

Informationen

319 *zur politischen Bildung*

bpb:

3/2013

Energie und Umwelt



Inhalt

Was ist Energie	4
Physikalische Grundlagen	5
Gebräuchliche Maßeinheiten	6
Energieverbrauch und Energieeinsparung	8
Energiebilanzen: Basis für energiewirtschaftliche Analysen	8
Entwicklung des Energieverbrauchs	10
Entwicklung von Stromverbrauch und -erzeugung	11
Energieeinsparung und Energieeffizienz	12
Energiequellen und Kraftwerke	16
Fossile, nicht erneuerbare Energieträger	16
Erneuerbare Energiequellen	23
Zukunftstechnologien	30
Verfügbarkeit von Kraftwerksarten	31
Vom Waldsterben zur Energiewende	32
Störfälle als Auslöser für Bewusstseinsveränderung	32
Schadstoffe und ihre Folgewirkungen	33
Treibhauseffekt und Klimaschutz	38
Folgen für Ökosysteme und Gesellschaften	39
Verursachende Bereiche	40
Internationale Klimaschutzkonferenzen	42
Das Stromnetz im Zeichen der Energiewende	45
Technische Grundvoraussetzungen	46
Intelligente Netze – Antwort auf ein Mehr an erneuerbaren Energiequellen	50
Entwicklungsmöglichkeiten und Entwicklungsnotwendigkeiten	52
Energiewirtschaft und Preise	54
Vom Monopol zum Wettbewerb	54
Steuern, Abgaben und Umlagen	58
Kontroverse um die Förderung der erneuerbaren Energien	61
Energiepolitik	63
Akteure	63
Folgewirkungen des EEG	67
Weitere Potenziale für eine erfolgreiche Energiewende	70
Glossar	72
Literaturhinweise	74
Internetadressen	74
Autorinnen und Autoren	75
Impressum	75



Editorial

Mit dem Begriff „Energiewende“ verbinden sich zwei Zielvorstellungen, die nicht ohne Weiteres miteinander zu vereinbaren sind: eine weitgehende Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen, ohne den Komfort eines notwendigerweise hochtechnisierten, möglichst reibungslos verlaufenden Alltags- und Wirtschaftslebens zu entbehren.

Beide Ziele genießen bei einem großen Teil der deutschen Bevölkerung einen hohen Grad an Zustimmung, ebenso wie das Bedürfnis nach Sicherheit vor gesundheitlichen, möglicherweise lebensbedrohlichen Belastungen.

Deshalb traf die politische Entscheidung, nach der Atomkatastrophe im japanischen Fukushima 2011 – dem größten atomaren Unfall seit der Havarie des Reaktors im ukrainischen Tschernobyl 1986 – künftig auf Energiegewinnung aus Atomkraft zu verzichten, auf breite Zustimmung.

Mit dieser Entscheidung beschreitet Deutschland einen Pionierpfad, der international sehr aufmerksam verfolgt wird. Gelingt es, auf umweltverträgliche und ressourcenschonende Weise die traditionell hohe Versorgungssicherheit im Energiesektor zu gewährleisten, die auch wirtschaftlich einen gewichtigen Standortvorteil ausmacht, könnte Deutschland weltweit eine Vorreiterrolle einnehmen. Gleichzeitig hat sich Deutschland im Rahmen der EU zu einer ehrgeizigen Klimapolitik verpflichtet, um die Folgen der vom Menschen verursachten Erderwärmung zu begrenzen.

Doch der Weg zu diesen Zielen ist steinig. Es gilt, zukunftsweisende Technologien zu entwickeln, die es erlauben, Energie in ausreichender Menge umweltneutral zu erzeugen und zu speichern. Es gilt, die Menschen für den Systemwechsel zu gewinnen, speziell dann, wenn Individualinteresse und Gemeinwohl auf den ersten Blick auseinander streben und es zu heftigen Auseinandersetzungen im demokratischen Meinungsstreit kommt. Es gilt, die beträchtlichen Kosten der Umstellung auf neue Formen der Energiegewinnung im Auge zu haben und den Interessen und Bedürfnissen der Verbraucher genauso gerecht zu werden wie denen der Wirtschaft und der Energieversorger, damit Arbeitsplätze nicht gefährdet und neue geschaffen werden.

Das sind keine einfachen Aufgaben: Bei genauerem Blick offenbart sich eine komplexe Gemengelage voller Konfliktlinien. Sicherheitsdenken trifft auf das Bestreben nach Erhalt von Lebensstandard und Lebensqualität, individuelle Interessen treffen auf das Prinzip des Gemeinwohls, das meist von staatlicher Seite vertreten werden muss, Umweltschutzbestrebungen reiben sich an Kostenerwägungen. Selbst innerhalb einzelner Interessengruppen brechen Fronten auf: So wehren sich die Befürworter erneuerbarer Energien mitunter gegen Windräder oder Pumpspeicherkraftwerke in ihrer näheren Umgebung, scheidet sich Wirtschaftsunternehmen in solche, die von der Energiewende profitieren, und solche, die sich mit ihr eher schwer tun. Und

sowohl ungebremstes Fortschrittsstreben wie staatliche Regulierung zeitigen gelegentlich ebenso unvorhergesehene wie ungewollte Folgewirkungen.

Angesichts der politischen und gesellschaftlichen Bedeutung des Themas ist es Ziel dieses Heftes, Grundlagen zum Bereich Energie und zum Bereich Umwelt- und Klimaschutz zu vermitteln, die Vielschichtigkeit der Problemlagen zu verdeutlichen und die wesentlichen Konfliktlinien aufzuzeigen.

Dabei geht es im Schwerpunkt um Stromerzeugung, -transport und -verbrauch, doch auch die verschiedenen Energieformen sowie Sektoren wie Verkehr und Wohnungsbau werden behandelt.

Ausgehend von der Frage, was eigentlich unter Energie zu verstehen ist und welche Bedeutung sie für unser Leben hat, gibt das Eingangskapitel einen Einblick in physikalische Grundlagen. Das Folgekapitel analysiert den Energieverbrauch in Deutschland und zeigt Möglichkeiten zur Einsparung und zu größerer Effizienz im Umgang mit Energie auf. Aus welchen Energieträgern mit welchen Methoden Energie gewonnen wird und welche Kraftwerkstechnologien dabei zum Einsatz kommen, behandelt Kapitel 3, während das Anschlusskapitel den Folgewirkungen der Energieerzeugung für die Umwelt, für Luftqualität, Artenvielfalt und Flächenverbrauch gewidmet ist. Ein gesonderter Beitrag beschäftigt sich mit Ursachen und Folgen des menschlich verursachten Klimawandels, dem Anteil, den der Energiesektor daran hat und den internationalen Bemühungen, Abhilfe zu schaffen. Welche technischen Bedingungen eine reibungslose Energieversorgung erfordert und wie das Stromnetz für die wachsende Einspeisung aus erneuerbaren Energiequellen gerüstet werden muss, verdeutlicht Kapitel 6. Wie der Strompreis zustande kommt und welche Bedeutung Energiepreise für unterschiedliche Wirtschaftssektoren haben, wird in Kapitel 7 dargelegt. Das Abschlusskapitel rekapituliert, wie es zur politischen Entscheidung für den Atomausstieg kam, welche energiepolitischen Ziele sich die Bundesregierung bis 2050 gesteckt hat und welche Akteure daran mitwirken.

Neben der Informationsvermittlung gilt ein besonderes Anliegen des Heftes dem Bemühen, das Bewusstsein für Notwendigkeiten zu schärfen und auf aktive Teilhabe hinzuwirken. Denn auch im Alltag gibt es vielfältige – kleine und große – Gelegenheiten, Energie effizient und sparsam einzusetzen und damit sich und nachfolgenden Generationen ein lebenswertes Dasein zu bewahren.

Christine Hesse



Hans-Joachim Ziesing

Was ist Energie

Energie und insbesondere die Stromversorgung spielen eine bedeutende Rolle in unserem Alltag. Zentrale Begrifflichkeiten, physikalische Grundlagen und die gebräuchlichen Maßeinheiten sind wichtig für das Verständnis von Energiefragen, vor allem wenn es um die Vergleichbarkeit verschiedener Energieträger geht.

Energie ist lebenswichtig

Unser Leben ist ohne Energie nicht möglich. Die Menschen führen sich mit Nahrungsmitteln die Energie zu, die sie brauchen, um Tätigkeiten ausführen zu können. Auch zum Heizen oder Kühlen wird Energie benötigt, ebenso wie um Wege zurückzulegen, Räume zu erleuchten, zu telefonieren oder um sich im Datenverkehr zu bewegen. Derartige Aktivitäten und den damit verbundenen Energiebedarf gibt es in allen Wirtschaftssektoren, sei es Landwirtschaft, Industrie, Handel, Dienstleistungen, Verkehr, private Haushalte und öffentliche Einrichtungen.

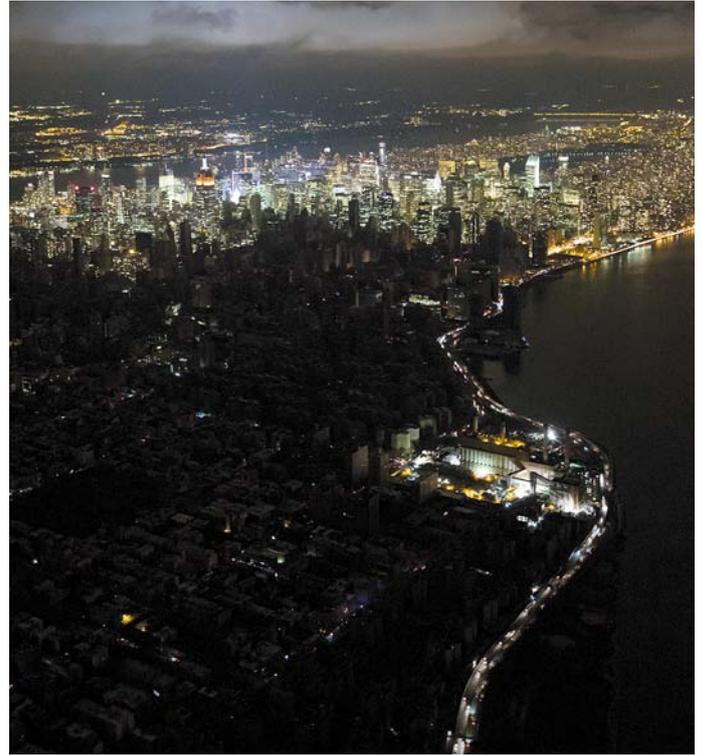
Blackout

[...] Stellen wir uns einen frühen Abend im Februar vor, sieben Uhr abends, Stromausfall. Berlin: ein großes schwarzes Nichts. München, Hamburg, Köln, überall fehlt der Strom. U-Bahnen bleiben stehen, Aufzüge stecken fest, ohne funktionierende Ampeln versinkt der Feierabendverkehr im Chaos. Der nächste Morgen: Hoffnungsvoll drücken die ersten Frühaufsteher die Lichtschalter – vergeblich. Langsam leeren sich die Akkus der Handys, die vielen als letzte Lichtquelle dienen. Mobilfunknetze und Internet sind ausgefallen. Was tun? Zur Arbeit fahren? Für viele sinnlos, die Computer gehen nicht, dafür bilden

