



Informationen zum Thema „Erneuerbare Energien“:
Hintergründe, Fakten und Perspektiven.

WISSEN



Statt eines Vorwortes.

Im Dezember 2015 haben sich auf der Klimakonferenz in Paris über 190 Staaten auf ein Abkommen zum Schutz des Weltklimas geeinigt. Danach bekennt sich die Weltgemeinschaft völkerrechtlich verbindlich zu dem Ziel, die Erderwärmung bis 2100 auf unter 2 °C zu begrenzen. Weiterhin wurde vereinbart, dass die Welt in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts treibhausgasneutral werden soll.

Diese ambitionierten Ziele haben zur Folge, dass ein Abschied von den fossilen Energieträgern Kohle, Öl und Gas unausweichlich wird. Sonne, Wind und Wasser werden bei der Energieversorgung zukünftig eine noch größere Rolle spielen als bisher. Doch ist eine Umstellung auf erneuerbare Quellen realistisch? Welche Energieformen kommen dafür in Frage? Und können sie eine ausreichende Energieversorgung gewährleisten?

Mit dieser Broschüre will die Allianz Umweltstiftung Antworten auf diese und zahlreiche andere Fragen geben. Dazu wird zunächst der aktuelle Stand der weltweiten Energieversorgung dargestellt. Welche erneuerbaren Energiequellen zu einem Umsteuern zur Verfügung stehen, wie sie genutzt werden und welche Potenziale sie jeweils besitzen, stellt einen weiteren Schwerpunkt dieser Broschüre dar. Schließlich zeigen wir auf, wie Experten die Energiewende in Deutschland umsetzen wollen.

Die Allianz Umweltstiftung möchte mit dieser Broschüre zu einem besseren Verständnis der Energiewende beitragen und wünscht Ihnen eine bereichernde Lektüre.

Inhalt.

Informationen zum Thema „Erneuerbare Energien“:
Hintergründe, Fakten und Perspektiven.

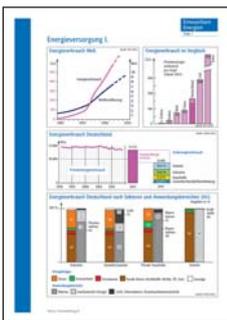
- 2 Energie bewegt unsere Welt.
 - 4 Energie aus der Vergangenheit.
 - 6 Fossil in die Zukunft?
 - 10 Unerschöpfliche Energie.
 - 12 Energie aus der Sonne.
 - 16 Energie aus Wasser.
 - 18 Energie aus Wind.
 - 20 Energie aus Biomasse.
 - 22 Energie aus der Tiefe.
 - 24 Regenerativ in die Zukunft?
 - 28 Energiesparen als Energiequelle.
 - 30 Eine neue Energieversorgung.
 - 36 Hundert Prozent erneuerbar?
 - 38 Glossar.
 - 42 Literatur und Internet.
 - 44 Allianz Umweltstiftung.
- Folien.
- Impressum.
- Zahlen und Daten.

Energie bewegt unsere Welt.

„Wohltätig ist des Feuers Macht und was er (der Mensch) bildet, was er schafft, das dankt er dieser Himmelskraft.“ (Das Lied an die Glocke, Friedrich Schiller, 1759–1805)

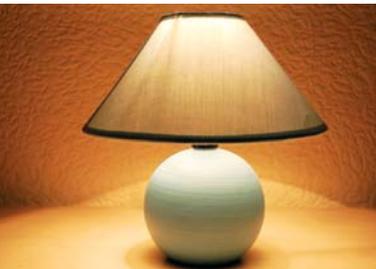
Dieses Kapitel beleuchtet

- die Bedeutung von Energie für das menschliche Leben
- den Energiebedarf der Welt und Deutschlands
- die Herausforderungen für die Energieversorgung von morgen.



Energieversorgung I.
Folie 1

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 Zapfsäule und Treibstoff aus der Zapfsäule. Wir benötigen Energie zum Heizen und Kühlen, wir erzeugen mit ihr Licht, transportieren Personen und Güter und betreiben Geräte und Maschinen. Eine zuverlässige und ausreichende **Energieversorgung** ist **Grundlage unseres Lebensstandards** und unseres Alltagslebens.

Der **Pro-Kopf-Energieverbrauch** in Deutschland ist dabei um einiges höher als in den meisten anderen Weltregionen (Abb. 1.1). In diese statistische Größe fließt nicht nur der **direkte Energieverbrauch** ein, z. B. durch Heizen oder Autofahren, sondern auch der **indirekte Verbrauch**. Denn jedes Produkt, das wir konsumieren, wurde unter Energieaufwand hergestellt und transportiert – und muss meist auch unter Energieaufwand entsorgt werden. Auch Dienstleistungen, die wir in Anspruch nehmen, sind mit Energie verbunden. Ebenso integriert in den indirekten Verbrauch sind allgemeine energie-relevante Leistungen des Staates, die anteilig auf jeden Bundesbürger verteilt werden.

Was ist Energie?

Energie wird bei der Nutzung im physikalischen Sinne allerdings nicht verbraucht, sondern nur in eine andere Form **umgewandelt**, so z. B. bei der Verbrennung von Kohle deren Energieinhalt in Wärme. Verbraucht wird „nur“ die Kohle selbst, also der **Energieträger**. Energie, die durch einen Energieträger wie Kohle, Erdöl oder auch Wind und Sonne bereitgestellt wird, bezeichnet man als **Primärenergie**. Primäre Energieträger können in **sekundäre Energieträger** – z. B. Strom, Fernwärme oder Kraftstoffe wie Benzin und Diesel – umgewandelt werden. Dabei geht allerdings Energie im o. g. Sinn „verloren“, weitere **Umwandlungsverluste** entstehen bei der **Energieübertragung**. Damit liegt der **Primärenergieverbrauch** meist deutlich über dem **Endenergie-**

verbrauch beim Verbraucher. Dort kommt es, z. B. in technischen Geräten, zu weiteren Umwandlungen und Verlusten, sodass dem Verbraucher dann für die eigentliche Energiedienstleistung nur noch die so genannte **Nutzenergie** zur Verfügung steht.



Mehr Wärme als Licht

Als klassisches Beispiel für Energie-„verluste“ gilt die alte Glühbirne. Vom ursprünglichen Energiegehalt der Kohle, die im Kraftwerk verfeuert wird, verbleiben durch Verluste bei der Umwandlung in Strom, bei der Leitungsübertragung und dann selbst in der Glühbirne nur noch ca. 3% für die eigentliche Energiedienstleistung, die Beleuchtung. Der Rest verpufft als Wärme.

Immer mehr Energie.

Die Geschichte der Menschheit ist eng verbunden mit einer immer intensiveren Energienutzung. Anfangs stand dem Menschen nur seine eigene **Muskelkraft** zur Verfügung. In der Steinzeit spendeten **Holzfeuer** Wärme, beim Übergang zur Bronzezeit wurde Feuer zur Metallgewinnung eingesetzt. Die **Kraft der Tiere** erleichterte schon früh Feldarbeit, Fortbewegung und Transport. **Wind** und **Wasser** trieben Schöpfanlagen und Mühlen an, jahrhundertlang gründete sich der Welthandel auf windbewegte Segelschiffe. Einer der wichtigsten Energieträger weltweit war (und ist) Holz – mit entsprechenden Folgen für die Wälder. In Mitteleuropa konnten diese schon im Mittelalter den enormen Bedarf z. B. für Salzgewinnung (Salinen) oder Eisenherstellung nicht mehr decken. Entlastung brachte erst die großmaßstäbliche Nutzung von Kohle (und später Erdöl), die gleichzeitig die **industrielle Revolution** einleitete. Dampfmaschine, Verbrennungsmotor, elektrischer Strom sowie viele weitere technische Neuerungen verdrängten ab Mitte des 19. Jahrhunderts zunehmend Handarbeit, Wind- sowie Wasserkraft und ermöglichten eine **beispiellose technische und wirtschaftliche Entwicklung**. Damit erhöhte sich wiederum die Nachfrage nach Energie und neuen Brennstoffen, sodass im 20. Jahrhundert zusammen mit einer stark **wachsenden Weltbevölkerung** der weltweite **Energieverbrauch drastisch anstieg** (Abb. 1.2).

Noch nicht am Höhepunkt.

Die Internationale Energieagentur (IEA) rechnet bis 2040 mit einem weiteren **Anstieg des Weltenergieverbrauchs** um 37% (im Vgl. zu 2014). Grund ist neben der weiter wachsenden Weltbevölkerung auf dann vermutlich 9 Milliarden Menschen (2014: 7,3 Mrd.) der enorme **Aufholbedarf** in den Entwicklungs- sowie v. a. den Schwellenländern wie China und Indien. Denn weltweit bestehen beim Energieverbrauch sehr große Unterschiede. 18% der Weltbevölkerung leben in den Industriestaaten und sind für 40% des weltweiten Primärenergieverbrauchs verantwortlich. Bewohner der ärmsten Länder wie Eritrea oder Bangladesch kommen mit einem Bruchteil der Energie aus, die Bewohner der westlichen Industriestaaten verbrauchen (Abb. 1.1). Circa 1,2 Milliarden Menschen haben keinen direkten Zugang zu Elektrizität.

i

Wir brauchen Energie – Tag für Tag!

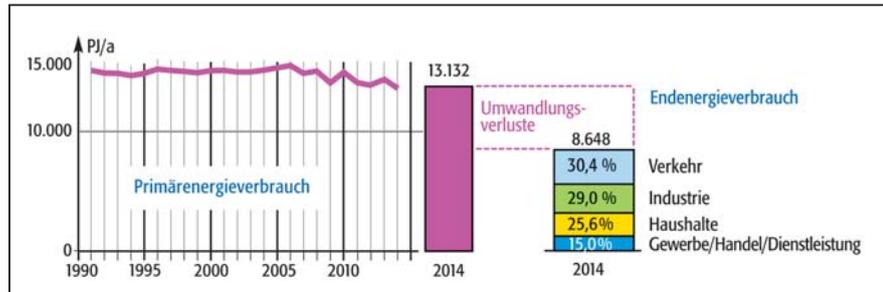
Der Primärenergieverbrauch Deutschlands pro Tag würde, umgerechnet in den Energiegehalt von Superbenzin, fast 30.000 Tanklastzüge füllen. Die Sattelzüge aneinandergereiht ergäben einen Stau auf der A9 vom Kreuz München Nord bis zum Autobahndreieck Potsdam kurz vor Berlin, das sind ca. 540 km.

In den meisten Industrieländern hat sich der Energieverbrauch in den letzten Jahren stabilisiert, allerdings **auf hohem Niveau**. In Deutschland ist der Primärenergieverbrauch bei nahezu stagnierender Bevölkerungszahl, aber wachsender Wirtschaftsleistung seit Jahren fast unverändert, 2014 lag er bei 13.132 PJ.

Nach Abzug der Umwandlungsverluste verteilt sich der Großteil des Endenergieverbrauchs in nahezu gleichen Anteilen auf die **Sektoren Verkehr, Industrie und Haushalte** (Abb. 1.3). Der Energieverbrauch kann auch in sekundäre **Anwendungsbereiche wie Wärme, Strom und**

Das Wichtigste in Kürze:

- Wohlstand und Energieverfügbarkeit hängen eng zusammen. Das Bevölkerungswachstum und das Streben nach wirtschaftlichem Aufschwung in den Schwellen- und Entwicklungsländern werden den Energiebedarf weiter steigen lassen.
- In Deutschland stagniert der Energieverbrauch auf relativ hohem Niveau. Er verteilt sich annähernd gleich auf die Sektoren Verkehr, Industrie und private Haushalte.
- Der überwiegende Teil der Energieversorgung beruht auf fossilen Energieträgern (Öl, Kohle, Gas), deren Verbrennung zum Klimawandel beiträgt.



Energieverbrauch in Deutschland (Abb. 1.3): Stabilisierung auf hohem Niveau.

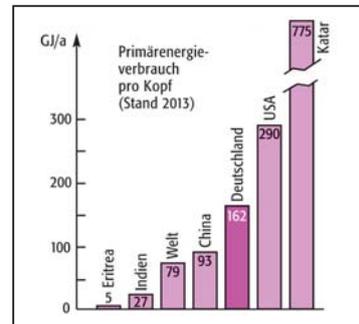
Kraftstoffe gegliedert werden. Dabei macht der Wärmebereich über die Hälfte des gesamten Endenergieverbrauchs aus, bei den privaten Haushalten sogar 90% (Abb. 1.4).

Wie weiter?

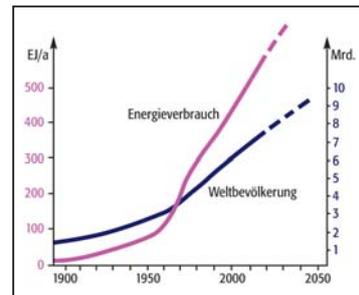
Der überwältigende Teil der weltweiten Energieversorgung beruht auf den **fossilen Energieträgern Kohle, Erdöl und Erdgas** sowie **Kernenergie**. Auch in Deutschland decken sie über 80% des Primärenergieverbrauchs. Doch hat diese Form der Energieversorgung auf Dauer eine Zukunft?

- Fossile Energieträger sind prinzipiell **endlich**, ihre Förderung wird zunehmend aufwändiger und teurer.
- Bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen **Treibhausgase**, die zum **Klimawandel** beitragen. So ist die Energiewirtschaft weltweit zu 80% an den CO₂-Emissionen beteiligt (in Deutschland zu 83,5%).

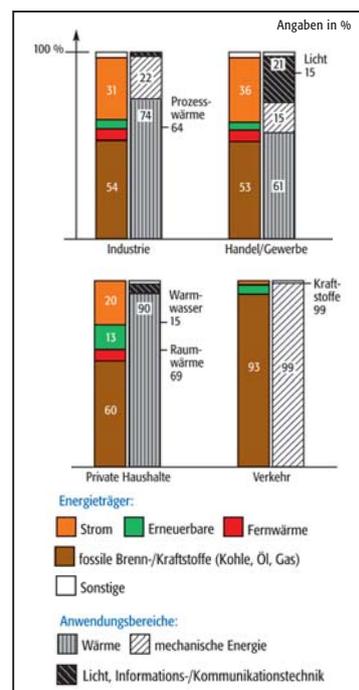
Um die Folgen des Klimawandels einigermaßen beherrschbar zu halten, hat sich die Weltgemeinschaft auf das Ziel verständigt, die Jahresmitteltemperatur der Erde bis **2100** nicht über **2 °C** im Vergleich zum vorindustriellen Niveau ansteigen zu lassen. Als Ergebnis des Klimagipfels 2015 in Paris wird sogar ein Zielwert von 1,5 °C angestrebt. Dieses Ziel ist mit dem aktuellen, v. a. auf fossile Energien beruhenden Energiesystem nicht zu schaffen. Doch welche Alternativen gibt es? Ist die von Experten geforderte „große Transformation“ hin zu regenerativen Energieträgern möglich? Und wenn ja, wie schnell? Mit diesen Fragen befasst sich die vorliegende Broschüre.



Energieverbrauch weltweit (Abb. 1.1): extrem ungleich.



Weltbevölkerung und Energieverbrauch (Abb. 1.2): Tendenz steigend.



Energie und Anwendungsbereiche in Deutschland (Abb. 1.4): Ein großer Teil für Wärme.

Energie aus der Vergangenheit.

„Schwarzes Gold“ – damit umschrieb man einst die Bedeutung der Kohle, später die des Erdöls. Beide haben die Entwicklung der Menschheit geprägt und prägen sie noch heute. Aber beide liefern buchstäblich Energie von gestern.

Dieses Kapitel behandelt

- die Entstehung fossiler Energieträger
- ihre Nutzung und weltweite Bedeutung.



Fossile Energieträger:
Sie veränderten unsere
Welt und bestimmen
sie bis heute.

Eine lange Geschichte.

Unser bestehendes Energiesystem beruht v. a. auf **fossilen** bzw. **nicht erneuerbaren Energieträgern**. Kohle, Erdöl und Erdgas gehen dabei auf **Biomasse** zurück, die in früheren Erdzeitaltern in großer Menge gebildet, abgelagert und umgewandelt wurde. Sie enthalten letztlich „gespeicherte Sonnenenergie“. Eine Neubildung findet in für den Menschen relevanten Zeiträumen nicht statt. Ihre Entstehung stellt man sich nach dem gegenwärtigen Stand des Wissens wie folgt vor:

Kohle ist aus **Landpflanzen** entstanden. Der Ursprung vieler der heutigen Steinkohlenlager wird in das **Karbon-Zeitalter** (lat. carbo: Kohle) vor 350 bis 280 Millionen Jahren datiert. In feuchtwarmem Klima entwickelten sich damals üppige Sumpfwälder, in deren moorigem Untergrund sich unter **Luftabschluss** aus abgestorbenem Pflanzenmaterial zunächst **Torf** bildete. Im Lauf der Erdgeschichte lagerten sich weitere, insgesamt viele hundert Meter dicke Schichten auf dem Torf ab. Dadurch und durch Senkungsprozesse gelangte der Torf in immer größere Tiefe, wo er durch **Druck** und der mit der Tiefe zunehmenden **Temperatur** zunächst in **Braunkohle** und schließlich in **Steinkohle** umgewandelt wurde. Dabei steigt der Kohlenstoffgehalt und damit der Heizwert der Kohle. Steinkohle enthält über dreimal so viel Energie wie Braunkohle. Ein zweiter Höhepunkt der Kohlebildung lag im **Tertiär** vor 65 bis 2 Millionen Jahren. Aus dieser Zeit stammen die heutigen Braunkohlelager. Im Gegensatz zu den älteren Steinkohlelagern sind sie nur von einer dünnen Schicht überlagert.

Erdöl entstand vermutlich vor 225 bis 65 Millionen Jahren aus Ablagerungen auf dem Meeresboden, die überwiegend aus toten tierischen und pflanzlichen Kleinstorganismen bestanden. Wie bei der Kohle waren Zersetzung unter Luftabschluss, Überlagerung, hoher Druck und hohe Temperaturen Faktoren, die zur Umwandlung führten.

Erdgas besteht überwiegend aus Methan. Ein Teil der heutigen Vorräte spaltete sich in großer Tiefe unter der Einwirkung hoher Temperaturen (ca. 150 °C) aus Kohle und Erdöl ab. Ein anderer Teil wurde in wesentlich geringerer Tiefe durch Bakterien direkt aus abgestorbenem organischen Material gebildet.

Uran, ein **Metall**, hat eine völlig andere Herkunft, die in die **Entstehungszeit der Erde** zurückreicht. Uran ist kein fossiler Energieträger. Auch hier findet keine Neubildung statt.

Die fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas sind seit alters her bekannt. Erdöhlhaltige Substanzen fanden vor über zehntausend Jahren in Vorderasien als Dichtungsmaterial, später auch als Brennstoff für Fackeln Verwendung. Vor 5.000 Jahren wurde von aus der Erde strömendem Gas berichtet, das sich entzündet hatte. Und schon die Römer nutzten Kohle in geringem Umfang zum Heizen. Uran dagegen wurde erst Ende des 18. Jahrhunderts entdeckt.

Brennender Stein.

Kohle gewann im frühen 17. Jahrhundert an Bedeutung, nachdem Holz, bis dahin der wichtigste Brennstoff, knapp geworden war. Im Rahmen der **industriellen Revolution** spielte Kohle eine entscheidende Rolle – als Brennstoff für **Dampfmaschinen** und bei der **Eisenherstellung**. Es entstanden Industrielandschaften mitördertürmen, Halden, Hochöfen und Fabrikschlotten wie z. B. das Ruhrgebiet. Auch wenn die Dampfmaschine Anfang des 20. Jahrhunderts durch den Verbrennungsmotor abgelöst wurde, nahm die Bedeutung der Kohle nicht ab. Denn gleichzeitig stieg der Bedarf an Energie in Form von **Elektrizität**, die durch eine zunehmende Zahl an **Kohlekraftwerken** erzeugt wurde. In diesen Kraftwerken wird durch die Verbrennung von Kohle zunächst Wasser verdampft. Der Wasserdampf treibt dann Turbinen an, die über Generatoren elektrischen Strom erzeugen (**Dampfkraftwerke**).

Da Kohle ein vergleichsweise **billiger Energieträger** und weltweit verfügbar ist, bilden Kohlekraftwerke bis heute das **Rückgrat der globalen Stromerzeugung**.

Auch in Deutschland hat Kohle traditionell einen hohen Stellenwert. Bei der Entstehung der Industrielandschaften an Saar und Ruhr war der **Steinkohlenbergbau** prägend. Heute ist er im internationalen Vergleich nicht mehr rentabel, über 80% des Bedarfs werden inzwischen durch billigere Importkohle gedeckt, die z. B. in Nordamerika oder Australien im Tagebau gewonnen wird. Die letzten Zechen in Deutschland werden bis 2018 schließen, auch wenn noch erhebliche Reserven im Boden liegen.

Ganz anders die Braunkohle: Sie ist der einzige fossile Energieträger, über den Deutschland in großen Mengen verfügt und der hier zu wettbewerbsfähigen Preisen gewonnen werden kann – z. B. im rheinischen Revier bei Köln und im Osten Deutschlands, wo die Braunkohle zu DDR-Zeiten Energieträger Nr. 1 war. Deutschland ist weltweit der mit Abstand **größte Braunkohle-Produzent**. Im deutschen **Strommix** spielt sie eine tragende Rolle, auch wenn diese sukzessive abnimmt.

Schwarzes Gold.

Der erste große Ölräusch der Geschichte wurde 1859 in den USA durch den Bedarf an Brennstoff für **Petroleumlampen** ausgelöst. Die Erfindung des **Verbrennungsmotors**, der nach und nach die „klassische“ Dampfmaschine verdrängte, zunehmender **Verkehr** und die Verbreitung von **Ölheizungen** ließen den Verbrauch im 20. Jahrhundert weiter ansteigen. Heute ist Erdöl weltweit **der wichtigste Energieträger** und **Rohstoff**. In **Raffinerien** wird Erdöl durch Destillation zunächst in seine Bestandteile zerlegt. Weiter aufbereitet, entstehen dann Treibstoffe und Heizöle sowie Grundstoffe für die Produktion von Kunststoffen, Textilien, Düngern, Farbstoffen, Waschmitteln und Medikamenten.

Bedeutende Förderregionen liegen im Nahen Osten mit Saudi-Arabien an der Spitze, aber auch

in Russland. In jüngster Zeit werden v. a. in Kanada und den USA zunehmend so genannte **unkonventionelle Lagerstätten (Ölsande und Ölschiefer)** erschlossen. Deutschland muss sein Erdöl zu 98% importieren – vorwiegend aus Russland, Norwegen und Großbritannien.

Spätzünder.

Erdgas wurde bei der Erdölförderung lange Zeit als unerwünschtes Nebenprodukt abgefackelt. Erst in den 1960er Jahren fand es zunehmend Verwendung als Energieträger. Gegenüber Kohle und Erdöl verbrennt Erdgas **vergleichsweise „sauber“**. Da es **direkt als Brennstoff verwendet** werden kann, entstehen keine Energieverluste wie etwa bei der Umwandlung von Erdöl in Benzin oder Heizöl. In Deutschland wird rund die Hälfte der Wohnungen mit Erdgas beheizt – Tendenz steigend. Auch in modernen und effizienten **Gas- und Dampfturbinenkraftwerken** findet Erdgas zunehmend Verwendung.

Ähnlich wie bei Erdöl sind die konventionell förderbaren Lagerstätten auf wenige Hauptförderländer konzentriert. Deutschland, dessen eigene Vorkommen den Bedarf zu 10% decken, bezieht 38% aus Russland, 26% aus den Niederlanden und 22% aus Norwegen.

Radioaktiv.

Die jüngste Nutzungsgeschichte der nicht erneuerbaren Energieträger hat **Uran**. Nach Abtrennung aus Uranerz und Anreicherung wird es in einem Kernreaktor **gespalten**. Mit der bei der Kernspaltung entstehenden Hitze wird Wasserdampf erzeugt, der dann Turbinen für die Stromerzeugung antreibt. Das erste Kernkraftwerk ging 1956 in England ans Netz.

Aufgrund ihrer potenziellen **Risiken** im laufenden Betrieb und der weltweit **ungelösten Endlagerung** ausgebrannter Brennstäbe ist die Kernenergie umstritten. In Deutschland nimmt ihr Anteil an der Stromversorgung mit dem Ausstiegsbeschluss im Zuge des Reaktorunfalls in Fukushima (Japan) sukzessive ab (2010: 22,2%; 2013: 15,8%; 2022: 0%).

Das Wichtigste in Kürze:

- Kohle, Erdöl, Erdgas und Uran sind vor langer Zeit und über lange Zeiträume hinweg entstanden. Sie sind nicht erneuerbar.
- Fossile Energieträger hatten einen entscheidenden Anteil an der Industrialisierung und bilden zusammen mit Uran nach wie vor das Rückgrat der weltweiten Energieversorgung. Der wichtigste fossile Energieträger ist dabei Erdöl, das gleichzeitig als unverzichtbarer Rohstoff zahlreicher Erzeugnisse dient.



Ein „Barrel“ (Fass) – die Fördereinheit von Erdöl: Der Name geht zurück auf Pechelbronn im Elsaß, wo 1735 erstmals Erdöl im größeren Stil gefördert und in Weinfässer abgefüllt wurde.



Ausgangsstoff: Erdöl.



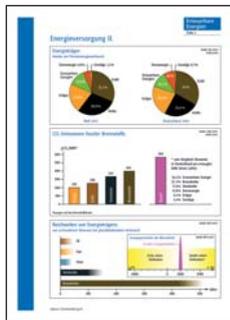
Erdgas: früher ein Nebenprodukt der Erdölförderung, heute ein Energieträger mit wachsender Bedeutung.

Fossil in die Zukunft?

Nachhaltigkeit bezeichnet das Prinzip, nach dem von einem Gut nicht mehr verbraucht wird, als jeweils nachwachsen, sich regenerieren oder künftig wieder bereitgestellt werden kann. Wie nachhaltig ist nach dieser Definition unser gegenwärtiges Energiesystem?

Dieses Kapitel zeigt

- die weltweite Abhängigkeit von nicht erneuerbaren Energieträgern
- die damit verbundenen Probleme.



Energieversorgung II.
Folie 2

Ein eingespieltes System.

Die Bedeutung **fossiler Energieträger** als **Grundpfeiler der Energieversorgung** ist weltweit ungebrossen (Abb. 2.1). Gegenwärtig ist dabei eine **Renaissance der Kohle** zu beobachten. V. a. aufstrebende Schwellenländer wie China und Indien verfügen über große Lagerstätten und setzen deshalb verstärkt auf diesen vergleichsweise kostengünstigen Energieträger. Auch beim **Ölverbrauch** rechnet die IEA mit einem weiter **wachsenden Bedarf**, der v. a. von Asien ausgeht. Weltweit wurden 2013 ca. 90 Mio. Barrel/Tag (1 Barrel = 159 l = 14,3 Mrd. Liter) gefördert.

d. h. sie laufen kontinuierlich und erzeugen relativ gleichmäßig Strom. Steinkohlekraftwerke sowie Öl- und Gaskraftwerke können auf Bedarfschwankungen reagieren und bilden die **Mittellast**. Für **Verbrauchsspitzen** stehen Pumpspeicherkraftwerke zur Verfügung.

Für die Energieerzeugung haben fossile Energieträger folgende **Vorteile**: In großer Menge verfügbar, können sie transportiert, **gelagert** und je **nach Bedarf eingesetzt** werden. Dank ihrer **hohen Energiedichte** lassen sie sich gut in **zentralen Kraftwerken** nutzen, die ganze Regionen versorgen. Andererseits sind mit fossilen Energieträgern und der Kernkraft aber auch **Nachteile** verbunden, die ihre weitere Nutzung in der heutigen Größenordnung in Frage stellen:



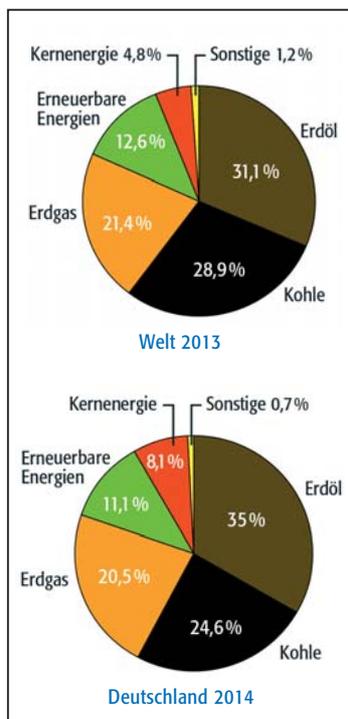
Mobilität fossil

Die aus Erdöl gewonnenen Treibstoffe Benzin, Diesel und Kerosin sind der Motor unserer Mobilität. Prognosen zufolge wird sich die Zahl der Pkw weltweit bis 2035 von 1,1 Mrd. (2014) auf 2,3 Mrd. verdoppeln. 130 von 1.000 Indern werden dann ein Auto besitzen (heute 20), 360 von 1.000 Chinesen (heute 80). In Deutschland kommen heute knapp über 500 Pkw auf 1.000 Einwohner. Die Zahl der Fluggäste soll bis 2035 ebenfalls weltweit etwa doppelt so hoch liegen wie 2014. Und auch beim Güterverkehr zeigen die Prognosen deutlich nach oben: Bis 2050 wird für den Straßen- und Schienenverkehr – je nach wirtschaftlicher Entwicklung – ein Wachstum von ca. 200% bis über 400% erwartet, bezogen auf das Jahr 2010.

Umweltverträglichkeit zweifelhaft.

Fossile Energieträger und Uran müssen aus den Tiefen der Erde, z. T. unter Wasser oder im Tagebau gefördert und meist über weite Strecken per Schiff, Bahn, Lkw und/oder Pipeline transportiert werden. Erst dann lässt sich aus ihnen Energie gewinnen. **Förderung, Transport** und **Weiterverarbeitung** sind dabei mit direkten **Einflüssen** auf und **potenziellen Risiken** für die Umwelt verbunden. So werden z. B. beim Braunkohletagebau ganze Landschaften „umgegraben“, die aufwändig rekultiviert werden müssen. Teilweise müssen Siedlungen aufgegeben werden. Der steigende Bedarf beim Erdöl führt dazu, dass der Rohstoff in immer entlegeneren und sensibleren Gebieten wie in der Arktis oder in großer Meerestiefe unter wachsenden Risiken gefördert wird. Manche Risiken lassen sich durch moderne Technik minimieren (neue Bohrtechniken, Öltanker mit Doppelwand), ausgeschlossen sind sie jedoch nicht.

In jüngster Zeit wird bei Erdöl und Erdgas zunehmend auf **unkonventionelle Lagerstätten** zugegriffen, deren Ausbeutung sich bislang nicht lohnte. Dadurch sind die USA und Kanada inzwischen auch zu wichtigen Erdöl- und Erdgasförderländern aufgestiegen. Diese Abbaumethoden



Energieversorgung weltweit und in Deutschland (Abb. 2.1): Fossil dominiert.

Auch in Deutschland dominieren die fossilen Energieträger. Der Wärmebereich, immerhin gut 50% des gesamten Endenergieverbrauchs, wird v. a. durch Heizöl und Erdgas getragen. Bei den Kraftstoffen kommen nahezu ausschließlich Mineralölprodukte zum Einsatz. Der Strombedarf wird knapp zur Hälfte durch Braun- und Steinkohle gedeckt. Die Stromversorgung erfolgt dabei über ein **Netz von Großkraftwerken** nach folgendem Muster: Braunkohlekraftwerke stellen zusammen mit Kernkraftwerken die so genannte **Grundlast**,

sind aber z. T. mit erheblichen und irreparablen Eingriffen in die Natur verbunden. Der Abbau von Ölsanden im Tagebau hinterlässt, wie der Braunkohletagebau, „Mondlandschaften“. Zusätzlich entstehen dabei große Mengen chemisch belasteter Abwässer, die entsprechend nachbehandelt werden müssen. Kontrovers diskutiert werden auch die Umweltauswirkungen durch **Fracking**.

i Fracking

Mithilfe dieses Verfahrens können Öl- und Erdgas-Lager genutzt werden, die mit der bisherigen Technik nicht erschließbar waren. Über z. T. horizontale Bohrungen tief im Untergrund wird ein Gemisch aus Wasser, Sand und unterschiedlichen Chemikalien mit hohem Druck in das Gestein gepresst. Dieses wird dadurch aufgebrochen (engl. „to fracture“), sodass auch in kleinsten Ritzen befindliches Erdgas oder Erdöl freigesetzt und gefördert werden kann. Das Verfahren ist umstritten, da die Umweltauswirkungen etwa auf das Grundwasser noch nicht ausreichend erforscht sind und langfristige Schäden nicht ausgeschlossen werden können. Fracking ist daher in vielen europäischen Staaten, auch in Deutschland, nicht bzw. nur unter strengen Auflagen erlaubt.

In den USA dagegen hat Fracking bei der Erdöl- und Erdgasförderung einen wahren Boom ausgelöst. Hatten Experten noch vor zehn Jahren Konflikte mit China um die letzten Reserven vorausgesagt, kann der amerikanische Bedarf nun vollständig aus eigener Produktion gedeckt werden.

Bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen **Stäube** und **Luftschadstoffe** wie Schwefeldioxid (SO₂, Hauptverursacher des „sauren Regens“), Stickstoffoxide (NO_x) und Kohlenmonoxid (CO). Dank verbesserter Kraftwerks-

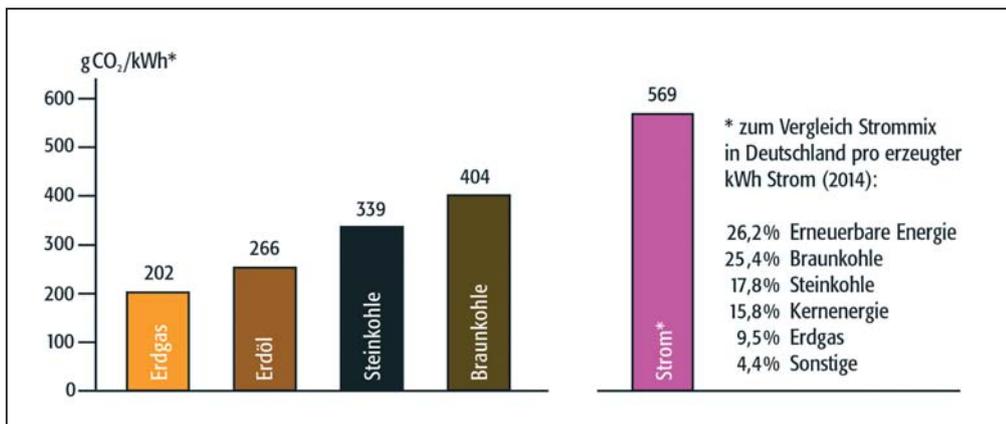
und Heizungstechnik, Filteranlagen, Katalysatoren für Autos und vielen anderen Maßnahmen sind die Emissionen in den Industrieländern insgesamt **stark zurückgegangen**.

Kohlendioxid (CO₂), das als maßgebliches **Treibhausgas** im Zusammenhang mit dem Klimawandel gilt, lässt sich allerdings derzeit technisch nicht in großem Maßstab zurückhalten. Dabei gibt es erhebliche Unterschiede. Braunkohle setzt bei der Verbrennung pro Energieeinheit fast doppelt so viel CO₂ frei wie Erdgas (Abb. 2.2). In Deutschland trägt die Braunkohle etwa zu einem Viertel zur Stromerzeugung bei, ist aber für die Hälfte der CO₂-Emissionen verantwortlich. Strom aus Braunkohle hat aktuell – Subventionen herausgerechnet – die niedrigsten Gestehungskosten (3,8–5,3 ct/kWh) – aber die mit Abstand höchsten Umweltkosten (10,75 ct).

Insgesamt können 80% des vom Menschen zusätzlich in die Atmosphäre gebrachten CO₂ der Verbrennung fossiler Energieträger zugeordnet werden. Und die CO₂-Emissionen steigen Jahr für Jahr weiter an, allein von 1990 bis heute betrug die Zunahme 40%. Die Schiefergasgewinnung in Nordamerika setzt zudem große Mengen **Methan** frei, das noch deutlich klimawirksamer ist als CO₂.

Das Ende der Fahnenstange.

Fossile Energieträger **bilden sich nicht neu**. Wie lange und zu welchen Preisen sie uns noch zur Verfügung stehen, hängt deshalb von den vorhandenen Lagerstätten ab. Als **Reserven** bezeichnet man dabei Vorräte, die bekannt und wirtschaftlich abbaubar sind. **Ressourcen** dagegen sind Vorkommen, die noch nicht entdeckt sind, sondern vermutet werden, sowie Vorkommen, die bekannt, aber bisher technisch und/oder wirtschaftlich (noch) nicht abbaubar waren. Dies ändert sich jedoch gerade grundlegend.



Mondlandschaft: Förderung von Braunkohle im Tagebau.



Die schmutzige Seite des schwarzen Goldes: mühsame Reinigungsarbeiten nach einem Ölunfall.



Transport mit Risiko: ein Öltanker.



Der Preis der Mobilität: hohe Luftbelastung in Chinas Metropolen.

CO₂-Emissionen von Brennstoffen (Abb. 2.2): Kohle setzt besonders viel CO₂ frei.



Abbau von Ölsanden in Alberta, Kanada: im Vordergrund der Tagebau, hinten Schwefelhalden und Abwasserseen.



Mehr Erdgas? Auch hier gibt es Risiken, aus Leitungslecks entweicht Methan, ein hochwirksames Treibhausgas.

