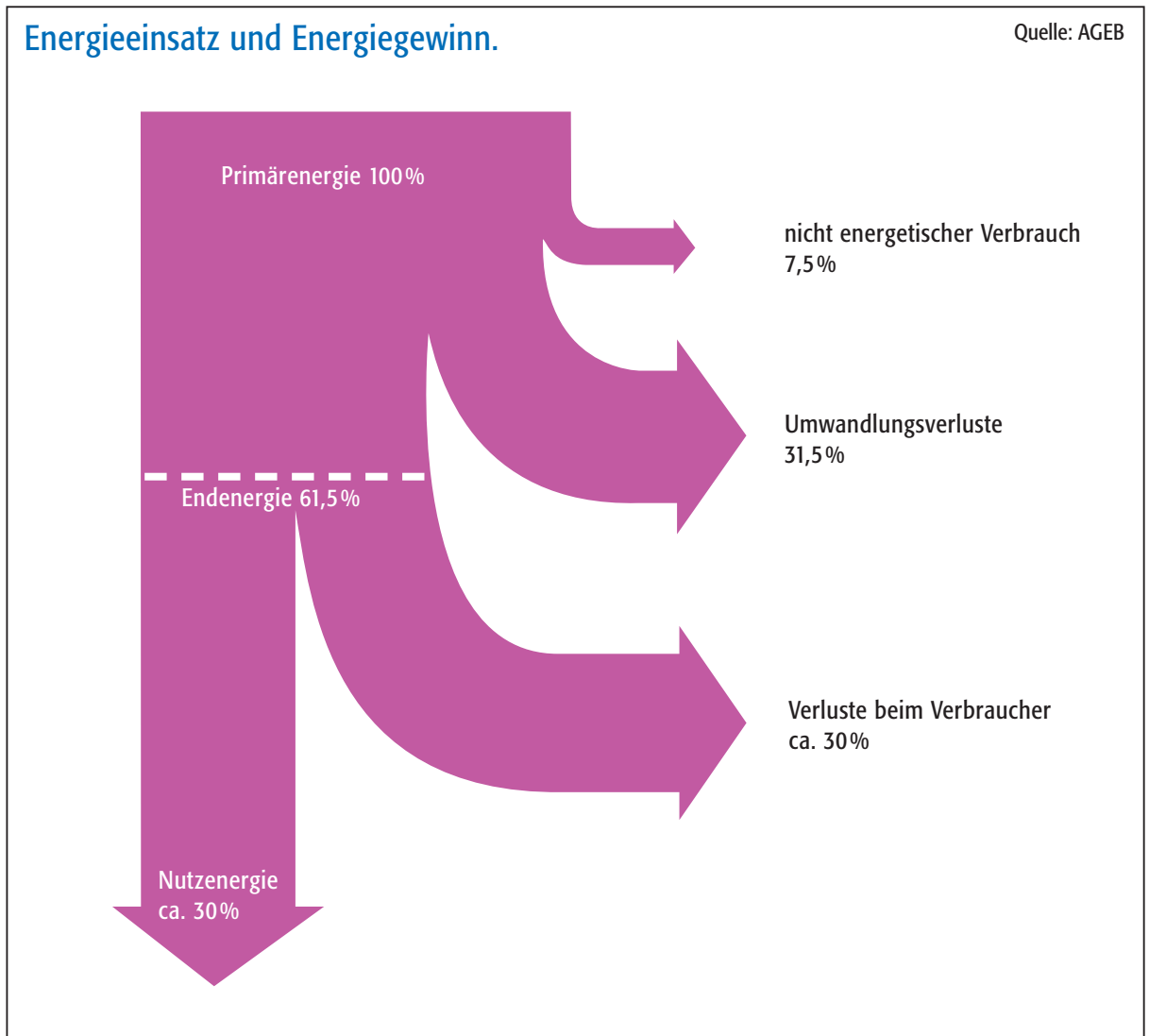
## Energie aus Boden und Luft.