sich lange Schlangen vor den Supermärkten – aber wie soll man die betreten, wenn sich die automatischen Türen nicht öffnen, wie bezahlen, wenn die Kassen außer Betrieb sind, die Geldautomaten noch dazu? Allmählich ändert sich die Stimmung, was als Abenteuer begann, mit Vorlesen bei Kerzenlicht statt Fernsehen, wird, in der zweiten Nacht ohne Heizung, Herd, fließendes Wasser, unheimlich. Das gesamte europäische Stromnetz ist zusammengebrochen, so viel erfährt man über die wenigen batteriebetriebenen Radios und aus den Durchsagen der Polizei. Ursache? Weiter unbekannt. Tag drei: In Krankenhäusern fallen Notstromaggregate aus, das Benzin geht zu Ende,

die Vorräte der Deutschen allmählich auch, Tiefkühlfächer sind aufgetaut. Weil die Abwasserversorgung brachliegt, droht Seuchengefahr. Bewaffnete Bundeswehreinheiten patrouillieren gegen Plünderer, überforderte Behördensprecher schieben einander die Schuld zu, Dialysepatienten sterben ... Sollen wir aufhören? Das Schreckensszenario beenden? Uns kurz freuen, über den Strom, der uns eben doch nicht so selbstverständlich Licht und Wärme schenkt und den normalen Alltag ermöglicht? Gerne. Sehr gerne. [...]

Marc Baumann, „Hast Du mal 'ne Taschenlampe?“, in: positionen zu Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, hg. v. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft, Nr. 89, Mai 2013, S. 4ff.



Ohne Energie gehen die Lichter aus, so wie im November 2012 in New York, als ein Stromausfall weite Teile der Stadt in Dunkelheit hüllte.

Getty Images / Iwan Baan



UpperCut Images A / Fionline Bildagentur.RM

Doch nicht ganz selbstverständlich? Licht und Wärme im Alltag

sich erst entwickeln, als „neue“ Energieträger verfügbar waren. Dazu zählen nicht nur das Öl und die verschiedenen Ölprodukte, wie Benzin, Diesel oder Heizöl, sondern auch Erdgas und insbesondere die elektrische Energie.

Phänomene der Elektrizität waren schon in der Antike bekannt, und eine gezielte und praktische Anwendung gab es seit dem ausgehenden 16. Jahrhundert. Doch erst Mitte des 19. Jahrhunderts, nachdem die Gesetzmäßigkeiten der Elektrizität erforscht waren, setzte deren breite Nutzung ein. Beispiele sind die 1844 von Samuel F. B. Morse in Betrieb gesetzte Telegrafentelefonleitung in den USA, die im gleichen Jahr von Louis Joseph Deleuil erstmalig installierte elektrische Beleuchtung eines öffentlichen Platzes, der Place de la Concorde in Paris, und der 1866 von Werner von Siemens entwickelte elektrische Generator. 1882 erfolgte auf der Strecke Miesbach-München die erste Fernübertragung von Gleichstrom über eine Distanz von 57 Kilometern. Vier Jahre später kam die heute gebräuchliche elektrische Energieübertragung mittels Wechselstrom hinzu. 1891 glückte schließlich die erste Fernübertragung mit dem heute in der Energietechnik üblichen Dreiphasenwechselstrom auf der Strecke von Lauffen nach Frankfurt über 176 Kilometer.

Physikalische Grundlagen

Vereinfachend lässt sich Energie als die Fähigkeit beschreiben, Arbeit zu verrichten. Dabei ist zwischen zwei Komponenten zu unterscheiden: zwischen der Anergie und der Exergie. Exergie bezeichnet den Anteil der Energie, der in Arbeit umgewandelt werden kann, während die Anergie der Teil der Energie

ist, der (außer evtl. zum Heizen) keinen Nutzen hat und nicht in Arbeit umgewandelt werden kann. Beides sind Begriffe aus der Thermodynamik, der Wärmelehre, für die vor allem zwei Hauptsätze wichtig sind:

- Der erste Hauptsatz besagt im Wesentlichen, dass die gesamte Energie eines abgeschlossenen Systems bei allen ablaufenden Prozessen unverändert bleibt.
- Der zweite Hauptsatz schränkt die Möglichkeiten insbesondere bei der Umwandlung von Wärme in mechanische Energie weiter ein. Im Kern sagt er, dass gewisse Prozesse unumkehrbar sind: Wärme kann nur von einem wärmeren zu einem kälteren Körper fließen, nie umgekehrt. Mechanische Energie kann zwar vollständig in Wärmeenergie umgewandelt werden, aber der umgekehrte Prozess ist unmöglich.

Einige weitere Begriffe tragen zum besseren Verständnis dessen, was Energie ist, bei:

Primärenergie: Primärenergieträger sind solche, die unmittelbar der Natur entnommen und noch keiner Umwandlung unterworfen worden sind. Dazu zählen beispielsweise das Rohöl, die Rohbraunkohle, Uran oder das Erdgas sowie die erneuerbaren Energien aus Wind, Wasser, Sonnenstrahlung, Erdwärme und Biomasse. Primärenergieträger sind oftmals nicht direkt, sondern erst nach weiteren Umwandschritten für wirtschaftliche Aktivitäten nutzbar.

Sekundärenergie: Sekundärenergieträger entstehen aus der Umwandlung von Primärenergieträgern. Dies sind alle Stein- und Braunkohlenprodukte sowie Mineralölprodukte, verschiedene erzeugte Gase (z. B. Gichtgas, Kokereigas), Strom und Fernwärme. Sekundärenergieträger können aber auch aus der Umwandlung anderer Sekundärenergieträger entstehen: So kann Strom beispielsweise auch aus Heizöl, Gichtgas oder anderen erzeugten Gasen produziert werden.

Endenergie: Als Endenergie wird die Verwendung von Energieträgern in den unterschiedlichen Sektoren („Letztverbraucher“, z. B. Haushalte, Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen) für deren eigenen Verbrauch bezeichnet, sofern sie unmittelbar zur Erzeugung von Nutzenergie (s. u.) eingesetzt werden. Endenergie ist die letzte Stufe nach dem Primärenergie- und dem Umwandlungsverbrauch sowie nach den Verlusten, die bei Transport und Verteilung entstehen. Endenergie kann als Primärenergieträger vorliegen (z. B. Erdgas) oder in eine sekundäre Energieform umgewandelt worden sein (z. B. Strom).

Nutzenergie ist die Energie, die dem Endnutzer für seine Bedürfnisse in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen (z. B. Beleuchtung, mechanische Energie, Wärme, Kälte, Licht) zur Verfügung steht. Die Umwandlung der Endenergie in Nutzenergie ist Voraussetzung dafür, dass der Endverbraucher die von ihm letztlich gewünschte Energiedienstleistung (z. B. gute Beleuchtung, angenehm temperierten Wohnraum) erhält.

Wesentlich ist auch die Unterscheidung zwischen den einzelnen Energieträgern, also Quellen oder Stoffen, in denen Energie mechanisch, thermisch, chemisch oder physikalisch gespeichert ist.

Mechanische Energie ist die Fähigkeit eines Körpers, aufgrund seiner Lage oder seiner Bewegung mechanische Arbeit zu verrichten, Wärme abzugeben oder Licht auszusenden. Mechanische Energie kennzeichnet den Zustand eines Körpers und wird deshalb auch als Zustandsgröße bezeichnet. Sie kann in andere Energieformen umgewandelt und von einem Körper auf andere Körper übertragen werden. Spezielle

Formen mechanischer Energie sind die potenzielle Energie (Energie der Lage) und die kinetische Energie (Energie der Bewegung). Unter ersterer versteht man die Energie, die man aufbringen muss, um ein Objekt auf eine gewisse Höhe zu heben. Beispiel: Eine Kiste Mineralwasser wird um einen Meter nach oben gehoben, um sie auf den Tisch zu stellen. Die dafür aufgebrauchte Arbeit entspricht der potenziellen Energie. Kinetische Energie ist die Bewegungsenergie, die ein Körper (z. B. ein Auto) aufgrund seiner Geschwindigkeit hat.

Chemische Energie ist in chemischen Verbindungen gespeicherte Energie. Meist versteht man darunter den Wärmehalt oder Heizwert.

Elektrische Energie ist die Energie, die mittels der Elektrizität übertragen oder in elektrischen Feldern gespeichert wird. Bei der Übertragung von Energie mit Hilfe der Elektrizität spricht man auch von elektrischer Arbeit. Elektrische Energie kann zum Beispiel in elektrischen und magnetischen Feldern gespeichert und in andere Energieformen umgewandelt werden.

Strahlungsenergie ist die Energie der elektromagnetischen Strahlung, beispielsweise des Lichtes. Die Energie der Sonne ist nahezu immer und überall verfügbar, seit Jahrtausenden nutzen wir ihre Wärmestrahlung. Heute wird die solare Strahlungsenergie zunehmend mit Hilfe der Photovoltaik direkt in elektrische Energie umgewandelt. Strahlungsenergie wird auch dazu eingesetzt, um Wärme unter-

schiedlicher Temperaturen zu erzeugen. Biomasse, Wind und Wasserkraft nutzen die Sonnenenergie in indirekter Weise über Zwischenprodukte wie organisches Material, Luftbewegung oder kinetische und potenzielle Energie von Wasser. Strahlungsenergie kann auch passiv genutzt werden, etwa zur Erwärmung oder zur Beleuchtung von Gebäuden.

Thermische Energie (auch Wärmeenergie) ist die Energie, die in der ungeordneten Bewegung der Atome oder Moleküle eines Stoffes gespeichert ist. Sie ist eine Zustandsgröße und ist Teil der inneren Energie.