Zum einen haben immer mehr der bislang gut erreichbaren Lagerstätten ihr Fördermaximum erreicht, sodass auch die bisher nicht genutzten Ressourcen wirtschaftlich interessant werden. Zum anderen erschließen neue Fördertechniken neue Quellen, z. B. in Ölsanden und Ölschiefern, Erdölquellen in arktischen Regionen oder in der Tiefsee sowie fest im Gestein gebundenes Erdgas und Erdöl (Fracking, > S. 7).

Bis vor wenigen Jahren gingen Schätzungen davon aus, dass Öl und Erdgas bei gleichbleibendem Verbrauch nur noch wenige Jahrzehnte, Braunkohle noch ein paar Jahrhunderte zur Verfügung stehen. Auch wenn diese Schätzungen zur **Reichdauer** immer weiter in die Zukunft korrigiert werden – grundsätzlich gilt: Die Vorräte fossiler Energieträger **sind begrenzt**. Und, mit knapper werdenden Vorräten steigen der **Aufwand** bei der Förderung und damit die Preise – auch „Tiefpreisphasen“ wie zuletzt beim Erdöl können diesen Trend auf Dauer nicht umkehren. Zur Erinnerung: Im Juli 2008 lag der Preis für ein Barrel der Rohölsorte Brent bei über 140 Dollar. Danach fiel er im Zuge der weltweiten Finanzkrise auf unter 50 Dollar, um anschließend von 2011 bis 2014 zwischen 100 und 120 Dollar zu pendeln. Über einen langen Zeitraum betrachtet erscheint das **fossile Energiezeitalter** ohnehin nur als eine vergleichsweise **kurze Episode der Geschichte** (Abb. 2.3). Außerdem: Aufgrund der ungleichen Verteilung der Reserven bestehen z. T. **bedenkliche Abhängigkeiten**. Viele Lagerstätten befinden sich in politisch instabilen Regionen.

Fördern verboten.

Die Endlichkeit fossiler Energieträger ist allerdings nur ein Aspekt. Um das von der Weltgemeinschaft festgelegte Ziel, die Temperaturzunahme der Erdoberfläche auf max. 2 °C bis 2100 zu begrenzen und damit den **Klimawandel**

noch beherrschbar zu halten, darf nur noch eine **begrenzte Menge** fossiler Energieträger „verheizt“ werden. Experten haben errechnet, dass allein beim Erdöl ca. 30% der gegenwärtig technisch und wirtschaftlich förderbaren Reserven in den nächsten 40 Jahren ungenutzt bleiben müssen. Bei Gas wäre es die Hälfte, bei Kohle sogar über 80%. Ein **Großteil** des fossilen Schatzes muss also **im Boden bleiben!**

Alternativen gesucht.

Es gibt gute und wichtige Gründe, den Verbrauch fossiler Energieträger rasch, deutlich und dauerhaft zu reduzieren. Doch wie kann das geschehen, ohne die weltweite Energieversorgung zu gefährden? Gibt es Alternativen? Und welche sind dauerhaft und welche eignen sich als Übergangslösung?

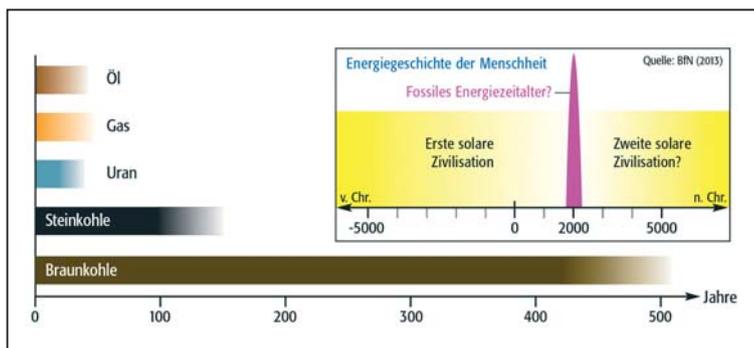


Erdgas statt Kohle.

Kohle hat von allen fossilen Energieträgern die höchsten CO₂-Emissionen, Erdgas die geringsten. Deshalb setzen z. B. die USA verstärkt auf „**sauberes**“ Erdgas, das dank Fracking üppig und günstig zur Verfügung steht. Allerdings: Auch die Erdgasvorräte sind begrenzt und dürften bei einer verstärkten Nutzung schneller zur Neige gehen als bisher angenommen. Fracking ist wie erwähnt mit Problemen und Risiken behaftet. Studienergebnisse lassen inzwischen vermuten, dass eine verstärkte Erdgasnutzung den Treibhausgas-Ausstoß zusätzlich beschleunigt statt bremst. Denn bei einer Zunahme der Förderung entstehen zwangsläufig mehr Lecks mit ausströmendem Methan, einem noch viel wirksameren Treibhausgas als CO₂. Sinkende Preise erhöhen zudem den Energieverbrauch, statt ihn zu verringern.

„Saubere“ Kohle?

Kohle hat unter den fossilen Energieträgern die längste Reichdauer. Länder mit ergiebigen Lager-



Reichweiten von Energieträgern (Abb. 2.3): Das fossile Zeitalter hat ein Ende.

stätten – allen voran China – werden vermutlich auch weiterhin darauf zurückgreifen. Um Kohle möglichst klimaschonend nutzen zu können, ist die so genannte CCS-Technologie (**Carbon Capture and Storage**) in der Entwicklung. Dabei – so die Idee – wird das bei der Verbrennung entstehende **CO₂ technisch abgeschieden**, zu unterirdischen Lagerstätten (z. B. ausgebeutete Kohle, Öl- oder Gaslagerstätten) transportiert und dort **dauerhaft gespeichert**.

Aber: Bisher ist die Technik noch nicht über das Versuchsstadium hinausgekommen. Viele Fragen, wie z. B. auch die der Kosten, sind offen und das wirkliche Potenzial dieser Technologie strittig. Manche Experten halten CCS global gesehen bestenfalls für eine mittelfristige Übergangslösung.

Kernkraft – ja bitte?

Weil **Kernkraftwerke** im laufenden Betrieb **kein CO₂ emittieren**, wird die Atomenergie von ihren Befürwortern als wichtiger Beitrag zur Lösung des Klimaproblems gesehen. Derzeit sind weltweit etwa 440 Atomkraftwerke in Betrieb, die den Primärenergieverbrauch zu etwa 5% decken. Um bis 2050 allein 10% der fossilen Energieträger ersetzen zu können, müssten 1.000 neue Atomkraftwerke gebaut werden. Ob dies angesichts der bereits genannten **Risiken** beim Betrieb und der Lagerung radioaktiver Abfälle einen gangbaren Weg darstellt, wird sehr kontrovers gesehen. Nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima 2011 hat z. B. Deutschland den schrittweisen Ausstieg aus der Atomenergie erklärt, das letzte Kraftwerk soll 2022 vom Netz gehen.

Energiewunder Wasserstoff?

Wasserstoff wird häufig als „die“ Lösung für eine CO₂-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 so genannter **sekundärer Energieträger**. Er muss zunächst unter Energieaufwand hergestellt werden und ist damit nur so „sauber“ und effektiv wie der Prozess, bei dem er



Wind und Sonne:
Gehört den Erneuerbaren
die Zukunft?

hergestellt und genutzt wird. Wasserstoff ist also nur dann eine Alternative zu fossilen Energieträgern, wenn er aus regenerativen Energiequellen wie z. B. Wind und Sonne erzeugt wird (> Seite 33).

Energie sparen.

Energie, die nicht benötigt wird, muss auch nicht erzeugt werden und verursacht keine Treibhausgase oder Kosten. In einem **sparsamen und effizienten Umgang mit Energie** stecken deshalb große Potenziale, besonders in den Industriestaaten mit ihren hohen Verbrauchszahlen. Doch Energie sparen allein wird nicht reichen. Die IEA rechnet damit, dass allein die aufstrebenden Wirtschaftsregionen (China, Indien u. a.) den weltweiten Energieverbrauch bis 2035 um über 30% erhöhen werden. Denn auch dort haben die Menschen ein legitimes Interesse an wirtschaftlichem Aufschwung und Wohlstand.

Erneuerbare Energien.

Auf Dauer kann unser Energieproblem nur von Energieträgern gelöst werden, die erneuerbar sind und deren Betrieb keine nennenswerten Auswirkungen auf unser Klima hat. Doch das erfordert ein Umsteuern hin zu einem ganz **neuen Energiesystem**. Mehr dazu in den folgenden Kapiteln.



Atomkraft:
hoch umstritten.

Das Wichtigste in Kürze:

- Die Bedeutung fossiler Energieträger ist global ungebrochen. Der Bedarf wird in Zukunft weiter zunehmen und damit auch der Druck auf die weltweiten Lagerstätten.
- Förderung, Transport und Nutzung fossiler Energieträger sowie von Uran sind z. T. mit erheblichen Umweltbelastungen und Risiken verbunden.
- Um den Klimawandel noch einigermaßen beherrschbar zu halten, müsste der größte Teil der Vorräte, insbesondere bei Kohle und Öl, im Boden bleiben und darf nicht genutzt werden.

Standpunkte

◀◀ Wir können den Menschen im ärmeren Teil der Welt nicht einen Lebensstandard verbieten, den wir selbst in Anspruch nehmen. Ohne Kohle, Öl, Gas und Kernkraft wird es auch in Zukunft nicht gehen.

▶▶ Die Energieversorgung ist eine Schlüsselfrage. Um den Klimawandel einigermaßen beherrschbar zu halten, ist eine Umstellung des gesamten Systems alternativlos.

Unerschöpfliche Energie.

Über Jahrtausende stützte sich die Energieversorgung der Menschheit auf Sonne, Wind und Wasser. Dann folgte das fossile Energiezeitalter. Stehen die erneuerbaren Quellen nun vor einem Comeback?

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über

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



Unerschöpfliche Energiequelle: die Sonne.

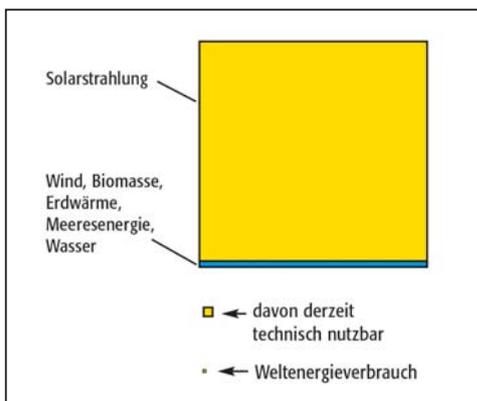
Energie im Überfluss.

Die wichtigste Quelle erneuerbarer Energie 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 davon 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, Experten sprechen von 2,5% des technisch verfügbaren Potenzials (Abb. 3.1). Die Sonne wärmt nicht nur die Erde, sie treibt den Wasserkreislauf an, bewegt die Atmosphäre (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** (Bioenergie). 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 den **Anziehungskräften** zwischen Erde, Mond und Sonne lässt sich Energie gewinnen (Gezeitenenergie). Folie 3 gibt einen Überblick über die verschiedenen regenerativen Energien, ihre Quellen und ihren möglichen Einsatz in den Anwendungsbereichen Wärme, Strom und Kraftstoffe.



Erneuerbare Energien. Folie 3

Potenziale erneuerbarer Energien (Abb. 3.1): Allein das derzeit technisch nutzbare Potenzial übersteigt den weltweiten Bedarf um ein Vielfaches.



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

Stärken und Schwächen.

In der Diskussion um regenerative Energien werden gegenüber fossilen Energieträgern folgende **Vorteile** genannt:

- kaum CO₂-Emissionen bzw. klimaneutral
- prinzipiell unbegrenzt vorhanden bzw. erneuerbar
- lassen sich vergleichsweise gefahrlos nutzen und transportieren
- können auch im Inland gewonnen werden, sorgen für Wertschöpfung und Arbeitsplätze
- reduzieren Abhängigkeiten von fossilen Energieträgern und deren Förderländern.

Auf der anderen Seite werden häufig diese **Nachteile** vorgebracht:

- beschränkte zeitliche und räumliche Verfügbarkeit mit z. T. starken Schwankungen (v. a. bei Wind- und Sonnenenergie)
- flächenintensiv, i. d. R. geringere Energiedichte als bei fossilen Brennstoffen. Konkurrenz zu anderen Flächenansprüchen oder Interessen der Bevölkerung vor Ort
- nicht per se naturverträglich (z. B. Konflikte mit dem Natur- und Artenschutz, Feinstaubbelastungen bei unsachgemäßer Holzverbrennung u. a.).

Besonders die **Wirtschaftlichkeit** regenerativer Energien wird oft in Frage gestellt. Zwar haben Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien gemessen an ihrer Leistung meist **hohe Investitionskosten**. Dafür fallen – mit Ausnahme der Bioenergie – keine Brennstoff- und damit **geringe Betriebskosten** an. So ist z. B. mit dem Bau einer Windkraftanlage der Strom für ca. 20-30 Jahre weitgehend bezahlt. Auch ist die energetische Amortisationszeit in der Regel kurz, d. h. die für den Bau der Anlagen eingesetzte Energie wird schnell wieder eingespielt. Fossile Kraftwerke dagegen haben hohe Brennstoff- und Betriebskosten und amortisieren sich energetisch gesehen nie. Die genannten Stärken und Schwächen sind nicht bei allen erneuerbaren Energieträgern gleich ausgeprägt. Auch die Beiträge, die die verschiedenen erneuerbaren Energieträger zukünftig zur weltweiten Energieversorgung leisten könnten, unterscheiden sich. Näheres dazu werden die folgenden Kapitel beleuchten.

Erneuerbare Energien aktuell.

2013 wurden laut IEA über 12% des Welt-Primärenergiebedarfs durch erneuerbare Energien gedeckt, davon fast 80% durch Biomasse und knapp über 17% durch Wasserkraft. Zur Stromerzeugung trugen die Erneuerbaren 2013 weltweit mit 22% bei, allein Wasserkraft ca. 16%. Hier stehen Länder wie Norwegen (97% Wasserkraftanteil am Strom) und Brasilien (75%) an der Spitze.

In Afrika ist die Nutzung regenerativer Energien zwar stark verbreitet, beruht aber meist auf einer nicht nachhaltigen Nutzung von Brennholz und Holzkohle. Zudem kommt es beim Verbrennen von Holz oder Viehdung an einfachen Feuerstellen zu gesundheitlichen Belastungen durch Feinstaub.

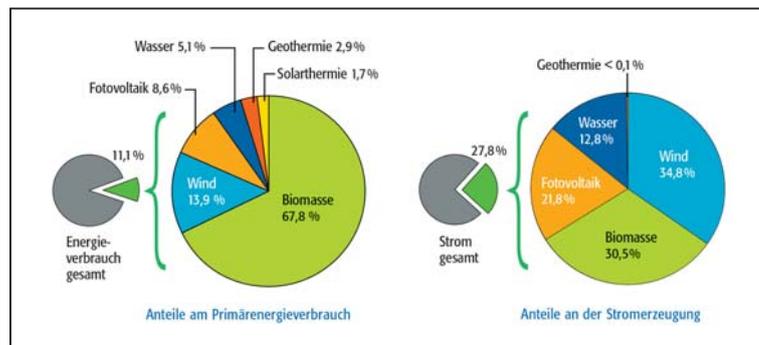
In Deutschland spielten regenerative Energien in den vergangenen Jahrzehnten kaum eine Rolle. Das hat sich zunächst mit dem **Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)** ab dem Jahr 2000 und schließlich mit dem Reaktorunglück von Fukushima deutlich geändert. Als wichtiges

Industrieland hat sich Deutschland bei der Nutzung erneuerbarer Energien ambitionierte Ziele gesetzt, deren Umsetzung von anderen Staaten sehr genau beobachtet wird.

2014 lieferten die erneuerbaren Energien hierzu folgende Beiträge (BMWi 2015):

- 11,1% des Primärenergieverbrauchs
- 27,8% des Stromverbrauchs
- 9,9% des Endenergieverbrauchs für Wärme
- 5,4% des Kraftstoffverbrauchs.

Dank erneuerbarer Energien konnte Deutschland 2014 Treibhausgas-Emissionen in Höhe von 148 Mio. t CO₂-Äquivalenten vermeiden und fossile Importe in Höhe von 8,7 Mrd. Euro einsparen. Darüber hinaus hingen 371.000 Arbeitsplätze mit den erneuerbaren Energien zusammen. Den mit Abstand größten Anteil an der regenerativen Energieerzeugung in Deutschland trägt die Bioenergie (Abb. 3.3). Den regenerativen Wärmebereich dominiert sie sogar mit knapp 90%. Bei der Stromerzeugung wird sie nur von der Windenergie übertroffen. Hier hat die Fotovoltaik in den vergangenen Jahren den größten Sprung nach vorne gemacht.



Doch wie geht es weiter? Ist eine 100%ige erneuerbare Energieversorgung in Zukunft möglich? In allen relevanten Bereichen, also Wärme, Strom und Kraftstoffen? Welche Beiträge können dazu die einzelnen erneuerbaren Energieträger leisten? Details dazu auf den folgenden Seiten.



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

Erneuerbare Energiequellen in Deutschland (Abb. 3.3): klein, aber fein.

Das Wichtigste in Kürze:

- Erneuerbare Energien sind prinzipiell unerschöpflich.
- 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.
- Erneuerbare Energien emittieren wenig Treibhausgase bzw. sind klimaneutral.
- Der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch der Welt liegt derzeit bei ca. 12 %, ebenso in Deutschland – Tendenz steigend.

Standpunkte

Das Potenzial erneuerbarer Energien ist riesengroß und unerschöpflich. Man muss es nur anzapfen.

Das ist blanke Theorie. Technisch und v. a. wirtschaftlich nutzbar ist nur ein geringer Anteil. Er kann den wachsenden Energiehunger der Welt nicht stillen.

Energie aus der Sonne.

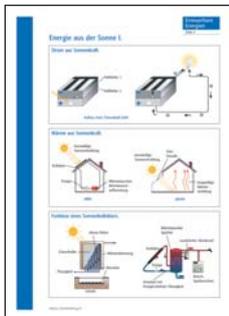
Die Sonne ist ein riesiges Energiereservoir. Pro Sekunde strahlt sie mehr Energie ab, als der Mensch seit Beginn der Zivilisation verbraucht hat. Doch das, was auf der Erde ankommt, wird nur zu einem Bruchteil genutzt – noch ...

Dieses Kapitel erklärt

- Fotovoltaik und Solarthermie
- aktive und passive Solarnutzung
- die Funktionsweisen großer Solarkraftwerke.

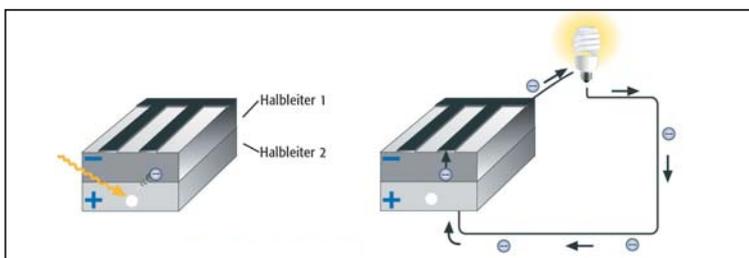


Unter Strom:
Fotovoltaikzellen wandeln
Licht direkt in Strom um.



Energie aus der Sonne I.
Folie 4

Aufbau einer Fotovoltaik-Zelle (Abb. 4.1): Der Fotoeffekt ist Grundlage der Fotovoltaik – zwei Halbleiter + Licht = Strom.



Energiespendende 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 in Solarkraftwerken über Dampfturbinen Strom zu erzeugen.

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 (Abb. 4.1).

Das derzeit wichtigste Halbleitermaterial ist **Silizium**. Es ist zwar das zweithäufigste Element der Erdkruste, um es aber in Reinform, z. B. aus Sand oder Quarz, zu gewinnen, ist ein aufwändiges Schmelzverfahren mit Temperaturen von mehr als 1.000 °C notwendig. Mit anderen

Halbleitermaterialien wird experimentiert. 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 Wirkungsgraden zwischen 15 und 20%. Die Lebensdauer einer Solarzelle wird auf ca. 20–30 Jahre geschätzt. Je nach Standort und eingesetzter Technologie haben sie sich nach ein bis vier Jahren energetisch amortisiert.

Als Insel oder am Netz.

In den Anfangsjahren der Technik wurden Solarzellen v. a. an Orten fernab eines öffentlichen Stromnetzes eingesetzt, wie zum Beispiel für Leuchtbojen, Notrufsäulen oder Berghütten – ausgestattet mit Batteriespeichern für sonnenarme Zeiten. Heute sind größere Fotovoltaikanlagen i. d. R. an das öffentliche Stromnetz angeschlossen. Die Leistungen von Anlagen für Privathäuser liegen zwischen 2 und 5 kW (= 20–50 m² Anlagenfläche). Strom wird auch in Fotovoltaik-Kraftwerken produziert, die Leistungen von über 1 MW erbringen.

Vorteile:

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

Nachteile:

- tageszeit- und wetterabhängig, starke Fluktuation in der Energieausbeute
- energieaufwändig in der Herstellung
- hoher Flächenbedarf bei vergleichsweise geringem Energiegewinn.

Vom Dach zur Steckdose.

Weltweit spielt die Fotovoltaik noch eine eher untergeordnete Rolle. Die größten Potenziale werden in den sonnenreichen Gebieten der Erde gesehen. Während in Deutschland je nach Region zwischen 900 und 1.150 kWh/m² erreicht werden, kommt Spanien auf Werte bis

1.850, in den Wüstengebieten Nordafrikas werden teilweise über 2.800 kWh/m² gemessen. Trotzdem ist die Kapazität in Deutschland in den vergangenen Jahren **stetig gewachsen** – auf inzwischen gut 38 GWp (p = peak = max. Leistung). Der Gesamtbeitrag der ca. 1,4 Mio. Fotovoltaik-Anlagen zur Stromerzeugung in Deutschland stieg dadurch auf über 5% bzw. 30 TWh. Die Anlagen werden überwiegend auf Dächern errichtet. Um den Flächenverbrauch gering zu halten, werden Freilandanlagen vorzugsweise entlang von Autobahnen und Bahnlinien oder auf bereits anderweitig genutzten Flächen errichtet. Experten sehen den Fotovoltaik-Boom noch nicht als beendet. Je nach Studie und Definition der geeigneten Standorte werden 1.600–2.000 km² an zusätzlicher Fläche für Fotovoltaik-Anlagen für möglich gehalten. Das Umweltbundesamt (UBA) sieht die Fotovoltaik als **einen der zukünftigen Hauptträger der Stromerzeugung** in Deutschland. Bis 2050 ließe sich die installierte Leistung auf 275 GW erhöhen, bei 900 Volllaststunden/a entspräche das einer Stromproduktion von 248 TWh/a (z. Vgl.: 2014 betrug die Bruttostromerzeugung in Deutschland 614 TWh).

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 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 (Abb. 4.2).

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. **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 (Abb. 4.3). Bei einem Einfamilienhaus können etwa 6 m² Flachkollektor im Jahresmittel 60% des jährlichen Bedarfs an warmem Brauchwasser liefern. Für die Raumheizung auf solarer Basis rechnet man pro 10 m² Wohnfläche mit 1 m² Flachkollektor.

Vakuümrohrenkollektoren bestehen aus zwei konzentrisch ineingebauten Glasröhren, zwischen denen ein Vakuum herrscht. Wärmeverluste sind dadurch stark verringert, sie sind jedoch teurer als Flachkollektoren.

Sonnenkollektoren haben sich im Schnitt nach ein bis zwei 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.

Im Moment arbeitet man verstärkt daran, Solarthermie in Kombination mit einer Kältemaschine zur Kühlung – also zur **thermischen Klimatisierung** – zu nutzen. Denn Kühlung benötigt man gerade dann, wenn die Sonne vom Himmel brennt. Ein enormes Potenzial, wenn man an die heißen Regionen der Erde denkt.

Vorteile:

- arbeiten geräuschlos und ohne Emissionen.

Nachteile:

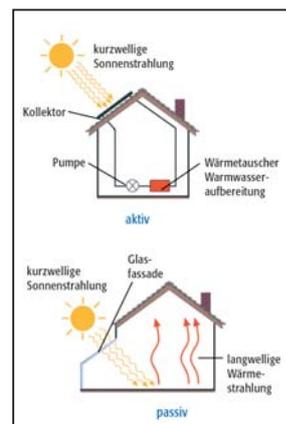
- starke Schwankungen je nach Jahreszeit und Wetter
- relativ hoher Flächenbedarf.

Heizen mit Sonnenkraft.

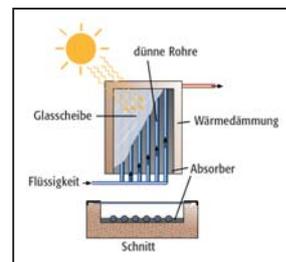
Eine vielversprechende Einsatzmöglichkeit von Solarthermie ist der Aufbau **solarer** oder solar unterstützter **Nahwärmenetze** beim Neubau oder der Sanierung von Wohngebäuden bzw. Siedlungen. Dabei sind die großen Kollektorfelder auf einzelnen Häusern oder einem zentralen Gebäude installiert und speisen ihre Wärme in einen gemeinsamen Speicher. Von diesem aus wird die Energie dann bedarfsgerecht verteilt. Je nach Auslegung von Anlage und Speicher kann in



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

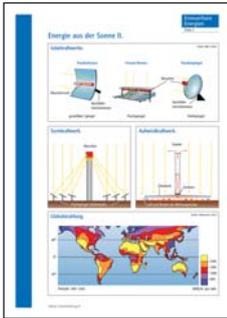


Aktive und passive Solarnutzung (Abb. 4.2): Die Energie der Sonne lässt sich mit und ohne Hilfsmittel nutzen.



Funktion eines Sonnenkollektors (Abb. 4.3): Bei entsprechender Dimensionierung lassen sich 60% des jährlichen Warmwasserbedarfs decken.

Parabolrinnenkraftwerk:
Solche Solarkraftwerke eignen sich für sonnenreiche Gebiete.



Energie aus der Sonne II.
Folie 5

derartigen Netzen ein Großteil des sommerlichen Wärmeüberschusses für die Nutzung im Winter gespeichert werden.

Deutschland liegt in der Zahl der Anlagen europaweit an der Spitze. Wie bei der Fotovoltaik lässt sich das große Potenzial von Dach- und Fassadenflächen nutzen. Gegenwärtig liegt der Anteil an der Wärmeerzeugung allerdings bei unter 1%.

1.000 °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 **Linse** konzentriert werden, ehe sie auf einen **Absorber** oder **Receiver** gelenkt wird. Nach diesem Prinzip arbeiten **konzentrierende solarthermische Kraftwerke**. Sie erzeugen Strom, mit dem dann u. a. Kälte, industrielle Prozesswärme – oder über eine Meerwasserentsalzungsanlage – Trinkwasser bereitgestellt werden kann. Derzeit sind verschiedene Typen im Einsatz bzw. in der Entwicklung (Abb. 5.1–5.3):

Solarfarmkraftwerke

Bei einem **Parabolrinnen-Kraftwerk** 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. Die ersten kommerziellen Parabolrinnen-Kraftwerke wurden ab 1984 in Kalifornien errichtet. Im spanischen Andalusien entstanden zwischen 2008 und 2011 drei Anlagen von je 50 MW Höchstleistung (Andasol 1-3). 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.

Beim **Fresnel-Rinnen-Kraftwerk** wird im Unterschied zum Parabolrinnen-Kraftwerk 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 Bauweise ist einfacher und kostengünstiger als beim Parabolrinnen-Kraftwerk, derzeit sind einige Anlagen in Spanien sowie in Australien in Betrieb.

Parabolspiegel-Anlagen

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. Die Spiegelfläche ist wegen der angreifenden Windkräfte auf etwa 25 m Durchmesser begrenzt. Mit einer maximalen Leistung bis 50 kW eignen sich diese Anlagen v. a. zum dezentralen Einsatz in Entwicklungsländern, z. T. auch in Kombination mit konventionellen Techniken (Biomassefeuerung).

Solarturmkraftwerke

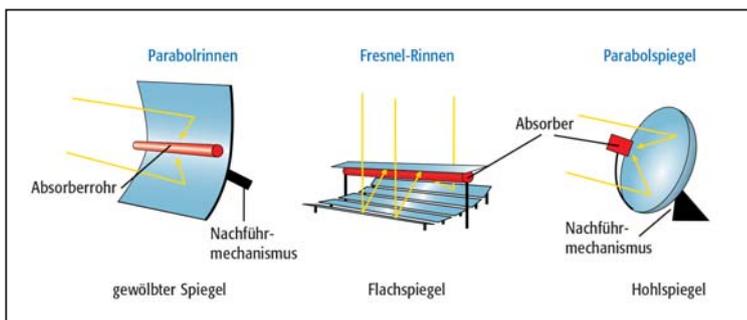
Einzelne, der Sonne nachgeführte Flachspiegel (**Heliostaten**) lenken das Sonnenlicht auf eine Turmspitze mit einem zentralen Receiver. Dort erhitzt sich der Absorber auf über 1.000 °C. Ein Wärmeträgermedium – Wasserdampf, spezielle Salzschnmelzen oder auch Luft – führt die Wärme weiter zu einer Gas- oder Dampfturbine (Abb. 5.2). Weltweit sind mehrere Anlagen in Betrieb – in Europa in Spanien und als Forschungsanlage in Jülich/Deutschland. Das bislang größte

Standpunkte

► Große Potenziale für Solarenergie liegen auf den Dächern unserer Siedlungen. In Süddeutschland trägt die Fotovoltaik zeitweise schon heute erheblich zur Deckung des Strombedarfes bei.

► Strom aus Fotovoltaik muss subventioniert werden und ist starken Fluktuationen unterworfen. Die Beiträge der Solarthermie sind in Mitteleuropa gering.

Solarthermische Kraftwerke (Abb. 5.1): verschiedene Systeme mit Stärken und Schwächen.



Solarturmkraftwerk mit knapp 400 MW Leistung ging 2014 in Kalifornien ans Netz. Es soll ca. 140.000 US-Haushalte mit Strom versorgen. 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 zugefeuert werden (**Hybrid**-Betrieb). Durch **Kraft-Wärme-Kopplung** ist zudem eine äußerst effiziente Nutzung der gesammelten solaren Primärenergie möglich.

Vorteile:

- Speicherung der Wärme über Stunden/Tage möglich
- mit herkömmlichen Kraftwerken kombinierbar (Hybridkraftwerke)
- Nutzung zur Wärme- und Stromerzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung).

Nachteile:

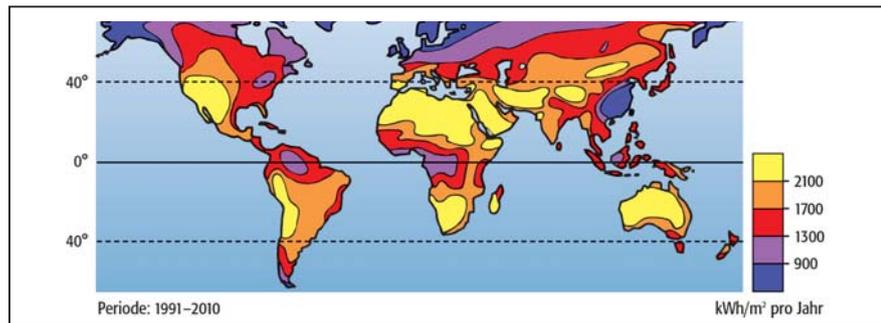
- relativ großer Flächenbedarf
- geografische Einschränkung (hohe Globalstrahlungsrate notwendig).

Zukunftsmusik.

Großmaßstäbliche Solarthermie-Kraftwerke sind v. a. im **Sonnengürtel der Erde** mit einer entsprechend hohen Globalstrahlungsrate sinnvoll. Zwischen dem 40. Breitengrad nördlich und südlich des Äquators ist die Sonneneinstrahlung intensiv genug, um solche Kraftwerke schon heute wirtschaftlich betreiben zu können (Abb. 5.4). Rein rechnerisch würden vergleichsweise geringe Flächen der Sahara ausreichen, den Energiebedarf Europas bzw. der Welt zu decken. Entsprechende Überlegungen wurden mit dem **Desertec-Projekt** bereits vor einigen Jahren angestoßen, in der Praxis scheiterte die Umsetzung aber aus verschiedenen, z. T. auch politischen Gründen.

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 die Sonnenkraftnutzung finden sich im **Sonnengürtel der Erde**.



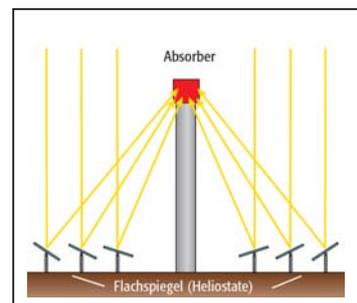
Welt-Globalstrahlung (Abb. 5.4): Die Karte zeigt, wo die Nutzung der Sonnenenergie die höchsten Erträge bringt.

Neben den oben genannten Kraftwerkstypen, die die Direktstrahlung der Sonne mit Reflektoren bündelt, gibt es verschiedene Überlegungen, die **gesamte Globalstrahlung** nutzbar zu machen. Diese Varianten sind bislang aber nicht über Versuchsstadien hinausgekommen:

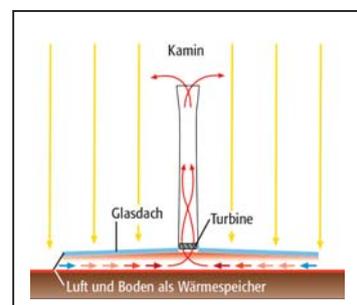
Bei **Aufwind- oder Thermikkraftwerken** erwärmt sich die Luft unter einem Kollektordach aus Glas oder Kunststoff. Die Warmluft steigt in der Mitte der Fläche über einen Kamin auf und treibt dabei am Kaminfuß eine oder mehrere Turbinen an (Abb. 5.3). Weil nur Luft genutzt wird, wäre die Technik ideal für sonnenreiche, aber wasserarme Gegenden. Um hohe Leistungen wie bei herkömmlichen Kohle- oder Kernkraftwerken zu erreichen, müsste der Kamin aber 1.000 m und höher sein und die Kollektorfläche ca. 12 km im Durchmesser betragen.

Das Prinzip von **Fallwindkraftwerken** funktioniert ebenfalls über den Kamineffekt, nur umgekehrt. Hier wird an der Spitze eines 1.000 m hohen Turmes der Umgebungsluft durch Besprühen mit Wasser Energie entzogen. Durch die Verdunstungskälte und das Wassergewicht fällt die Luft nach unten und treibt am Kaminfuß Turbinen an – eine Idee für sonnenreiche Gebiete in Meeresnähe.

Derzeit wird auch an so genannten **Perowskit-Solarzellen** geforscht, um Wasserstoff durch Sonnenenergie direkt aus Wasser zu gewinnen. Wasserstoff wäre vielseitig einsetzbar und auch lagerfähig.



Turmkraftwerk (Abb. 5.2): Im Absorber werden Temperaturen von über 1.000 °C erreicht.



Aufwindkraftwerk (Abb. 5.3): Funktioniert auch nachts und bei Bewölkung.

Standpunkte

- ▶ Die Idee, mit Wüstenstrom die Welt zu versorgen, hat sich bisher als Luftblase erwiesen. Außerdem entstehen neue Abhängigkeiten.
- ▶ Theoretisch würden ca. 80.000 km² in der Wüste Sahara reichen, um mittels Solarkraftwerken den Energiebedarf der Welt zu decken (das entspricht etwa der Fläche Österreichs).

Energie aus Wasser.

Flüsse sägen sich durch Gebirge und bilden tiefe Schluchten. Felsbrocken werden über weite Strecken transportiert und enden zerrieben zu feinem Sand. 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 aus dem Fluss, sondern auch aus dem Meer Energie gewonnen wird.



Wasserkraft ...



... eine uralte Technik.



Turbinentypen (Abb. 6.1): Für jeden Einsatzzweck das passende Modell.

Eine uralte Technik.

Fließendes Wasser wird seit alters her als Energiequelle genutzt. Im Orient wurden schon vor mehreren tausend Jahren Schöpfräder mit Wasserkraft zur Feldbewässerung eingesetzt. 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 zur Stromerzeugung dient. Technisch ist die Wasserkraft 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 (Abb. 6.1).

Auch verschiedene **Kraftwerkstypen** lassen sich unterscheiden: **Laufwasserkraftwerke** an Flüssen erzeugen gleichmäßig Strom und dienen vorwiegend der Grundlast (Abb. 6.2). **Speicherkraftwerke** können durch das schnelle Ablassen von Wasser Stromspitzen (Spitzenlast) abdecken. Eine Sonderform ist dabei das **Pumpspeicherkraftwerk**, bei dem in bedarfsschwachen Zeiten Wasser in ein Oberbecken gefördert wird, um es als Energiereserve bei plötzlichen Bedarfsspitzen zu nutzen (Abb. 6.3). Pumpspeicherkraftwerke sind daher eigentlich keine Kraftwerke, sondern **Stromspeicher**.

In Deutschland erreichen große Flusskraftwerke, etwa an Rhein, Inn und Donau, eine Leistung bis zu 100 MW oder knapp darüber. Die meisten

Wasserkraftwerke hierzulande sind aber kleinere Anlagen mit max. 1 MW. Die energetische Amortisationszeit beträgt 9 bis 13 Monate.

Vorteile:

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

Nachteile:

- anfänglich hohe Investitionskosten
- Barrierewirkung des Kraftwerkes (Unterbindung des Fischeauf- und -abstiegs sowie des Geschiebetransports).

Mehr Energie aus dem Meer?