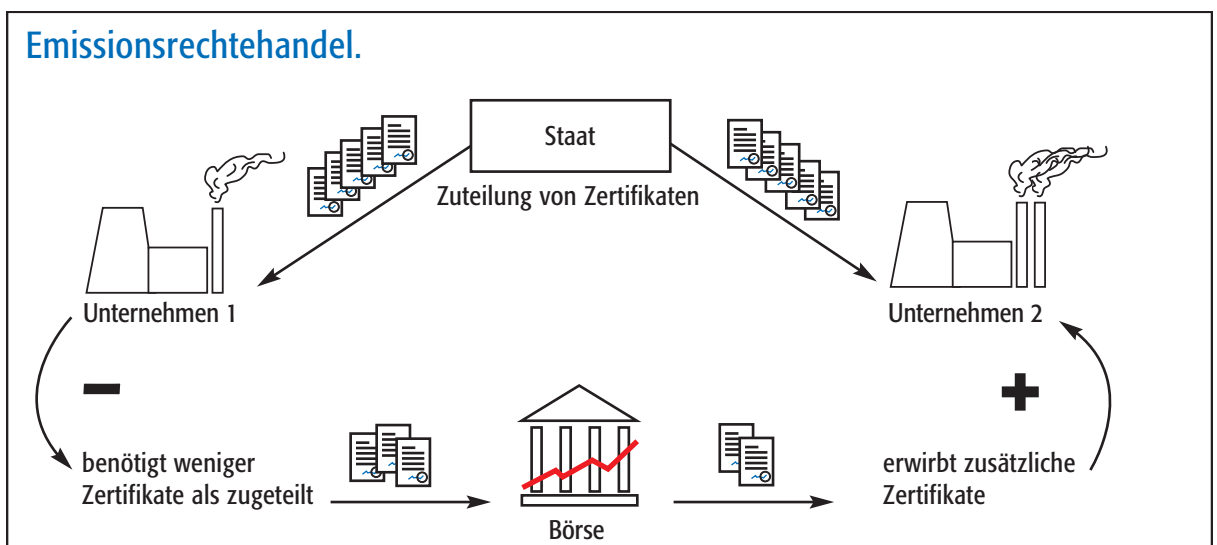
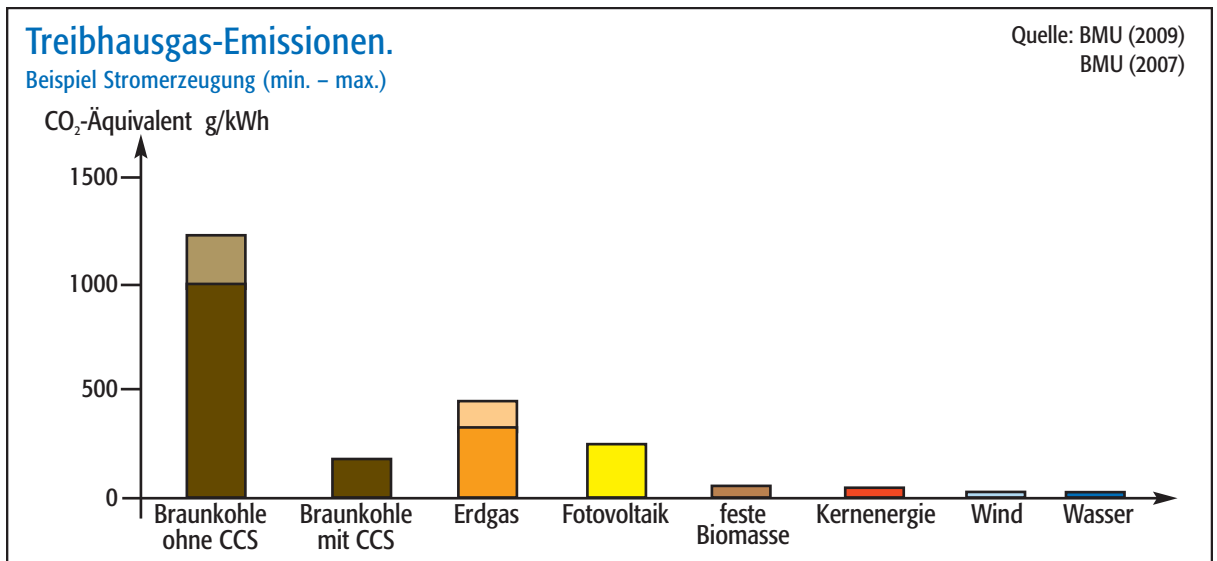