Bei der **Kernenergie** ist zu unterscheiden zwischen der Kernspaltung und der Kernfusion. Bei der **Kernspaltung** wird deren Energie in Kernkraftwerken zunächst in Wärmeenergie und mit dieser dann in Strom umgewandelt. Bei der **Kernfusion** werden die kernphysikalischen Prozesse in der Sonne nachgeahmt. Kerne von Wasserstoff-Atomen verschmelzen zu Kernen des Heliums. Nach der Einsteinschen Formel „Energie gleich Masse mal Quadrat der Lichtgeschwindigkeit“ ($E=mc^2$) werden so winzige Mengen an Materie (Elementarteilchen) in riesige Mengen an Energie umgewandelt. Als Kernbrennstoffe werden somit alle Stoffe bezeichnet, aus denen physikalisch gebundene Energie entweder durch Fission (Kernspaltung) oder durch Fusion (Kernverschmelzung) freigesetzt werden kann.

Gebräuchliche Maßeinheiten

Wesentlich für das Verständnis von Energiefragen ist die Kenntnis der wichtigsten Maßeinheiten. Bei der Stromversorgung unterscheidet man zwischen elektrischer Leistung und elektrischer Arbeit, wobei die elektrische Leistung in Watt und die elektrische Arbeit in Wattstunden oder jeweils einem Vielfachen davon gemessen wird.

Übersicht über Vorsätze bei den Einheiten

Um Zahlen mit vielen Stellen zu vermeiden, werden bei den jeweiligen Einheiten Vorsätze verwendet, die ein Vielfaches von Maßeinheiten bilden.

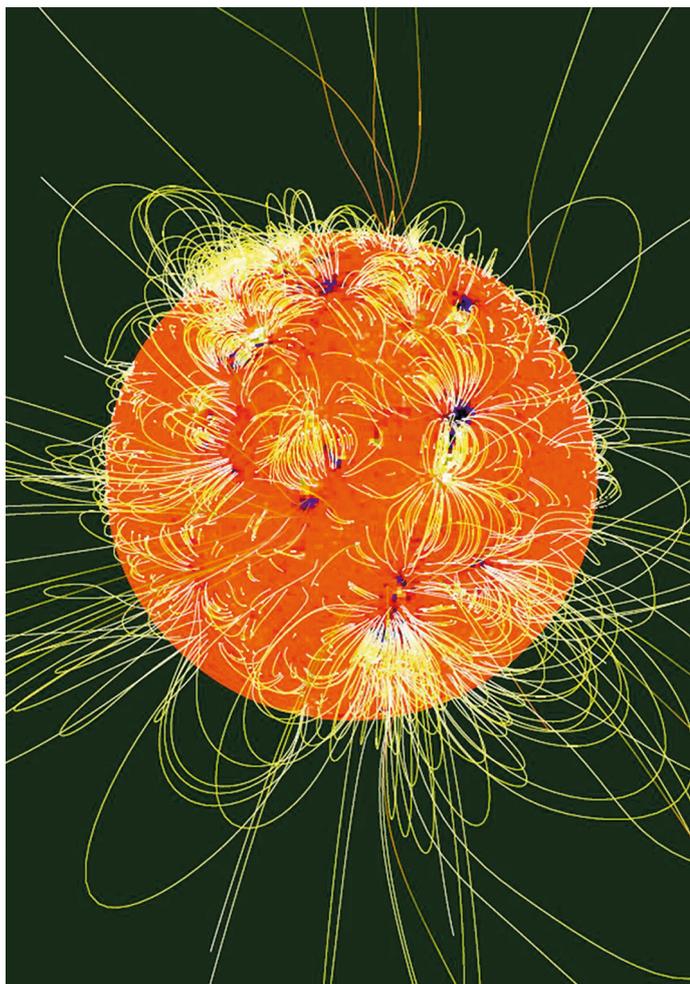
Wenn von einer Kraftwerksleistung von einem MW (Megawatt) gesprochen wird, dann sind das 1000 kW (Kilowatt) oder eine Million W (Watt).

Ähnlich bei der elektrischen Arbeit: Eine MWh (Megawattstunde) sind 1000 kWh (Kilowattstunden); eine TWh (Terawattstunde) sind eine Milliarde kWh. Ein Beispiel: In Deutschland betragen die gesamten Kraftwerkskapazitäten im Jahr 2012 rund 174 000 MW bei einer Netto-Stromerzeugung von knapp 583 Milliarden kWh (=583 TWh).

Ähnliches gilt für die Einheit „Joule“: Ein Kilojoule (kJ) sind 1000 Joule, entsprechend sind ein Gigajoule (GJ) eine Milliarde Joule bzw. ein Petajoule (PJ) eine Million Gigajoule:

k	= Kilo	1000 Tausend
M	= Mega	1000 000 Million
G	= Giga	1000 000 000 Milliarde
T	= Tera	1000 000 000 000 Billion
P	= Peta	1000 000 000 000 000 Billiarde

Für einen einfachen Weg zur Umrechnung der Einheiten sei auf den Einheitenumrechner der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen verwiesen (auch als App verfügbar):
www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=67



picture-alliance / dpa / Max-Planck-Institut

Bei Eruptionen auf der Sonne werden unvorstellbar große Mengen Energie freigesetzt, wie diese Illustration des Max-Planck-Instituts anhand von Magnetfeldlinien veranschaulicht.

Strom und seine Maßeinheiten

Der Stromverbraucher ist meist daran interessiert, wie viele Kilowattstunden (also wie viel elektrische Arbeit) er verbraucht hat. Gleichzeitig nimmt er aber auch eine elektrische Leistung in Anspruch, wenn er Haushaltsgeräte wie die Spülmaschine oder die Waschmaschine anschaltet. Damit fragt er eine bestimmte Leistung nach, die auf Wunsch zu einem beliebigen Zeitpunkt bereitstehen soll. Stellen die Kraftwerke diese dann nicht zur Verfügung, kann die gerade nachgefragte Leistung nicht gedeckt werden. Eine sichere Stromversorgung lässt sich daher nur gewährleisten, wenn jederzeit, das heißt rund um die Uhr, ausreichende Kraftwerkskapazitäten (Kraftwerksleistungen) zur Deckung dieser Leistungsnachfrage zur Verfügung stehen.

Aber was ist Strom eigentlich? Vereinfacht gesagt, ist er ein Teil der Elektrizität. Zu ihr gehört alles, was durch ruhende oder bewegte elektrische Ladung verursacht wird. Träger elektrischer Ladungen sind negativ geladene Elektronen oder positiv geladene Protonen. Folgende Maßeinheiten werden zur Beschreibung des Stroms verwendet:

Ampere: misst die Stromstärke, also die pro Einheit fließende Ladung.

Volt: ist die Maßeinheit für die elektrische Spannung, wobei zwischen den Netzebenen Nieder-, Mittel-, Hoch- und Höchstspannung unterschieden wird. Private Haushalte werden meist über das Niederspannungsnetz versorgt. Große Kraftwerke speisen meist in die Hoch- und Höchstspannung, aus denen teilweise auch große Stromverbraucher ihre elektrische Energie beziehen. Kleinere Industriebetriebe und andere gewerbliche Stromverbraucher versorgen sich vorwiegend über das Mittelspannungsnetz.

Ohm: stellt ein Maß für den elektrischen Widerstand einer Stromleitung dar.

Hertz: ist ein Maß für die Frequenz, also für die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde im Stromnetz (überwiegend 50,0 Hertz).

Watt: Damit wird die elektrische Leistung bezeichnet, die sich als Produkt aus Spannung (Volt) und Stromstärke (Ampere) ergibt.

Wattstunde: misst die elektrische Arbeit, das Produkt aus Leistung und Zeit; gebräuchlich ist der Ausdruck Kilowattstunde (kWh). In der Physik wird für die elektrische Energie die Einheit Wattsekunde (Ws) verwendet, dabei ist $1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$ (Joule).

Berechnung des Gesamtenergieverbrauchs

Neben den zahlreichen Maßeinheiten, die für Strom relevant sind, kommen bei gesamtenergiewirtschaftlichen Betrachtungen noch weitere Maßeinheiten ins Spiel. Der gesamte Energieverbrauch einer Region speist sich aus sehr unterschiedlichen Primär- und Sekundärenergieträgern. Die wichtigsten sind Stein- und Braunkohlen, Mineralölprodukte (wie Benzin, Diesel, Heizöl), Erdgas, Kernenergie, Strom und Fernwärme sowie die große Palette von erneuerbaren Energien (Biomasse, Wind, Wasser, Sonne, Geothermie). Sie sind in den Energiestatistiken oft nur in ihren jeweiligen spezifischen Einheiten (z. B. in Tonnen, Kubikmeter, Terajoule) ausgewiesen.

Um die Energieträger vergleichbar und additionsfähig zu machen und sie zur Ermittlung des Gesamtenergieverbrauchs einheitlich bewerten zu können, müssen sie auf einen einheit-

lichen Nenner gebracht werden. Das geschieht mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren. Seit 1977 werden die in spezifischen Einheiten erfassten Mengen in „Joule“ umgerechnet. Als noch die Nutzung von Kohle dominierte, war auch die Umrechnung in Steinkohleneinheiten (SKE) üblich. Die Umrechnung der Energieträger geschieht auf der Grundlage ihrer Heizwerte. Der **Heizwert** bezeichnet die bei einer Verbrennung maximal nutzbare Wärmemenge. Allerdings ist dieser Wert nicht bei allen Energieträgern unveränderlich. Die Qualität eines Energieträgers kann sich im Zeitablauf ändern, beispielsweise bei fossilen Energieträgern in Abhängigkeit von ihren Lagerstätten. So haben Steinkohlen verschiedener Herkunft, aber auch, wenn sie aus verschiedenen Schichten derselben Lagerstätte kommen, unterschiedliche Heizwerte. Je nach Zusammensetzung der Steinkohlenförderung in einer Lagerstätte oder einer Förderregion variiert dann auch der gewichtete Heizwert.