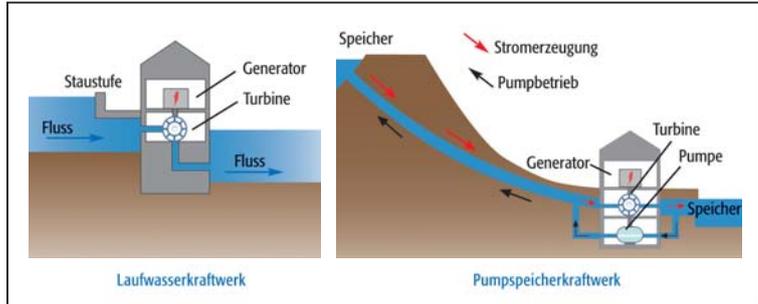
Neben den Flüssen werden zunehmend auch die Meere zur Energiegewinnung genutzt. Wasserkraftwerke im und am Meer arbeiten dabei meist in Küstennähe. **Strömungskraftwerke** sind relativ neue Entwicklungen. Sie nutzen Meeresströmungen und funktionieren wie „Windräder im Wasser“ (Abb. 6.4). Eine geringe Wassertiefe verstärkt die Düsenwirkung, begrenzt aber die Propellergröße. Heutige Anlagen weisen eine Leistung von knapp 1 MW auf. Nachteilig wirken sich Strömungsschwankungen aus. Auch das Salzwasser bereitet Probleme, es lässt Maschinenteile schneller korrodieren.

Wellenkraftwerke nutzen die Kraft der Wellen, bislang existieren aber nur Versuchsanlagen. Experimente mit schwimmenden Anlagen zeigten u. a. wegen Stürmen und Salzwasser erhebliche Schwächen. Bei speziellen Anlagen 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, Abb. 6.5). Diese Anlagen stehen nicht in direkter Verbindung mit Salzwasser, Nachteil ist aber eine vergleichsweise niedrige und zudem sehr schwankende Energieabgabe.



Bei **Gezeitenkraftwerken** wird z. B. eine Bucht durch einen Damm abgeriegelt. Die Turbinen werden dabei durch das aus- und einströmende Wasser von Ebbe und Flut angetrieben – letztlich also durch die **Anziehungskraft des Mondes**. Lange Zeit war das bereits 1966 gebaute Kraftwerk bei St. Malo an der französischen Kanalküste mit 240 MW das weltgrößte Gezeitenkraftwerk. Inzwischen verfügt Südkorea über eine 254 MW starke Anlage. Insgesamt findet diese Technik wegen der ungleichmäßigen Energieausbeute, v. a. aber der ökologischen Auswirkungen, weltweit kaum Anwendung. Ein neuartiges Gezeitenkraftwerk arbeitet an der nordirischen Küste. Es funktioniert wie ein Strömungskraftwerk und nutzt durch einen Unterwasserpropeller die wechselnde Strömung in einem Meeresarm.

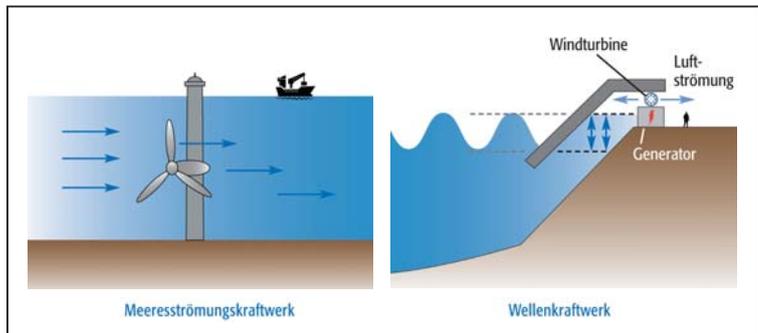
Alles im Fluss: Laufwasserkraftwerke dienen v. a. der Erzeugung von Grundlaststrom.



Fluss- und Speicherkraftwerke (Abb. 6.2/3): Für Grund- oder Spitzenlast geeignet.

Zukunft aus dem Wasser.

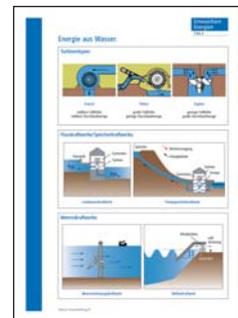
Wasserkraft ist weltweit gesehen eine bedeutende und **beste Größe bei der Stromerzeugung**, 2013 mit einem Anteil von 16,4% (z. Vgl.: regenerative Energien insgesamt 22,1%). Weltweit bestehen noch erhebliche Potenziale zur Nutzung der Wasserkraft. Ein massiver Ausbau stößt aber an Grenzen. V. a. bei Großkraftwerken wie z. B. an der Drei-Schluchten-Talsperre am Jangtsekiang in China (Leistung 18.200 MW) sind die ökologischen und sozialen Auswirkungen immens. In Deutschland liegt der Anteil der Wasserkraft an der Stromerzeugung bei 3,5%. Ca. 400 Anlagen mit einer Leistung von über 1 MW erzeugen dabei 92% des Wasserkraftstroms, den Rest bestreiten ca. 7.000 Kleinanlagen unter 1 MW – übrigens zu 90% in Bayern und Baden-Württemberg. Hierzulande sind die Flüsse inzwischen **weitgehend ausgebaut** und große Kraftwerksneubauten nicht mehr durchsetzbar. Potenzial steckt deshalb v. a. in der **Modernisierung vorhandener Anlagen**, die i. d. R. dann auch eine **ökologische Aufwertung** erfahren. So wurden z. B. im Wasserkraftwerk Rheinfelden die 100 Jahre alten Turbinen durch moderne Aggregate ersetzt. Die installierte Turbinenleistung vergrößerte sich dabei von 26 auf 100 MW, die Stromproduktion von 185 auf 600 Mio. kWh/a. Gleichzeitig entstand ein großes natur-



Meereskraftwerke (Abb. 6.4/5): Ihre Nutzung steht noch am Anfang.

nahes Umgebungsgewässer, das Fischen und anderen Wasserlebewesen als Aufstiegs- und Laichgewässer dienen soll. Auch in Kleinanlagen steckt noch Potenzial: Viele Kleingewässer in Deutschland sind durch Wehre verbaut, die nur zu 15% mit der Stromproduktion zu tun haben. Diese Querverbauungen könnten für die Wasserkraft genutzt und dabei durch entsprechende Maßnahmen ökologisch durchgängiger gestaltet werden.

Trotzdem wird die Wasserkraft wenig zum neuen Energiesystem beitragen können. Das UBA schätzt das Potenzial für 2050 auf knapp über 5.000 MW, das entspricht einer Stromerzeugung von 24 TWh/a. Die Schätzungen des Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU) liegen knapp darüber. Zum Vergleich: 2014 wurden in Deutschland mit Hilfe der Wasserkraft 20,5 TWh Strom erzeugt.



Energie aus Wasser. Folie 6

Das Wichtigste in Kürze:

- Wasserkraft ist eine bewährte Technik. Sie dient heute hauptsächlich der Stromerzeugung.
- Wasserkraft gilt zwar 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 ausgeschöpft.

Standpunkte

▶▶ Wasserkraft ist eine zuverlässige und grundlastfähige Energiequelle. Weltweit sind die Potenziale groß. Dabei sind auch neue Ideen gefragt, z. B. Wellenkraftwerke.

▶▶ Der Anteil der Wasserkraft in Deutschland zur Stromgewinnung liegt seit Jahrzehnten bei 3-5%. Das lässt sich nicht mehr nennenswert steigern.

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 Aufstieg der Windkraft zu einem wichtigen Standbein der Stromerzeugung
- die Potenziale der Windkraft und welche Standorte geeignet sind.

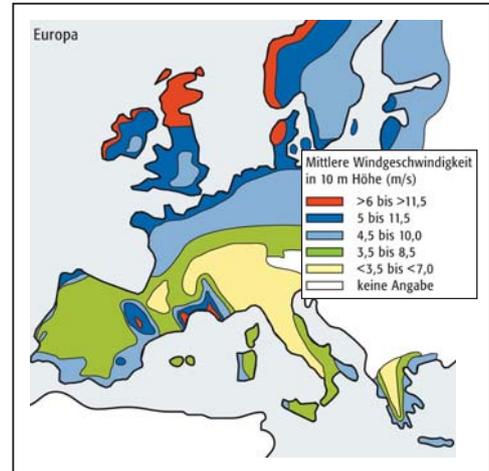


Erst seit Jahrtausenden genutzt, dann fast vergessen und heute zunehmend gefragt: Windenergie.

Der Wind – das himmlische Kind.

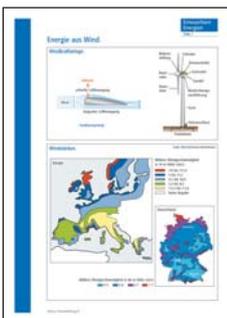
Die ersten Segel setzten wahrscheinlich die Ägypter um 3.000 v. Chr. auf ihren Nilbooten. Windräder entstanden vermutlich 1.000 v. Chr. im Orient und in Ägypten. Große Bedeutung erlangte die Windkraft ab dem Mittelalter mit der klassischen Windmühle. Aus den einfachen, mit Segeltuch bespannten Mühlen 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 wird die Windkraft übrigens für die Schifffahrt wieder interessant: Große, schirmartige Segel in Form eines Zugdrachens am Bug von Handelsschiffen können den Treibstoffverbrauch merklich senken.



Windstärken in Europa (Abb. 7.3): Die besten Standorte finden sich an der Küste und in den Mittelgebirgen.

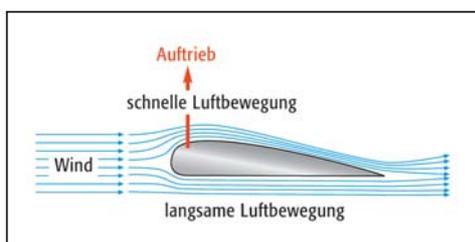
Windkraftanlagen mit vertikaler Achse wie z. B. **Darrieus-Rotoren** haben sich nicht durchgesetzt, trotzdem wird immer noch an Varianten geforscht. Auch die gängigen dreiflügeligen Konverter werden ständig optimiert, z. B. an den Rotorspitzen zur Geräuschminderung. Es gibt auch Überlegungen, die Türme statt aus Beton oder Metall aus Holz zu konstruieren.



Energie aus Wind. Folie 7

Vom Winde bewegt.

Die heute allgemein verbreiteten **dreiflügeligen Windkraftkonverter** arbeiten wie ein Flugzeugflügel nach dem **Auftriebsprinzip**. Ein Generator wandelt die **Drehbewegung des Rotors** dann in Strom um (Abb. 7.1 und 7.2). Dabei lässt sich inzwischen ein Wirkungsgrad von bis zu 50% erzielen (z. Vgl: Alte Windmühlen, die nach dem Widerstandsprinzip funktionieren, nutzen lediglich 12% der Windenergie.). Der Trend geht zu immer größeren und höheren Konvertern. Heute werden schon Windkraftanlagen mit mehr als 60 m langen Flügeln und Nabenhöhen von 150 m Höhe gebaut – so hoch wie der Kölner Dom.



Prinzip einer Windkraftanlage (Abb. 7.1): Auftrieb wie beim Flugzeugflügel.

Eine schwache Brise reicht ...

Ideale Windstandorte an Land (**onshore**) 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 (Abb. 7.3). Ab 3 m/s können nennenswerte Energiemengen in das Stromnetz eingespeist werden. Bei sehr starkem Wind muss die Anlage allerdings abgeschaltet werden. Da der Wind in Bodennähe gebremst wird und hierbei auch Verwirbelungen entstehen, werden die Rotoren möglichst hoch installiert. Damit können auch Standorte weit im Binnenland genutzt werden. Ab 170 m Nabenhöhe sind aber technische Grenzen erreicht. Schon Transport und Aufbau solcher Giganten sind eine Herausforderung. Bei **Offshore-Anlagen** sind die Investitionskosten höher – die Gründung im Meeresboden und die Verkabelung sind aufwändig, die aggressive Salzlufte fordert die Maschinenteile – dafür ist die Energieausbeute um bis zu 40% höher als an Land. Bei Wasser-

tiefen bis ca. 50 m dominieren am Meeresboden montierte Tragkonstruktionen, bei größeren Wassertiefen schwimmende Konstruktionen.

Die durchschnittliche Leistung neuer Windkraftanlagen in Deutschland liegt inzwischen bei über 2 MW onshore und bei 3 bis 6 MW offshore. Eine Windkraftanlage an Land hat sich nach ca. 7-9 Monaten energetisch amortisiert.

Vorteile:

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

Nachteile:

- Energieausbeute stark schwankend, nicht grundlastfähig
- Geräuschentwicklung
- ästhetische Aspekte („Verspargelung“ der Landschaft)
- Einflüsse auf die Tierwelt (Kollisionen mit Vögeln, Fledermäusen).

Windkraft gilt unter den erneuerbaren Energien als **am wenigsten flächenintensiv**. Die tatsächliche Flächenversiegelung durch die Fundamente ist gering. Zwar sind Abstandsflächen zwischen den einzelnen Konvertern nötig, diese können aber problemlos landwirtschaftlich genutzt werden. Die immer höheren Anlagen wirken sich allerdings stark auf das **Landschaftsbild** aus und sind damit auch aus weiter Entfernung **optisch dominant**. Hier gehen die Meinungen sehr auseinander. Ebenfalls in der Diskussion ist **Infraschall** und der Vorwurf, Windkraftanlagen könnten dadurch die Gesundheit von Mensch und Tier schädigen. Bislang liegen dafür keine wissenschaftlich einwandfreie Nachweise vor. Unter Infraschall versteht man vom Menschen kaum hörbare Luftschwingungen, die sich aber weit ausbreiten.

Gegenstand aktueller Untersuchungen sind auch die möglichen Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Tiere wie Vögel und Fledermäuse. Die Blattspitzen der Windräder erreichen immerhin Geschwindigkeiten von über 200 km/h. Bei Offshore-Anlagen ergeben sich

Beeinträchtigungen zudem während des Baus. So können z. B. Schweinswale stark unter dem Baulärm leiden.

Im Aufwind.

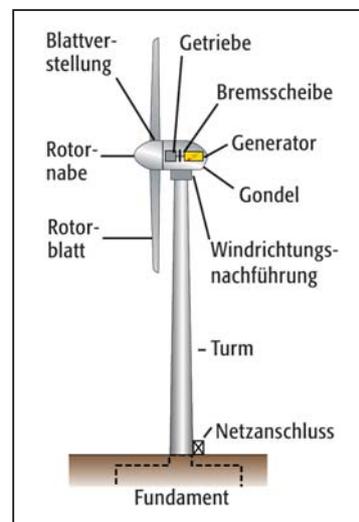
Die Windkraft hat sich in den vergangenen Jahren **rasant entwickelt**. Deutschland war lange Zeit Weltmeister bei der Errichtung von Windenergieanlagen und wurde erst 2008 von den USA abgelöst. Mit über 38 GW installierter Leistung (2014) liegt der Anteil an der deutschen Stromerzeugung bei ca. 9% (56 TWh). Windkraftanlagen „made in Germany“ sind weltweit gefragt und sichern hierzulande **zahlreiche Arbeitsplätze**.

Inzwischen kann Windkraft an Land auch ohne Subventionen mit fossilen Anlagen konkurrieren. An Land sind die Standorte jedoch aus ökonomischen und ökologischen Gründen begrenzt. Kontrovers diskutiert wird über Anlagen in Waldgebieten (Störungen beim Bau) und Abstände zu Siedlungen (Schattenwurf, Geräusche). Deshalb wird auch stark auf **Repowering** – also die Modernisierung – bestehender Anlagen gesetzt, denn die Anlagen werden immer leistungsfähiger. Ein Beispiel: Ein älterer Windpark mit 13 Anlagen (ca. 40 m Nabenhöhe, installierte Leistung 5,5 MW) erzeugt im Jahr ca. 14 GWh Strom. Der neue Windpark an gleicher Stelle kommt mit fünf Anlagen aus (ca. 120 m Nabenhöhe, installierte Leistung 15 MW) und erzeugt danach 48 GWh.

Windkraft wird als **Hauptträger** eines auf erneuerbaren Energien aufgebauten Energiesystems gesehen. Das UBA schätzt das Gesamtpotenzial 2050 auf ca. 1.000 TWh/a onshore und 180 TWh/a offshore. Dabei genügt es, sich auf die wirklich geeigneten und weitgehend unproblematischen Standorte zu konzentrieren, die aber sorgfältig ausgewählt werden müssen und z. B. Schutzgebiete und sensible Landschaftsräume ausnehmen. Inklusive eines vollständigen Repowering bestehender Anlagen schätzen Experten den Flächenbedarf auf ca. 1,5% der Fläche Deutschlands – inkl. der technisch nötigen Abstandsflächen.



Offshore-Anlage: Liegt die Zukunft der Windenergie in Deutschland an der Küste?



Aufbau einer Windkraftanlage (Abb. 7.2): Die größten Anlagen sind so hoch wie der Kölner Dom.

Standpunkte

Windkraft an Land ist schon jetzt vielfach konkurrenzfähig. Dank immer besserer Wettervorhersagen lassen sich Strombedarf und Stromverbrauch genauer aufeinander abstimmen.

Windkraft ist extremen Fluktuationen unterworfen. Schon jetzt müssen bei viel Wind Anlagen abgeregelt werden, bei Flaute müssen konventionelle Reservekraftwerke hochgefahren werden.

Das Wichtigste in Kürze:

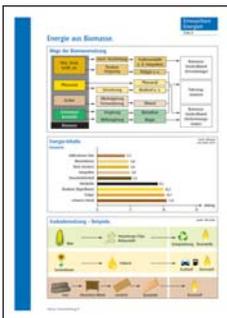
- Windkraft dient der Stromerzeugung. Sie wurde in den vergangenen Jahren kontinuierlich ausgebaut.
- Kritiker bemängeln eine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes und das schwankende Energiedargebot. Befürworter sehen in der Windenergie eine Hauptsäule der Energiewende.
- Potenziale für die Windkraft in Deutschland liegen v. a. vor den Küsten (offshore) sowie im Binnenland im Repowering bestehender Anlagen.

Energie aus Biomasse.

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

Dieses Kapitel zeigt

- verschiedene Wege, aus Biomasse Energie zu erzeugen
- Potenziale und Grenzen der Bioenergie.

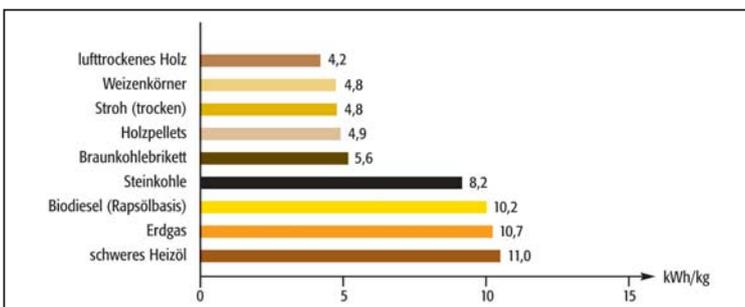


Energie aus Biomasse.
Folie 8



Flexibel einsetzbar: Biomasse kann zur Wärme-gewinnung, Stromproduktion oder Herstellung von Kraftstoffen verwendet werden.

Energieinhalte (Abb. 8.2): Die fossilen Energieträger sind kaum zu schlagen.



Mehr als nur Verheizen.

Biomasse umfasst das gesamte von Lebewesen aufgebaute Material einschließlich aller organischen Abfälle und Reststoffe. Sie ist der einzige erneuerbare Energieträger, der in **allen drei Anwendungsbereichen** (Wärme, Strom, Kraftstoffe) in **fester, flüssiger und gasförmiger Form** einsetzbar, gut lagerbar und damit speicherbar ist (**grundlastfähig**). **Bioenergie** gilt daher als das **Multitalent** unter den Erneuerbaren (Abb. 8.1).

Seit der Steinzeit bekannt ist die **direkte Verbrennung** von Holz zur Wärme-gewinnung. Heute werden dazu auch Holzreste (**Pellets, Hackschnitzel**), Stroh, Getreide oder **Energiepflanzen** (Chinaschilf) sowie schnellwachsende Hölzer aus so genannten **Kurzumtriebsplantagen** (Weiden, Pappeln) verwendet.

Für die **Stromerzeugung** wird Biomasse wie in einem konventionellen Dampfkraftwerk als Brennstoff eingesetzt (Biomassekraftwerk). Bei zusätzlicher Nutzung der Wärmeenergie in einem Nah- oder Fernwärmenetz spricht man von einem Biomasseheizkraftwerk und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK).

Flüssige Bio-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**).

Gasförmige Kraftstoffe entstehen unter Luftabschluss durch **Vergärung** von Biomasse. Das

Biogas genannte Gemisch mit den Hauptbestandteilen Methan und CO₂ kann wie Gas aus Kläranlagen und Deponien in Blockheizkraftwerken genutzt werden. Aufbereitet und gereinigt entsteht **Biomethan**, das sich in das Erdgasnetz einspeisen oder als Kraftstoff an Erdgas-tankstellen einsetzen lässt. Biomethan kann auch aus Rest- und Abfallstoffen erzeugt werden. Durch Vergasung und eine anschließende Verflüssigung kann auch ein synthetischer Flüssigkraftstoff (**BTL-Kraftstoff = Biomass to Liquid**) gewonnen werden.

Vorteile:

- CO₂-neutral: Die Menge an CO₂, die durch die Verbrennung der Biomasse freigesetzt wird, wurde vorher für deren Aufbau gebunden
- jederzeit und bedarfsgerecht einsetzbar; lagerfähig, grundlastfähig, „Multitalent“
- Stärkung ländlicher Regionen, Nutzung regionaler Stoffkreisläufe.

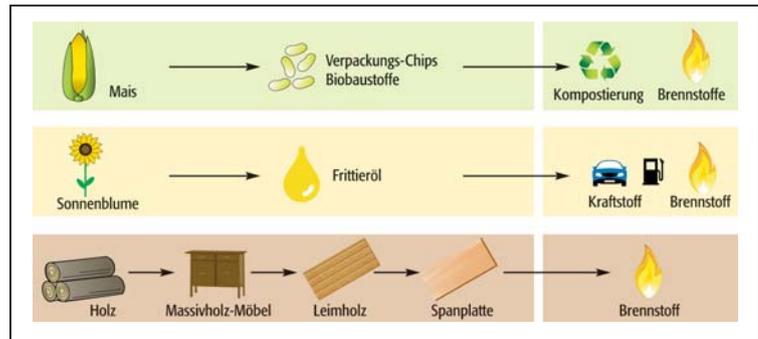
Nachteile:

- Energie- und Klimabilanzen nicht immer optimal
- ökologische Belastungen beim Anbau von Energiepflanzen
- Emissionen beim Verbrennungsvorgang (Feinstäube u. a.)
- flächenintensiv, Konkurrenz zu anderen Flächenansprüchen.

Biomasse gilt als der **flächenintensivste erneuerbare Energieträger**. Sie konkurriert dadurch direkt mit der Erzeugung von Nahrungsmitteln und Rohstoffen sowie mit Anforderungen für den Natur- und Artenschutz. Auch die **Klimabilanzen** stehen in der Diskussion. So liegen die Energiegehalte hinter denen der fossilen Energieträger zurück (Abb. 8.2). Berücksichtigt man alle vom Anbau der Energiepflanzen bis zur Nutzung entstehenden Emissionen, können im ungünstigen Fall (z. B. bei langen Transportwegen) auch mehr klimawirksame Treibhausgase entstehen, als durch den Ersatz der fossilen Energieträger vermieden werden.

Aktuell deckt die Bioenergie ca. 20% des globalen Energieverbrauchs, in ärmeren Ländern sogar zu 80% – überwiegend durch traditionelle und wenig effiziente Verfahren

(Brennholz, Dung etc.). In Deutschland trug Bioenergie 2014 innerhalb der erneuerbaren Energieträger zur Bereitstellung von Wärme zu 87%, von Strom zu 30% und von Kraftstoffen zu 91% bei. Aktuell ist Biomasse damit **der Hauptträger der Energiewende** in Deutschland.



Teller oder Tank?

Gegenwärtig werden in Deutschland ca. 16.000 km² (= 9,5% der landwirtschaftlich genutzten Fläche) für Bioenergie genutzt. Verschiedene Rechnungen gehen von einem Potenzial bis max. 40.000 km² aus. Aber: Bereits heute sind in Europa 50% der für eine Selbstversorgung mit Nahrungs- und Futtermitteln benötigten Flächen in andere Kontinente „ausgelagert“ – oft in Entwicklungs- und Schwellenländer. Ob eine verstärkte Nutzung der Bioenergie vor diesem Hintergrund und angesichts einer weiter zunehmenden Weltbevölkerung verantwortbar ist, wird kontrovers diskutiert.

Zudem ist der Anbau von Energiepflanzen **nicht per se umweltfreundlich**, z. B. kann er eine intensive Nutzung mit hohem Dünger- und Pestizideinsatz nach sich ziehen. Aktuell wird in Deutschland vielerorts Grünland durch Maisanbau für die Biogasgewinnung verdrängt – verbunden mit entsprechenden Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Artenvielfalt. Um dem entgegenzuwirken, versucht man verstärkt, **Reststoffe** wie Stroh, Erträge extensiv genutzter Flächen oder Schnittgut aus der Landschaftspflege zu verwenden. Die Potenziale sind aber auch hier begrenzt, außerdem fehlen dem Naturhaushalt dann wichtige **Grundstoffe für die Humusneubildung**. Gleiches gilt für Holz, seit alters her ein klassischer Energieträger. Er erfährt gegenwärtig eine Renaissance, was zunächst ökonomische Vorteile für die Waldeigentümer bringt, weil auch minderwertige Holzsortimente Absatz finden. Aber auch der Wald ist nur in bestimmten Grenzen belastbar. Eine weitere Option ist die **Kaskadennutzung** von Biomasse, bei der nutzbare Nebenprodukte zur stofflichen Verwertung entstehen und die

Das Wichtigste in Kürze:

- Biomasse gilt als das Multitalent unter den Erneuerbaren: in fester Form für Heizungen und Kraftwerke, als Biogas ähnlich wie Erdgas oder in flüssiger Form als Treibstoff.
- Die Nutzung von Biomasse ist CO₂-neutral, intensive Anbaumethoden und lange Transportwege können die Klimabilanz allerdings negativ beeinflussen.
- Bioenergie steht in direkter Konkurrenz zu anderen Flächenansprüchen wie für Nahrungsmittelproduktion, stoffliche Verwertung oder Naturschutz. Eine Ausweitung ist daher umstritten.

thermische Nutzung erst am Schluss der Kette steht (Abb. 8.3).

i Bioenergie verdrängt Natur?

Damit der Energiepflanzenanbau nicht ökologisch wertvolle Gebiete zerstört – z. B. Regenwälder durch Palmölplantagen – hat die EU für den Bereich Bioenergie konkrete **Nachhaltigkeitskriterien** festgelegt. Das Problem: Diese gelten allerdings nicht für den Anbau von Nahrungsmitteln. So kommt es zu **indirekten Verdrängungseffekten**: Der Anbau von Energiepflanzen verdrängt den Nahrungsmittelanbau von Ackerflächen. Dieser weicht dann auf bisher nicht oder nur extensiv genutzte Flächen aus.

Wie grün ist die Zukunft?

An der Bioenergie scheiden sich die Geister. Einerseits wird sie für **unverzichtbar** gehalten, da sie speicherbar und universell einsetzbar ist und damit bei der Stromerzeugung das fluktuierende Dargebot bei Wind und Sonne ausgleichen könnte. Im Wärmebereich und v. a. bei den Kraftstoffen scheint es bei den Erneuerbaren kaum Alternativen zu geben. Andererseits spielt Biomasse bei den Zukunftsprognosen des UBA oder des SRU aber wegen der oben genannten Nachteile nur eine untergeordnete, allenfalls lokale Rolle. **Vorrang** hat für das UBA neben der Nahrungsmittelproduktion die **stoffliche Nutzung**, um auch in der Rohstoffversorgung zunehmend nachhaltig agieren zu können. Die energetische Rolle der Biomasse lässt sich ersetzen, die stoffliche nicht.

Kaskadennutzung (Abb. 8.3): Die thermische Verwertung kommt erst am Schluss der Kette.



Von Experten empfohlen: Die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung z. B. aus Holzchips und Stroh.



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

✉ Standpunkt

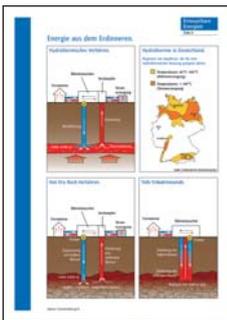
- ▶◀ Bioenergie braucht viel Fläche. Jedes Stück Land wird schon irgendwie genutzt. Die Gefahr des zunehmenden Imports aus Ländern mit geringeren Umweltstandards steigt.
- ▶◀ Potenziale sind da: 60% der deutschen Ackerfläche dienen der Futtermittelproduktion. Schon ein reduzierter Fleischkonsum – ohnehin aus gesundheitlichen Gründen empfohlen – könnte hier Flächen freimachen.

Energie aus der Tiefe.

Je tiefer man in die Erdkruste eindringt, desto wärmer wird es. Quelle ist das mehrere 1.000 °C heiße Erdinnere. Aber auch die in den oberen Bodenschichten gespeicherte Sonnenenergie lässt sich nutzen.

Dieses Kapitel erläutert Ihnen

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



Energie aus dem Erdinneren.
Folie 9



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

Heiße Luft aus heißem Wasser.

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. Prinzipiell steigt aus dem Erdinneren täglich die 2,5-fache Energiemenge auf, die weltweit verbraucht wird.

Geothermie wird in zwei Formen unterschieden: Bei der **oberflächennahen Geothermie** oberhalb 400 m nutzen z. B. Wärmepumpen die im Boden oder Grundwasser gespeicherte (Sonnen-) Wärme. Die **Tiefengeothermie** aus tiefliegenden Erdschichten unter 400 m wird vom Erdinneren aus versorgt, dabei nimmt die Temperatur im Durchschnitt alle 100 Meter um 3 °C zu, in „begünstigten“ Gegenden, z. B. in Vulkangebieten, um bis zu 20 °C. Innerhalb der Tiefengeothermie spricht man von **Hydrothermie** (Gebiete mit heißem Tiefenwasser, Abb. 9.1) und **Petrothermie** (mit warmen Gesteinsformationen im Untergrund).

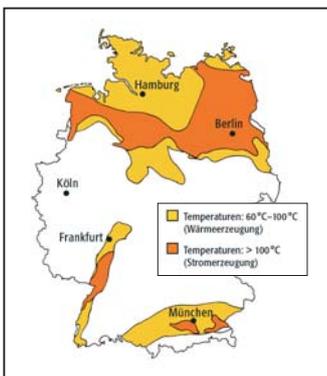
Hydrothermale Systeme nutzen heißes Wasser, das sie über eine Bohrung aus **Thermalwasser**-Vorkommen im Untergrund fördern. Mittels

einer zweiten Bohrung gelangt das abgekühlte Wasser wieder zurück in die Tiefe (Abb. 9.2). Beim **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 (Abb. 9.3).

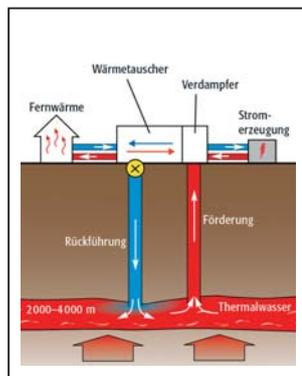
Tiefe Erdwärmesonden nutzen bereits vorhandene Tiefbohrungen, die z. B. bei der Suche nach Erdgas entstanden sind (Abb. 9.4). In einem Doppelrohr wird Wasser in einem geschlossenen Kreislauf bis zu 4 km tief in das Bohrloch hinabgeleitet und dabei erwärmt. Das geförderte heiße bzw. erhaltene Wasser gibt seine Wärme in einem **Wärmetauscher** an ein **Fernwärmenetz** oder an einen zweiten Kreislauf ab, über den Dampfturbinen 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.

Vorteile:

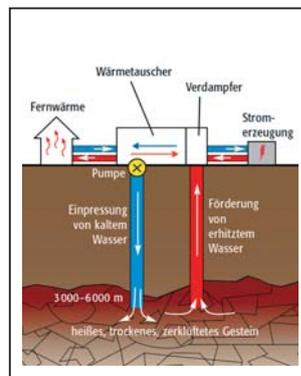
- saubere Energie, keine Emissionen
- ständig verfügbar, unabhängig von Wetter und Tageszeiten, grundlastfähig.



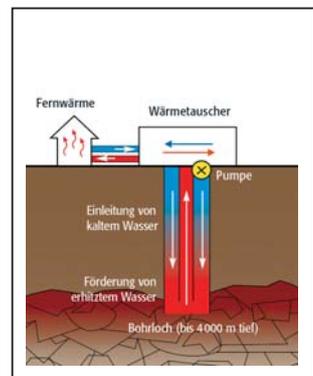
Hydrothermie in Deutschland (Abb. 9.1): Der Norden, der Oberrheingraben und das Alpenvorland bieten die besten Bedingungen.



Hydrothermie (Abb. 9.2): Thermalwasser als Energiequelle.



Hot-Dry-Rock-Verfahren (Abb. 9.3): Wasser wird in heiße Gesteinsschichten gepresst.



Tiefe Erdwärmesonden (Abb. 9.4): Wasser zirkuliert in einem Doppelrohr.

Nachteile:

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

Warme Quellen anzapfen.

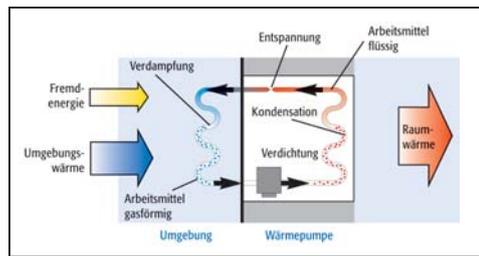
Ausbaufähig ist die Geothermie v. a. in den „begünstigten“ Gebieten. Auf Island werden schon heute ca. 90% der Heizenergie und knapp 20% des Stroms mit heißem Wasser erzeugt. In Deutschland sind bisher nur wenige Anlagen in Betrieb, das erste Kraftwerk entstand 2004 in Neustadt/Glewe in Mecklenburg-Vorpommern. Thermalwasservorkommen für die Gebäudeheizung und Warmwasseraufbereitung finden sich hierzulande meist in einer Tiefe zwischen 1.000 bis 2.500 m. Thermalwasser in ausreichender Menge und Temperatur für die Stromerzeugung gibt es erst ab 4.000 m Tiefe – z. B. im Oberrheingraben, im Voralpenland und in Norddeutschland (Abb. 9.4). Mit dem Hot-Dry-Rock-Verfahren in kristallinen Gesteinen, die es in Deutschland nahezu überall gibt, könnte die gesamte Grundlast des deutschen Stromverbrauchs gedeckt werden. Dies ist im Moment aber noch nicht wirtschaftlich, da die Bohrungen sehr tief und damit teuer sind. Das UBA schätzt das Potenzial im Jahr 2050 auf 50 TWh/a.

Temperaturunterschiede nutzen.

Wärmeenergie steckt in jeder Materie mit einer Temperatur über -273 °C , dem absoluten Nullpunkt. Diese Energie nutzen **Wärmepumpen**, indem sie die so genannte **Umwelt- oder Umgebungswärme**, die im Erdreich, der Luft und dem Grund- oder Meerwasser gespeichert ist, in Wärme umwandeln. Wärmepumpen arbeiten nach dem Prinzip von Kühlschränken: Über eine Flüssigkeit bzw. ein Gas, das in Röhren zirkuliert, wird einem Bereich Wärmeenergie entzogen (z. B. dem Erdreich oder dem Kühlschränkerinneren)

Das Wichtigste in Kürze:

- Geothermie nutzt die Energie im Erdinneren zur Erzeugung von Wärme und Strom. Man unterscheidet oberflächennahe Geothermie und Tiefengeothermie im Gestein unterhalb von 400 m.
- Tiefengeothermie nutzt entweder heißes Tiefenwasser (Hydrothermie) oder warme Gesteinsformationen (Petrothermie) im Untergrund. Bei beiden Verfahren sind teure Tiefbohrungen nötig.
- Bei der oberflächennahen Geothermie sammeln Wärmepumpen die in Boden und Wasser gespeicherte Sonnenenergie und führen sie z. B. einem Heizsystem zu. Auch der Luft lässt sich so Wärme entnehmen.

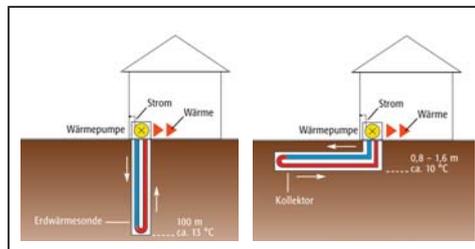


Funktion einer Wärmepumpe (Abb. 10.1): das Kühl- und Heizschrankprinzip, nur umgekehrt.

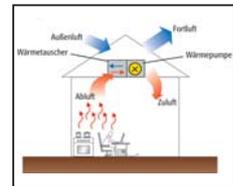
und einem anderen Bereich zugeführt (z. B. der Heizungsanlage eines Hauses oder beim Kühlschrank über die rückseitigen Rippen der Raumluft, Abb. 10.1). Wärmepumpen benötigen zum Betrieb **Fremdenergie** und arbeiten in der Regel mit einem Gas- oder Elektromotor.

Am häufigsten wird die Energie der **Umgebungs-luft** genutzt (Abb. 10.2). Sie ist immer und überall verfügbar, allerdings dann am kältesten, wenn am meisten Wärme benötigt wird. Energetisch günstiger ist die Nutzung des **Erdreichs** – allerdings auch teurer: Denn im Boden müssen horizontal **Kollektoren** oder **oberflächennahe Erdwärmesonden** verlegt werden (Abb. 10.3 u. 4). Erdwärmepumpen können den Wärmebedarf (Heizung, Warmwasser) eines Hauses zu 100% decken.