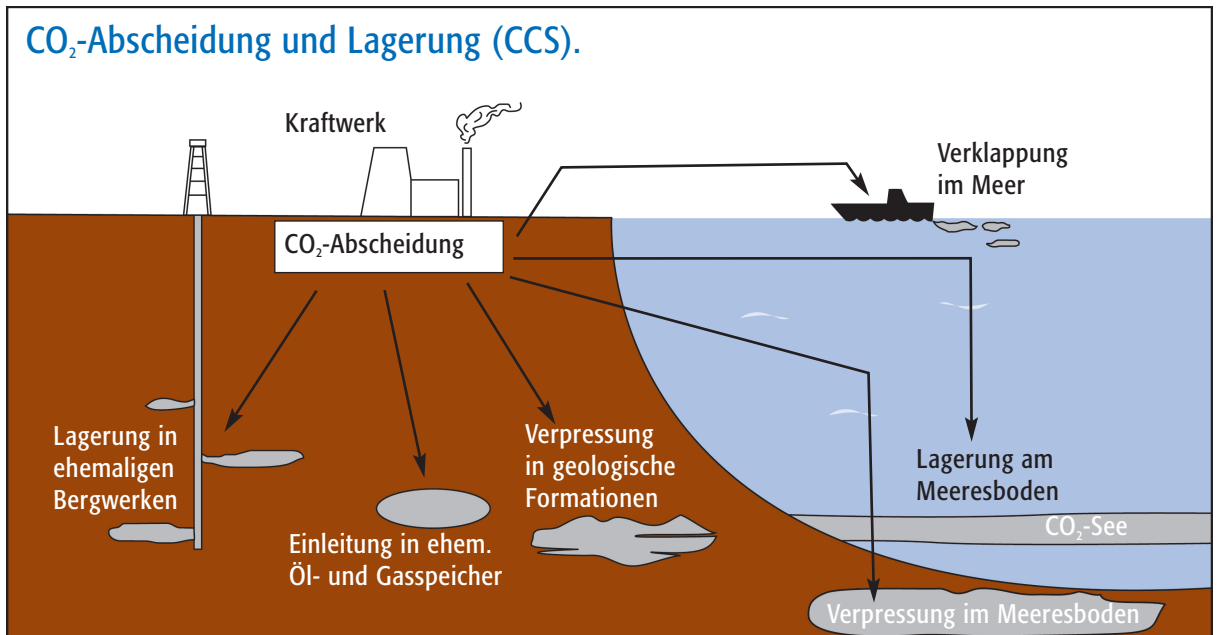
# Erneuerbare Energien im Vergleich.