Ein besonderes Problem stellt sich, wenn mit stromerzeugenden Primärenergieträgern international gehandelt wird und die Produkte vergleichbar sein sollen. Gleiches gilt für die Bewertung von Wasser- und Windkraft, Photovoltaik und Kernenergie, die zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Hier gibt es keinen einheitlichen Umrechnungsmaßstab wie den Heizwert. In diesen Fällen wird in Übereinstimmung mit internationalen Organisationen (IEA, EUROSTAT, ECE) auch in den Energiebilanzen für Deutschland das sogenannte Wirkungsgradprinzip angewendet. Dabei wird für die Kernenergie ein als repräsentativ erachteter **Wirkungsgrad** bei der Energieumwandlung von 33 Prozent zugrunde gelegt. Der Wirkungsgrad misst die Effizienz von Energiewandlungen und Energieübertragungen. Er ist eine dimensionslose Größe und beschreibt das Verhältnis der Nutzleistung zur zugeführten Leistung. Bei der Stromerzeugung aus den erneuerbaren Energieträgern Wasserkraft, Wind und Solarstrahlung wird der jeweilige Energieeinsatz dem Heizwert der erzeugten elektrischen Energie gleichgesetzt. Der Heizwert für den Strom beträgt 3600 kJ/kWh , mit dem ebenfalls der Stromaustauschsaldo bewertet wird. Während Erdgas, setzt man es zur Stromerzeugung ein, mit seinem Heizwert (etwa 31736 kJ/kWh) zwar unmittelbar bewertet wird, dann aber noch der Umwandlungswirkungsgrad von Steinkohle zu Strom zu berücksichtigen ist (etwa 43%), setzt man bei der primärenergetischen Bewertung von Wind, Photovoltaik und ähnlichem einen Wirkungsgrad von 100 Prozent an. Diese Bewertungsmaßgabe hat zur Folge, dass ein Ersatz der Stromerzeugung aus Kernkraftwerken, die primärenergetisch mit 33 Prozent bewertet wird, durch erneuerbare Energien mit einem Wirkungsgrad von 100 Prozent rein statistisch gesehen zu einer relativen Verminderung des Primärenergieverbrauchs führt, ohne dass sich das Niveau der Stromerzeugung verändert hätte.

Hans-Joachim Ziesing

Energieverbrauch und Energieeinsparung

Energiebilanzen bieten einen Überblick über Erzeugung und Verbrauch in den energiewirtschaftlichen Bereichen. Die Entwicklung zeigt: In Deutschland geht der Energieverbrauch seit ca. 20 Jahren zurück. Energieeinsparungs- und -effizienzmaßnahmen bieten weiteres Potenzial.



Energiebilanzen: Basis für energiewirtschaftliche Analysen

Die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB; <http://www.ag-energiebilanzen.de>) veröffentlicht regelmäßig Aufstellungen, die das energiewirtschaftliche Geschehen darstellen. Solche Energiebilanzen, die die Form einer Matrix haben, bieten eine detaillierte Übersicht über die energiewirtschaftlichen Verflechtungen. Sie erlauben nicht nur Aussagen über den Verbrauch von Energieträgern in den einzelnen Sektoren, sondern geben ebenso Auskunft über ihren Fluss von der Erzeugung bis zur Verwendung in den unterschiedlichen Erzeugungs-, Umwandlungs- und Verbrauchsbereichen.

Bei den Energiebilanzen wird unterschieden zwischen dem Primär- und Endenergieverbrauch sowie dem Verbrauch und den Verlusten bei Energiegewinnung, Umwandlung und Verteilung und schließlich dem nichtenergetischen Verbrauch. Der Primärenergieverbrauch (PEV) stellt als Summe der einzelnen Positionen den umfassendsten Ausdruck des Energieverbrauchs einer Volkswirtschaft dar. Ermittelt wird er von der Aufkommenseite her wie folgt:

Energiegewinnung im Inland

- + Einfuhr
- + Bestandsentnahmen
- = Energieaufkommen im Inland
- Ausfuhr
- Hochseebunkerungen
- Bestandsaufstockungen
- = PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IM INLAND

Dabei erfasst der Primärenergieverbrauch sowohl Primär- als auch Sekundärenergieträger (siehe S. 5).

Bei der Gewinnung von Energieträgern und bei deren Umwandlung in andere Energieformen, zum Beispiel beim Einsatz von Steinkohle in Kraftwerken zur Erzeugung von Strom oder beim Einsatz von Rohöl in Raffinerien zur Erzeugung von Benzin, Diesel und Heizöl, treten Verbrauch und Verluste auf. Auch bei der Verteilung von Energieträgern, zum Beispiel beim Transport von elektrischer Energie oder von Fernwärme, ist dies der Fall. Dieser Verbrauch und diese Verluste werden für die verschiedenen Bereiche wie beispielsweise Kokereien, Kraftwerke, Raffinerien oder Hochöfen in der sogenannten **Umwandlungsbilanz** verbucht. Gesondert ausgewiesen werden die Fackel- und Leitungsverluste und der nichtenergetische Verbrauch, also der Einsatz von Energieträgern, bei denen es nicht auf den Energiegehalt, sondern auf die stofflichen Eigenschaften ankommt. Beispiele hierfür sind das Mineralölprodukt „Bitumen“, das beim Straßenbau eingesetzt wird, oder Rohbenzin, das als Grundstoff für die Erzeugung chemischer Produkte dient. Wenn man vom Primärenergieverbrauch das Saldo von Umwandlungseinsatz und -ausstoß sowie die Fackel- und **Leitungsverluste** und den nichtenergetischen Verbrauch abzieht, ergibt das den Endenergieverbrauch. Dieser gliedert sich in die Sektoren Industrie, Verkehr, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) sowie die (privaten) Haushalte. Die folgende Tabelle zeigt die Struktur der deutschen Energiebilanz für das Jahr 2010.

Struktur der deutschen Energiebilanz

Angaben für das Jahr 2010*

Aufkommens- und Verwendungssektoren	Energie- verbrauch	Anteile am ...	
		Primärener- gieverbrauch	Endenergie- verbrauch
	in Petajoule	in %	in %
Primärenergieverbrauch	14 217	100,0	-
./. Umwandlungseinsatz insgesamt	-11 458	-80,6	-
+ Umwandlungsausstoß insgesamt	8167	57,4	-
./. Energieverbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	-546	-3,8	-
./. Fackel- und Leitungs- verluste	-152	-1,1	-
./. Nichtenergetischer Verbrauch	-1034	-7,3	-
+./.. Statistische Differenzen	115	0,8	-
= Endenergieverbrauch	9310	65,5	100,0
- Industrie	2592	-	27,8
- Verkehr	2559	-	27,5
- Haushalte	2676	-	28,7
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	1483	-	15,9

* Die Aussagen zum Endenergieverbrauch beziehen sich hier auf das Jahr 2010, für das bereits endgültige Zahlen vorliegen. Die Angaben zum Primärenergieverbrauch für 2011 und 2012 sind noch vorläufig.

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB)

Danach sind vom gesamten Primärenergieverbrauch knapp zwei Drittel (65,5 %) bei den Endverbrauchern „angekommen“, etwa sieben Prozent wurden nichtenergetisch genutzt. Beide Positionen zusammen machen fast drei Viertel des Primärenergieverbrauchs aus. Umgekehrt bedeutet dies, dass ein Viertel auf Verbrauch und Verluste im Energiesektor entfällt. Zu den Verlusten trägt insbesondere die Stromerzeugung bei. Vergleicht man den Energieeinsatz, der zur Stromerzeugung notwendig ist (= Umwandlungseinsatz; 2010: 5511 Petajoule), mit der Stromerzeugung (= Umwandlungsausstoß; 2010: 2261 Petajoule) ergaben sich 2010 Umwandlungsverluste von 3250 Petajoule.

Einen Nutzungsgrad (=Verhältnis von Umwandlungsausstoß zu Umwandlungseinsatz) von rund 41 Prozent stehen demnach Verluste von 59 Prozent des Umwandlungseinsatzes gegenüber. Immerhin hat sich der Nutzungsgrad der Stromerzeugung in der Vergangenheit schon spürbar verbessert: Lag er 1990 noch bei 36,6 Prozent, waren es im Jahr 2000 schon 38,8. Gleichwohl schlummern in diesem Bereich nach wie vor große Einsparpotenziale. Diese lassen sich vor allem durch eine Veränderung der Erzeugungsstruktur erschließen. Eine wesentliche Rolle können hier die erneuerbaren Energien spielen, Sonne, Wind und Wasser, deren primärenergetische Bewertung den Heizwert des durch sie produzierten Stroms zugrundelegt und ihnen so in der Statistik einen Nutzungsgrad von 100 Prozent zuschreibt. Wenn also gemäß der Absicht der Bundesregierung die erneuerbaren Energien im Jahr 2050 rund 80 Prozent der Stromerzeugung bereitstellen sollen, würde dies statistisch gesehen eine deutliche Steigerung der Effizienz bewirken.

Unabhängig davon sind aber auch im fossilen Kraftwerkspark Effizienzsteigerungen möglich. Moderne Gaskraftwerke haben Nutzungsgrade von deutlich über 60 Prozent, auch bei neuen Stein- und Braunkohlenkraftwerken können gegenüber den bestehenden älteren Kraftwerken noch deutliche Effizienzverbesserungen erreicht werden. Eine weitere Möglichkeit, Primärenergie im Bereich der Energieumwandlung einzusparen, ist wegen ihrer erheblichen Effizienzvorteile gegenüber einer getrennten Erzeugung die gemeinsame Erzeugung von Strom und Wärme (Fern- und Nahwärme) in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK).

Einfluss der Temperatur auf den Energieverbrauch

Höhe und Struktur des Energieverbrauchs werden durch eine Vielzahl von ökonomischen, demografischen und technischen Einflussfaktoren bestimmt. Bei der kurzfristigen Analyse müssen aber vor allem auch Temperatureinflüsse beachtet werden. Denn ein großer Teil des Energieverbrauchs dient der Bereitstellung von Raumwärme, deren Umfang in hohem Maße von den Außentemperaturen abhängig ist. So kann ein erhöhter oder gesenkter Energieverbrauch in einem Jahr allein darauf zurückzuführen sein, dass die Witterung im Vergleich zum jeweiligen Vorjahr deutlich kälter war und umgekehrt. Die Vernachlässigung der Außentemperaturen kann somit zu einer verzerrten Interpretation der Energiebilanzdaten führen. Um dies zu vermeiden, gibt es bereinigende Verfahren, die den Anteil des temperaturabhängigen Energieverbrauchs berücksichtigen und die jeweiligen Temperaturen zu den Temperaturen im langjährigen Durchschnitt ins Verhältnis setzen.