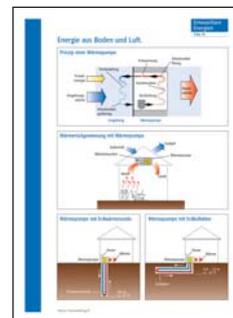
Entscheidend für die Effizienz einer Wärmepumpe ist die so genannte **Jahresarbeitszahl**, die das Verhältnis zwischen eingesetzter Fremdenergie und gewonnener **Nutzenergie** kennzeichnet. Sie ist u. a. abhängig von der Anlagengröße, der Art der genutzten Außenwärmequelle (Erdreich, Außenluft) und des Heizsystems.



Eine elektrisch betriebene Wärmepumpe mit einer Arbeitszahl von 3 erzeugt z. B. mit 1 kWh Strom 3 kWh nutzbare Wärme. Da bei Erzeugung und Transport von Strom immer Verluste entstehen, sollte die Arbeitszahl höher als 3 liegen. Optimale Bilanzen lassen sich dann erreichen, wenn die Stromversorgung auf regenerativen Energien beruht.



Wärmerückgewinnung mit Wärmepumpe (Abb. 10.2): Mit der Energie der Abluft wird die Frischluft erwärmt.



Energie aus Boden und Luft. Folie 10

Wärmepumpe mit Erdwärmesonde/Erdkollektor (Abb. 10.3/4): In 1 bis 2 m Tiefe sinken auch im Winter die Temperaturen nicht unter 5 °C .

Standpunkte

▶ Geothermie in Deutschland hat ein großes Potenzial. Petrothermische Geothermie ist nahezu überall in entsprechender Tiefe nutzbar.

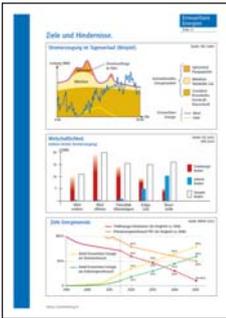
▶ Tiefbohrungen sind teuer und auch nicht unumstritten. Bis Energie aus Geothermie großmaßstäblich genutzt werden kann, wird noch viel Zeit vergehen.

Regenerativ in die Zukunft?

Unsere Energieversorgung mit Kohle, Öl, Gas und Kernkraft ist über Jahrzehnte eingespielt und aufeinander abgestimmt. Nun kommen neue Spieler dazu ... und nicht alles passt zusammen.

Dieses Kapitel verdeutlicht

- die Herausforderungen, denen sich erneuerbare Energieträger stellen müssen
- welche Hindernisse zu überwinden sind
- welche politische Unterstützung sie erfahren.



Ziele und Hindernisse.
Folie 11.

Vision oder Illusion?

Noch vor wenigen Jahren wurde die Zukunft der **erneuerbaren Energien** kontrovers diskutiert. Inzwischen haben sie das Nischendasein der vergangenen Jahrzehnte verlassen und sich etabliert, in einigen Ländern leisten sie bereits einen **bedeutenden Beitrag zur Energieversorgung**. In Deutschland sind sie bei der Stromerzeugung bereits die wichtigste Energiequelle. Und sie legen weiter zu, in vielen Teilen der Welt.

Dabei herrschen unterschiedlichste gesellschaftliche, finanzielle und politische Rahmenbedingungen sowie verschiedenste geografische und klimatische Voraussetzungen. In Deutschland wird das aktuelle wie auch das zukünftige Energiesystem vor allem daran gemessen, ob und wie es die Faktoren des so genannten **Energiedreiecks** berücksichtigt:

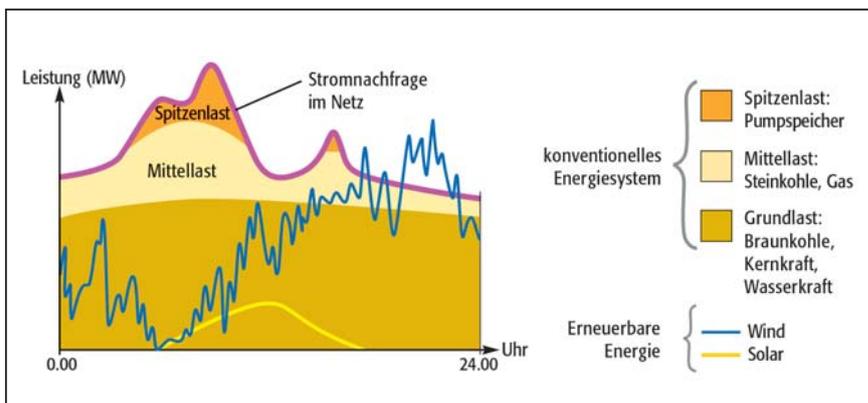
- **Versorgungssicherheit** bedeutet eine kontinuierliche und ausreichende Energieversorgung
- **Wirtschaftlichkeit** meint, dass die Energieversorgung für Staat, Wirtschaft und Privatpersonen nicht zu teuer wird
- **Umweltverträglichkeit** betrachtet die Umweltauswirkungen sowohl im Inland wie auch in den Produktionsländern der verschiedenen Energieträger.

Versorgungssicherheit.

Im **Strombereich** scheinen die erneuerbaren Energien derzeit die besten Chancen zu haben, fossile Energieträger schnell und umfassend zu ersetzen. Das Wachstum war hier in den letzten Jahren oft höher und schneller als prognostiziert. Über entsprechend ausreichende Potenziale verfügen in erster Linie **Windkraft** und **Fotovoltaik**. Allerdings weisen gerade diese Energiequellen **hohe Fluktuationen** mit starken jahreszeitlichen sowie Tagesschwankungen auf und liefern mal



Kontinuierlich Strom: Braunkohlekraftwerke decken bislang die Grundlast bei der Stromversorgung.



Stromerzeugung (Abb. 11.1): Bei Wind und Sonne passen Angebot und Nachfrage oft nicht zusammen – eine Herausforderung für das etablierte Energiesystem.

zu viel, mal zu wenig Strom. Angebot und Bedarf passen deshalb oft nicht zusammen. Damit lassen sie sich nicht so leicht in das bisherige System unserer Stromerzeugung mit Grund-, Mittel- und Spitzenlastkraftwerken integrieren (Abb. 11.1).

Der **Wärmebereich** ist derzeit noch stark von fossilen Energieträgern dominiert. Als Alternativen bieten sich **Wärmepumpen** sowie **Brauchwassererwärmung** und **Heizungsunterstützung auf solarer Basis** an, ebenso Nah- und Fernwärmenetze mit **Kraft-Wärme-Kopplung** auf Biomassebasis. Einem starken Ausbau der Bioenergie sind, wie auf S. 20ff dargelegt, allerdings Grenzen gesetzt.

Am schwersten haben es die Erneuerbaren bei den **Kraftstoffen**. Weltweit ist der **Verkehrssektor** 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.

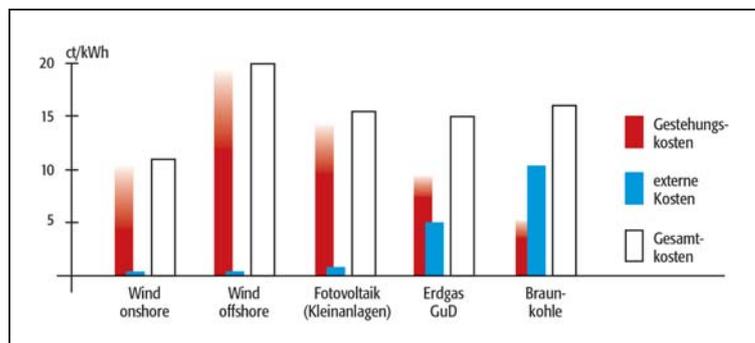


Insgesamt wird es darauf ankommen, die Bereiche Strom, Wärme und Kraftstoffe viel stärker **miteinander zu verzahnen**. Eine verlässliche Energieversorgung auf Basis regenerativer Energien wird nach Ansicht der meisten Experten eine **strombasierte Versorgung** sein – mit Wind und Sonne als Hauptträger.

Wirtschaftlichkeit.

Als „Hemmschuh“ bei der Einführung der erneuerbaren Energien wurde bislang oft auf die Kosten verwiesen. Die Energieerzeugung aus Kohle, Öl, Gas oder Uran war lange Zeit die billigste Lösung. Zukünftig ist aber mit **steigenden Preisen** zu rechnen (> S. 6ff). Gerade im Strombereich ist zudem mit zusätzlichen Kosten aus **Emissionshandel**, der Berücksichtigung von Klimafolgeschäden sowie ggf. CO₂-Abscheidung und -lagerung zu rechnen. In der Kostendiskussion wird häufig übersehen, dass sich **externe Kosten** für Umweltschäden etwa bei Abbau, Transport und Lagerung meist nicht in den Preisen der fossilen Energieträger wiederfinden, sondern i. d. R. von **der Allgemeinheit getragen** werden (Abb. 11.2).

Kritiker bemängeln dagegen, dass erneuerbare Energien lange Zeit **subventioniert** wurden und werden, Hauptgrund der Kritik ist häufig das **Erneuerbare-Energien-Gesetz** (EEG). Ohne das EEG wäre die Entwicklung der vergangenen Jahre bei den erneuerbaren Energien aber nicht möglich gewesen. Außerdem wird es hier auch in Zukunft weitere Korrekturen und Anpas-



Kosten der Stromerzeugung (Abb. 11.2): In den Energiepreisen sind externe Kosten z. B. für die Beseitigung von Umweltschäden meist nicht eingerechnet.

sungen geben. Aber: Auch die fossilen Energien wurden und werden subventioniert. Die IEA bemerkt dazu in ihrem Weltenergie-Ausblick 2014, dass fossile Energieträger 2013 weltweit mit 500 Mrd. US-Dollar subventioniert wurden – das sei das 4-Fache der Subventionen, die für erneuerbare Energien zur Verfügung standen. Laut Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) wurden die regenerativen Energien in Deutschland von 1970 bis 2012 mit 54 Mrd. Euro gefördert, die Steinkohle dagegen mit 177 Mrd., die Kernenergie mit 187 Mrd. und selbst die Braunkohle mit 65 Mrd. Euro. Die Windkraft z. B. ist inzwischen auch ohne Förderung **konkurrenzfähig**.

Umweltverträglichkeit.

Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargelegt, sind auch erneuerbare Energien mit Eingriffen in die Natur verbunden. Insgesamt gesehen schneiden sie aber wesentlich besser ab als ihre fossilen Konkurrenten oder die Kernkraft. Das gilt auch für den Flächenbedarf, der bei erneuerbaren Energien mit Ausnahme der Bioenergie mit dem Bau der Anlage abgeschlossen ist. Bei fossilen und Kernkraftwerken werden dagegen durch Rohstoffabbau und Förderung ständig neue Flächen in Anspruch genommen.



Seltene Erden

Unter „**Seltenen Erden**“ versteht man Metalle, die in der Erdkruste in so geringen Konzentrationen vorkommen, dass sich der Abbau weltweit nur an wenigen Stellen lohnt. Die Metalle, wie zum Beispiel Lanthan, Neodym oder Dysprosium, sind heute in nahezu allen „Hightech-Geräten“ enthalten – auch in der Technik zur Nutzung der erneuerbaren Energien (Generatoren, Solartechnik, ...).

Der Weltmarkt für Seltene Erden wird derzeit zu 90% von China dominiert, wo der Abbau zum Teil mit hohen Umweltbelastungen verbunden ist. Das Recycling Seltener Erden ist nur in begrenztem Umfang möglich.



Unberechenbar: Wind und Sonne liefern mal zu viel – und mal zu wenig Energie.



Landschaftsprägend: Über 100 Meter hohe Windkraftanlagen lassen sich nicht einfach „verstecken“.



Aus den Augen, aus dem Sinn: Umweltschäden bei der Förderung fossiler Energieträger sind oft in andere Länder „ausgelagert“.

Aller Anfang ist schwer.

Der Umbau der Energieversorgung stellt die jeweiligen Länder vor **große Herausforderungen**. So erschweren **historisch gewachsene Strukturen** die Nutzung der erneuerbaren Energien – z. B. beim Strom. Diese Strukturen sind weltweit darauf ausgelegt, Energie **zentral in leistungsstarken Kraftwerken** aus meist fossilen Energieträgern sowie Uran herzustellen und über entsprechende Leitungsnetze an die Verbraucher zu verteilen. Die fluktuierende Wind- und Sonnenenergie lässt sich, wie erwähnt, nicht so einfach in dieses System einpassen.

In der Vergangenheit wurden die großen Kraftwerke meist in der **Nähe der Verbrauchszentren** gebaut (z. B. in Deutschland im Ruhrgebiet). Bei den erneuerbaren Energien dagegen liegen Erzeugung und Verbrauch **geografisch oft weit auseinander**. So sind die Schwerpunkte der Windkraft in Küstennähe sehr weit von den Großverbrauchern im Süden und der Mitte Deutschlands entfernt.

Neben den Strukturen ändern sich mit den Energiequellen auch die **Besitzverhältnisse**. Im bisherigen System war die Energieerzeugung auf einen überschaubaren Kreis größerer Unternehmen konzentriert. Mit dem Umsteuern in Richtung der Erneuerbaren kommen nun zahlreiche neue „Player“ hinzu: Von neu gegründeten Unternehmen über Energie-Genossenschaften bis zu den zahlreichen Privatpersonen, die mit ihren Kleinanlagen zu „Energie-Unternehmern“ werden.

Das bisherige System mit einer **Konzentration der Energieerzeugung** – v. a. beim Strom – in zentralen Einheiten hatte den „Vorteil“, dass letztlich nur eine Minderheit der Bevölkerung „betroffen“ war – v. a. die direkten Anwohner des Kraftwerkes. Weil die meisten fossilen Energieträger – mit Ausnahme der Braunkohle – importiert werden, sind die **Unannehmlichkeiten und Risiken** der Förderung **in andere Länder ausgelagert** – getreu dem Motto „Aus den Augen, aus

dem Sinn!“. Bei erneuerbaren Energieträgern, die einmal aufgrund der geringeren Energiedichte viel **flächenintensiver** sind und durch die **dezentrale Verteilung** auch mehr wahrgenommen werden, ist das anders. Zwangsläufig kommt es zu entsprechenden Interessenkonflikten (Stichwort „Verspargelung“ und „Vermaisung“ der Landschaft > S. 18 bzw. 20).

Und die Politik?

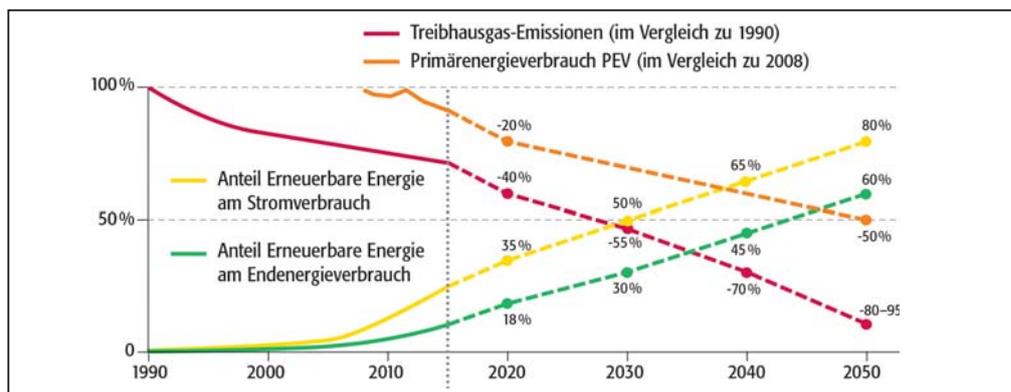
Ein entscheidender Faktor, ob erneuerbare Energien ausgebaut werden oder ein eher stiefmütterliches Dasein fristen, ist die Politik.



Dicke Luft: Energiegewinnung aus Kohle führt zu immer höheren Belastungen durch Smog – wie hier in Peking.

Weltweit gesehen gibt es zwar einen **Konsens** – nicht zuletzt im Zuge der Klimaverhandlungen –, **erneuerbare Energien zu fördern**, die **Umsetzung läuft aber oft sehr schleppend**. Das ist selbst in

Ziele der Energiewende (Abb. 11.3): Verbrauch und Emissionen runter, Erneuerbare Energien rauf.





Staaten der Fall, die wie die USA oder Australien über große, dünn besiedelte, sonnenreiche Gebiete und damit ideale Voraussetzungen z. B. für die Nutzung der Solarenergie verfügen.

In China führen die z. T. massiven Probleme durch Luftverschmutzung, die ganze Metropolregionen betreffen, zum Umdenken. Zwar bleibt China laut IEA bis auf Weiteres der Welt größter Produzent und Verbraucher von Kohle, gleichzeitig stellt kein anderes Land eine größere Stromerzeugungskapazität aus erneuerbaren Energien als China.

In den großen Förderländern der fossilen Brennstoffe, wie zum Beispiel Russland mit seinen großen Gasvorkommen oder die Erdölstaaten des Nahen Ostens, spielen die erneuerbaren Energien dagegen kaum eine Rolle.

Klimaschutz mit Energie.

Die im Rahmen der Klimaverhandlungen von der Weltgemeinschaft beschlossenen Vorgaben sind aber eindeutig. Um das gemeinsam vereinbarte 2 °C-Ziel zu halten, müssten die **Treibhausgasemissionen bis 2050 weltweit um 50% sinken**, in den Industrieländern sogar um 80–95%. Die **EU** hat 2008 ihre **Klimaschutzziele bis 2020** auf die eingängige Formel 20/20/20 gebracht: 20% weniger Emissionen im Vergleich zu 1990, 20% Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung, 20% mehr Effizienz. 2014 wurden die Ziele bis **2030** wie folgt erweitert: 40% weniger Emissionen, 27% Anteil erneuerbarer Energien.

Das Wichtigste in Kürze:

- Ein Umbau der Energieversorgung hin zu einem System auf der Grundlage erneuerbarer Energien muss Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz gleichermaßen gewährleisten.
- Der Umbau stellt die einzelnen Staaten vor große Herausforderungen, da ein auf die Erneuerbaren ausgerichtetes Energiesystem andere Strukturen erfordert als das bestehende.
- In Deutschland ist der Umbau politisch gewollt. Mit der „Energiewende“ sind ambitionierte Ziele verbunden, deren Umsetzung international beobachtet wird. Um die vereinbarten Klimaschutzziele erreichen zu können, streben auch andere Länder sowie die EU den Umbau der Energieversorgung an.

Mit das ehrgeizigste Ziel hat sich neben Dänemark (100% erneuerbare Energieversorgung bis 2050) **Deutschland** gesetzt. Mit der **Energiewende** wurde nach dem Atomunfall in Fukushima nicht nur beschlossen, in einem festgelegten Zeitraum aus der Atomkraft auszusteigen, sondern das gesamte Energiesystem eines Industriestaates auf ein **nachhaltiges, umweltverträgliches System** umzustellen. Mehr dazu in den folgenden Kapiteln. Übrigens: Auch die Vereinbarungen des Klimagipfels von Paris Ende 2015 streben ein weltweites Ende der CO₂-Emissionen an – spätestens ab Mitte des Jahrhunderts.



Ziele der Energiewende (BMUB 2014):

- Rückgang der Emissionen bis 2020 um 40%, bis 2050 um 80–95%
- Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch: 18% bis 2020, 30% bis 2030, 60% bis 2050
- Anteil erneuerbarer Energien am Strom: 35% bis 2020, 50% bis 2030, 80% bis 2050
- mehr Effizienz, Verringerung des Primärenergieverbrauch im Vergleich zu 2008 bis 2020 um 20%, bis 2050 um 50%, Reduktion Wärmebedarf in Gebäuden bis 2050 um 60%
- Ausbau der Netze
- Elektromobilität > 1 Mio. Fahrzeuge bis 2020, 5 Mio. bis 2030

Ungenutztes Potenzial:
Bei der Nutzung der Solarenergie verfügen Staaten wie die USA oder Australien über bessere Voraussetzungen als etwa Mitteleuropa.

Standpunkte

▶◀ Eine Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energieträger ist mit vielen Unwägbarkeiten verbunden, kostet viel Geld und wird international von kaum einem anderen Land in dieser Form übernommen werden.

▶◀ Eine Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Quellen ist möglich. Wer jetzt zügig umstellt, hat später die Nase vorn. Und: Bei den Kosten für fossile Energien und Kernenergie sind viele Kosten nicht berücksichtigt, die heute die Allgemeinheit zu tragen hat.

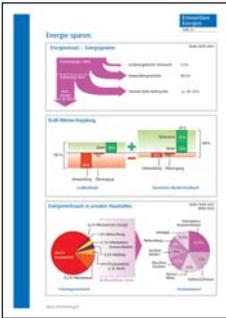
Energiesparen als Energiequelle.

Energiesparen wird vielfach als unsere wichtigste und am einfachsten anzupassende „Energiequelle“ genannt. Denn Energie, die nicht gebraucht wird, muss auch nicht erzeugt werden.

Dieses Kapitel stellt heraus,

- wie sich Energie effizienter nutzen lässt
- wo man Energie einsparen kann
- was das für die Energiewende bedeutet.

Weniger ist mehr.



Energie sparen. Folie 12.

In den Szenarien zur Energiewende in Deutschland, die einen hohen Anteil erneuerbarer Energien am zukünftigen Energiemix beschreiben, wird gleichzeitig von einem deutlich sparsamerem Umgang mit Energie ausgegangen. Denn jede Kilowattstunde, die nicht benötigt wird, muss auch nicht erzeugt werden. Und je mehr Energie eingespart werden kann, desto höher liegt auch der Anteil erneuerbarer Energien und desto geringer fallen die Kosten für den Umbau des Energiesystems aus.

Beim Energiesparen lassen sich zwei „Varianten“ unterscheiden: Zum einen kann der Verbrauch durch eine **Reduzierung der „Energiedienstleistung“**, durch **Suffizienz**, gesenkt werden – z. B. durch eine Verringerung der Raumtemperatur in geheizten Gebäuden, weniger Auto fahren, weniger Konsum oder eine verminderte industrielle Produktion. Zum anderen lässt sich der Energieverbrauch aber auch ohne größere Einschränkungen durch **Effizienz** 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 Produktion bleiben in diesem Fall gleich – nur der dazu nötige **Energieaufwand wird reduziert**. Effizienz und Suffizienz sind entscheidende Stellschrauben beim Umbau der Energieversorgung. Beide Maßnahmen lassen sich innerhalb der bestehenden Strukturen



Kellerkraftwerk: Strom und Wärme in einem.

vergleichsweise **schnell, unkompliziert** und oft sehr **kosteneffizient** umsetzen. Die Maßnahmen zur Effizienzverbesserung amortisieren sich vollständig oder zumindest teilweise. Die Kosten werden anschließend durch entsprechende Einsparungen beim Energieeinkauf wieder ausgeglichen.

Wo Energie verpufft.

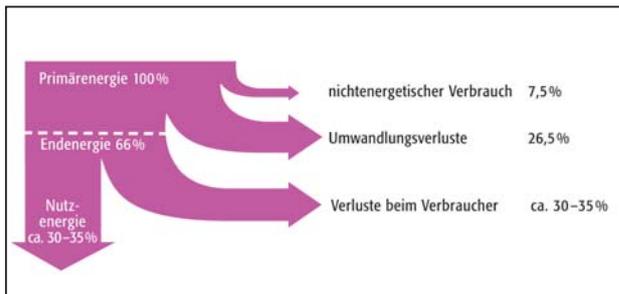
Die **Energieeffizienz** ist in vielen Bereichen verbesserbar. Z. B. geht bei der **Umwandlung von Primär- in Endenergie**, beim **Energietransport** und direkt beim Endverbraucher viel Energie „verloren“ (Abb. 12.1). Experten halten es für technisch möglich, aus jeder Kilowattstunde das 4- bis 5-Fache an Nutzen herauszuholen. Doch wo soll man den Hebel ansetzen? Ansätze dazu bieten sich in verschiedenen Bereichen:

Verbesserung der Wirkungsgrade

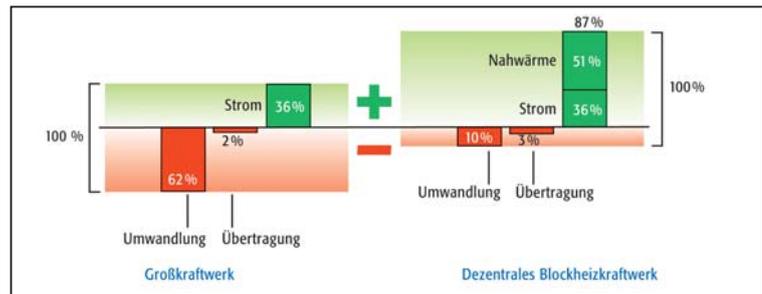
Höhere Wirkungsgrade bedeuten mehr nutzbare Energie bei gleichem Energieeinsatz. Auch bei der Nutzung regenerativer Energien wird kontinuierlich an einer Verbesserung der Wirkungsgrade gearbeitet.

Kraft-Wärme-Kopplung

Die deutschen Großkraftwerke haben 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)** werden beide Bereiche verbunden (Abb. 12.2). Am sinnvollsten ist die KWK bei konstantem Wärmebedarf, z. B. in der industriellen Produktion oder bei der Wärmeversorgung von Stadtteilen, Wohngebieten oder Einzelgebäuden. KWK-Anlagen sind deshalb häufig **wärmegeführt**, Strom wird zusätzlich erzeugt und in das Netz



Energieeinsatz – Energiegewinn (Abb. 12.1): Die Umwandlungsverluste sind immer noch zu hoch.



Kraft-Wärme-Kopplung (Abb. 12.2): gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme.

abgegeben. Sind sie **stromgeführt**, steht die Stromerzeugung im Vordergrund und die Abwärme ist das Nebenprodukt. KWK-Anlagen kommen in allen Größenordnungen zum Einsatz: vom Heizkraftwerk mit mehreren GW Leistung bis hin zu kleineren Anlagen mit wenigen kW („Kellerkraftwerke“). Besonders effektiv sind kleinere, dezentrale Anlagen, so genannte **Blockheizkraftwerke**. Sie stehen direkt am Ort des Verbrauchs, übertragen v. a. die Wärme ohne größere Verluste und erreichen Gesamtwirkungsgrade (Wärme und Strom) von bis zu 90%.

Verbesserte Energieübertragung

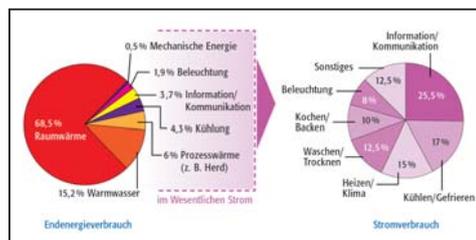
Bei der Energiewandlung und im Bereich des Energietransportes, v. a. über größere Strecken, geht immer noch viel wertvolle Energie verloren. Experten schätzen den Verlust im deutschen Stromnetz vom Kraftwerk bis zum Endverbraucher auf bis zu 5%. Deshalb wird an **Fernübertragungssystemen** gearbeitet, die Strom nahezu verlustfrei vom Kraftwerk zum Verbraucher bringen.

Wärmedämmung

Den mit Abstand größten Anteil am Energieverbrauch in Deutschland hat der Wärmebereich! 40% des Primärenergieverbrauchs hängen dabei direkt mit Gebäuden zusammen. In den privaten Haushalten machen Raumwärme und Warmwasserbereitstellung über 80% des Energieverbrauchs aus (Abb. 12.3). Eine gute **Wärmedämmung von Gebäuden**, am besten kombiniert mit modernen Heizungs- und Lüftungsanlagen, zählt deshalb zu den wichtigsten und effektivsten Möglichkeiten des Energiesparens. Das beinhaltet zum einen hohe Dämmstandards für Neubauten. Zum anderem liegt die eigentliche Herausforderung – allerdings auch ein riesiges Potenzial – in der **energetischen Bestandssanierung**. Denn über 95% der Gebäude in Deutschland wurden vor 2002 errichtet, ca. 75% sind älter als 25 Jahre.

Jeder ist gefordert.

Neben Staat, Unternehmen und Immobilienbesitzern ist beim Energiesparen aber jeder Einzelne gefordert. Allein durch den **bewussten Umgang mit**



Energie lassen sich ohne Komfortverlust bis zu 10% sparen. Einfache Hilfsmittel wie schaltbare Steckerleisten, moderne Leuchtmittel wie LEDs, Thermostatventile etc. erzielen mit geringem Aufwand nochmals bis zu 10%. Abb. 12.3 zeigt, wo in privaten Haushalten am meisten Strom verbraucht wird. Werden zusätzlich noch die großen „Energiefresser“ wie alte Kühlschränke ausgetauscht, kann die Stromrechnung eines durchschnittlichen Haushalts um bis zu 60% gesenkt werden.

Im Verkehrsbereich sind ebenfalls deutliche Einsparungen möglich, z. B. durch sparsamere Fahrzeuge, aber auch durch eine entsprechende Fahrweise. Ein beachtliches Sparpotenzial bergen unsere **Konsumgewohnheiten**, da sie einen großen Einfluss auf den **indirekten Energieverbrauch** haben. 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. Ein bewusster Konsum, z. B. der Kauf regional erzeugter oder langlebiger Produkte, trägt deshalb zum Energiesparen bei.

Gerade im privaten Bereich machen allerdings **Rebound-Effekte** oft bereits erzielte Einsparungen wieder zunichte. Beispiele: Neubauten werden energetisch optimiert, gleichzeitig steigt aber die Wohnfläche pro Einwohner und damit der Energieverbrauch. Neuwagen mit geringerem Verbrauch verleiten dazu, insgesamt mehr zu fahren – denn „man spart ja pro Kilometer“. Und mit Car-Sharing-Autos werden oft Wege zurückgelegt, für die vorher das Fahrrad oder der öffentliche Nahverkehr genutzt wurden.

Sparpotenziale (Abb. 12.3): Für die Raumwärme brauchen private Haushalte am meisten Energie.



Verlustfreie Übertragung: Der Stromtransport wird weiter optimiert.



Warm einpacken: In einer guten Dämmung schlummert ein großes Potenzial.



Einfach abschalten: Auch kleine Maßnahmen summieren sich.



Gewohnheiten überprüfen: Unser Konsum beeinflusst den Energieverbrauch.

Das Wichtigste in Kürze:

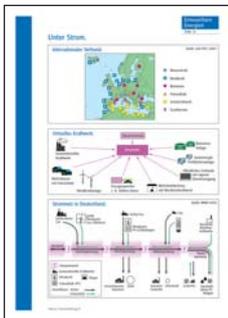
- Energie effizienter nutzen und Energie sparen sind „Energiequellen“ mit einem beträchtlichen Potenzial. Energie, die nicht benötigt wird, muss auch nicht erzeugt und bereitgestellt werden.
- Einsparpotenziale bestehen sowohl an der Quelle (Verbesserung des Wirkungsgrades, Kraft-Wärme-Kopplung etc.) als auch beim Verbraucher (Wärmedämmung, stromsparende Geräte etc.).
- Mit einfachen Maßnahmen kann jeder Einzelne einen Beitrag zum Energiesparen leisten.

Eine neue Energieversorgung.

Erneuerbare Energien stellen vieles auf den Kopf: Aus zentraler Erzeugung wird eine dezentrale, der Nutzer selbst wird zum Erzeuger, Stromverbraucher werden gleichzeitig Stromspeicher – eine echte Herausforderung.

Dieses Kapitel beleuchtet,

- wie in einem neuen Energiesystem viele Elemente ineinandergreifen
- wie sich verschiedene Energieträger an unterschiedlichen Orten vernetzen lassen
- welche Möglichkeiten der Energiespeicherung es gibt.



Unter Strom.
Folie 13



Rückenwind: In einem neuen Energiesystem wird Windkraft zu einem der Grundpfeiler.

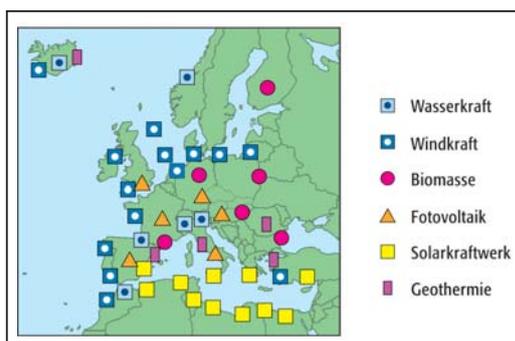
Internationaler Verbund (Abb. 13.1): Die Voraussetzungen für die verschiedenen regenerativen Energien sind in Europa unterschiedlich.

Unter Strom.

Neben einer deutlichen Senkung des Energieverbrauchs zählt ein höherer Anteil erneuerbarer Energien zu den Hauptzielen der deutschen Energiewende. Aktuell leistet die Bioenergie hier den größten Anteil. Als „Multitalent“ hat sie zahlreiche Vorteile, aus verschiedenen Gründen aber ein begrenztes Potenzial (> S. 20/21).

Nach Ansicht der meisten Experten bieten **Windkraft** und **Fotovoltaik** unter den derzeitigen technologischen Rahmenbedingungen die besten Voraussetzungen, den Anteil der Erneuerbaren an der Energieversorgung signifikant zu erhöhen. Da mit ihnen primär nur **Strom** erzeugt werden kann, kommt diesem in einem regenerativen Energiesystem eine **Schlüsselstellung** zu. Um die bestehenden und vor allem die zukünftigen Kapazitäten von Wind und Sonne möglichst optimal nutzen zu können, wird es darauf ankommen, die Anwendungsbereiche **Wärme** und **Kraftstoffe** mit dem **Stromsektor zu verknüpfen** bzw. mittels Strom Wärme sowie Brenn- und Kraftstoffe zu erzeugen.

Der Ausbau von Windkraft und Photovoltaik sowie die **Integration** des mit ihnen erzeugten Stroms in den Wärme- und Verkehrssektor werden erhebliche Auswirkungen auf das bestehende Versorgungssystem aus Grund-, Mittel- und Spitzenlastkraftwerken haben. Klassische Grundlastkraftwerke werden immer weniger



benötigt, wenn Wind und Sonne Vorrang haben und immer mehr Energie bereitstellen.

Allerdings weisen Sonne und Wind eine hohe Fluktuation auf. 2015 betrug das Verhältnis von fluktuierendem Wind- und Sonnenstrom zu steuerbarem Strom (aus fossilen und regenerativen Quellen) 1:1,7. In Zukunft ist hier mit einer deutlichen Verschiebung in Richtung „Fluktuation“ zu rechnen. Zwar ergänzen sich Wind und Sonne oft gut und auch die Wetterprognosen – und damit die Möglichkeiten, sich auf Schwankungen einzustellen – werden immer besser. Grundsätzlich wird es im neuen Stromsystem aber verstärkt Komponenten brauchen, die **flexibel** einspringen, wenn Wind und Sonne gerade wenig Strom liefern können (vgl. Abb. 11.1, S. 24).

Dezentral und doch ein Ganzes.

Ein neues strombasiertes Energiesystem wird aber auch alle Ansprüche erfüllen müssen, die für das bestehende gelten. Vor allem um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, dürften folgende Aspekte zukünftig an Bedeutung gewinnen:

- ein größerer **geografischer Verbund**
- **Flexibilität** auf der **Angebotsseite** durch Kraftwerke, die schnell bei Bedarf Strom bereitstellen können
- **Flexibilität** auf der **Nachfrageseite** durch Steuerung des Bedarfs (**Lastmanagement**)
- **Stromspeicherung**.

Hier sind derzeit eine Reihe von – z. T. auch gegensätzlichen – Ansätzen in der Diskussion:

Den Rahmen erweitern

Je mehr unterschiedliche erneuerbare Energien miteinander kombiniert werden, desto besser lassen sich Schwankungen ausgleichen. Viele Studien beziehen deshalb einen **europaweiten Verbund** in ihre Überlegungen ein, denn die Bedingungen für die Nutzung regenerativer

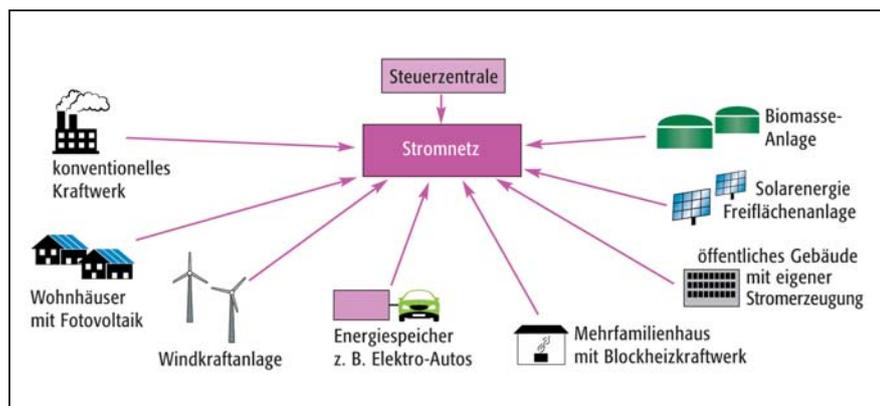
Energien sind in Europa sehr unterschiedlich verteilt. Sonnenenergie lässt sich in Südeuropa am effektivsten nutzen, Windenergie liefert an der Küste die besten Erträge und bei Wasserkraft haben Bergländer wie Norwegen oder Österreich große Potenziale. Je größer das Gebiet, in dem die erneuerbaren Energien kombiniert und genutzt werden, desto sicherer die Versorgung. Denn irgendwo in Europa wird genug Wind wehen oder die Sonne scheinen, wenn z. B. in Mitteleuropa gerade Flaute herrscht und der Himmel bedeckt ist (Abb. 13.1). Andere Konzepte greifen sogar über die Grenzen Europas hinaus und beziehen die Wüstengebiete Nordafrikas mit ein.