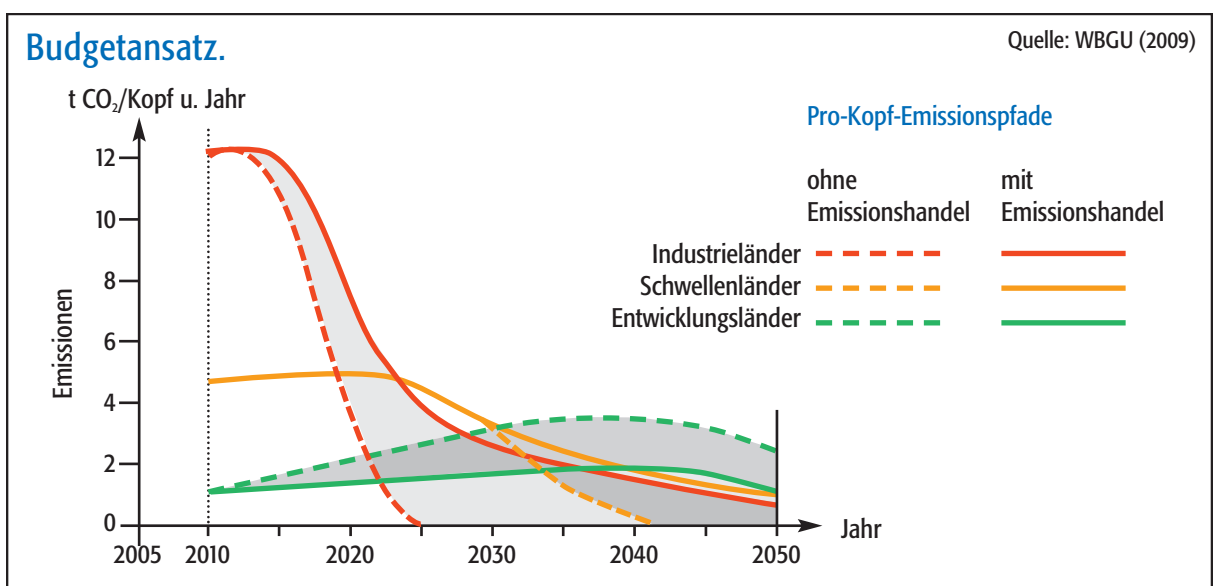
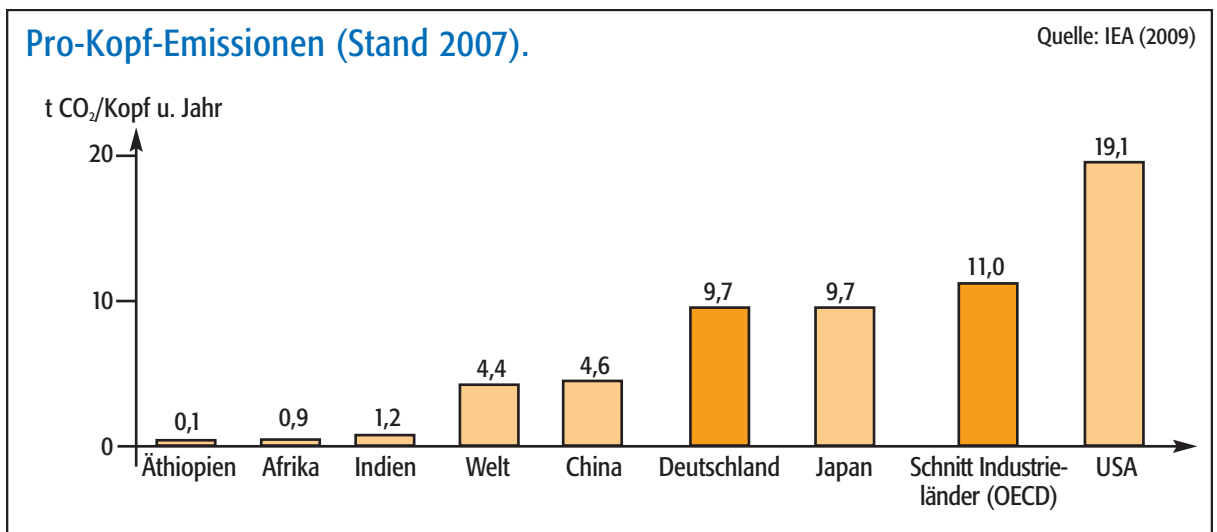
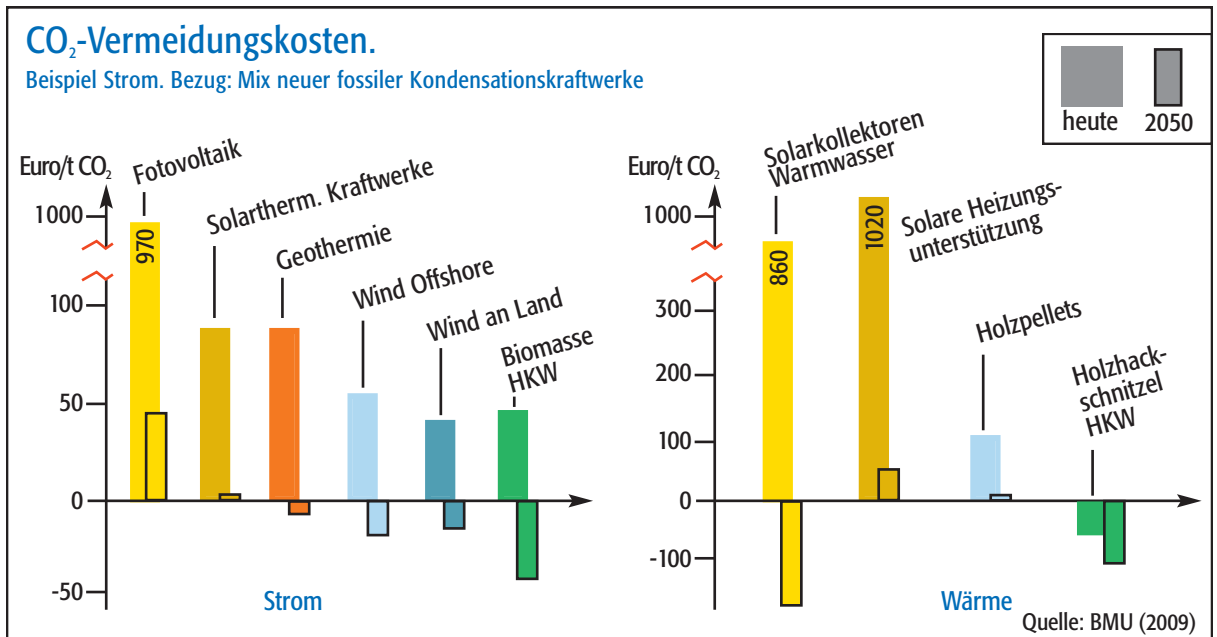
# Energie sparen.