Sektoraler Endenergieverbrauch

nach Anwendungszwecken, Deutschland 2010

Anteile in %	Industrie	Gewerbe, Handel, Dienst- leistungen	Verkehr	Private Haushalte	Endenergie- verbrauch insgesamt
Raumwärme	7,6	48,4	0,5	71,0	30,4
Warmwasser	0,9	5,1	0,0	14,0	5,1
sonst. Prozess- wärme	65,8	7,5	0,0	5,4	21,1
Wärmean- wendungen gesamt	74,3	60,9	0,5	90,4	56,5
Kälteanwen- dungen	1,3	3,5	0,1	4,0	2,1
Mechanische Energie	21,6	15,0	98,5	0,6	35,7
Information und Kommu- nikation	1,2	5,6	0,4	3,4	2,3
Beleuchtung	1,5	15,0	0,5	1,7	3,4
Endenergie- verbrauch insgesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Quellen: AGEN; EFB; Geiger; ISI; RWI, 2012

Veränderungen des sektoralen Energieverbrauchs

nach Ursprungs- und temperaturbereinigten Werten
Deutschland, 1990 bis 2000 sowie 2000 bis 2010

Veränderungen des Endenergieverbrauchs in %	1990-2000		2000-2010	
	Ursprungswerte	Temperaturbereinigte Werte	Ursprungswerte	Temperaturbereinigte Werte
Industrie	-18,7	-18,4	7,1	5,0
Verkehr	15,7	15,7	-7,0	-7,0
Haushalte	8,4	13,8	3,5	-13,3
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	-14,8	-13,1	0,3	-9,5
Summe Endenergieverbrauch	-2,5	-0,7	0,8	-6,3

Quelle: AGEB

Nach den Analysen der AGEB gibt es hohe temperaturabhängige Verbrauchsanteile insbesondere bei den privaten Haushalten (Raumwärmeanteil 2010: 71%) sowie im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (48,4%), während sie in der Industrie nur eine untergeordnete (7,6%) und im Verkehr (0,5%) fast keine Rolle spielen. Bei der Industrie dominiert der Energieeinsatz zur Bereitstellung der Prozesswärme, im Verkehr dient der Energieeinsatz fast ausschließlich der mechanischen Antriebsenergie.

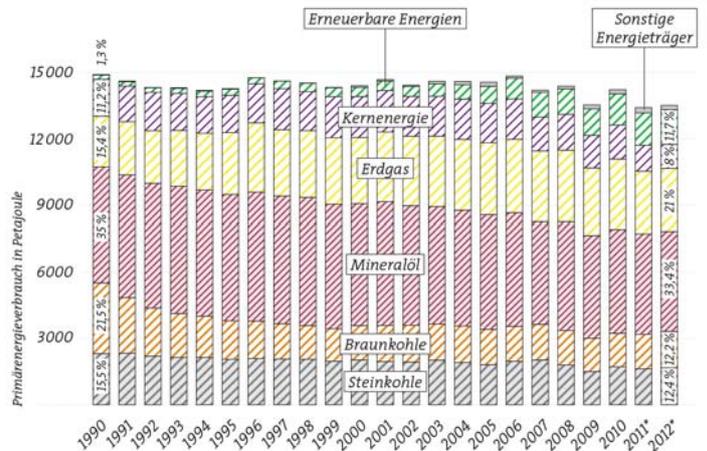
Wie wichtig die Berücksichtigung des Temperatureinflusses ist, zeigt sich, wenn man die Veränderungen des sektoralen Energieverbrauchs auf Basis der Ursprungswerte mit denjenigen auf Basis der bereinigten Werte vergleicht. Beim Blick auf die Veränderungen des Endenergieverbrauchs für die Perioden 1990 bis 2000 sowie 2000 bis 2010 zeigt sich zunächst der verhältnismäßig geringe Temperatureinfluss bei Industrie und Verkehr und – umgekehrt – der große Effekt bei den Haushalten und im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen. Hier führt die Bereinigung dazu, dass sich sogar die Vorzeichen der Veränderungen umkehren. So stieg der Energieverbrauch der Haushalte von 2000 bis 2010 nach den Ursprungswerten um 3,5 Prozent, während er nach den temperaturbereinigten Werten um 13,3 Prozent kräftig gesunken ist.

Entwicklung des Energieverbrauchs

Seit 1990 ist der gesamte Primärenergieverbrauch in Deutschland tendenziell zurückgegangen. Nach den vorläufigen Schätzungen der AGEB betrug er im Jahr 2012 rund 13 500 Petajoule, fast ein Zehntel weniger als 1990. Dabei hat sich die Struktur nach Energieträgern deutlich verändert. Trugen Stein- und Braunkohlen im Jahr 1990 noch rund 37 Prozent zum Primärenergieverbrauch bei, so waren es 2012 nur noch knapp 25 Prozent. Nach wie vor ist das Mineralöl der wichtigste Energieträger, wenngleich sein Anteil von 35 (1990) auf etwa 33 Prozent (2012) leicht gesunken ist. Deutlich zu-

Entwicklung des Primärenergieverbrauchs

nach Energieträgern, Deutschland, 1990 bis 2012

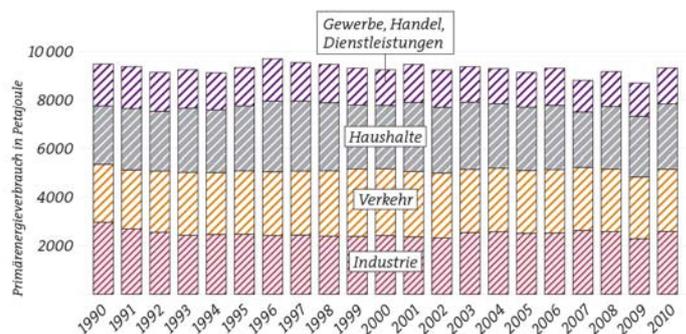


Quelle: AGEB

*) vorläufig

Endenergieverbrauch

nach Sektoren, Deutschland, 1990 bis 2010



Quelle: AGEB

Struktur des Endenergieverbrauchs

nach Energieträgern, Deutschland, 2010

Anteile in % des jeweiligen Endenergieverbrauchs	Industrie	Verkehr	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	Haushalte	Summe Endenergieverbrauch
Stein- und Braunkohlen ¹⁾	14,5	0,0	1,2	2,4	5,0
Mineralölprodukte	4,5	92,7	20,8	21,7	36,2
Gase	35,2	0,4	29,2	33,6	26,0
Erneuerbare Energien ²⁾	5,8	4,6	3,1	12,6	6,6
Strom ³⁾	30,2	2,3	39,3	22,9	20,4
Fernwärme ³⁾	7,7	0,0	6,4	6,7	5,1
Sonstige Energieträger ⁴⁾	2,1	0,0	0,0	0,0	0,8
Insgesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

¹⁾ Einschließlich übrige feste Brennstoffe ²⁾ Biomasse und erneuerbare Abfälle sowie Geothermie, Solarthermie und Wärmepumpen ³⁾ Einschließlich Strom bzw. Fernwärme aus erneuerbaren Energien ⁴⁾ Nichterneuerbare Abfälle, Abwärme u. a.

Quelle: AGEB

genommen hat dagegen die Bedeutung des Erdgases. Es konnte seinen Anteil am Primärenergieverbrauch von gut 12,5 (1990) auf 21 Prozent (2012) steigern. Noch kräftiger stieg der Anteil erneuerbarer Energien: von kaum mehr als einem Prozent im Jahr 1990 und knapp drei Prozent 2000 auf nahezu zwölf Prozent 2012. Damit liegen sie deutlich über der Kernenergie, die 1999 ihren Höchststand erreicht hatte. Nach der Stilllegung von acht deutschen Atomkraftwerken im Gefolge der Reaktorkatastrophe in Fukushima/Japan erreichte die Kernkraft 2012 nur noch einen Anteil von acht Prozent.

Der Energieverbrauch hat sich in Deutschland in den Jahren von 1990 bis 2010 sektoral unterschiedlich entwickelt. Während der Endenergieverbrauch insgesamt im Jahr 2010 um knapp zwei Prozent unter dem Wert für 1990 lag, sank er in diesem Zehnjahreszeitraum in der Industrie um knapp 13 und im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen um gut 14 Prozent. Dagegen verbrauchten die privaten Haushalte im Jahr 2010 gut zwölf und der Verkehr nahezu acht Prozent mehr als 1990. Allerdings verliefen diese Entwicklungen nicht unbedingt kontinuierlich.

Beim Blick auf den Anteil der einzelnen Energieträger am Endverbrauch sticht das Mineralöl mit einem Anteil von 36 Prozent hervor. Hauptabnehmer ist der Verkehrssektor, in dem die Kraftstoffe auf Mineralölbasis mit einem Anteil von rund 93 Prozent nach wie vor dominieren, während das Öl in der Industrie nur eine untergeordnete Rolle spielt. Hier stehen die Gase und der Strom im Vordergrund, genau wie bei Gewerbe, Handel, Dienstleistungen sowie den Haushalten. Letztere sind im Übrigen der Bereich mit der höchsten direkten Nutzung von erneuerbaren Energieträgern (Anteil: nahezu 13 %). Dabei sollte nicht übersehen werden, dass die erneuerbaren Energien indirekt, über ihren Anteil an der Strom- und Fernwärmeversorgung, ebenfalls zur Energiebereitstellung in den Endenergiesektoren beitragen.

Entwicklung von Stromverbrauch und -erzeugung

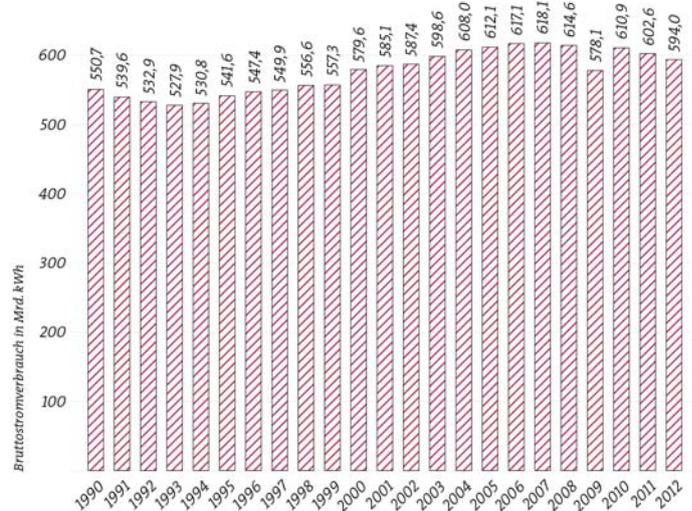
Stromverbrauch

Die bisherige Entwicklung des Stromverbrauchs zeigt einen differenzierten Verlauf. Während er von Mitte der 1990er-Jahre bis etwa 2006 kräftig gestiegen war, nahm er danach nur leicht zu und brach infolge der Wirtschaftskrise im Jahr 2009 deutlich ein; nach einem mit der wirtschaftlichen Erholung verbundenen starken Anstieg im Jahr 2010 ging der Bruttostromverbrauch in den Jahren 2011 und 2012 dann wieder spürbar zurück.