Ein wichtiger Aspekt einer europaweiten „Energie“-Arbeitsteilung sind die **Energieverteilung** und der **Energietransport**. Denn je großräumiger der Zusammenschluss der Energieerzeuger, desto größer werden die Strecken, über die der erneuerbare Strom transportiert werden muss. Ein entsprechender **Ausbau der Übertragungsnetze**, vor allem der Hochspannungsnetze, wird deshalb als zentraler Bestandteil der Energiewende gesehen – unabhängig davon, ob man Deutschland alleine oder ganz Europa betrachtet.

Sinnvoll kombinieren

Als Alternative oder Ergänzung zu einem großräumigen Verbund mit entsprechendem Ausbau der Leitungsnetze wird eine stärkere **dezentrale Energieerzeugung** diskutiert. Dabei sind viele Anlagen unterschiedlicher Größe nahezu flächendeckend über das Land verstreut und der **Verbraucher** wird dabei oft **selbst zum Erzeuger**. Dazu gibt es bereits zahlreiche Beispiele, bei denen vor allem Kommunen im ländlichen Raum weitgehend energieautark sind. Über Betreibergemeinschaften, Bürgerkraftwerke und kommunale Stadtwerke betreiben sie die Energiewende „von unten“. Z. B. nutzen Biomassekraftwerke Material **aus der Region** (Gülle und feuchte Biomasse in Biogasanlagen; feste, trockene in Verfeuerungsanlagen), erzeugen Strom oder versorgen über ein Nahwärmenetz die umliegenden Anwohner mit Wärme. Aber auch jeder einzelne Haushalt kann zum Erzeuger werden. Z. B. lassen sich in Klein- und Kleinstkraftwerken aus Biomasse, Biomethan oder auch vergleichsweise „saubere“ Erdgas als Übergangsoption Wärme und Strom erzeugen.

Eine große Herausforderung bei der Umsetzung dieser dezentralen Konzepte ist, die zahlreichen Energieerzeuger untereinander zu koordinieren bzw. entsprechend flexibel zu- und abzuschalten.



Virtuelles Kraftwerk (Abb. 13.2): Über eine zentrale Steuerung werden die einzelnen Energieerzeuger je nach Bedarf zu- und abgeschaltet.

Wird dies von einem **übergeordneten Steuerzentrum** geregelt, spricht man von einem **virtuellen** oder **Kombikraftwerk** (Abb. 13.2).

i Schnell und flexibel

Großkraftwerke haben lange Anlaufzeiten, um auf Bedarfsspitzen zu reagieren. Bei einem Kohlekraftwerk z. B. funktioniert das am besten im laufenden Betrieb, das komplette Hochfahren von „0 auf 100“ benötigt dagegen bis zu sechs Stunden mit entsprechend hohen Emissionen eines „Kaltstartes“. Kleinstkraftwerke machen das quasi aus dem Stand.

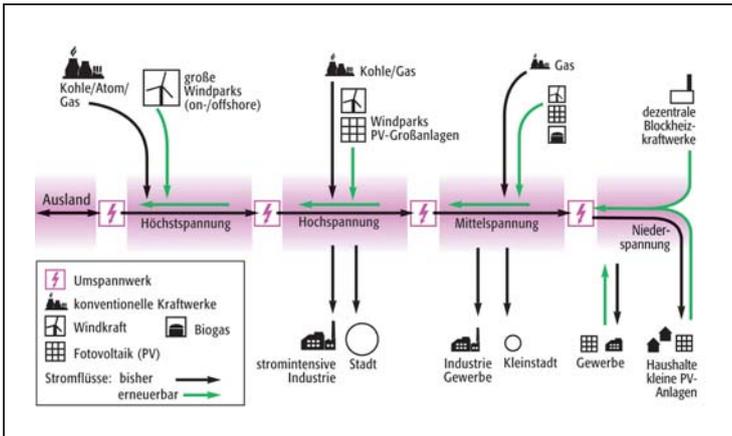
Bedarf und Angebot anpassen

Ein weiterer wichtiger Baustein eines neuen Energiesystems ist das so genannte **intelligente Stromnetz**. Es setzt durch gezieltes **Lastmanagement** direkt beim Verbraucher an und passt dessen Verbrauch dem jeweiligen Angebot der erneuerbaren Energien an. Solche „intelligenten Netze“ (Smart Grids) sind derzeit noch in der Versuchsphase. Dabei werden bestimmte Nutzer vom Netz genommen, wenn wenig Strom vorhanden ist. Denkbar ist z. B., große Kühllhäuser bei geringem Stromangebot kurzzeitig abzuschalten und bei einem Überangebot wieder laufen zu lassen. Weitergedacht könnte das Prinzip auch auf eine Kühltruhe im Keller eines Privathauses übertragen werden – oder auf industrielle Anlagen, Wärmepumpen oder Elektrofahrzeuge. Wichtig ist, den Verbrauchern über ein entsprechendes **Förder- und Preissystem** Anreize zu bieten und sie dafür zu entlohnen, wenn ihre Geräte in bedarfsstarken Zeiten abgeschaltet werden.

Grundsätzlich ließe sich so die Differenz zwischen Angebot und Nachfrage ausgleichen, die bei erneuerbaren Energien zwangsläufig durch das natürliche Dargebot bestimmt wird.



Energiewende von „unten“: Besonders im ländlichen Raum wirken viele kleine dezentrale Anlagen an der Energiewende mit.



Stromnetz in Deutschland (Abb. 13.3): Strom fließt in beide Richtungen. Der Verbraucher wird auch zum Erzeuger.



Hochspannung: Unser Stromnetz steht vor großen Herausforderungen.

Optimal vernetzt.

Eine der größten Herausforderungen der Energiewende ist also, aus vielen verschiedenen Einheiten ein großes Ganzes zu machen. Besonders bei der Stromerzeugung besteht sonst die Gefahr von Über- und Unterkapazitäten.

Die Deutsche Energieagentur (DENA) hält die **Optimierung der großen Stromtrassen (Hochspannungsnetz)** deshalb für absolut notwendig. Aber auch das **Nieder- und Mittelspannungsnetz** erfordert zunehmende Beachtung und Modernisierung. Es war bislang darauf ausgelegt, Strom von den Kraftwerken zum Verbraucher zu leiten. Heute geht es auch in die andere Richtung, wenn der Verbraucher mehr und mehr selbst zum Erzeuger wird (Abb. 13.3).

Optimale Vernetzung bedeutet aber auch die bereits genannte stärkere **Kopplung** zwischen den Bereichen Strom, Wärme und Kraftstoffen. Ein Beispiel: Noch ist der Verkehrssektor fast ausschließlich auf Kraftstoffe fixiert, die sich durch erneuerbare Alternativen nur schwer ersetzen lassen. Ein Umsteuern auf Elektromobilität oder die Nutzung sekundärer Energieträger wie Wasserstoff oder Methan mithilfe „sauber“ erzeugten Stromes wären hier mögliche Alternativen. D. h. Strom würde auch im Verkehrssektor an Bedeutung gewinnen. Dabei wird eine weitere Herausforderung deutlich: erneuerbare Energie, v. a. Strom, in verschiedenen Formen zu **speichern**, um sie zeitversetzt oder für andere Zwecke nutzen zu können.

Energie speichern.

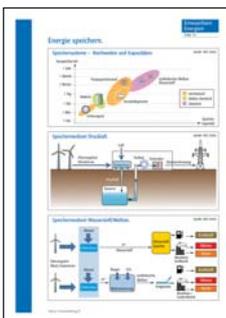
Beim Aufbau eines auf den Erneuerbaren basierenden Energiesystems hat die Speicherung zwei Hauptaufgaben: Um Fluktuationen besser ausgleichen zu können, geht es zum einen um eine **zeit-**

liche Speicherung. Überschüssige Energie wird dabei für Zeiten eines Unterangebots „konserviert“. Zum anderen muss aber auch z. B. elektrische Energie in Wasserstoff oder Methan (Power-to-Gas) **umgewandelt** werden, um sie transportieren oder für andere Bereiche (Wärme, Kraftstoffe) nutzen zu können. Doch jeder Umwandschritt ist aus physikalischen und chemischen Gründen mit **Energieverlusten** verbunden. Diese zu minimieren ist derzeit Gegenstand vieler Forschungsprojekte. Dabei können Umwandlungsverluste allerdings eher in Kauf genommen werden, wenn für die Energiespeicherung z. B. überschüssiger Windstrom verwendet wurde statt fossil erzeugte Energie.

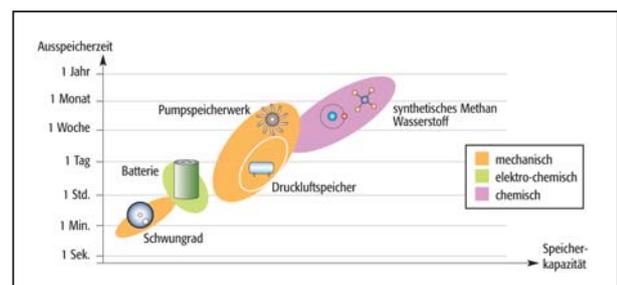


Erprobte Technik: Pumpspeicherkraftwerke sind seit Langem im Einsatz. In der Bildmitte das obere Speicherbecken.

Bei **Speichertechniken für Strom** unterscheidet man **Kurzzeitspeicher** (Schwungrad, Batterie, Druckluft, Pumpspeicher) und **Langzeitspeicher** (Methan, Wasserstoff). Der Bedarf an Stromspeichern wird mit dem Ausbau von Wind- und Sonnenkraft deutlich zunehmen. Langzeitspeicher dürften ab einem Anteil von 70% erneuerbarer Energien an der Stromversorgung und damit ab ca. 2030/2040 in den Fokus rücken. Folgende Systeme sind derzeit technisch verfügbar bzw. in der Erprobung (Abb. 14.1):



Energie speichern. Folie 14



Speichersysteme (Abb. 14.1): je nach Bedarf das passende System.

Pumpspeicher

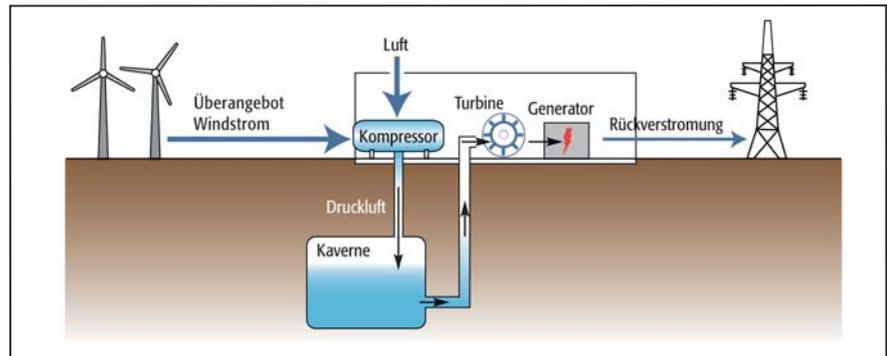
Pumpspeicherkraftwerke sind eine seit Langem angewandte und erprobte Technik (> S. 16/17, Abb. 6.3). Sie dienen bislang v. a. dazu, Bedarfsspitzen im Stromverbrauch schnell und effizient auszugleichen. Bei einem Überangebot von Strom wird Wasser von einem Unterbecken in ein Oberbecken gepumpt, bei Bedarf schießt das Wasser zurück und treibt Turbinen an. Der Wirkungsgrad ist mit 70–80% relativ hoch. Im Gebirge können natürliche Zuflüsse den Wirkungsgrad auf ca. 85–90% erhöhen. Die Technik ist ausgereift, die Anzahl der Ladezyklen unbegrenzt und die Verluste durch Wasserverdunstung und Versickerung sind gering. In Deutschland sind bereits zahlreiche Pumpspeicherkraftwerke im Einsatz. Aufgrund ihrer Größendimensionen stoßen Neubauprojekte derzeit oft auf Widerstand. Deshalb wird auch darüber nachgedacht, Stollensysteme alter Bergwerke für unterirdische Pumpspeicherwerke zu nutzen. Grundsätzlich könnten durch internationale Kooperationen bereits vorhandene Potenziale im Ausland genutzt werden, z. B. in den Alpenländern und Skandinavien – z. T. besteht diese Zusammenarbeit bereits.

Druckluftspeicher

Hierbei wird durch einen mit Strom betriebenen Kompressor Luft in unterirdische Kavernen gepresst (ehem. Salzstöcke oder Erdgaslager). Beim Ausströmen werden wiederum Generatoren betrieben, die Strom erzeugen (Abb. 14.2). Von **Druckluftspeicherkraftwerken** existieren bislang nur Pilotanlagen, der Wirkungsgrad ist mit 45–50% relativ niedrig. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) sieht in seinen Prognosen für diese Technik erhebliche Potenziale, in Projektionen des Umweltbundesamtes (UBA) spielen Druckluftspeicher dagegen kaum eine Rolle, da die Technik für noch nicht ausgereift gehalten wird.

Chemische Speicher

Batteriespeicher eignen sich nur für vergleichsweise geringe Energiemengen. Derzeit wird mit verschiedenen Grundstoffen hinsichtlich Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit geforscht. Bisherige Batterien enthalten z. T. umweltschädliche Stoffe, auf die Problematik der Seltenen Erden wurde bereits hingewiesen. Je nach verwendeten Materialien entstehen darüber hinaus unterschiedlich hohe Entladungsverluste, die Anzahl der Ladezyklen ist begrenzt. Große Potenziale für Batteriespeicher werden im Eigenverbrauch von Fotovoltaikstrom gesehen. Auch bei der weiteren



Speichermedium Druckluft (Abb. 14.2): Noch löst sich dabei viel Energie in Luft auf – an einer Optimierung wird gearbeitet.

Entwicklung der Elektromobilität (> Exkurs S. 34/35) sind die Batterien ein entscheidender Faktor.

Eine weitere Form chemischer Speicherung stellen Verfahren dar, die **Wasserstoff** bzw. **Methan** als **sekundäre Energieträger** nutzen. Die so mit Strom aus erneuerbaren Energien erzeugten Gase werden auch als **Wind-** oder **Solargas** bezeichnet, die Technik als **Power-to-gas**. Speicherkapazitäten bestehen bei Wasserstoff z. B. in alten Salzkavernen, bei Methan in ehemaligen Erdgaslagerstätten. Für die Rückverstromung wären hocheffiziente Gas- und Dampfturbinenkraftwerke denkbar. Sie können innerhalb von 15 Minuten angefahren werden und dann innerhalb von fünf Minuten beliebig zwischen Teil- und Vollast variieren. Eine Speicherung ist über mehrere Monate bis zu einem Jahr möglich.

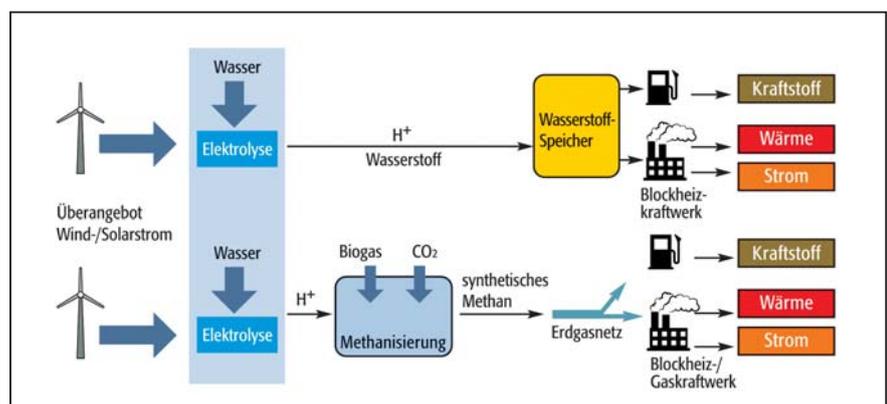
Wasserstoff

Kernstück des Verfahrens ist die so genannte **Elektrolyse** (Abb. 14.3). Dieses Verfahren ist technisch ausgereift, allerdings energieaufwändig. Der Systemwirkungsgrad der gesamten Kette (Überschussstrom – Wasserstoffherzeugung – Speicherung – Rückverstromung) liegt bei 42%. Wasserstoff kann direkt als Kraftstoff in Verbrennungsmotoren oder als Brennstoff in Gasturbinen eingesetzt werden. Oder er treibt mittels Brennstoffzellen Fahrzeuge an, aus dem Auspuff entweicht dabei lediglich Wasserdampf.



Energie aus Wasserstoff: Bei Brennstoffzellen entsteht als Abfallprodukt nur Wasser.

Speichermedium Wasserstoff/Methan (Abb. 14.3): Strom zeitversetzt in allen Bereichen einsetzbar.



Gasturbinenkraftwerk:
In solchen Anlagen könnte regenerativ erzeugtes Methan rückverstromt werden.



Wasserstoff kann dem Erdgasnetz beigemischt werden, allerdings nur zu 5%. Er ist aber in entsprechenden Tanks gut lagerbar, auch transportierbar (Schiffe) und daher je nach Bedarf einsatzbereit. Die dafür nötige Infrastruktur müsste aber erst aufgebaut werden. Theoretisch könnte in den Wüstengebieten Nordafrikas durch Solartechnik genug Wasserstoff erzeugt werden, um Europa mittels Pipeline oder Tankschiffen zu versorgen. Die Elektrolyse erfordert aber möglichst sauberes Wasser, das bei der Rückverstromung i. d. R. an einem anderen Ort anfällt. Dieser „Wasserexport“ kann in Wüstengebieten zu Problemen führen.

Methan

Das Verfahren ähnelt dem beim Wasserstoff, allerdings ist ein weiterer Schritt zwischengeschaltet, die **Methanisierung** (Abb 14.4). Dadurch sind die Umwandlungsverluste allerdings noch größer als bei der Wasserstoffgenerierung, der Systemwirkungsgrad der Gesamtkette (Überschussstrom – Wasserstoffherzeugung – Methanisierung – Speicherung – Rückverstromung) liegt bei nur 35%. Methan hat andererseits aber eine höhere Energiedichte. Es kann direkt in das vorhandene **Erdgasnetz** eingespeist werden und Erdgas dort zu 100% ersetzen. Damit steht Methan wie Erdgas als Kraftstoff, als Wärmeträger für private Haushalte oder als Brennstoff für Gaskraftwerke zur Stromerzeugung zur Verfügung. Um eine möglichst gute Gesamtbilanz zu erhalten, sollte das beigefügte CO₂ zur Methanisierung aus regenerativen Quellen stammen (z. B. Biogasanlagen) oder zumindest als Abfallstoff aus der Zement- und Kalkindustrie.

Ein großer Vorteil dieses Speicherverfahrens: Mit dem Erdgasnetz steht die benötigte Infrastruktur in Deutschland bereits flächendeckend zur Verfügung.



Wärmepumpe: Überschüssiger, regenerativ erzeugter Strom kann auch in Wärme „geparkt“ werden.

Wärme

Wärme lässt sich über einen kürzeren Zeitraum besser speichern als Strom. Strom z. B. aus Windkraftanlagen, der gerade nicht gebraucht wird, kann somit in Wärme „geparkt“ werden (**Power-to-heat**) – über Kraft-Wärme-Kopplung in Nah- und Fernwärmenetzen oder zum Betrieb von Wärmepumpen. Damit werden fossile Brennstoffe eingespart, die sonst für die Erzeugung der Wärme notwendig wären. Bei Kraft-Wärme-Anlagen sind **thermische Speicher** wichtig, da Stromerzeugung und Wärmebedarf nicht immer zusammenpassen. Sinn macht Power-to-heat nur bei einem Überangebot regenerativ erzeugten Stroms. Mit Strom aus einem fossilen Kraftwerk Wärme zu erzeugen ist dagegen kontraproduktiv, hier wäre es energetisch deutlich günstiger, den fossilen Brennstoff direkt zur Wärmegewinnung zu verfeuern.

Grundsätzlich ist jedes thermische Kraftwerk (Dampfkraftwerk, Gasturbinenkraftwerk etc.), das mit Brennstoffen betrieben wird, auch ein Speicherkraftwerk, da der Brennstoff (in erneuerbarer Form z. B. Hackschnitzel, Pellets oder Biogas) vorgehalten und gespeichert werden kann.

Eine Frage des Systems.

Mehr internationale Kooperation in einem europäischen Verbund? Mehr „Stromautobahnen“? Mehr kleine, dezentrale Anlagen und regionale Energieautarkie? Kann so ein Energiesystem aussehen, das auch die großen Verbrauchszentren versorgen kann und bezahlbar ist? In Sachen Energiewende sind noch viele Fragen offen.

Beispiel **Netzausbau**: Eine Alternative wäre, regional mehr Leistung zu installieren und deutlich mehr Speicherkapazitäten aufzubauen. Beides ist aber teuer. **Speichertechnologien** stehen zudem im Falle eines Überangebotes in Konkurrenz zu anderen Optionen, die z. T. kostengünstiger sind, z. B. **Lastmanagement**. Hier stehen weniger die privaten Haushalte im Fokus, sondern v. a. industrielle Prozesse, die viel Strom benötigen, aber oft vergleichsweise einfach zeitlich verschoben werden können (z. B. die bereits erwähnten Kühlhäuser). Experten schätzen, dass 50% der Last in der Industrie zeitlich verschiebbar ist. Entsprechende **finanzielle Anreize** können hier zu einem wichtigen Steuerungselement werden.

Offene Fragen bestehen auch im Wärmebereich. Welchen Beitrag können hier elektrisch betriebene Wärmepumpen leisten, welche Einsatz-

bereiche gibt es für Power-to-heat? Experten sehen in einer stärkeren Förderung von Wärmedämmung sowie der Erneuerung von Heizungsanlagen große Potenziale.

Und die Mobilität? Mehr Elektroautos oder alternative Kraftstoffe mittels Power-to-gas? Und vor allem: Ist eine 1:1-Umstellung auf erneuerbare Systeme die richtige Lösung, oder müssten stattdessen oder parallel nicht auch neue **Verkehrskonzepte** entwickelt und umgesetzt werden?



Exkurs Elektromobilität

Wenn die Treibhausgas-Emissionen bis 2050 um mindestens 80 % fallen sollen, wird auch der Verkehrssektor seinen Beitrag leisten müssen. Nach Berechnungen des UBA müssen dazu u. a. die Emissionen bei PKWs von gegenwärtig durchschnittlich 221 g CO₂/km auf 43 g reduziert werden! Trotz aller Spar- und Verbesserungsmaßnahmen bei herkömmlichen Verbrennungsmotoren wird sich dieses Ziel wahrscheinlich nur mit anderen Antriebstechniken erreichen lassen.

Der Elektromotor ist hocheffizient, er setzt 86 % der Energie in Bewegung um, zusätzlich lässt sich die Bremsenergie zurückgewinnen. Zum Vergleich: Beim herkömmlichen Ottomotor sind es nur 22 %.

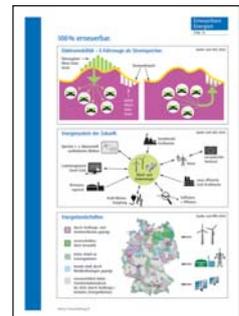
Elektromobilität bedeutet auch: keine Abgase, kaum Feinstaub und weniger Lärm in den Städten. Sinnvoll ist sie aber nur, wenn der Strom regenerativ erzeugt wird und wenn die Fahrzeuge selbst einem Kreislaufsystem unterliegen, das wertvolle Rohstoffe wieder zurückgewinnt. Prinzipiell lässt sich Elektromobilität gut in ein System auf der Basis erneuerbarer Energien integrieren, dem es an reinen Kraftstoffen fehlt, das aber über Wind und Fotovoltaik genug Strom bereitstellen kann. Dann können Elektrofahrzeuge, wenn sie „zum Tanken“ ans Stromnetz angeschlossen sind, auch als Speicher fungieren (Abb. 15.1). Denn ein Pkw wird im Durchschnitt nur 1–2 Stunden am Tag wirklich bewegt. In Zeiten hohen Strombedarfs könnte ein Autobesitzer durch das

Stehenlassen des Fahrzeugs sogar gespeicherten Strom verkaufen. Kraftstoffe würden in diesem System nur bei den Verkehrsträgern verwendet werden, bei denen die „Elektrovariante“ aus technischen Gründen nicht in Frage kommt (Schwerlastverkehr, Flugverkehr, Schiffe). Aber auch diese Kraftstoffe werden irgendwann stromgenerierte, erneuerbare Kraftstoffe sein.

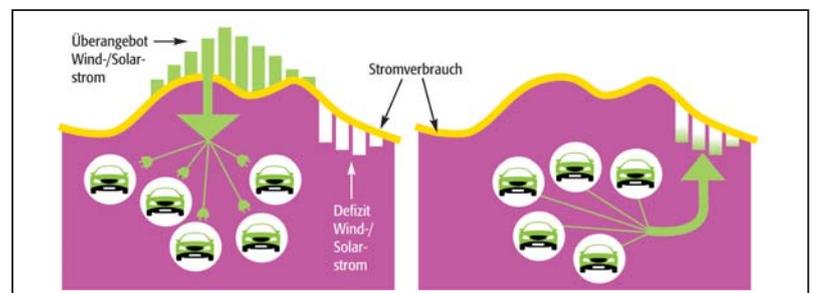
Strom tanken: Auch im Verkehrsbereich müssen neue Wege gegangen werden – Elektromobilität ist einer.

Es kann gelingen!

Der Umstieg auf ein neues, von den Erneuerbaren bestimmtes Energiesystem erfordert eine **intelligente Kombination** aller genannten Bausteine: **Vernetzung** der unterschiedlichen regenerativen Energieerzeuger, **Kopplung** der Bereiche Strom, Wärme und Kraftstoffe, **Speicherung** auf unterschiedlichste Weise bis hin zur zeitlichen und räumlichen **Steuerung** auf Seiten des Verbrauchers. Das alles mit Unterstützung in den Bereichen **Effizienz** und **Energiesparen**. Ob und wie das möglich ist, zeigt das abschließende Kapitel.



100 % erneuerbar.
Folie 15.



Elektromobilität
(Abb. 15.1): E-Fahrzeuge als Stromspeicher.

Das Wichtigste in Kürze:

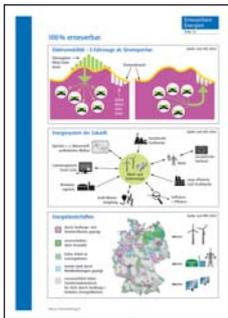
- Ein neues Energiesystem auf der Grundlage erneuerbarer Energien wird aller Voraussicht nach ein strombasiertes sein, bei dem die Bereiche Strom, Wärme und Kraftstoffe eng verzahnt werden.
- Das System wird viele dezentrale Einheiten miteinander verbinden. Lastmanagement sorgt für den Ausgleich zwischen Angebot und Bedarf.
- Eine stärkere Vernetzung wie auch ein Ausbau der Stromspeicher werden voraussichtlich stark an Bedeutung gewinnen.

Hundert Prozent erneuerbar?

Die Energiewende in Deutschland bedeutet nichts weniger als den vollständigen Umbau des Energiesystems eines der führenden Industrieländer dieser Welt. Kann dieses Mammutprojekt gelingen?

Dieses Kapitel informiert über

- die wichtigsten Bausteine der Energiewende
- die Auswirkungen der Energiewende auf unsere Landschaften.

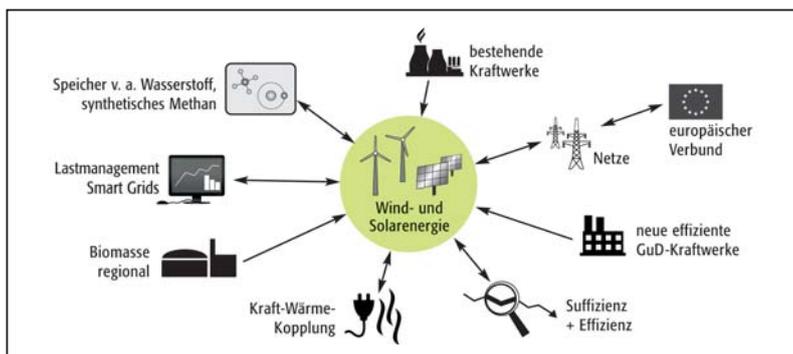


100 % erneuerbar.
Folie 15



Hauptenergieträger Wind:
Die Standorte für den weiteren Ausbau müssen sorgfältig ausgewählt werden.

Energiesystem der Zukunft
(Abb. 15.2): eine intelligente Kombination vieler Komponenten.



Herausforderung Klimaschutz.

Eines der drängendsten Probleme von Gegenwart und Zukunft ist der Klimawandel. Er allein macht bereits einen umfassenden Umbau des Energiesystems erforderlich. Wenn das von der Weltgemeinschaft angestrebte 2 °C-Ziel erreicht werden soll, müsste ein Großteil der fossilen Reserven im Boden bleiben (S. 8). Experten haben berechnet, dass Deutschland dazu bis 2050 weitgehend treibhausgasneutral sein müsste, also kein CO₂ aus fossilen Energieträgern mehr ausstoßen dürfte. Dass dies einen umfassenden Umbau unseres Energiesystems erforderlich macht und welche Maßnahmen man dazu diskutiert, wurde bisher ausführlich dargestellt. Doch wie realistisch ist ein derartiger Umbau?

Wir schaffen das.

In den vergangenen Jahren haben sich zahlreiche Studien mit der Frage befasst, ob die Energieversorgung in Deutschland bis 2050 vollständig auf erneuerbare Energien umgestellt werden kann (u. a. SRU, UBA, AEE). Basis der Projektionen waren bereits heute verfügbare Techniken. Dabei wurden verschiedene Konzepte untersucht: von lokal energieautarken Regionen über einen Regionenverbund innerhalb Deutschlands bis hin zu europa- oder weltweiten Zusammenschlüssen.

Die Studien kommen zu dem Ergebnis, dass eine sichere Versorgung mit der heute bekannten

Technik möglich ist. Dies trifft sogar auf Modelle zu, die Deutschland als energieautarke „Insel“ sehen, wenngleich internationale Kooperationen die Kosten deutlich reduzieren würden. Die genauen Kosten einer Umstellung sowie zum Betrieb und Erhalt des neuen Energiesystems sind nur schwer zu beziffern. Langfristig betrachtet bringt eine Umstellung der Energieversorgung aber sogar volkswirtschaftliche Vorteile.

Energiewende konkret.

Die Studien kommen mehrheitlich zu folgenden Schlüssen und Prioritäten:

An erster Stelle stehen **Effizienz** und **Suffizienz** (S. 28/29). Der **Primärenergieverbrauch** müsste bis 2050 um etwa 50 % sinken. Dies betrifft alle Anwendungsbereiche (Strom, Wärme und Kraftstoffe) sowie alle Sektoren (Industrie und Gewerbe, Haushalte, Verkehr). Um die entsprechenden Energiesparpotenziale auszuschöpfen, sind zum einen neue Konzepte und Ideen gefragt. Zum anderen müssten lediglich „altbekannte“ Maßnahmen umgesetzt werden. So empfehlen Experten, im derzeit energieintensivsten Segment, dem Verkehrsbereich, mehr Anstrengungen zur Verkehrsvermeidung zu unternehmen. Auch im Wärmesektor, hier vor allem im Bereich der Raumwärme, können mit „Klassikern“, wie z. B. der energetischen Gebäudesanierung, wesentliche Beiträge zur Energiewende geleistet werden.

Da in einem erneuerbaren Energiesystem regenerativ erzeugter Strom die **tragende Rolle** spielt (S. 30ff) wird trotz des angestrebten reduzierten Primärenergieverbrauchs von einem steigenden Stromverbrauch ausgegangen. Das bedeutet einen weiteren Ausbau der Kapazitäten bei Wind und Sonne. V. a. in der Übergangsphase müssen dabei Unterdeckungen durch schnell regelbare Kraftwerkseinheiten ausgeglichen werden. Kurz- und mittelfristig bedeutet das den Einsatz fossiler Kraftwerke als „Teilzeit“- oder Reservekraftwerke, so genannte **Backup-Kraftwerke** (v. a. Gas).

Um Überdeckungen zu vermeiden bzw. überschüssigen Strom speichern und später wieder einsetzen zu können, ist auf längere Sicht die Entwicklung von **Speichertechnologien** voranzutreiben (S. 32ff). Entsprechenden Speicherkapazitäten kommt bei den Projektionen eine entscheidende Rolle zu. Wasserstoff bzw. Methan, die mit überschüssigem Wind- und Sonnenstrom erzeugt werden, können Brenn- und Kraftstoffe ersetzen, wodurch die energetische Nutzung von Biomasse reduziert wird. Diese Biomasse kann dann im nächsten Schritt in Backup-Kraftwerken eingesetzt werden, die die fossilen Reservekraftwerke ersetzen. Wird der biogene Brennstoff nur dann eingesetzt, wenn Wind und Sonne nicht ausreichend zur Verfügung stehen, sind für die Biomasserzeugung keine zusätzlichen Flächen nötig. Noch später könnten die Backup-Kraftwerke auch mit „Windgas“ betrieben werden.

Energielandschaften.

Ein treibhausgasneutrales Deutschland mit einer Energieversorgung auf der Grundlage der Erneuerbaren erfordert **große Anstrengungen von allen Teilen der Gesellschaft**. Und: Unsere Landschaften werden sich durch die Energiewende optisch verändern. Windparks, Solaranlagen und Flächen für Bioenergie werden unsere **Kulturlandschaft** prägen. Dabei gilt es, aus den Erfahrungen der vergangenen Jahre zu lernen und ggf. gegenzusteuern. Bei der Bioenergie muss Mais zum Beispiel nicht die einzige „Energiequelle“ bleiben: nachhaltige Fruchtfolgen, Nutzung von Grünlandsilagen, mehrjährige Kulturen, Wildpflanzenmischungen u. a. könnten das Landschaftsbild durchaus bereichern, die Landwirtschaft stärken und zudem Böden, Artenschutz und den Wasserhaushalt positiv beeinflussen. Beim Ausbau der Windenergie erfordert die Standortwahl viel Fingerspitzengefühl. So zeigten Untersuchungen bestehender Windparks, dass Windkraftanlagen in Gruppen mit ungeraden Zahlen als am angenehmsten wahrgenommen wurden, wobei die Gruppenzahl 7 nicht überschritten werden sollte.

Das Wichtigste in Kürze:

- **Zahlreiche Studien zeigen: Eine Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien in Deutschland ist bis Mitte dieses Jahrhunderts mit den heute bekannten Techniken möglich.**
- **Es bleibt noch viel zu tun. Neben der dringend nötigen Reduktion unseres Energieverbrauchs stellen sich weitere Herausforderungen – von Speichertechnologien bis zum Umbau des Energiesektors.**
- **Die Energiewende wird unsere Landschaften verändern. Wir können diese Veränderungen positiv gestalten.**
- **Die Umsetzung der Energiewende fordert alle Ebenen von Staat, Wirtschaft und Gesellschaft – sie ist ein Gemeinschaftswerk.**

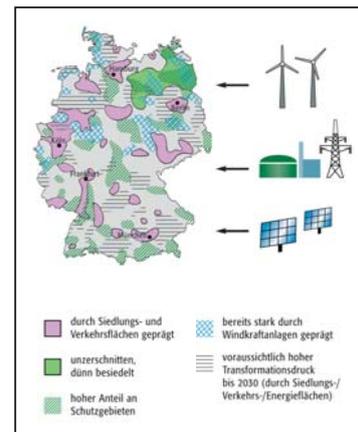
Auch bei dem von den Studien allgemein als vorranglich eingestuften Netzausbau ist sensibel vorzugehen. Eine von Beginn an offene Diskussion zur Frage Freileitung oder Erdkabel sowie eine frühzeitige Bürgerbeteiligung können die Akzeptanz erhöhen.

Grundsätzlich sollte uns bewusst sein, dass Kulturlandschaften in der Vergangenheit immer auch „Energielandschaften“ und damit dynamische Gebilde waren. Im Lauf der Zeit haben sie sich unter dem Einfluss der Menschen verändert und werden dies auch zukünftig tun.

Gemeinschaftswerk Energiewende.

Die Energiewende ist eines der wichtigsten Zukunftsprojekte Deutschlands und bedeutet nichts weniger als den vollständigen Umbau des Energiesystems einer der wichtigsten Industrienationen der Erde. Sie wird sich nur dann erfolgreich umsetzen lassen, wenn alle Beteiligten das Vorhaben als Gemeinschaftswerk verstehen. Bund, Länder und Gemeinden sind dabei ebenso gefordert wie Wirtschaft und Gesellschaft.

Da es sich um ein langfristiges Projekt handelt, sind von Seiten des Staates klare und verlässliche Vorgaben nötig. Nur dann werden die Investitionen in eine neue Energieinfrastruktur und -erzeugung erfolgen, die eine der Grundvoraussetzungen der Energiewende sind. Neben Staat und Gemeinschaft ist bei diesem Gemeinschaftswerk aber auch jeder Einzelne gefragt: Im Urlaub mit dem Flugzeug nach Fernost, oder mit der Bahn in die Berge? Im Winter 26 °C Raumtemperatur, oder genügen 21 °C? Ganzjährig exotische Früchte auf dem Teller oder saisonales und regionales Obst? Mit dem Auto zur Arbeit oder mit Bus, Bahn oder Fahrrad? Den billigsten Stromtarif oder die Ökostrom-Variante? Auch die täglich von uns getroffenen Entscheidungen bestimmen, wie viel Energie unser Land verbraucht, wie schnell der vollständige Umstieg auf erneuerbare Energien erfolgt und ob die Energiewende „Made in Germany“ ein Erfolgsmodell wird.



Energielandschaften (Abb. 15.3): Die erneuerbaren Energieträger werden unsere Kulturlandschaft verändern.