## Emissionen vermeiden.



# Strategien.



# Impressum.

## Fotos

Allianz Umweltstiftung: 21, 4812, 4813, 4814  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: 40o  
Fotosearch.de: 37ul  
Genghiskhanviet: 12u  
Hillewaert: 23  
Hochwassernotgemeinschaft Rhein: 4o  
IMAGO 87: 17u, 33  
Kammaing, Dan (Haarlem): 15o  
Kuhn, Regina: 48o  
Moullec, Christian: 4811  
pixelio.de: 5o (Michel), 5u (Chris), 6u (Smolawa),  
8l (Domnik), 8ru (Sturm), 10o (Blümchen),  
10m (Hofschläger), 10u (Templermeister), 14ro1  
(Brateck), 14ru1 (Avon), 15m (Moorhenne), 20m  
(Meister), 22 (Tiberius K.), 24o (Siepmann), 24u  
(RediSu), 25o (Stihl), 25u (JuwelTop), 30l (Fries),  
34o (Domnik), 34u (v. Bechen), 38o (Hirschka),  
38u (qayyaq), 39 (Weber)  
Stadtwerke Jülich: 41  
Solar Millennium AG: U2  
Techcollector: 26

(r: rechts; l: links; o: oben; u: unten; m: Mitte)

## Grafiken und Zeichnungen

IMAGO 87

## Text

Peter Wilde, Allianz Umweltstiftung  
Detlef Mueller, IMAGO 87

## Herausgeber

Allianz Umweltstiftung  
Maria-Theresia-Straße 4a  
81675 München  
Telefon 089/41 07 33-6  
Telefax 089/41 07 33-70  
E-Mail: [info@allianz-umweltstiftung.de](mailto:info@allianz-umweltstiftung.de)  
Internet: [www.allianz-umweltstiftung.de](http://www.allianz-umweltstiftung.de)

## Gestaltung und Realisation

IMAGO 87  
Erdinger Straße 84  
85356 Freising  
E-Mail: [info@imago87.de](mailto:info@imago87.de)  
Internet: [www.imago87.de](http://www.imago87.de)

## Druck

Druckhaus Kastner, Wolnzach

Gedruckt auf chlorfrei  
gebleichtem Papier.

## Dezember 2009

1. Auflage

# Zahlen und Daten.

## Primärenergieverbrauch (2008)

- Welt: ca. 500 000 EJ
- Deutschland: 14 003 PJ

pro Kopf (2007)

- USA: 324 GJ
- Deutschland: 169 GJ
- China: 62 GJ
- Indien: 22 GJ

(1 EJ=1000 PJ, 1PJ=1000 GJ)

## Leistung

- Sonne auf 100 m<sup>2</sup> an einem wolkenlosen Sommertag: ca. 100 000 MW
- Drei-Schluchten-Damm China: 18 200 MW
- Kernkraftwerk Isar: 2 387 MW
- Steinkohlekraftwerk Ibbenbüren: 770 MW
- Wasserkraftwerk Jochenstein/Donau 152 MW
- Solarkraftwerk Andasol I (Spanien): 50 MW
- Windkraftanlage (einzelne Anlage): bis 6 MW
- Fotovoltaikanlage (100 m<sup>2</sup>): ca. 10 kW
- Mensch: ca. 100 W

(1 MW=1000 kW, 1 kW=1000 W)

## CO<sub>2</sub>-Emissionen (2007)

- Welt: ca. 28 Mrd. t
- Deutschland: 798 Mio. t

pro Kopf

- USA: 19,1 t
- Deutschland: 9,7 t
- China: 4,6 t
- Indien: 1,2 t

Menge CO<sub>2</sub>, die weltweit bis 2050 emittiert werden könnte, um das 2°C-Ziel wahrscheinlich nicht zu überschreiten:

- ca. 750 Mrd. t

## Stromverbrauch (2008)

- Welt: ca. 20 000 TWh
- Deutschland: ca. 530 TWh
- Stand-by-Verbrauch in Deutschland: ca. 2 TWh
- 4-Personen-Haushalt Deutschland: ca. 3500 kWh
- 8 Stunden Fernsehen: ca. 1 kWh

(1 TWh=1 Mrd. kWh)