Vom Bruttostromverbrauch entfielen 2011 rund 89 Prozent auf den Nettostromverbrauch; der Rest verteilt sich auf den Kraftwerkseigenverbrauch, den Pumpstromverbrauch und die Netzverluste. Am Nettostromverbrauch selbst war die Industrie im Jahr 2011 mit knapp 47 Prozent beteiligt, während die Haushalte ein gutes Viertel verbrauchten; auf Handel und Gewerbe entfielen gut 14 Prozent, auf die öffentlichen Einrichtungen weitere knappe neun, auf den Verkehr gut drei sowie schließlich auf die Landwirtschaft etwas weniger als zwei Prozent.

Entwicklung des Bruttostromverbrauchs

Deutschland, 1990 bis 2012 (vorläufig)



Quelle: AGEB; BDEW

Sektorale Struktur des Bruttostromverbrauchs

Deutschland, 2011

	Mrd. kWh	Struktur in %	
Bruttostromverbrauch	602,6	100,0	–
Umwandlungsverbrauch und Verluste*)	67,4	11,2	–
Nettostromverbrauch	535,2	88,8	100,0
– Industrie	249,6	41,4	46,6
– Haushalte	136,6	22,7	25,5
– Handel und Gewerbe	76,5	12,7	14,3
– Öffentliche Einrichtungen	46,9	7,8	8,8
– Landwirtschaft	9,0	1,5	1,7
– Verkehr	16,6	2,8	3,1

*) Kraftwerkseigenverbrauch, Pumpstromverbrauch sowie Netzverluste

Quelle: BDEW

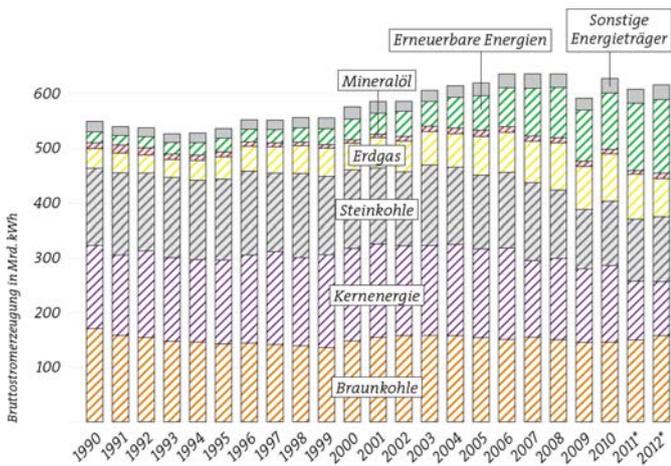
Stromerzeugung

Die Bruttostromerzeugung nahm einen ähnlichen Verlauf wie der Bruttostromverbrauch. Nachdem sie Anfang der 1990er-Jahre zunächst leicht rückläufig war, stieg sie von 1994 bis 2007/2008 nahezu kontinuierlich. Nach einem Einbruch im Jahr 2009 wurde 2010 mit 628,6 Milliarden kWh fast so viel Strom wie zuvor erzeugt. 2011 und 2012 lag die Stromerzeugung darunter. Wichtigster Energieträger war 2012 die Braunkohle mit einem Anteil von knapp 26 Prozent vor den erneuerbaren Energien (22 %) und der Steinkohle (19 %).

Die erneuerbaren Energien konnten in den vergangenen Jahren bei der Stromerzeugung dank des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) außerordentlich expandieren. Während ihre Anteile an der Bruttostromerzeugung im Jahr 1990 noch

Entwicklung der Bruttostromerzeugung

nach Energieträgern, Deutschland, 1990 bis 2012

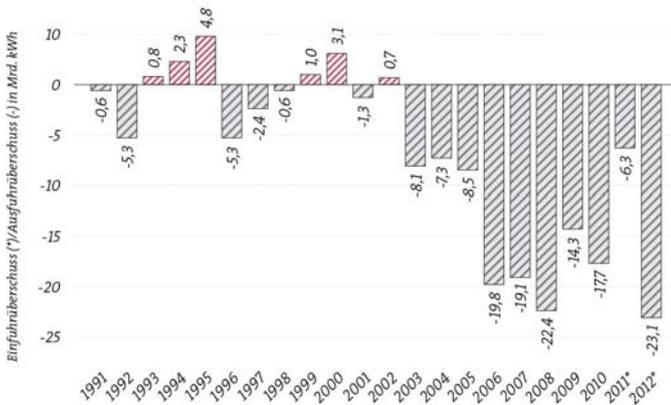


Quelle: AGEb, BDEW

*) vorläufig

Stromaußenhandelssaldo Deutschlands

1991 bis 2012



Quelle: AGEb, BDEW

*) vorläufig

3,6 Prozent und 2000 immerhin schon 6,6 Prozent ausmachen, konnte sich ihr Beitrag bis 2012 mit knapp 22 Prozent mehr als verdreifachen. Insgesamt wurden zuletzt auf Basis erneuerbarer Energien rund 135 Milliarden kWh erzeugt. Daran war die Windenergie mit 45 Milliarden kWh bzw. einem Drittel beteiligt, die Biomasse mit 36 Milliarden kWh oder 27 Prozent, die Photovoltaik mit knapp 29 Milliarden kWh oder 21 Prozent und die Wasserkraft (die ehemals praktisch einzige genutzte erneuerbare Energiequelle zur Stromerzeugung) mit 21 Milliarden kWh oder 15 Prozent. Den restlichen Beitrag zur erneuerbaren Stromerzeugung lieferte die Nutzung von biogenen Abfallstoffen.

Im Gegensatz zum Erdgas, bei dem der Erzeugungsanteil im Jahr 2012 mit gut elf Prozent deutlich höher war als 1990 (6,5%), und den erneuerbaren Energien (Anstieg von 3,6 auf 21,9%) nahm die Bedeutung der Kohle und Kernenergie zur Stromerzeugung spürbar ab: Dies gilt insbesondere für die Kernenergie, deren Anteil sich 2012 mit 16 Prozent im Vergleich zu den Spitzenwerten Ende der 1990er-Jahre beinahe halbierte.

Ein Vergleich von Bruttostromverbrauch und Bruttostromerzeugung zeigt zwar einen ähnlichen Verlauf, doch lässt sich auch feststellen, dass seit 2006 in Deutschland erheblich mehr Strom erzeugt als verbraucht worden ist. Zurückzuführen ist dies in erster Linie auf den rasanten Anstieg der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, und im Ergebnis führte das zu einem seither teilweise sehr hohen Exportüberschuss.

Energieeinsparung und Energieeffizienz

Die Bundesregierung verfolgt das Ziel, die Treibhausgasemissionen in Deutschland bis zum Jahr 2050 im Vergleich zu 1990 um 80 bis 95 Prozent zu reduzieren (siehe a. S. 38 ff.). Um dieses Ziel zu erreichen, setzt sie strategisch auf den verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien, gekoppelt mit einer nachhaltigen Verminderung des Energieverbrauchs. So soll der Primärenergieverbrauch bis 2050 gegenüber dem Niveau von 2008 halbiert werden, während der Energieverbrauch im Verkehr um 40 und der Raumwärmebedarf sogar um 80 Prozent sinken sollen. Ohne Energieeinsparung und eine wesentlich effizientere Energienutzung sind diese Vorgaben nicht zu realisieren. Dies gilt speziell auch für den Stromverbrauch, der nach Absicht der Bundesregierung bis 2050 im Vergleich zu 2008 um ein Viertel gedrosselt werden soll.

Zur Senkung des Energie- und des Stromverbrauchs ist die **Energieeinsparung** grundsätzlich der einfachste und kostengünstigste Weg. Dabei geht es im Grunde um die Frage, ob jede Energie- bzw. Stromnutzung wirklich notwendig ist. Es gibt viele Möglichkeiten, unnötigen Energieeinsatz zu vermeiden, ohne dazu investieren zu müssen. So kann man unbenutzte Zimmer nicht oder nur mit niedrigeren Temperaturen beheizen, generell überhöhte Zimmertemperaturen absenken, Räume nur kurz bzw. nicht dauerhaft lüften, Elektrogeräte ausschalten statt sie im Stand-by-Betrieb laufen zu lassen, Licht in unbenutzten Räumen stets ausschalten, kurze Strecken nicht mit dem Auto, sondern mit dem Fahrrad oder zu Fuß zurücklegen und vieles andere mehr. Ein bewussterer Umgang mit Energie kann den Verbrauch schon erheblich reduzieren.

Im Unterschied zu der eher verhaltensbedingten Energieeinsparung ist eine **effiziente Energienutzung** mit Investitionen in die entsprechenden Energiewandleraggregate wie Heizungsanlagen, Pumpen, Motoren und Beleuchtung verbunden. Auch Investitionen zur Reduzierung des Energiebedarfs – zum Beispiel die verstärkte Wärmedämmung von Gebäuden – können die Energieeffizienz steigern.