Es kommt drauf an, wie man es macht: Flächen für Bioenergie können ein Gewinn für Natur und Landschaft sein.

Glossar.

Amortisationszeit (energetisch)

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

Die Brennstoffzelle erzeugt in einer kontrollierten Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff Strom. Als „Abfallprodukt“ entsteht Wasser. Das Prinzip der Brennstoffzelle wurde bereits 1838 entdeckt.

CCS (Carbon Capture and Storage)

Technologie, die das bei der Verbrennung > fossiler Energieträger entstehende > CO₂ abscheidet und in unterirdischen Speichern lagert.

CO₂-neutral

Bei der Verbrennung von Biomasse wird > CO₂ freigesetzt. Da die Pflanze dieses CO₂ zuvor beim Wachstum der Atmosphäre entzogen hat, ist die Bilanz ausgeglichen – CO₂-neutral.

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 (Seite 28).

Emission

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

Endenergie

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

Energie-Dreieck

Das Energie-Dreieck betrachtet bei der 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.

Energiepflanzen

Pflanzen, die sich ganz oder in Teilen für eine energetische Nutzung eignen – z. B. Getreide, Mais, Gräser wie Chinaschilf, Raps, Sonnenblumen, aber auch schnell wachsende Hölzer wie Pappeln und Weiden. Manche Energiepflanzen können auch gleichzeitig als Futtermittel, Nahrungslieferant oder nachwachsender Rohstoff dienen.

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, 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. 12).

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 Erdinneren gespeicherten Energie. Man unterscheidet Tiefengeothermie (unter 400 m) und oberflächennahe Geothermie (S. 22).

Grundlast

Grundlastfähige Kraftwerke – z. B. Wasser-, Braunkohle- und Kernkraftwerke – liefern eine

gleichmäßige Strommenge und decken dabei den Teil des täglichen Stromverbrauchs ab, der sich nicht verändert.

Heizwert

Er beschreibt den Energiegehalt eines Brennstoffes und ist das Maß für dessen nutzbare Wärmemenge (ohne Kondensationswärme).

Hydrothermie

Nutzung von heißem Wasser aus tieferen Erdschichten.

Industrielle Revolution

Periode Ende des 18./Anfang des 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).
1 Kilojoule (kJ) = 1.000 J, 1 Petajoule (PJ) = 10^{15} (= 1 Billion) J, 1 Exajoule (EJ) = 10^{18} (= 1 Trillion) J.

Kohlendioxid (CO₂)

Spurengas der Atmosphäre, wichtiges > Treibhausgas. Wird v. a. mit dem zusätzlichen > Treibhauseffekt und 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.

Lastmanagement

Maßnahmen, die Energiebedarf und -erzeugung aufeinander abstimmen.

Mittellast

Zu den Mittellastkraftwerken zählen Steinkohle- und Gaskraftwerke. Sie können ihre Stromerzeugung dem Bedarf leicht anpassen.

Nachhaltigkeit

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

Ökobilanz

Berücksichtigt z. B. bei der Bewertung eines Energieträgers alle Aspekte, von Energiegewinnung 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.

Primärenergie

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

Rebound-Effekt

Effekt, der Einsparungen durch Effizienzmaßnahmen wieder zunichtemacht, da diese zu einer vermehrten Nutzung führen.

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.

Schwellenland

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

Solarthermie

Nutzung der Sonnenwärme zur Wärme- oder Stromerzeugung (S. 13 ff).

Spitzenlast, Spitzenstrom

Der Stromverbrauch pro Tag schwankt und weist mitunter starke Verbrauchsspitzen auf. Diese Spitzenlast wird heute v. a. durch Pumpspeicherkraftwerke abgedeckt (S. 16).

Glossar.

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 $+14\text{ °C}$ (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 (> Treibhauseffekt)). 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 – z. B. durch Strom – 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 ($1\text{ W} = 1\text{ J/s}$) und drückt aus, wie viel Energie (J) pro Zeiteinheit z. B. ein Kraftwerk liefert oder eine Maschine verbraucht.

1 Kilowatt (kW) = 1.000 W, 1 Megawatt (MW) = 1.000 kW, 1 Gigawatt (GW) = 1.000 MW, 1 Terawatt (TW) = 1.000 GW

Strom- und Wärmemengen werden häufig in Kilowattstunden (kWh) angegeben. Eine Kilowattstunde entspricht der Energie, welche z. B. eine Maschine mit einer Leistung von einem Kilowatt in einer Stunde aufnimmt bzw. abgibt ($1\text{ kWh} = 3.600\text{ kJ}$).

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 erwähnte Abkürzungen:

AEE (Agentur für erneuerbare Energien)

Gegründet 2008. Kommunikationsagentur zur Förderung erneuerbarer Energien. Unterstützt durch Unternehmen und Verbände der erneuerbaren Energien. Zusammenarbeit mit verschiedenen Bundesministerien.

BFN (Bundesamt für Naturschutz)

Zentrale Behörde mit Sitz in Bonn, die das Bundesumweltministerium fachlich und wissenschaftlich in Fragen des Naturschutzes und der Landschaftspflege unterstützt.

BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit)

BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie)

EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz)

Regelt die Einspeisung von regenerativ erzeugtem Strom in das öffentliche Stromnetz zu einem festgelegten Vergütungssatz.

DENA (Deutsche Energie-Agentur)

Gegründet im Jahr 2000 auf Initiative der damaligen rot-grünen Bundesregierung. Sieht sich als Schnittstelle zwischen Politik und Wirtschaft und als Kompetenzzentrum für Energieeffizienz und erneuerbare Energien.

IEA (International Energy Agency)

Internationale Energieagentur 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.

UBA (Umweltbundesamt)

Eigenständige Bundesbehörde mit Sitz in Dessau, die das Bundesumweltministerium berät.

SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen)

Beratungsgremium der Bundesregierung mit dem Auftrag, die Umweltsituation und -politik darzustellen und zu begutachten.



Literatur und Internet.

Literatur:

Agentur für Erneuerbare Energien (AEE)

- (2015): Bundesländer mit neuer Energie. Jahresreport Föderal erneuerbar. Berlin
- (2015): Die neue Stromwelt. Berlin
- (2014): Renewes Spezial Nr. 75 – Strom speichern. Berlin
- (2014): Renewes Kompakt – Bioenergie: Fragen und Antworten. Berlin
- (2014): Fakten – Die wichtigsten Daten zu Erneuerbaren Energien. Schnell und kompakt. Berlin
- (2013): Den Boden bereiten für die Energiewende – Mit Bioenergie für mehr Klimaschutz und Nachhaltigkeit. Berlin
- (2010): Kraftwerke für jedermann – Chancen und Herausforderungen einer dezentralen erneuerbaren Energieversorgung. Berlin
- (2010): Erneuerbare Energien 2020 – Potenzialatlas Deutschland. Berlin

AG Energiebilanzen e.V.

- (2015): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2014. Berlin
- (2015): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990 bis 2014. Berlin
- (2013): Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2011 und 2012 mit Zeitreihen von 2008 bis 2012. Berlin

Agora-Energiewende

- (2015): Die Energiewende im Stromsektor. Stand der Dinge 2014. Analyse. Berlin
- (2012): 12 Thesen zur Energiewende. Impulse. Berlin

· Bayerisches Landesamt für Umwelt / Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (2015): UmweltWissen – Klima und Energie; Windenergieanlagen – beeinträchtigt Infraschall die Gesundheit?

· Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR (2013): Energiestudie 2013 – Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen. Hannover

Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.)

- (2014): Energielandschaften – Kulturlandschaften der Zukunft. BfN-Skripten 364. Bonn-Bad Godesberg
- (2013): Energielandschaften – Kulturlandschaften der Zukunft? Energiewende – Fluch und Segen für unsere Landschaften? BfN-Skripten 337. Bonn-Bad Godesberg

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hrsg.)

- (2015): Die Energiewende gemeinsam zum Erfolg führen. Berlin
- (2015): Energiedaten: Gesamtausgabe. Berlin
- (2015): Erneuerbare Energien im Jahr 2014. Berlin
- (2014): Mehr aus Energie machen. Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz. Berlin
- (2013): Energie in Deutschland – Trends und Hintergründe zur Energieversorgung. Berlin

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

- (2015): Die Nationale Klimaschutzinitiative. Daten, Fakten, Erfolge 2015. Berlin
- (2015): Klimaschutz in Zahlen – Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik. Berlin
- (2015): Erneuerbar mobil – Marktfähige Lösungen für eine klimafreundliche Elektromobilität. Berlin

· Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) (2013): Stromverbrauch im Haushalt. Berlin

· Bundesverband Erneuerbare Energien e. V. (Hrsg.) (2015): Die neue Verkehrswelt – Mobilität im Zeichen des Überflusses: schlau organisiert, effizient, bequem und nachhaltig unterwegs. Studie. Bochum

· Deutsche Energieagentur (2013): Die Energiewende – das neue System gestalten. Das deutsche Energiesystem im Jahr 2050: klimafreundlich, sicher und wirtschaftlich. Berlin

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

- (2015): Was kostet die Energiewende? Freiburg
- (2013): Energiesystem Deutschland 2050. Freiburg
- (2013): Stromgestehungskosten erneuerbare Energien. Studie. Freiburg
- (2012): 100% erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland. Freiburg

International Energy Agency (IEA)

- (2015): Key World Energy Statistics 2015. Paris
- (2015): World Energy Outlook 2015. Zusammenfassung. Paris
- (2014): Energy Technology Perspectives 2014 – Harnessing Electricity's Potential – Zusammenfassung – German translation. Paris
- IPCC (2014): Erneuerbare Energiequellen und die Minderung des Klimawandels – Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger, Sonderbericht. Bonn

- Sachverständigenrat für Umweltfragen (2011): Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung. Sondergutachten. Berlin.

Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.)

- (2015): Postfossile Energieversorgungsoptionen für einen treibhausgasneutralen Verkehr im Jahr 2050: Eine verkehrsträgerübergreifende Bewertung. Dessau-Roßlau
- (2015): Stromsparen. Schlüssel für eine umweltschonende und kostengünstige Energiewende. Dessau-Roßlau
- (2014): Hintergrundpapier. Fracking zur Schiefergasförderung. Eine energie- und umweltfachliche Einschätzung. Dessau-Roßlau
- (2014): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2014. Dessau-Roßlau
- (2014): Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen. Dessau-Roßlau
- (2014): Position zum UN-Sondergipfel am 23. September 2014 – Ambition lohnt sich: Wir brauchen ehrgeizige Bekenntnisse zum Klimaschutz. Dessau-Roßlau
- (2014): Klimaschutz in Zahlen – Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik. Dessau-Roßlau
- (2014): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Dessau-Roßlau
- (2014): Vollständig auf erneuerbare Energien basierende Stromversorgung Deutschlands im Jahr 2050 auf Basis in Europa großtechnisch leicht erschließbarer Potentiale – Analyse und Bewertung anhand von Studien. Dessau-Roßlau
- (2013): Ratgeber: Energiesparen im Haushalt. Dessau-Roßlau
- (2012): Nachhaltige Stromversorgung der Zukunft. Kosten und Nutzen einer Transformation hin zu 100% erneuerbare Energien. Dessau-Roßlau
- (2012): Studie: Wasserkraftnutzung in Deutschland: Wasserrechtliche Aspekte, ökologisches Modernisierungspotenzial und Fördermöglichkeiten. Dessau-Roßlau
- (2011): Hintergrundpapier. Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien – klimafreundlich und ökonomisch sinnvoll. Dessau-Roßlau
- (2011): Umstrukturierung der Stromversorgung in Deutschland. Dessau-Roßlau
- (2010): Energieziel 2050 – 100% Strom aus erneuerbaren Quellen. Dessau-Roßlau
- Wirtschaftsbeirat Bayern (Hrsg.) (2012): Zahlen und Fakten zur Stromversorgung in Deutschland. München

Internet:

- Agora-Energiewende
www.agora-energiewende.de
- Agentur für Erneuerbare Energien
www.unendlich-viel-energie.de
- Allianz Umweltstiftung
www.allianz-umweltstiftung.de › Publikationen
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.
www.ag-energiebilanzen.de
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
www.bmub.bund.de › Themen › Klima/Energie
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
www.bmwi.de › Themen › Energie
www.erneuerbare-energien.de
- Deutsche Energie-Agentur
www.dena.de
- Internationale Energieagentur
www.iea.org › Publications
- Umweltbundesamt
www.umweltbundesamt.de, www.uba.de › Themen › Energie/Klima

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.



„Mitwirken an einem lebenswerten Dasein in der 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, Begeisterung für die Umwelt zu wecken 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.

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 fünf Förderbereiche festgeschrieben:

- Umwelt- und Klimaschutz
- Leben in der Stadt
- Nachhaltige Regionalentwicklung
- Biodiversität
- Umweltkommunikation.

Neben der Fördertätigkeit in diesen Bereichen werden die Stiftungsaktivitäten durch die Benediktbeurer Gespräche und die Naturfilm-Bühne der Allianz Umweltstiftung sowie die Aktion Blauer Adler abgerundet.



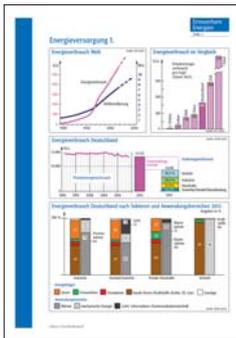
Wissen.

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**, **Sonnenenergie für Schulen**, **Klima**, **Klimaschutz**, **Klimaschutz an Schulen** und **Hochwasser** erhältlich.

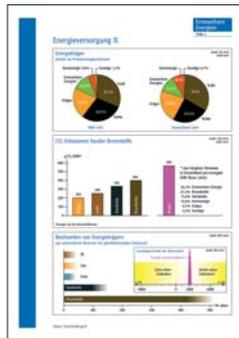
Deutscher Klimapreis der Allianz Umweltstiftung.

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. Zusätzlich werden 15 Anerkennungspreise von je 1.000 Euro vergeben.

Folien.



Folie 1
Energieversorgung I.



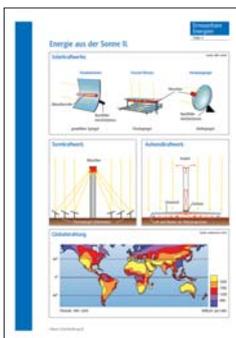
Folie 2
Energieversorgung II.



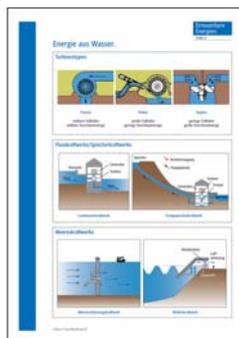
Folie 3
Erneuerbare Energien.



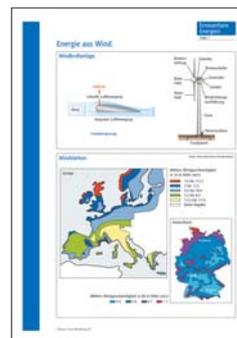
Folie 4
Energie aus der Sonne I.



Folie 5
Energie aus der Sonne II.



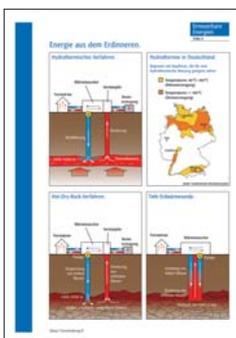
Folie 6
Energie aus Wasser.



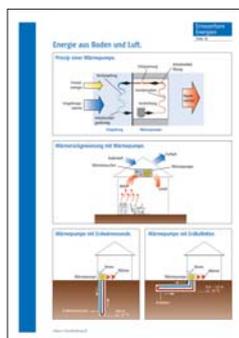
Folie 7
Energie aus Wind.



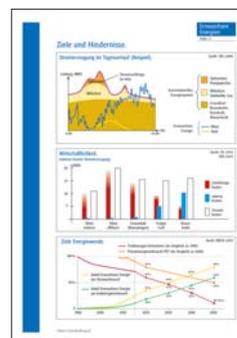
Folie 8
Energie aus Biomasse.



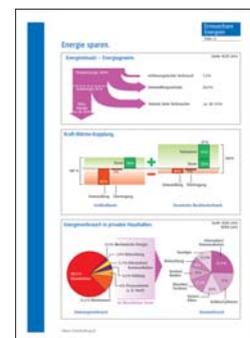
Folie 9
Energie aus dem Erdinneren.



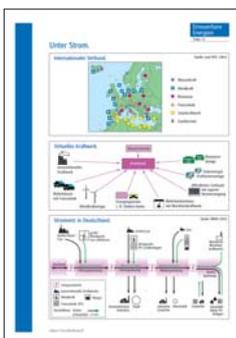
Folie 10
Energie aus Boden und Luft.



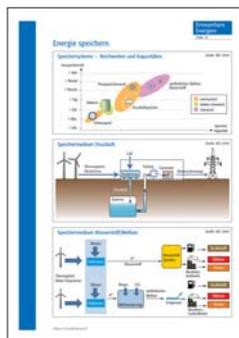
Folie 11
Ziele und Hindernisse.



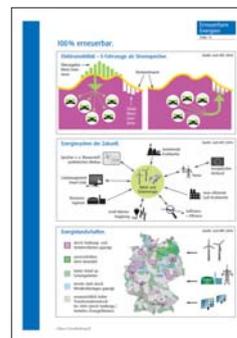
Folie 12
Energie sparen.



Folie 13
Unter Strom.

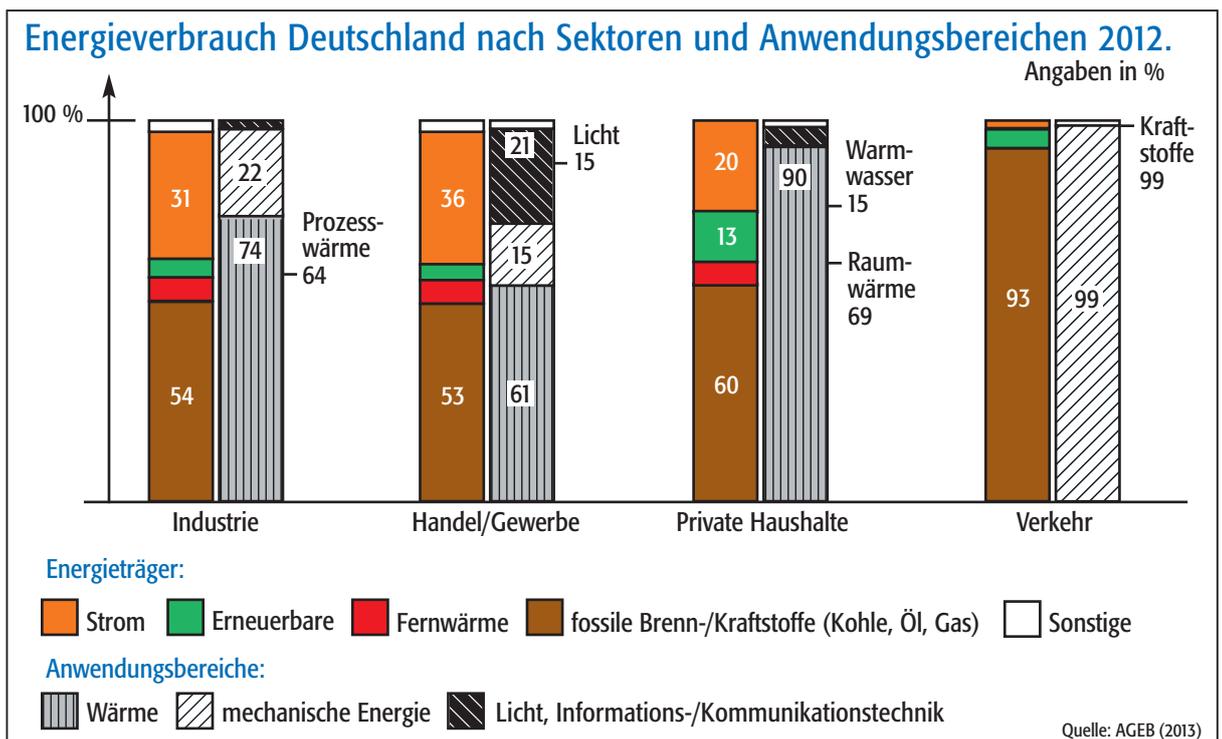
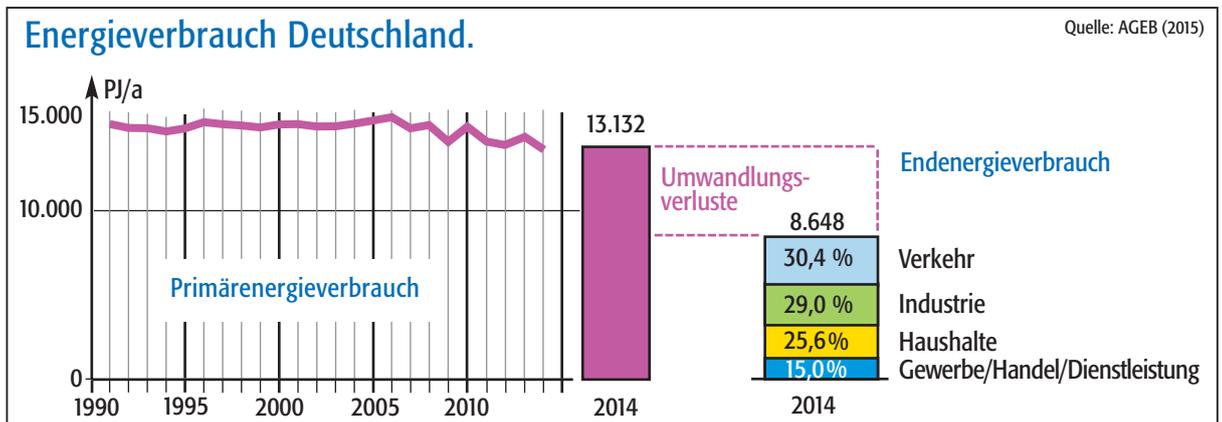
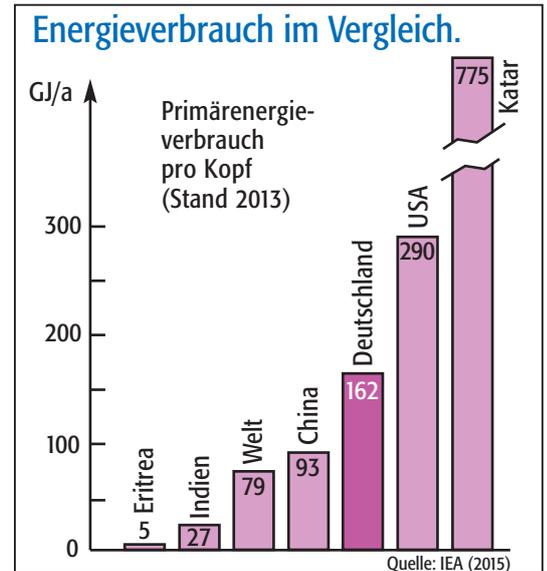
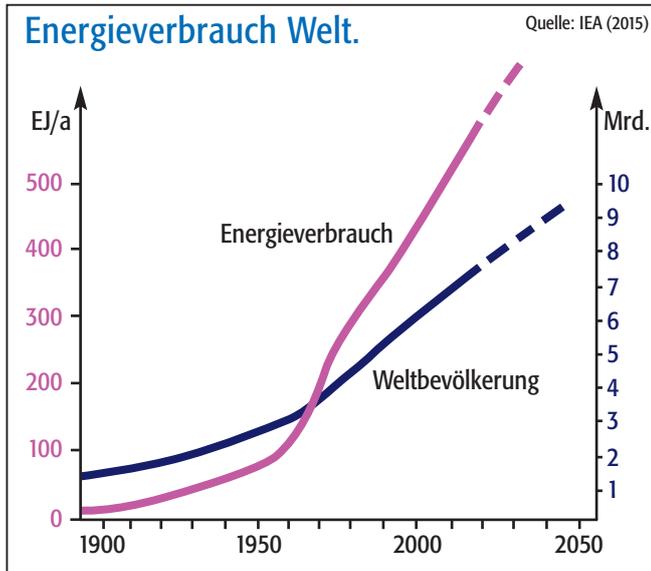


Folie 14
Energie speichern.

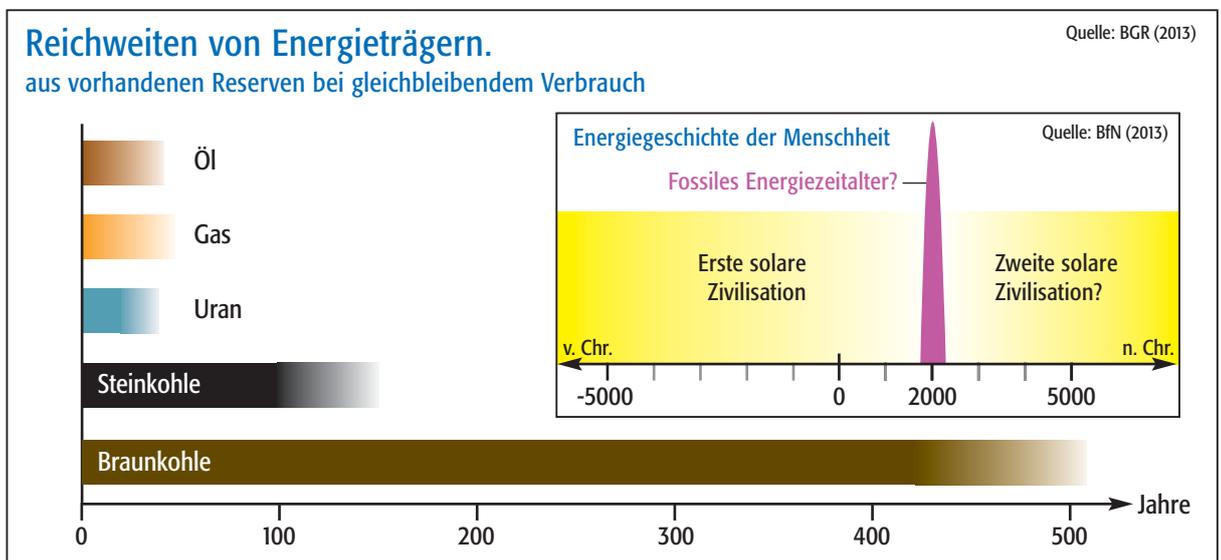
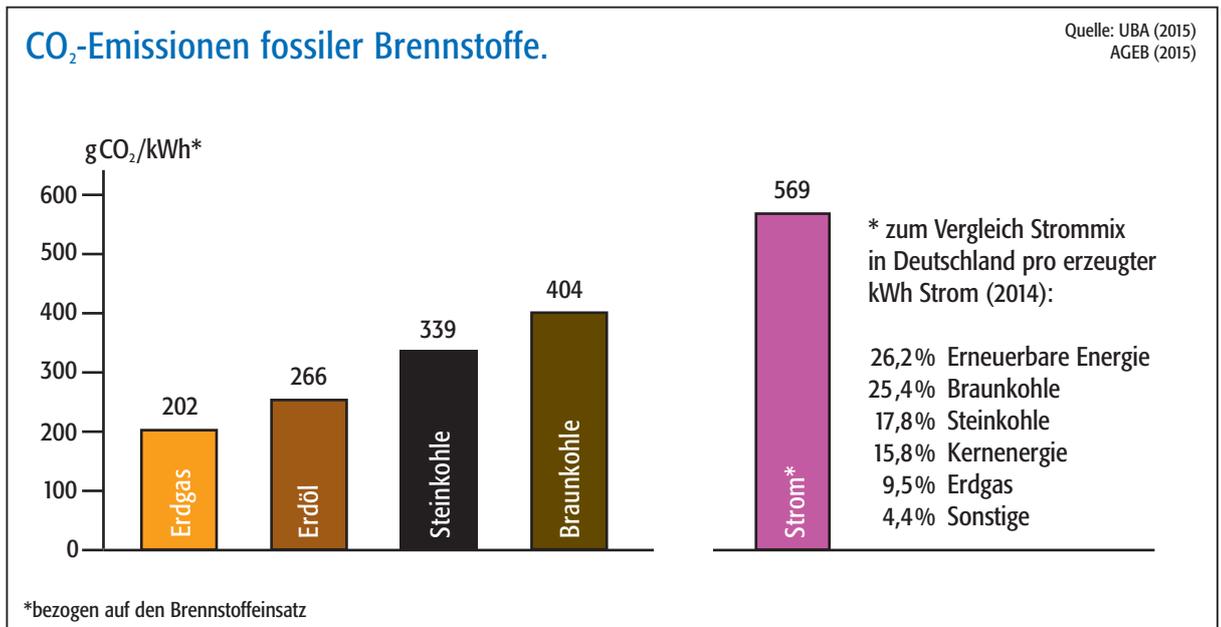
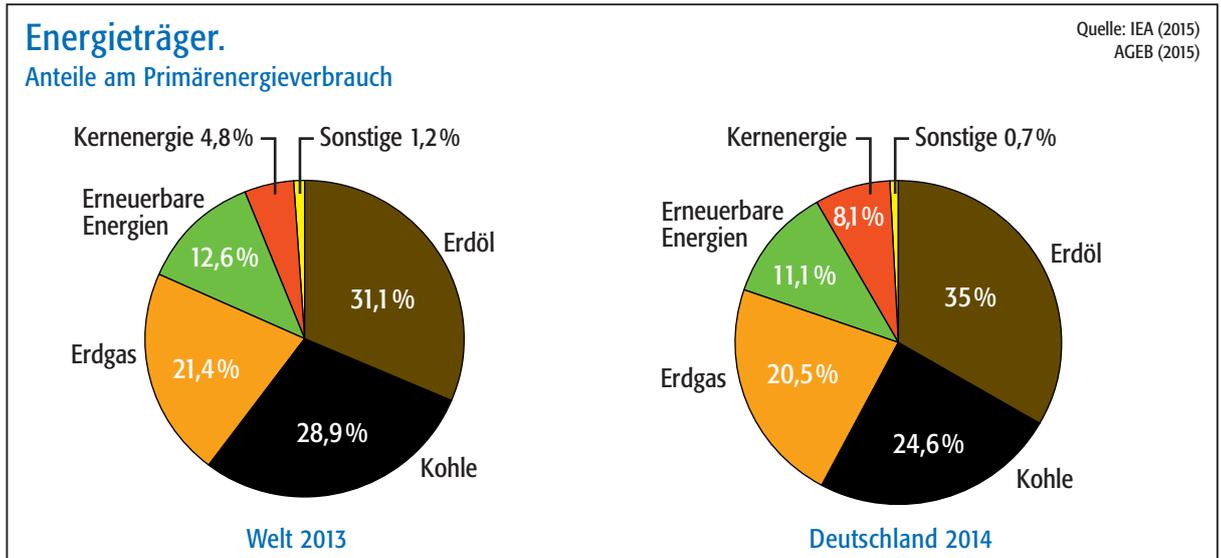


Folie 15
100% erneuerbar.

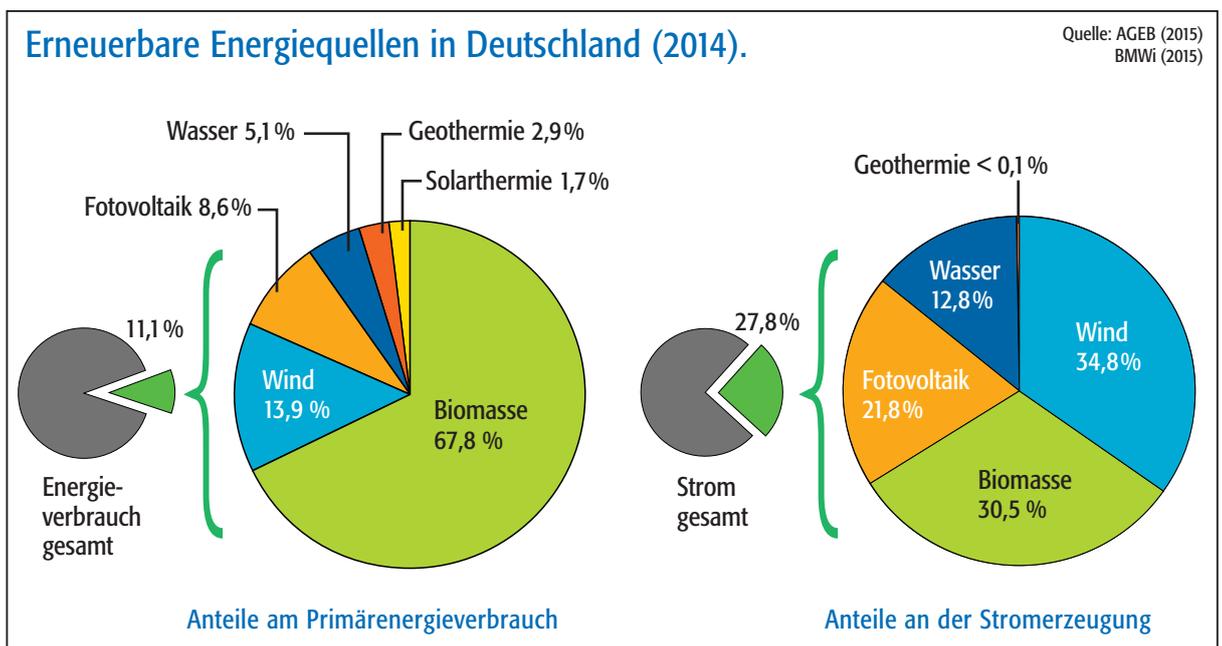
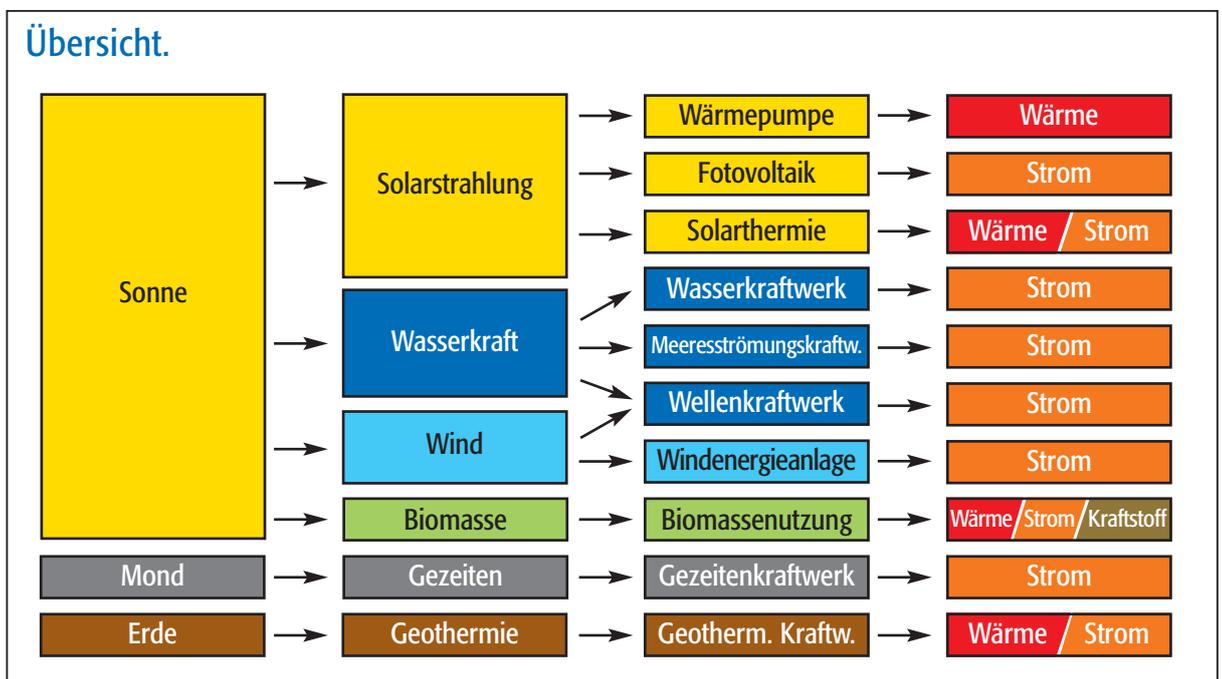
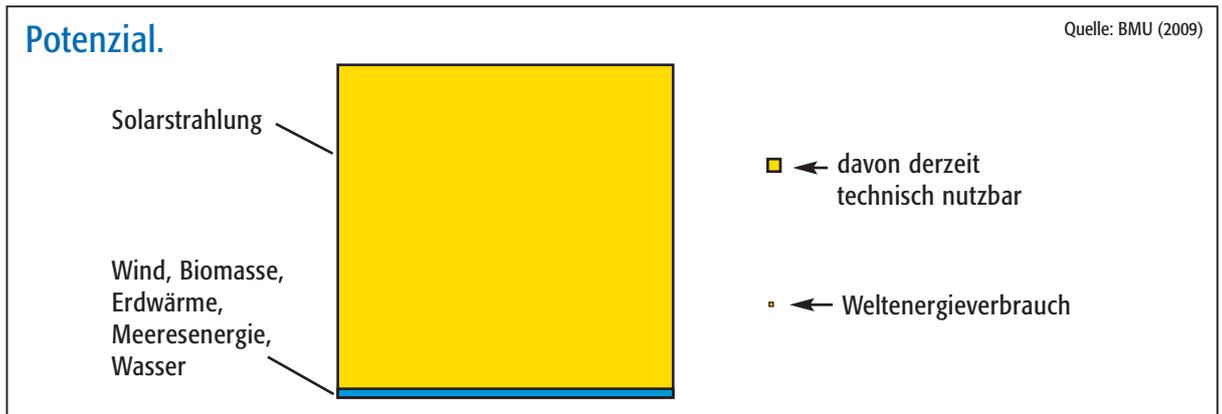
Energieversorgung I.