Der **Verminderung des Stromverbrauchs** kommt schon deshalb eine besondere Bedeutung zu, weil durch sie auch die (heute noch) recht hohen Verluste bei der Stromerzeugung (siehe S. 8 ff.) reduziert werden können. Betrachtet man die nachstehenden Verwendungsbereiche der elektrischen Energie:

mechanische Energie	38,7 %
Beleuchtung	16,2 %
sonst. Prozesswärme	15,7 %
Information und Kommunikation	11,0 %
Kälteanwendungen	10,0 %
Warmwasser	5,0 %
Raumwärme	3,5 %

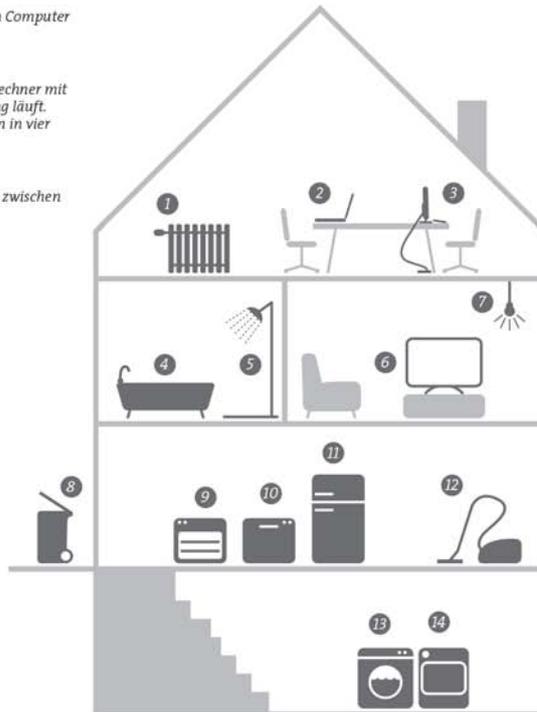
Was der Alltag kostet – Strompreise im Überblick



Stand: Oktober 2012

- 1 Heizung**
Ein Zimmer mit 15 Quadratmetern zu heizen, kann bei einer herkömmlichen Öl- oder Gasheizung pro Jahr zwischen 18 Euro in einem sparsamen Passivhaus und 360 Euro in einem schlecht isolierten Altbau kosten. Deutlich teurer wird es für Menschen, die mit Strom zum Standardtarif heizen müssen: Hier liegen die Kosten zwischen 56 Euro im Passivhaus und 1100 Euro im Altbau. Im Passivhaus ist der Energieaufwand mit 15 Kilowattstunden pro Jahr und Quadratmeter angesetzt, im Altbau mit 300 Kilowattstunden.
Bei Öl- und Gasheizungen liegt der normierte Wärmepreis bei acht Cent pro Kilowattstunde. Beim Strom ist ein Standardpreis von 25 Cent angenommen, wobei die meisten Menschen, die mit Strom heizen, einen günstigeren Tarif haben.
- 2 Laptop**
Ein Notebook verbraucht ungefähr die Hälfte von einem Computer mit Monitor, also etwa zwei Cent in vier Stunden.
- 3 Computer**
Bei Computern gibt es große Unterschiede. Ein Desktoprechner mit Monitor kostet etwa acht Cent, wenn er vier Stunden lang läuft. Ein Rechner mit Monitor verbraucht 0,3 Kilowattstunden in vier Stunden.
- 4 Badewanne**
Ein Vollbad mit einem Wasserverbrauch von 200 Litern: zwischen drei Euro und 3,70 Euro
- 5 Dusche**
Zehn Minuten duschen mit einem angenommenen Wasserverbrauch von zehn Litern pro Minute: zwischen 1,50 Euro und 1,85 Euro
Wärme:
0,90 Euro bei einem Durchlauferhitzer
1,25 Euro bei Öl- oder Gasheizung
Frisch- und Abwasser:
0,40 bis 0,60 Euro
Bei weniger sparsamen Duschköpfen können statt 100 auch 150 Liter Wasser durch die Leitung rauschen.
- 6 Fernseher**
Zwei Stunden Fernsehschauen mit einem stromsparenden Fernseher kosten etwa drei Cent. Der Preis kann sich aber schnell erhöhen: Ein wenig sparsamer Plasma-Fernseher verbraucht in der Zeit bis zu 20 Cent an Strom.
Sparsamer Fernseher:
LCD-Technik, 100 Zentimeter Bild diagonal, 60 Watt Leistungsaufnahme
Wenig sparsamer Fernseher:
Plasma-Technik, 130 Zentimeter Bild diagonal, 400 Watt Leistungsaufnahme

- 7 Beleuchtung**
Rund 12,5 Cent kostet es, eine klassische 100-Watt-Glühlampe fünf Stunden lang brennen zu lassen. Eine vergleichbare Energiesparlampe kommt auf 2 Cent.
Die Beleuchtung eines Einfamilienhauses mit 100 Quadratmetern kostet im Schnitt pro Tag mit herkömmlichen Glühbirnen etwa 50 Cent, mit Sparlampen knapp 13 Cent.
Eine vergleichbare Helligkeit wie eine 100-Watt-Glühbirne bietet eine 15-Watt-Energiesparlampe.
In einem Einfamilienhaus mit 100 Quadratmetern werden durchschnittlich zwei Kilowattstunden Strom verbraucht, wenn ausschließlich mit Glühbirnen beleuchtet wird. Mit Energiesparlampen geht der Stromverbrauch auf 0,5 Kilowattstunden zurück.



- 8 Müll**
Für einen Vier-Personen-Haushalt in München kostet die Abfallentsorgung pro Monat etwa 3,50 Euro. Die Preise schwanken allerdings deutlich je nach Kommune: In Berlin kostet die gleiche Leistung 2,96 Euro.
Pro Person gehen die Abfallbetriebe von etwa 15 Kilo Restmüll in der Woche aus. Die 14-tägige Leerung einer 120-Liter-Tonne kostet 180,96 Euro pro Jahr – sie ist der Standard für eine vierköpfige Familie.
Größere Tonnen in Mehrfamilienhäusern sind teils deutlich günstiger. In München pro Liter Abfall um bis zu ein Drittel. Alle anderen Tonnen – etwa Papier- und Biomüll – sind in dem Preis enthalten. In Berlin kostet die 120-Liter-Tonne 153,88 Euro im Jahr.
- 9 Herd und Backofen**
Eine halbe Stunde kochen kostet etwa 12,5 Cent. Ein herkömmlicher Backofen verbraucht etwa 75 Cent, wenn er eine Stunde läuft. Ein Umluftofen etwa 50 Cent.
Übrigens: Kocht man mit Deckel, wird etwa zehn Prozent weniger Energie verbraucht – je nach Topfgröße und Inhalt.
Der Herd hat eine Leistungsaufnahme von 1000 Watt, der Backofen von 3000 Watt. Ein Umluftofen ist etwa 30 Prozent sparsamer.
- 10 Spülmaschine**
Ein Durchgang der Spülmaschine im 50-Grad-Eco-Programm kostet zwischen 38 und 40 Cent.
Strom: 18 Cent bei 0,7 Kilowattstunden pro Durchlauf, Gerät für 12 bis 15 Gedecke
Wasser: 4 bis 6 Cent bei 10 Litern Verbrauch
- 11 Kühlschrank**
Ein sparsamer Kühlschrank mit Gefrierfach verbraucht Strom im Wert zwischen zehn und 15 Cent pro Tag. Alte Geräte kommen aber bisweilen auch auf das Doppelte. Generell hängt es von der Größe und Energieklasse ab.
- 12 Staubsauger**
Eine halbe Stunde Staubsaugen kostet ungefähr 25 Cent. Der Staubsauger verbraucht 2000 Watt.
- 13 Waschmaschine**
Eine normale Buntwäsche kostet bei 40 Grad zwischen 28 und 37 Cent, bei 60 Grad zwischen 34 und 43 Cent und bei 90 Grad zwischen 43 und 52 Cent.
Wasser:
Pro Waschgang werden bei 6 bis 7 Kilogramm Ladung 45 Liter Wasser verbraucht. Das entspricht einem Preis von 18 bis 27 Cent.
- 14 Trockner**
Einmal Wäschetrocknen kostet zwischen 40 Cent (Wärmepumpen-Kondentrockner) und einem Euro (einfacher Abluft- oder Kondentrockner).
Ein Wärmepumpen-Kondentrockner braucht pro Sieben-Kilo-Ladung etwa 1,6 Kilowattstunden Strom. Ein Abluft- oder Kondentrockner bei gleicher Menge zwischen drei und vier Kilowattstunden.

SZ-Grafik: J. Fulda, M. Mainka; Recherche: H.v.d. Hagen, O. Hollenstein; Quellen: Energieberatung der Verbraucherzentralen, Abfallwirtschaftsbetrieb München

dann sind Einsparmaßnahmen vor allem in den Bereichen mechanische Energie, Beleuchtung, Prozesswärme, Kälteanwendungen sowie Information und Kommunikation vordringlich.

Abgesehen von den verhaltensbedingten Möglichkeiten, den Stromverbrauch zu vermindern, gibt es Techniken, deren Einsatz zusätzliche Einsparpotenziale erschließt. Bei der Beleuchtung kann die Nutzung von LED-Leuchten und anderen effizienten Beleuchtungstechniken wie Leuchtstoffröhren und Halogenlampen den Stromverbrauch drastisch eindämmen. Große Einsparpotenziale gibt es auch bei mechanischen Anwendungen vor allem in industriellen und gewerblichen Bereichen, deren Stromverbrauch durch hocheffiziente Motoren, Pumpen, Ventilatoren, Lüftungsanlagen und effizientere Informations- und Kommunikationstechniken signifikant senkbar ist. Intelligente Steuerungen der Betriebsparameter von Maschinen, Geräten und anderen Systemen können dazu einen weiteren Beitrag leisten. Schließlich lässt sich der Stromverbrauch auch vermindern, indem Strom durch einen primärenergetisch effizienteren Energieträger ersetzt wird. So kann beispielsweise – soweit vorhanden – zur Raumheizung und zur Warmwasserbereitstellung Erdgas anstelle von Strom genutzt werden. Auch beim Kochen ist Gas primärenergetisch meist effizienter als Strom.

Mit den bestehenden technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten lässt sich – auch unterstützt durch entsprechende Anreizsysteme – die angestrebte Senkung des Stromverbrauchs durchaus erreichen. Allerdings gibt es immer wieder neue Anwendungsfelder für elektrische Energie wie beispielsweise den steigenden Einsatz von Wärmepumpen sowie die zunehmende Ausstattung der Haushalte und Betriebe mit Elektrogeräten, die den Stromverbrauch wieder in die Höhe treiben.

Ebenso bedeutsam wie die Einsparung von Strom ist die Senkung des **Energieeinsatzes für Wärmezwecke**. Etwa 30 Prozent des gesamten Endenergieverbrauchs werden genutzt, um Räume zu heizen; bei den Haushalten sind es sogar mehr als 70 Prozent. Insofern hat die Raumwärme im Gebäudebestand eine herausragende Bedeutung, um die energie- und Klimaschutzpolitischen Ziele zu erreichen. Hier gilt es, den Wärmebedarf zu senken und dabei die vom Nutzer geforderte Raumwärme zu gewährleisten. Die Senkung des Wärmebedarfs lässt sich durch eine optimale Wärmedämmung sämtlicher Gebäudeaußenflächen wie Wände, Böden, Dächer, Fenster und Türen erreichen.

Eine verbesserte Wärmedämmung sollte jedoch idealerweise durch effiziente Heizungstechniken ergänzt werden. Ein Großteil des Gebäudebestandes ist immer noch mit veralteten Heizungsanlagen ausgestattet, die Jahresnutzungsgrade von weniger als

70 Prozent erzielen. Schon übliche neuere Niedertemperaturheizungen oder Brennwertheizungen erreichen dagegen mehr als 95 Prozent. Eine effizientere Heizungsanlage verbraucht bis zu 40 Prozent weniger Energie; zusätzliche Einsparungen von Öl und Gas sind möglich, wenn Solarwärme und Biomasse (Holz) genutzt werden. Insgesamt kann der Gebäudeenergieverbrauch durchaus um bis zu 90 Prozent gesenkt werden. Als besonders wirksam können sich auch kleine KWK-Anlagen erweisen, die sogar Gebäude zu Energielieferanten werden lassen.