Energieversorgung II.

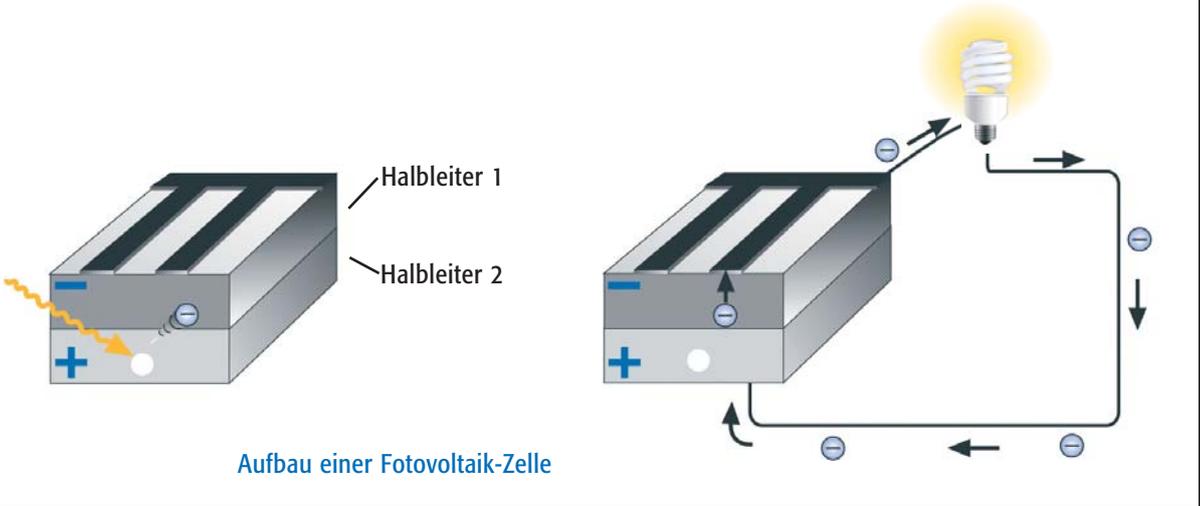


Erneuerbare Energien.

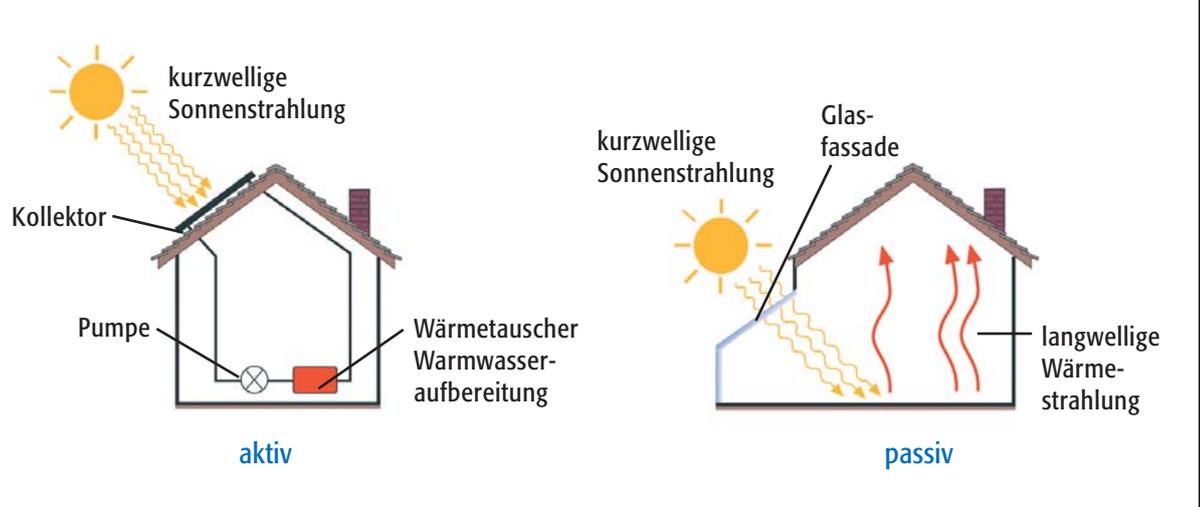


Energie aus der Sonne I.

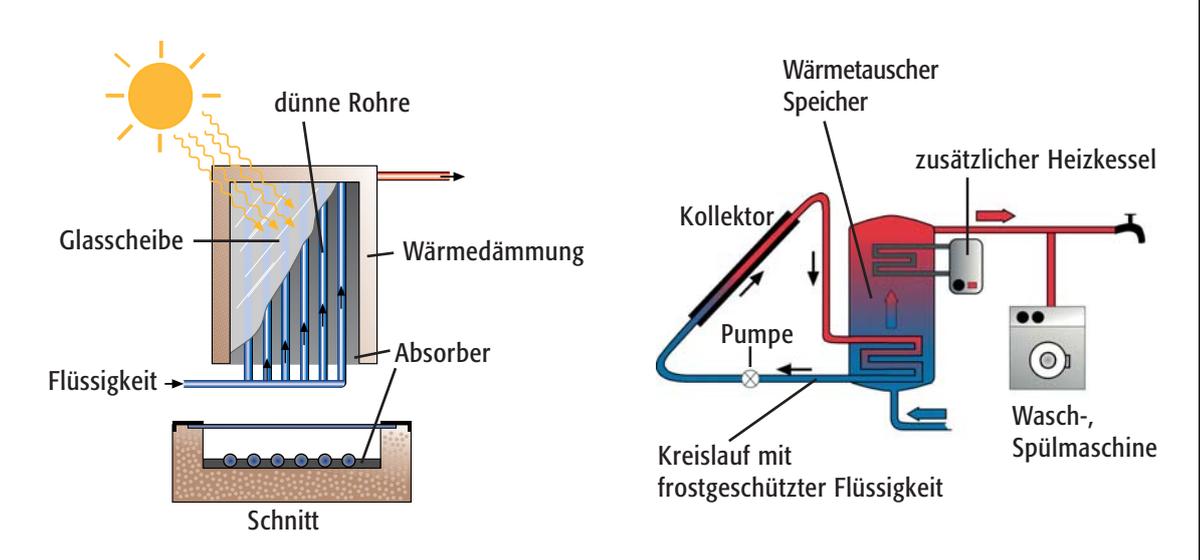
Strom aus Sonnenkraft.



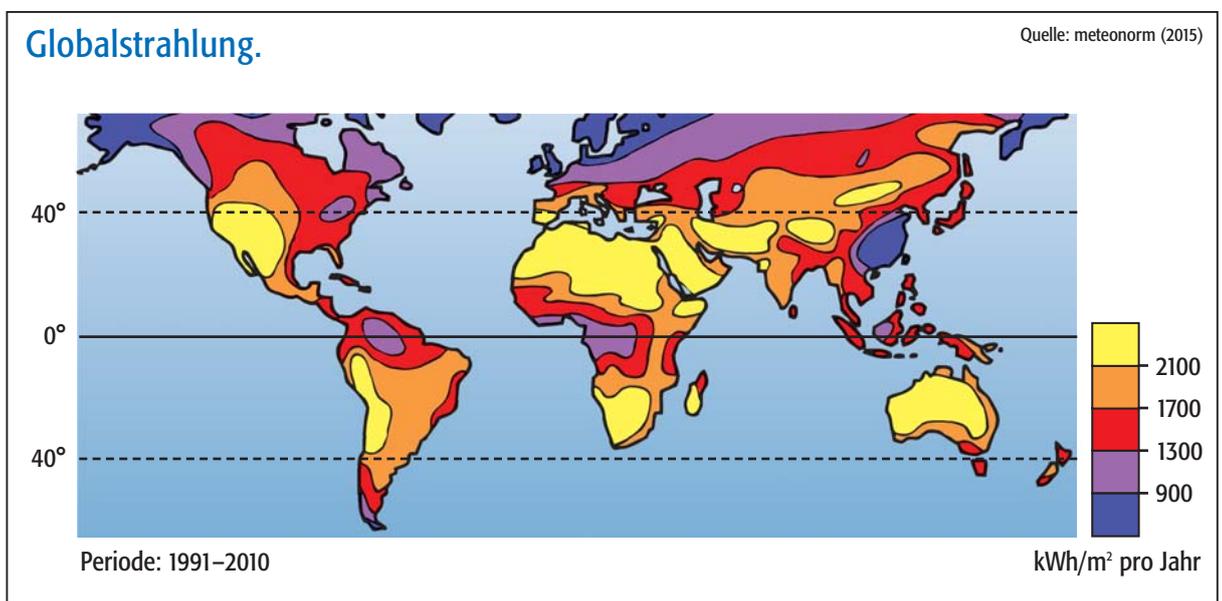
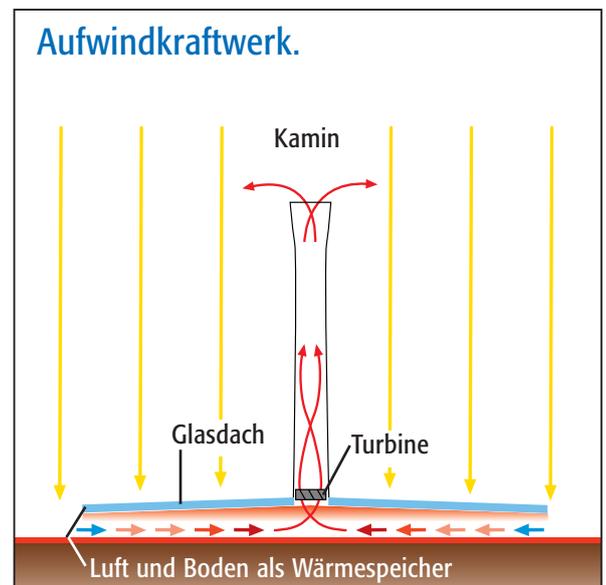
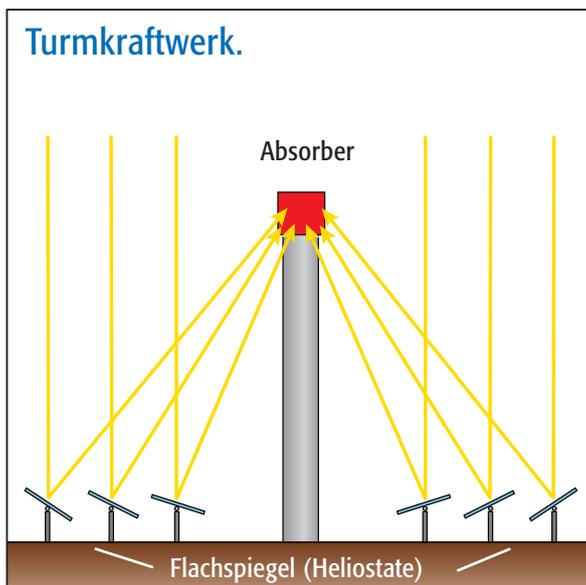
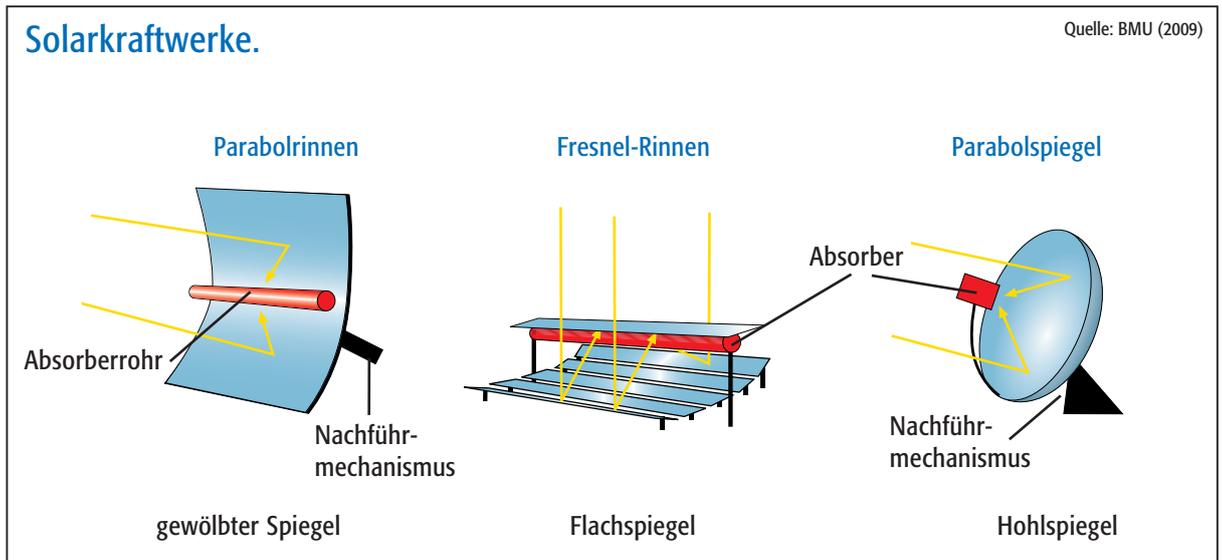
Wärme aus Sonnenkraft.



Funktion eines Sonnenkollektors.

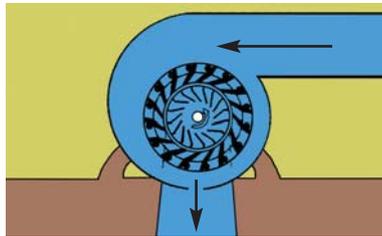


Energie aus der Sonne II.



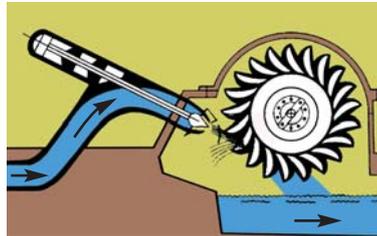
Energie aus Wasser.

Turbinentypen.



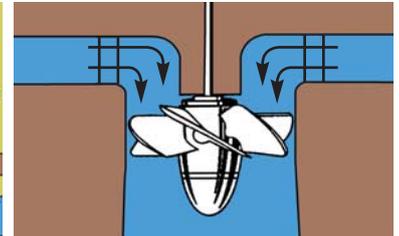
Francis

mittlere Fallhöhe
mittlere Durchlaufmenge



Pelton

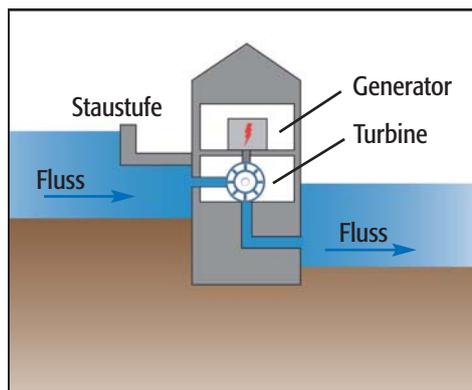
große Fallhöhe
geringe Durchlaufmenge



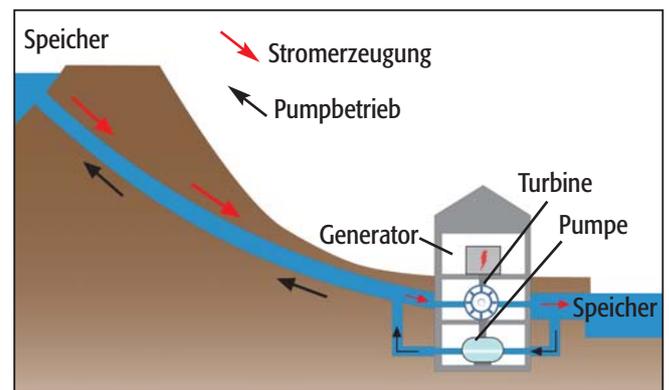
Kaplan

geringe Fallhöhe
große Durchlaufmenge

Flusskraftwerke/Speicherkraftwerke.

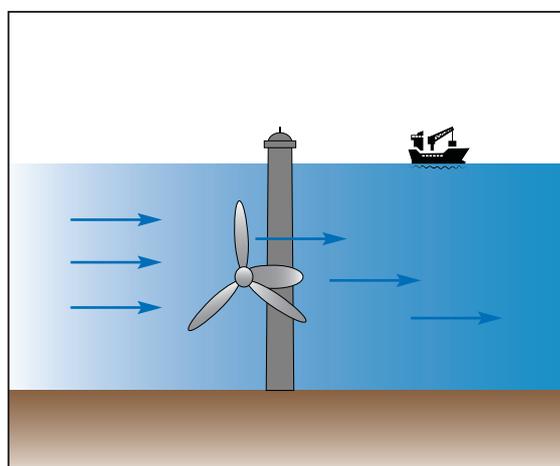


Laufwasserkraftwerk

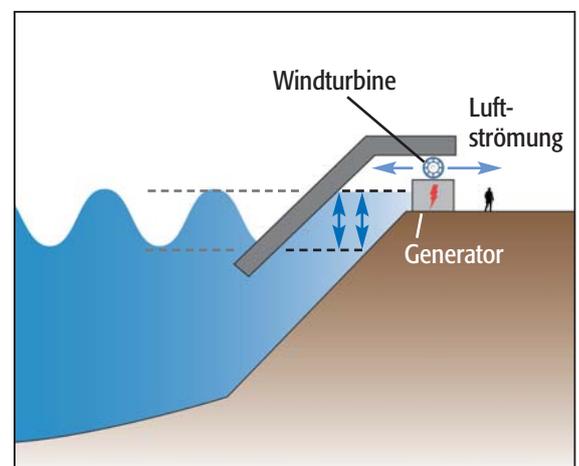


Pumpspeicherkraftwerk

Meereskraftwerke.



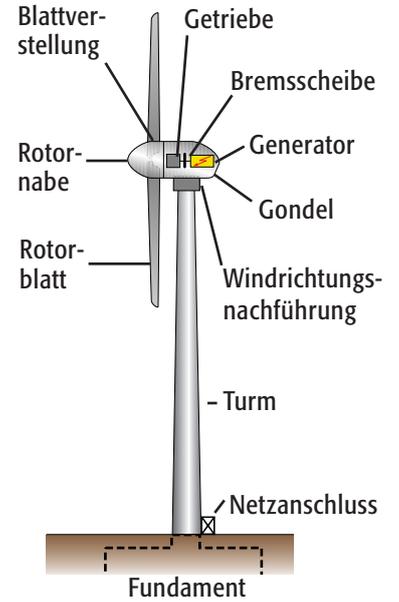
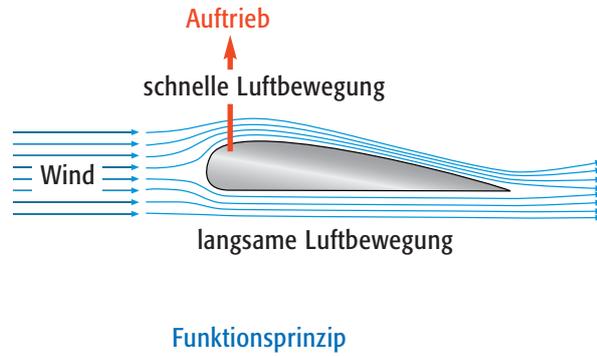
Meeresströmungskraftwerk



Wellenkraftwerk

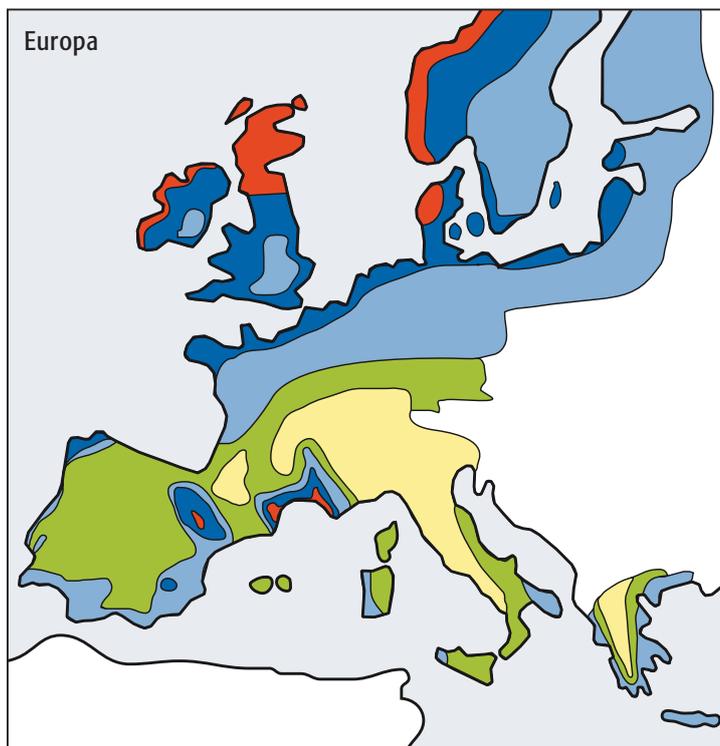
Energie aus Wind.

Windkraftanlage.



Windstärken.

Quelle: Wirtschaftsverband Windkraftwerke

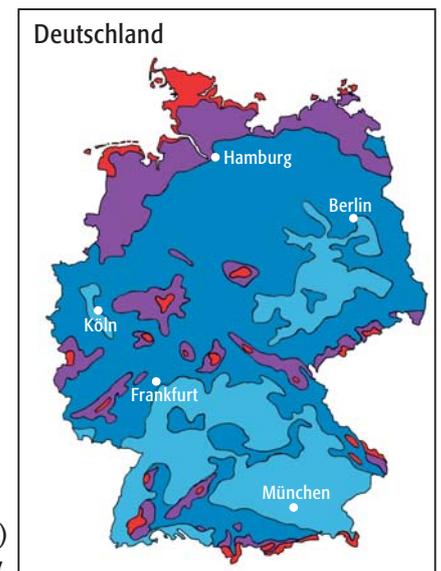


Mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe (m/s)

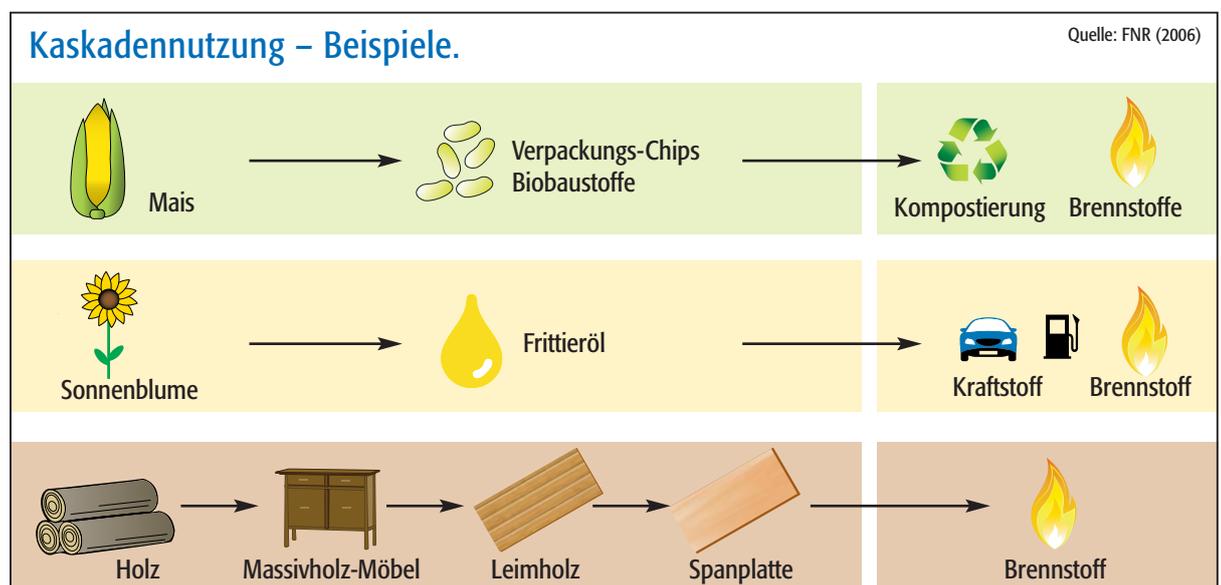
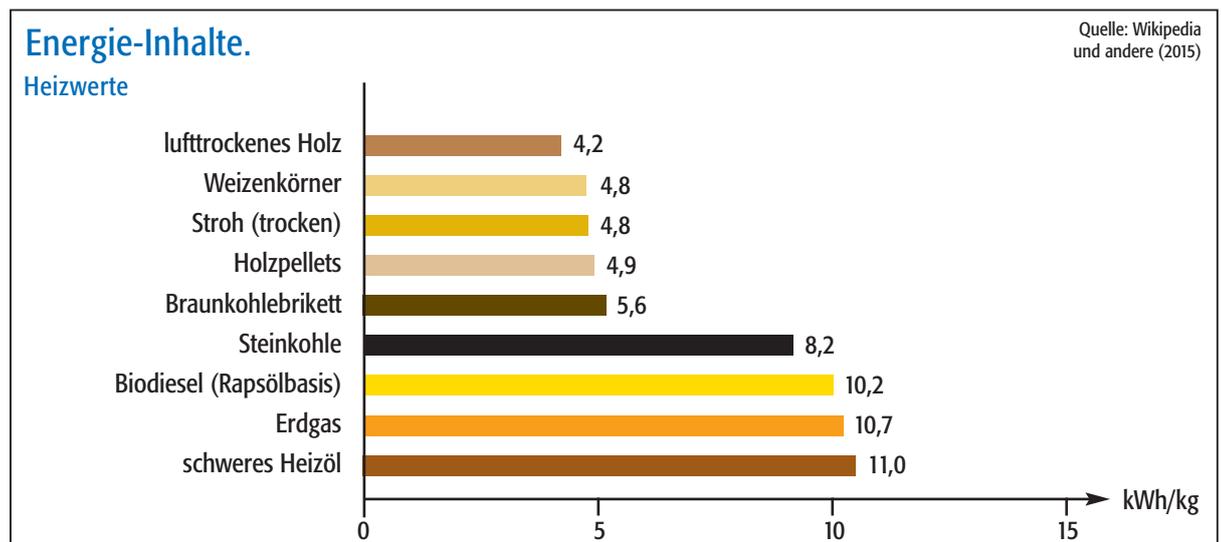
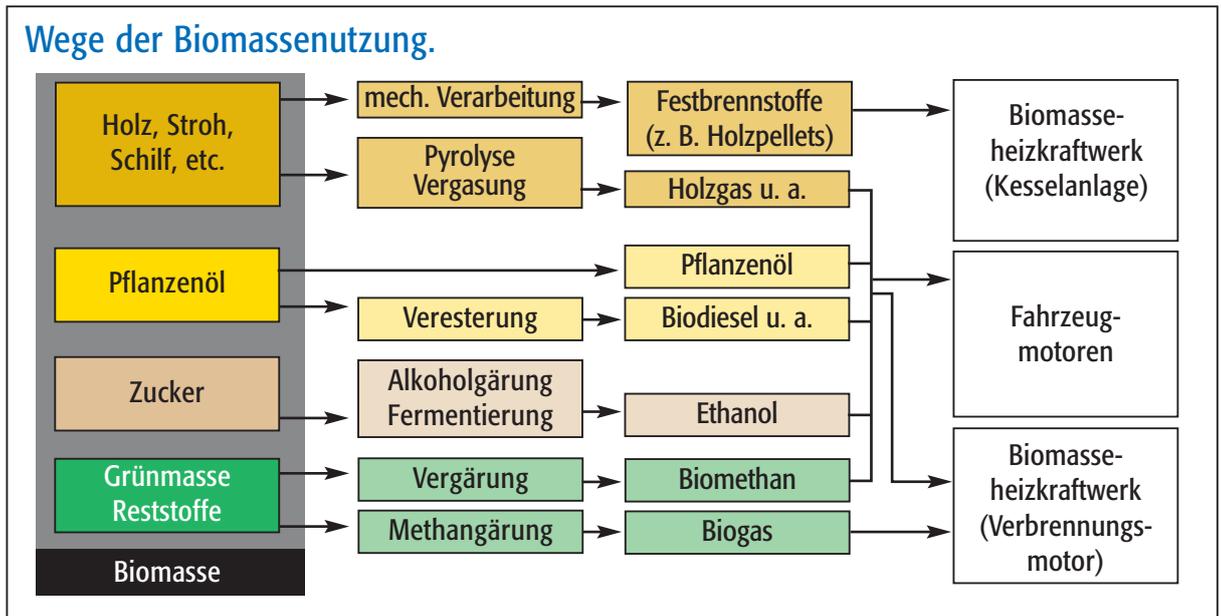
- >6 bis >11,5
- 5 bis 11,5
- 4,5 bis 10,0
- 3,5 bis 8,5
- <3,5 bis <7,0
- keine Angabe

Mittlere Windgeschwindigkeit in 80 m Höhe (m/s)

- 4-5
- 5-6
- 6-7
- >7

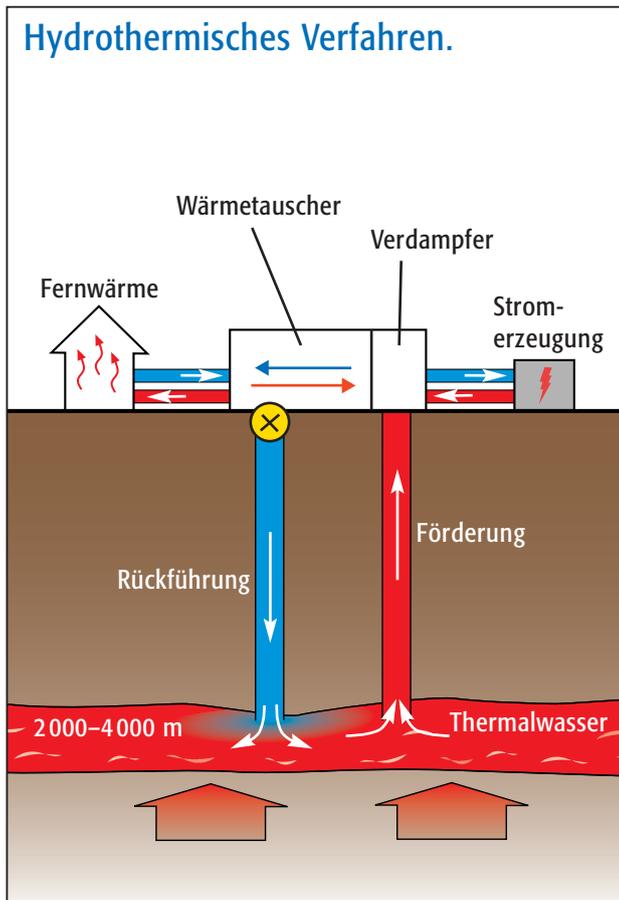


Energie aus Biomasse.



Energie aus dem Erdinneren.

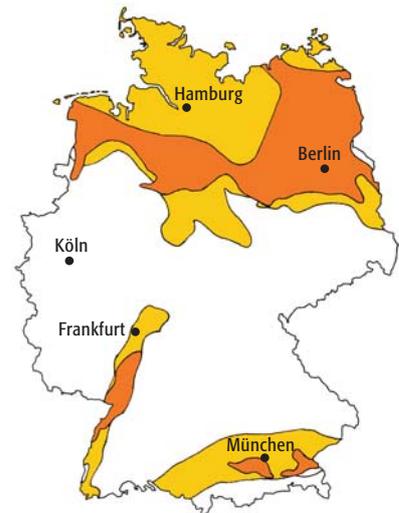
Hydrothermisches Verfahren.



Hydrothermie in Deutschland.

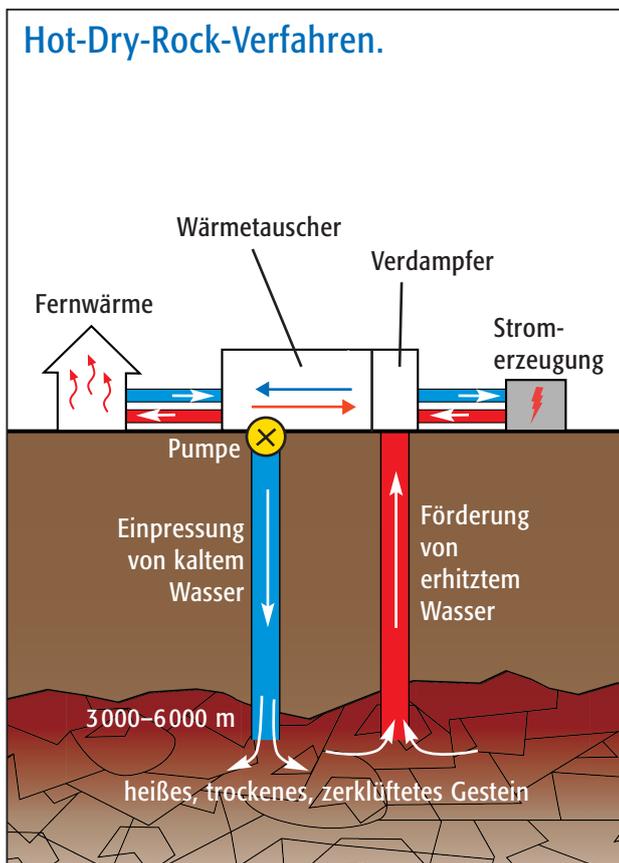
Regionen mit Aquiferen, die für eine hydrothermische Nutzung geeignet wären

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

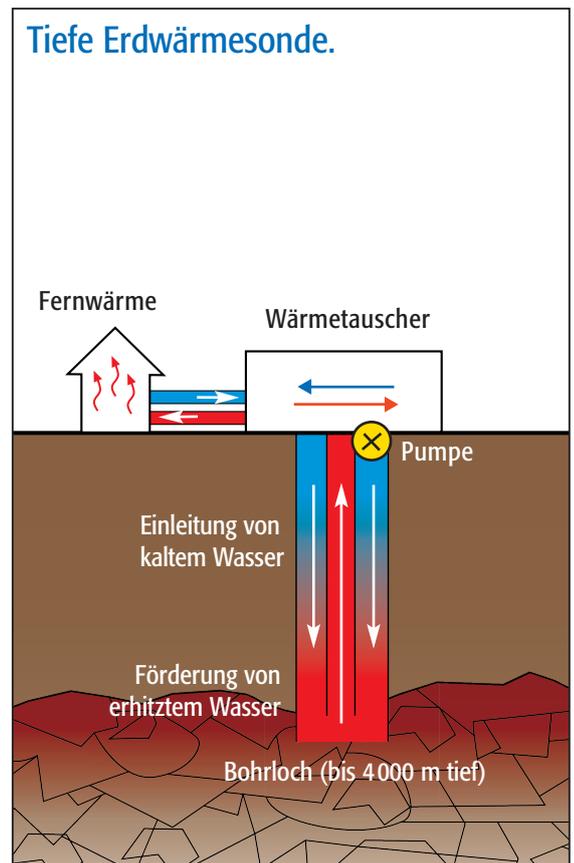


Quelle: Geothermisches Informationssystem

Hot-Dry-Rock-Verfahren.

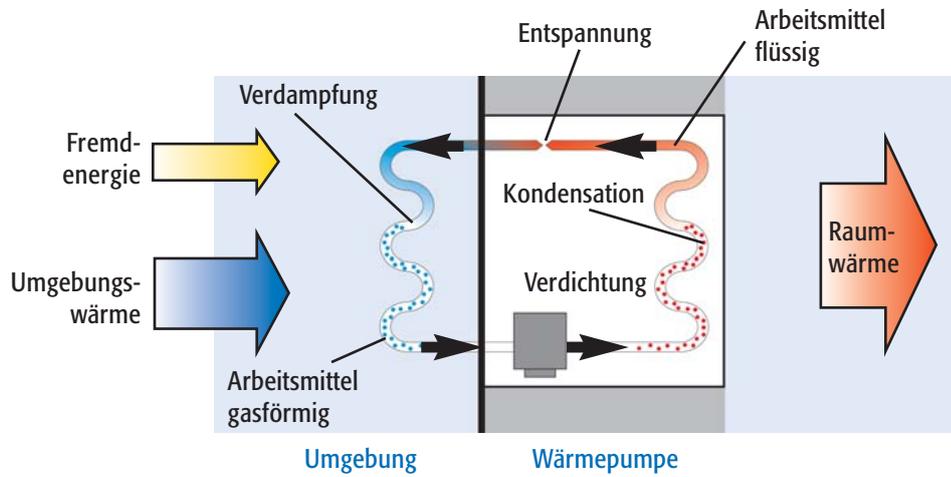


Tiefe Erdwärmesonde.

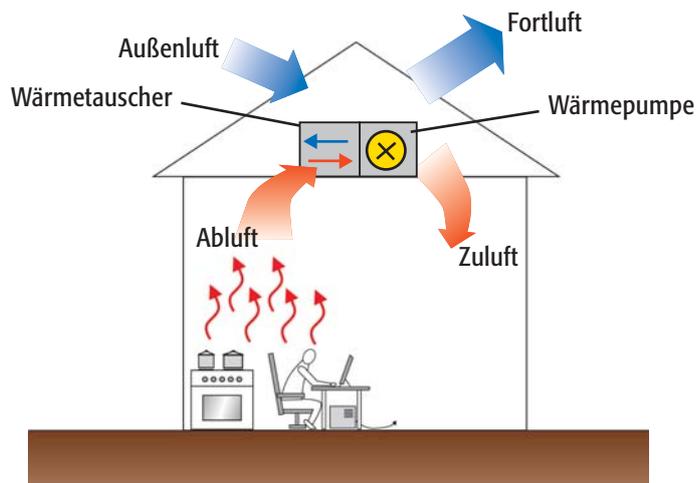


Energie aus Boden und Luft.

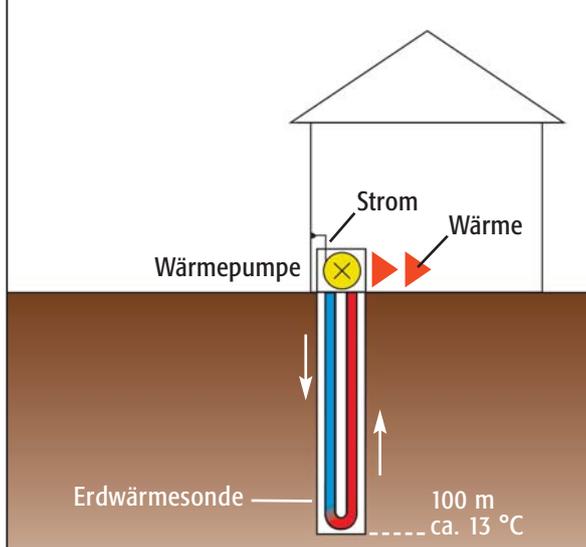
Prinzip einer Wärmepumpe.



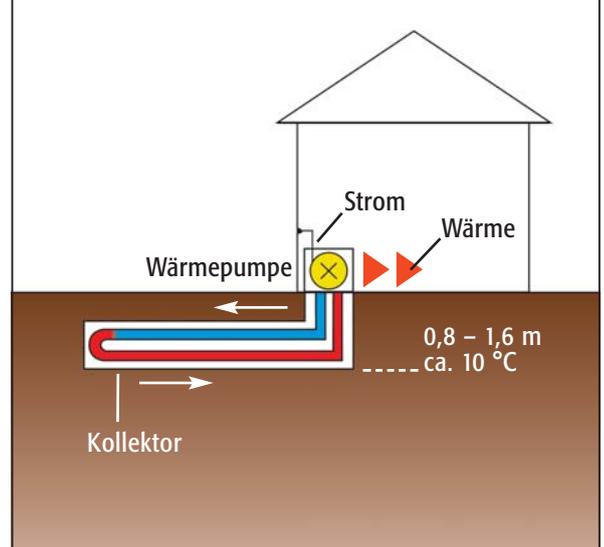
Wärmerückgewinnung mit Wärmepumpe.



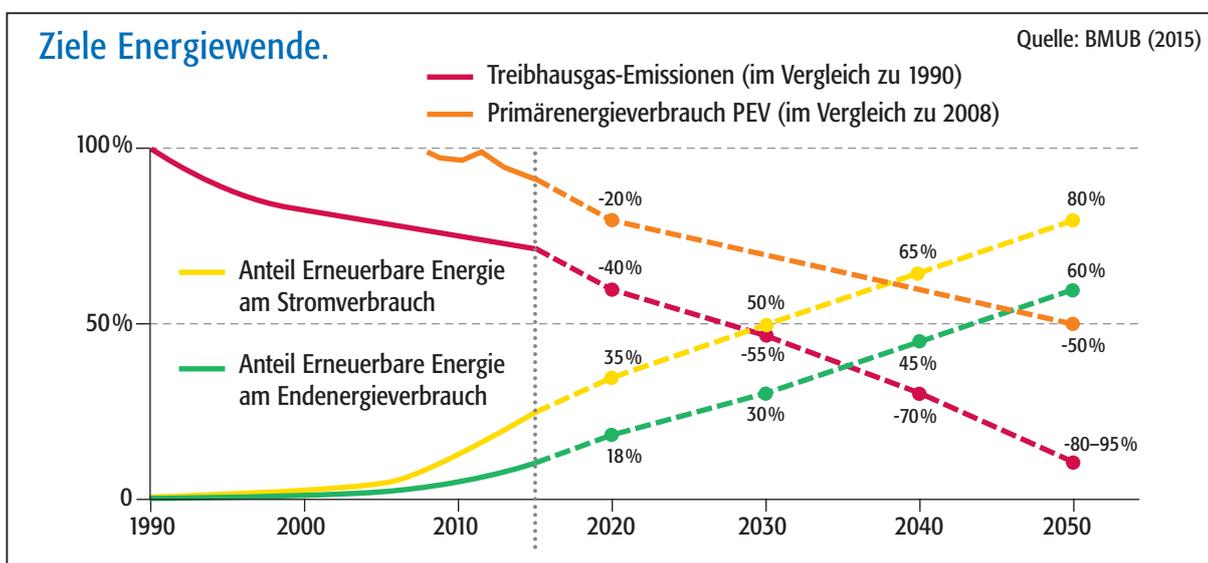
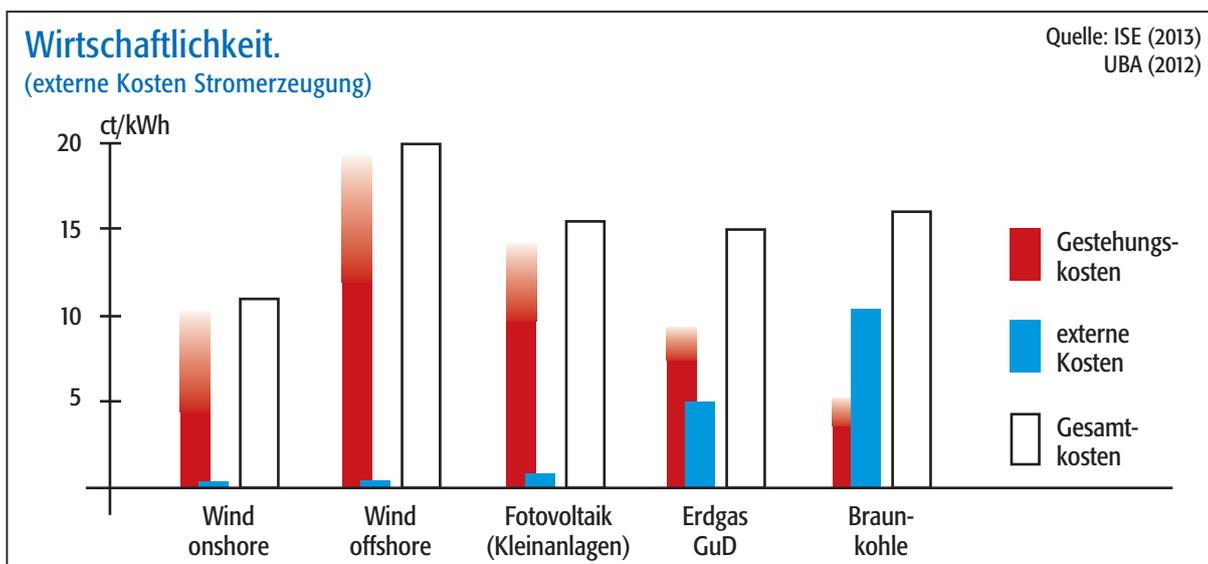
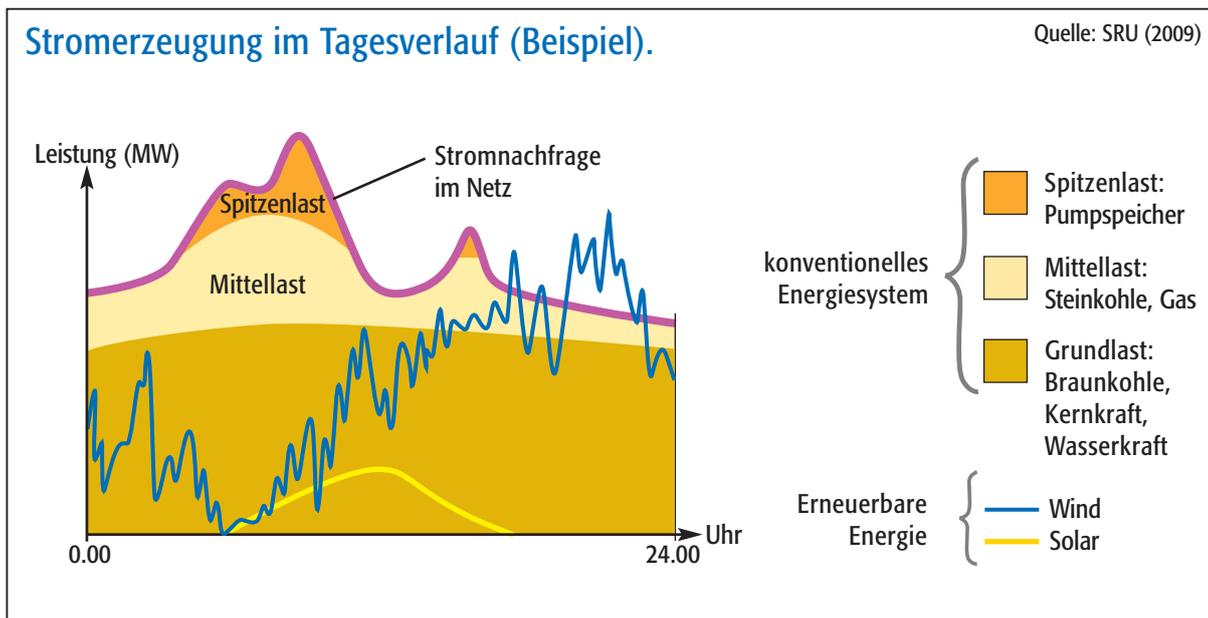
Wärmepumpe mit Erdwärmesonde.



Wärmepumpe mit Erdkolektor.



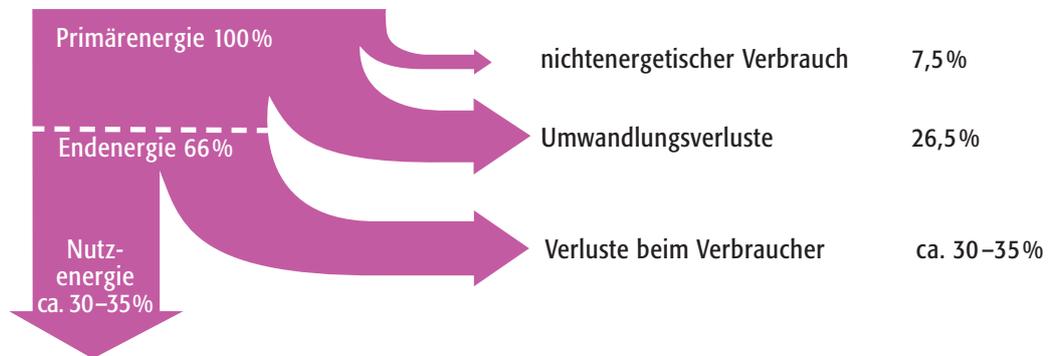
Ziele und Hindernisse.



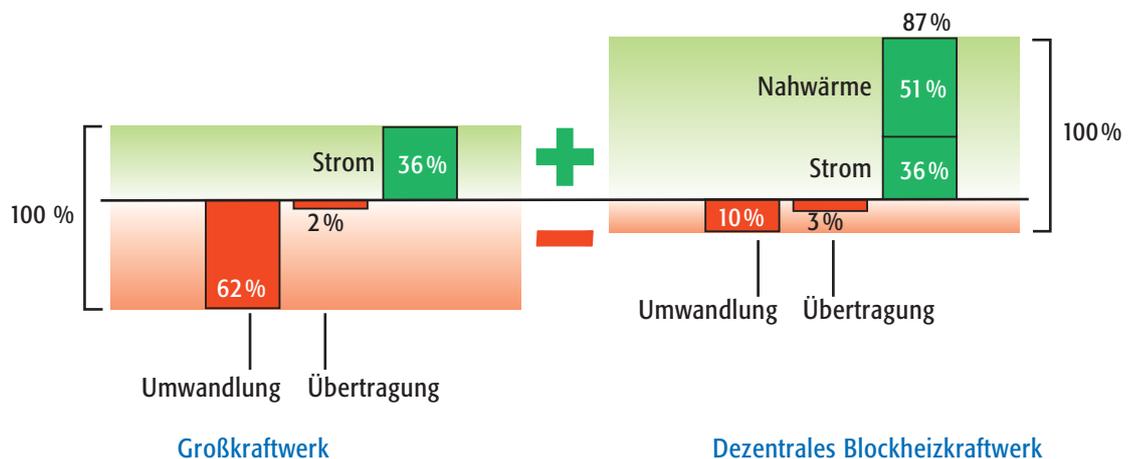
Energie sparen.

Energieeinsatz – Energiegewinn.

Quelle: AGEB (2015)

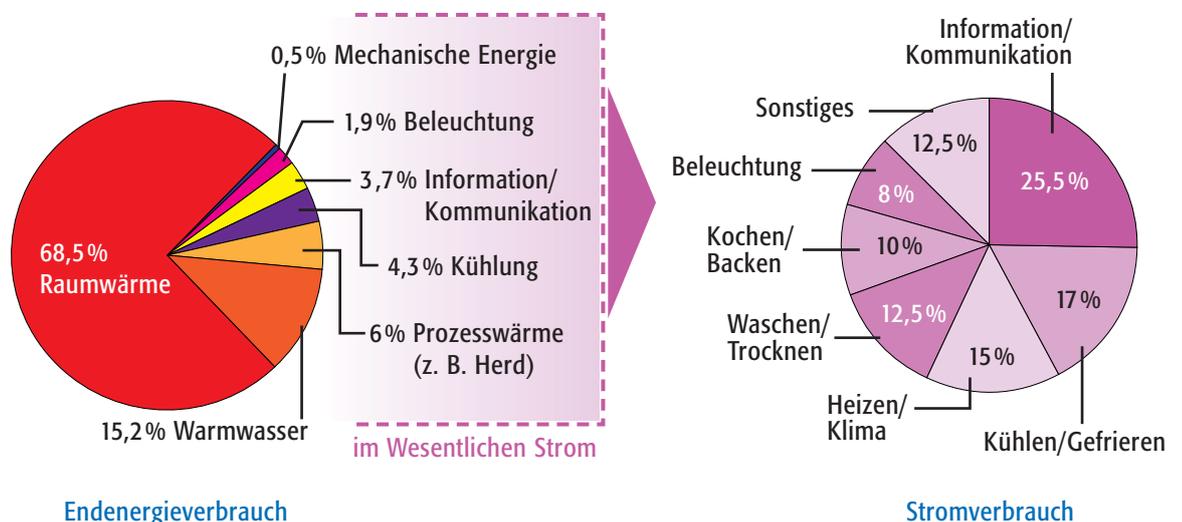


Kraft-Wärme-Kopplung.

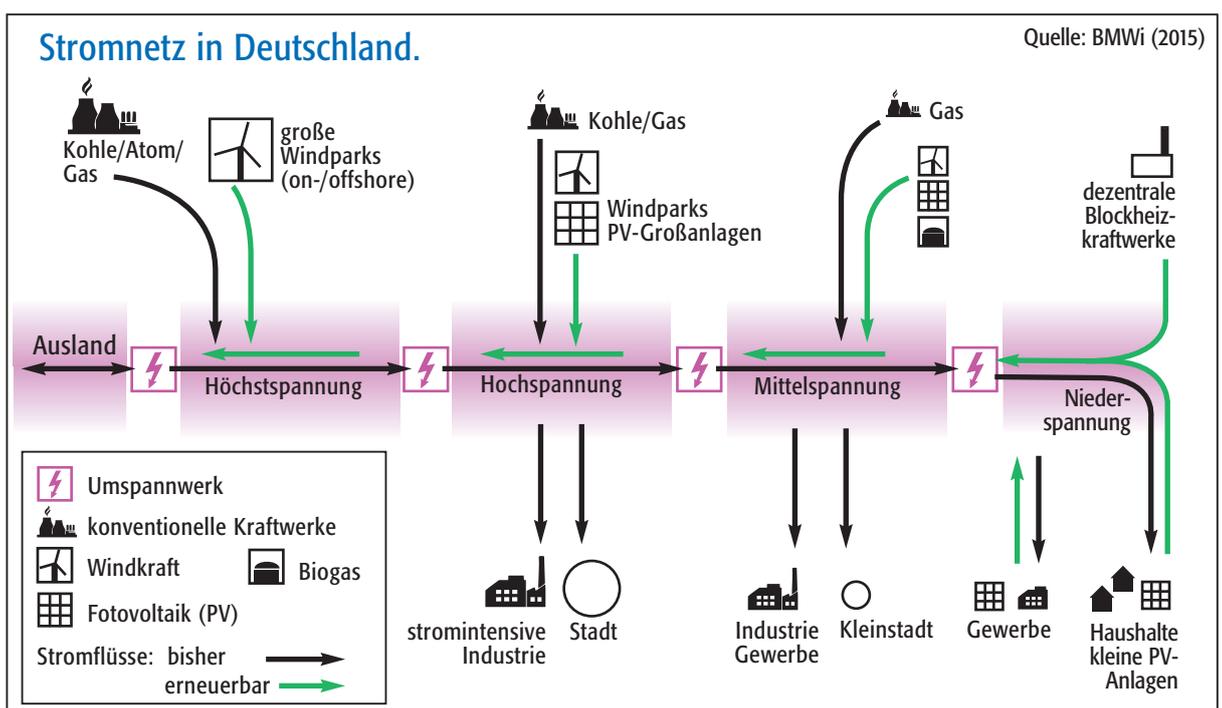
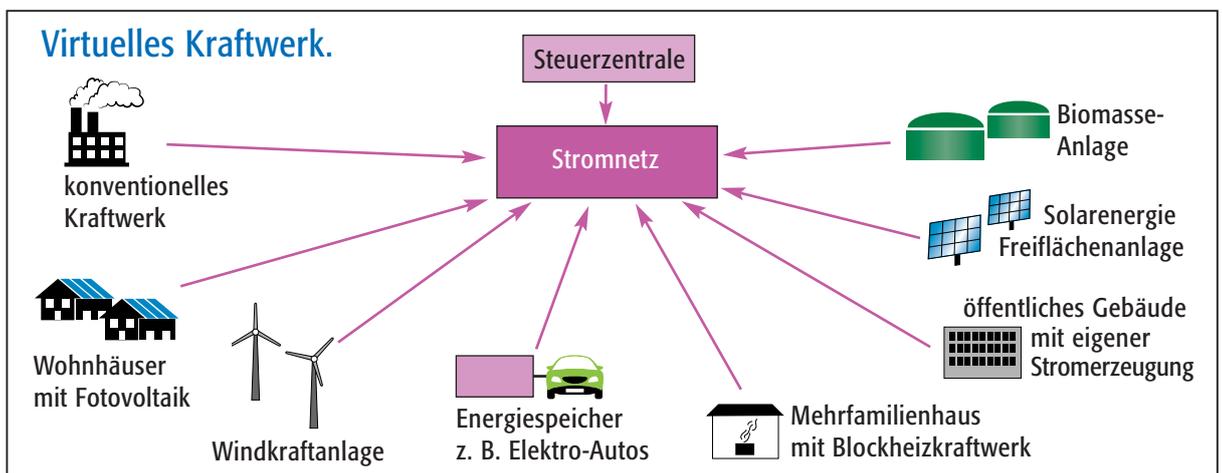
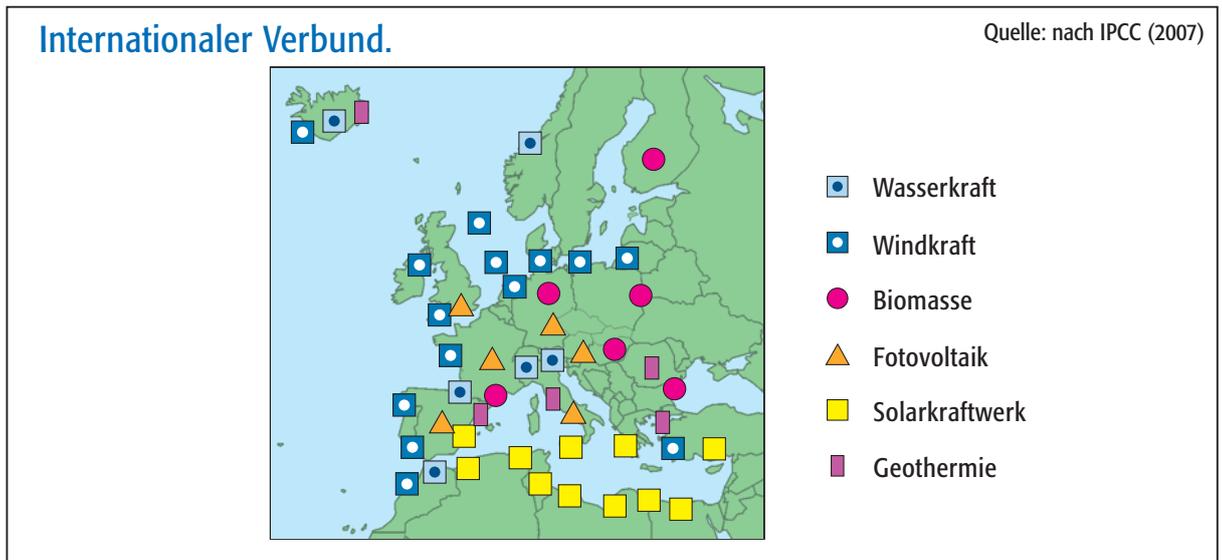


Energieverbrauch in privaten Haushalten.

Quelle: AGEB (2013)
BDEW (2013)



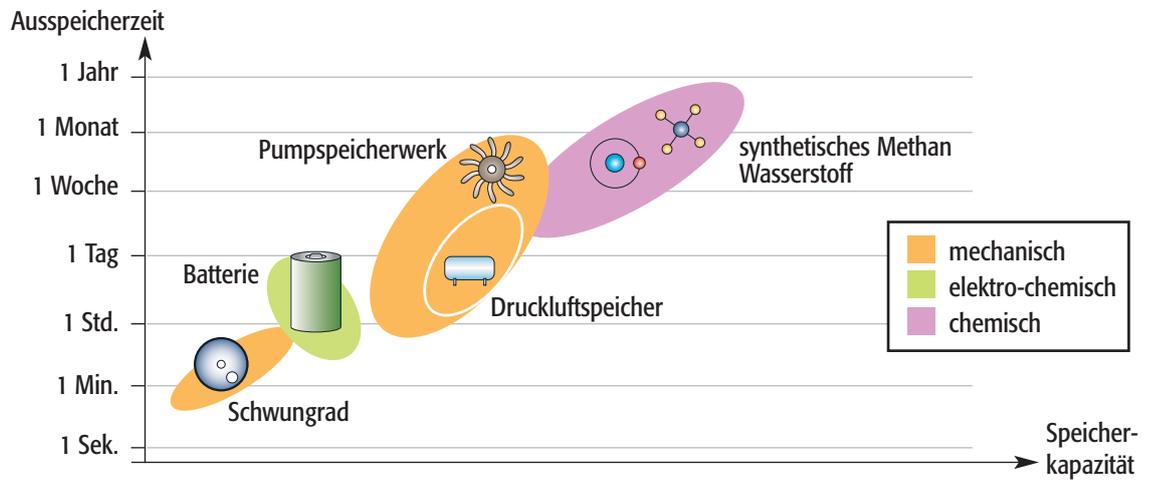
Unter Strom.



Energie speichern.

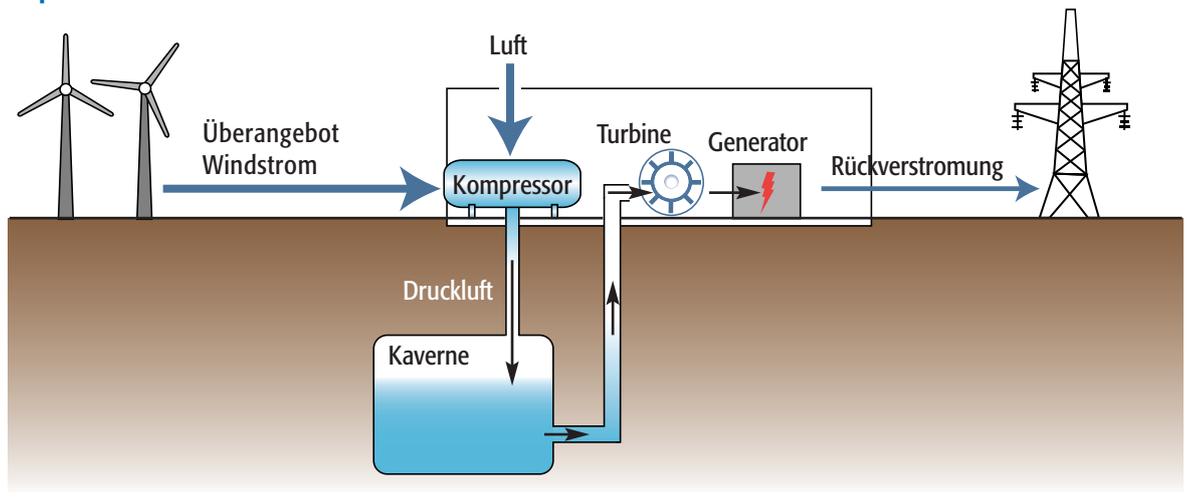
Speichersysteme – Reichweiten und Kapazitäten.

Quelle: AEE (2014)



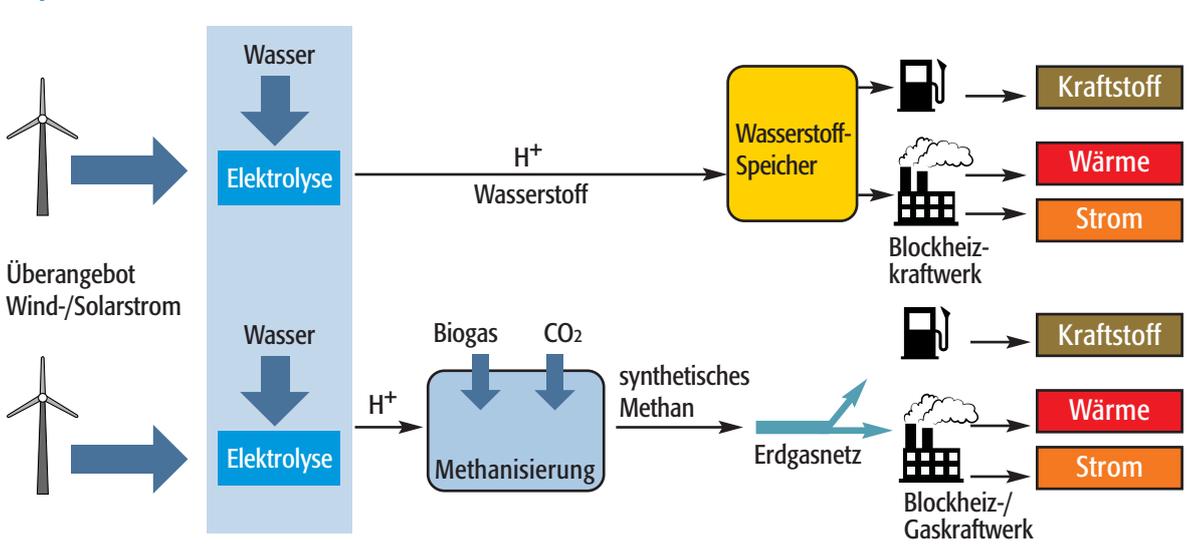
Speichermedium Druckluft.

Quelle: AEE (2014)

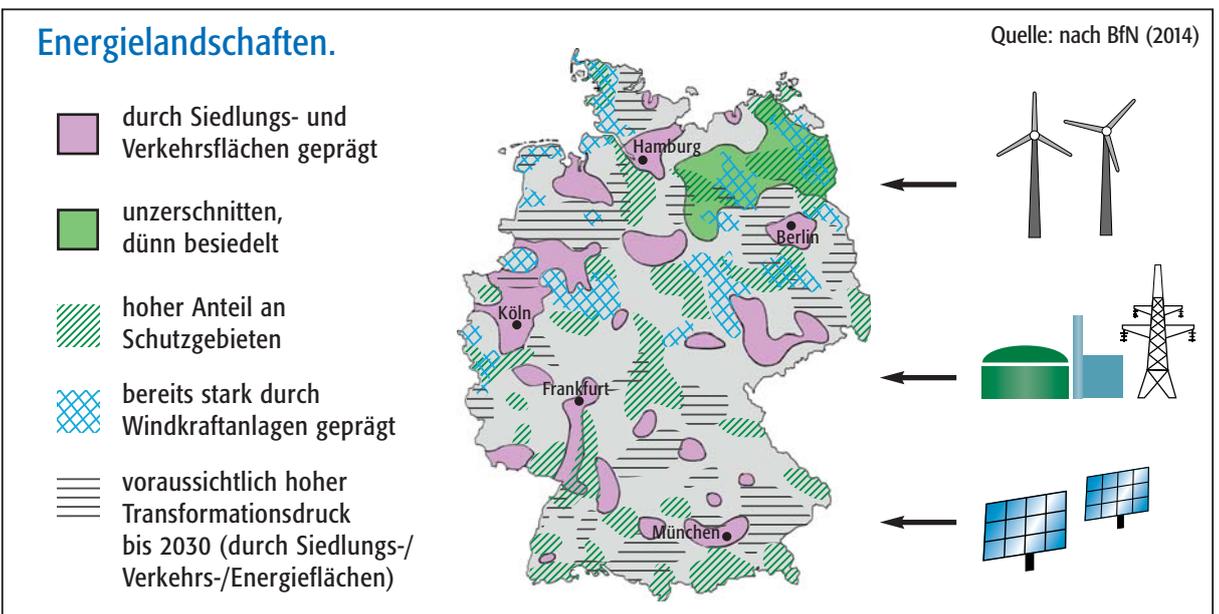
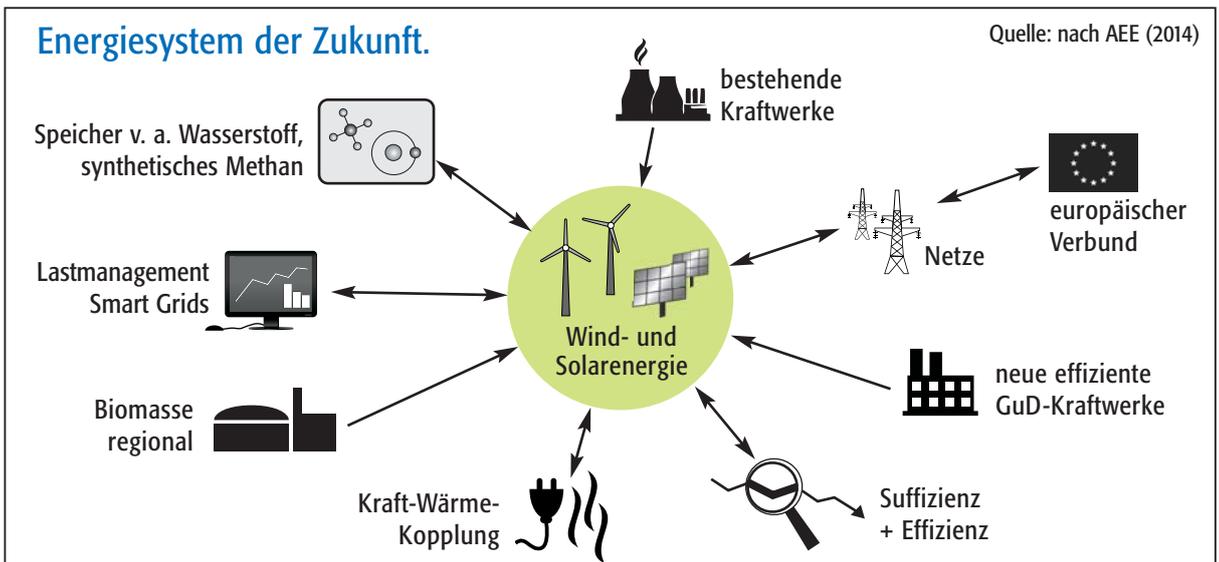
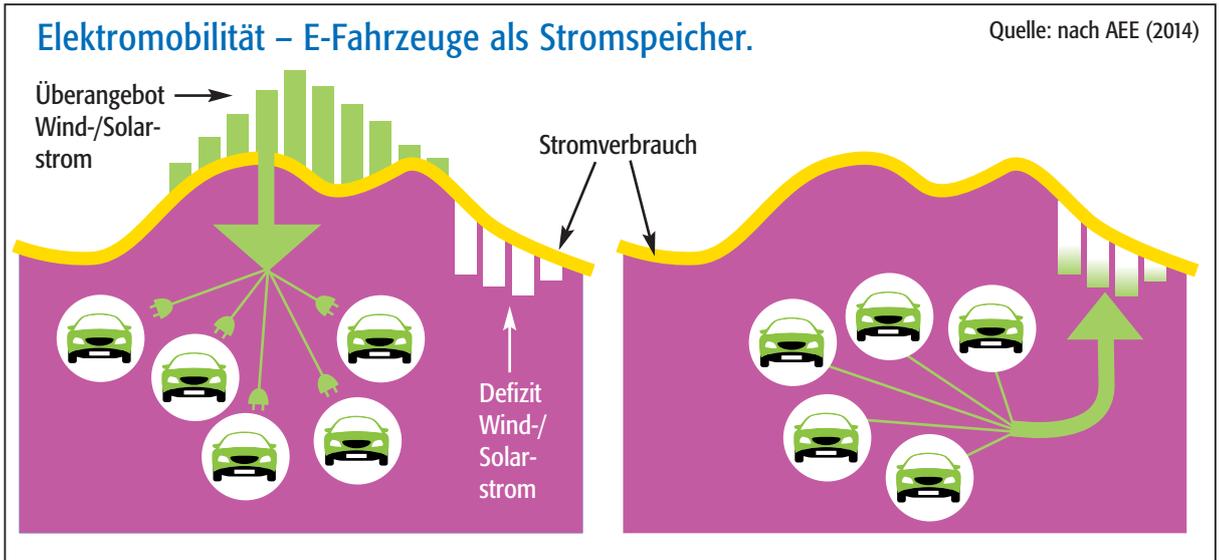


Speichermedium Wasserstoff/Methan.

Quelle: AEE (2014)



100% erneuerbar.



Impressum.

Herausgeber

Allianz Umweltstiftung
Pariser Platz 6 · 10117 Berlin
Telefon 030 2067 1595-50
Telefax 030 2067 1595-60
E-Mail: info@allianz-umweltstiftung.de
Internet: www.allianz-umweltstiftung.de

Konzeption, Redaktion und Text

Allianz Umweltstiftung, Peter Wilde
IMAGO 87, Detlef Mueller

Grafiken und Zeichnungen

IMAGO 87, Martin Kirsch, Detlef Mueller

Gestaltung und Realisation

IMAGO 87
Hauptstraße 22
85395 Attenkirchen
E-Mail: info@imago87.de
Internet: www.imago87.de

Redaktionsschluss

Dezember 2015

Druck

Druckhaus Kastner, Wolnzach



Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier.

Februar 2016

1. Auflage

Fotos

Allianz Umweltstiftung: 4412, 4413, 4414
Biosphärengebiet Schwäbische Alb: 4411
Creative collections: 10mur
Fotolia: Titel, U2, 2u, 4m, 8u, 9u, 12, 25u, 26 alle, 29mo, 29mu, 29u, 30, 31 beide, 34 lu, 41
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie: 33
John Foxx Images: 10l
Panthermedia: 13
Pixelio.de: 2o (Blümchen), 2m (Hofschläger), 5o (Christa Nöhren), 5m (I-vista), 7u (Martina Böhner), 8m (Wolfgang Dirscherl), 10mol (Stephan Bratek), 10mor (virra), 10mul (Sprisi), 11 (moorhenne), 16m (Paul-Georg Meister), 18 (Tiberius K), 20o (Siepmann H), 20u (RediSu), 21ol (Stihl024), 21or (Gabi Schoenemann), 21u (Juwel Top), 24 (Knut F. Domnik), 25l u. 25or (Uschi Dreiuicker), 27 (Daniela Daum), 29o (Uwe Schlick), 32l (O. pictures), 36 (Rudolpho Duba), 37 (Wolfgang Dirscherl)
Société Électrique de l'Our: 32r
Wikipedia: 4o (Michael Gäbler), 4u (vogone), 5u, 7o (Haloorange), 7mo (Magnus Manske), 7mu (Eweth), 8o (Tasty Cakes), 9o (Jan Boedeker), 16o, 17, 19 (Hillewaert.Lycaon), 22 (Techhollector), 28l (Andol), 34o (LSDSL), 35o (Tony Webster)

(r: rechts; l: links; o: oben; u: unten; m: mitte;
F: Folie; U: Umschlag)

Zahlen und Daten.

Bevölkerung

- Welt: ca. 7,2 Mrd.
- Deutschland: 82,1 Mio. (= 1,15%)

Primärenergieverbrauch

- Welt: ca. 567.000 EJ
- Deutschland: ca. 13.700 PJ (= 2,42%)

pro Kopf:

- Welt: 79 GJ
- USA: 290 GJ
- Deutschland: 162 GJ
- China: 93 GJ

Stromproduktion

- Welt: ca. 21.500 TWh
- Deutschland: 576,5 TWh (2,68%)

Energiebedingte CO₂-Emissionen

- Welt: ca. 32,2 Mrd. t
- Deutschland: 759,6 Mio. t (= 2,36%)

pro Kopf (t CO₂)

- Welt: 4,5 t
- USA: 16,2 t
- Deutschland: 9,3 t
- China: 6,6 t

Leistung (Beispiele)

- Drei-Schluchten-Damm China: 18.200 MW
- Kernkraftwerk Isar: 1.485 MW
- Steinkohlekraftwerk Ibbenbüren: 884 MW
- Wasserkraftwerk Jochenstein/Donau: 132 MW
- Solarkraftwerk Andasol I (Spanien): 50 MW
- Windkraftanlage (einzelne Anlage): bis 6 MW
- Fotovoltaikanlage (100 m²): ca. 10 kW
- Mensch: ca. 100 W



Watt (physikal. Einheit für Leistung)

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



Joule (abgeleitete Einheit für Energie)

1000 GJ	=	1 TJ (Terajoule)
1000 TJ	=	1 PJ (Petajoule)
1000 PJ	=	1 EJ (Exajoule)

Datenquelle IEA 2015 (Daten von 2013)