Mit steigenden Brennstoffpreisen wird der Anreiz, die dazu notwendigen Investitionen zu tätigen, sicherlich zunehmen. Bereits heute gibt es zielgerichtete finanzielle Maßnahmen, um Gebäudeeigentümer bei den notwendigen Investitionen zu unterstützen. Darüber hinaus könnten aber auch ordnungsrechtliche Vorgaben nötig werden, um die angestrebten Ziele zu erreichen.

Auf den **Verkehrssektor** entfallen rund 27 Prozent des gesamten Endenergieverbrauchs. Hier wird angestrebt, den Verbrauch

bis 2050 um 40 Prozent zu senken. Seit Ende der 1990er-Jahre sind im Verkehrsbereich entsprechende Tendenzen erkennbar, sie müssten allerdings wesentlich verstärkt werden. Denkbar ist zunächst die schlichte Kraftstoffeinsparung. Dazu müssten die Autofahrer vermehrt auf unnötige Fahrten verzichten, energiebewusster fahren, wo möglich auf den öffentlichen Personen(nah)verkehr umsteigen oder Fahrgemeinschaften bilden. Die Hersteller könnten sich um eine effizientere Fahrzeug- und Antriebstechnik bemühen sowie – nicht zuletzt aus Klimaschutzpolitischen Gründen – um den Austausch der Kraftstoffe auf Mineralölbasis durch indirekte (elektrische Energie; Wasserstoff) oder direkte (biogene Kraftstoffe) erneuerbare Energien. Staatlicherseits müssen völlig neuartige Mobilitätsstrategien entwickelt werden, die infrastrukturelle Erfordernisse ebenso einbeziehen wie die möglichst intelligente Vernetzung der verschiedenen Verkehrssysteme. Aber auch die Kaufentscheidungen der Verbraucher sind zu beachten, denen die Industrie eine

Vom Beton-Dino zum Pionierprojekt

Sie hätten es auch einfach abreißen können. 16 Stockwerke, mehr als 40 Jahre alt, die 45 Meter hohe Fassade verblasst in tristen Grau- und Grüntönen, dazu ein Energieverbrauch, der einer Ökostadt absolut unwürdig war: Das Hochhaus „Bugginger Straße 50“ im Freiburger Westen war ein hässlicher, ineffizienter Klotz. [...] Da schien der Gedanke, den Beton-Dino einfach dem Erdboden gleichzumachen und neu zu bauen, zunächst der vernünftigste.

Aber: So ein Hochhaus abzureißen kostet Geld, frisst Energie und produziert Unmengen von Bauschutt. [...] Da musste sich doch aus mehr als 7000 Quadratmetern Wohnfläche noch etwas Brauchbares machen lassen.

[...] [I]m August 2009 begann der Umbau [...] [zum] weltweit erste[n] Hochhaus, das nach dem Passivhausstandard saniert worden ist. [...] Der Heizwärmebedarf konnte von jährlich 68 Kilowattstunden pro Quadratmeter auf 15 gesenkt werden. Das seien fast 80 Prozent weniger Heizenergie, sagt [Architekt Manfred] Börsig. „Und es werden 57 Tonnen weniger CO₂ ausgestoßen.“

Um solche Werte erzielen zu können, musste das Hochhaus einmal komplett entkernt werden. [...] Innen ist es kleinteiliger geworden [...]: Statt wie früher 90 Familienwohnungen mit 3 bis 4 Zimmern, gibt es nun 139 kleinere Wohnungen. [...]

Fürs Energiesparen mussten die Planer einiges an Technik in den Betonklotz hineinbasteln, die dem ersten Blick verborgen bleibt. Auf dem Flachdach wird eine Photovoltaikanlage mit einer Spitzenleistung von 25 Kilowatt von der Sonne beschie-

nen. Heiz- und Brauchwasser liefert ein benachbartes Blockheizkraftwerk mittels Fernwärme. Und um den Passivhausstandard zu erreichen, musste die Gebäudehülle nahezu luftdicht sein. Die bestehenden Balkone wurden deshalb in die Wohnflächen integriert, außen neue angebracht. Sie sind thermisch vom Gebäude getrennt, leiten also keine Wärme nach außen. Fassade, Dach und Kellerdecke wurden mit 20 Zentimeter dicker Dämmung versehen, Fenster mit Dreifachverglasung eingebaut.

Nicht an allen Stellen bot das Gebäude ausreichend Platz für eine klassische Dämmung. So wurde etwa in die Rollladentkästen Aerogel gespritzt, ein neuartiges Nanotechnik-Isoliermaterial. [...] „Wir haben eine gute Basis geschaffen“, sagt Manfred Börsig, „doch das eigentliche Problem beim Energiesparen ist immer der Nutzer: Wenn der sich nicht anpasst, werden die theoretischen Werte nicht erreicht.“

Um diese unsichere Variable kümmern sich Energieberater – Bewohner des Hauses, die eigens dafür geschult wurden, ihre Nachbarn darüber aufzuklären, wie man am effizientesten in einem Passivhaus wohnt. [...]

Wissenschaftlich begleitet wurde die Sanierung von Buggi 50 vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), das seinen Sitz in Freiburg hat. [...] „[D]ie eigentliche Herausforderung für uns war die Lüftungsanlage“, sagt Kagerer, „wir mussten da ein sehr einfaches System entwickeln, weil es für ein Gebäude dieser Größe überhaupt nichts Standardisiertes gibt.“ In dem neu errichteten Dachgeschoss drehen sich nun leistungsstarke Ventilatoren aus der Industrie. Sie saugen Frisch-

luft an, die im Wärmetauscher mithilfe der Abluft aufgewärmt wird.

[...] Das Freiburger Modell auf andere Abrisskandidaten allerorten zu übertragen liegt da nahe. Geht es auch? [...] Selbst der ziemlich hohe Preis des Umbaus – insgesamt 13,44 Millionen Euro, von denen mehr als sechs Millionen die städtische Wohnungsbaugesellschaft aus eigener Tasche gezahlt hat – scheint nicht besonders abschreckend zu wirken. Nachdem man das Pionierprojekt in der Fachwelt zunächst skeptisch kommentiert hatte, reisen jetzt Experten und potenzielle Nachahmer aus Asien, Skandinavien und den USA an, um Buggi 50 zu besichtigen. [...]

Claudia Füllsler, „Einfach dichtgemacht“, in: DIE ZEIT Nr. 12 vom 15. März 2012



Das erste Passiv-Hochhaus der Welt steht in Freiburg im Breisgau.

große Auswahl an Fahrzeugen zur Verfügung stellt, vom sparsamen Kleinwagen bis zum großvolumigen SUV mit sehr hohem spezifischem Kraftstoffbedarf. Hilfreich sind in diesem Zusammenhang die auf EU-Ebene festgelegten maximalen CO₂-Grenzwerte für Neuwagen. Eine Kaufentscheidung für ein kleineres, verbrauchsarmes Fahrzeug, das ja zugleich mit erheblich geringeren Anschaffungskosten verbunden ist, könnte schon helfen, den verkehrsbedingten Energieverbrauch zu senken. Allerdings lässt die bisherige Entwicklung noch keine eindeutige Tendenz in diese Richtung erkennen – allenfalls einen Trend hin zu Dieselfahrzeugen, die energieeffizienter sind als Pkw mit Ottomotoren. Zudem ist insgesamt – auch dank der Vorschriften der EU über Grenzwerte für den spezifischen CO₂-Ausstoß (siehe a. 38ff.) – eine leichte Entwicklung zugunsten energieeffizienterer Fahrzeuge spürbar.

Fazit: Alles in allem zeigen die meisten Studien, dass die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten zur Energieeinsparung in nahezu allen Bereichen groß genug sind, um die angestrebten Einsparziele erreichen zu können. Dazu sind aber nicht nur die privaten Haushalte gefragt, sondern ebenso die Industrie wie der Energiesektor selbst. Bei den Kraftwerken zumindest ist der Weg mit dem zunehmenden Übergang auf erneuerbare Energien weitgehend vorgezeichnet.

Im industriellen Bereich könnte unter anderem auch der europäische Emissionshandel mit der Festlegung anspruchsvoller Emissionsgrenzen ein wesentliches Instrument zur Energieersparnis darstellen. In jedem Fall bedarf es einer entsprechend gezielt ausgerichteten Energie- und Klimaschutzpolitik.

Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass die angestrebte Verbesserung der Energieeffizienz durchaus unerwünschte Folgen haben kann. In Fachkreisen wird zunehmend darauf hingewiesen, dass Effizienzsteigerungen im Ergebnis nicht vollständig zum Tragen kommen, sondern die damit meist verbundenen Kosteneinsparungen an anderer Stelle eine Mehrnachfrage nach Energie auslösen können. Dieser sogenannte Rebound-Effekt macht also Effizienzerfolge teilweise wieder zunichte. Eindeutig belastbare Aussagen zum Umfang dieser Effekte liegen noch nicht vor. Schätzungen gehen davon aus, dass langfristig und im Mittel durchaus mit gesamtwirtschaftlichen Rebound-Effekten von 50 Prozent gerechnet werden darf. Wenn dies so ist, muss die Frage gestellt werden, ob die großen Klimaschutzpolitischen Ziele tatsächlich allein durch Nutzung der technisch-wirtschaftlichen Effizienzpotenziale erreichbar sind oder ob sie nicht auch einen grundlegenden Wandel unserer Lebensstile erfordern.

Zwischen Klima- und Kostenbewusstsein

[...] In der OPTUM-Studie „Autos unter Strom“ kommen das Öko-Institut und das ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung zu dem Ergebnis, dass weniger das Klima- als das Kostenbewusstsein und andere Faktoren entscheidend sind: Kraftstoffpreis, Preis pro Kilowattstunde, Kilometer-Reichweite (zurzeit 160) und Ladedauer (zurzeit mehrere Stunden) der Batterie. Fazit: „Die Sensitivitätsberechnungen zeigen, dass viele Autofahrer am liebsten an ihren Fahr- und Tankgewohnheiten festhalten. [...]“

Wolfgang Wiedlich, „E-Mobile und Steckdose“, in: General-Anzeiger Bonn vom 22./23. Juni 2013

Für das Jahr 2020 wurde in der Studie OPTUM von folgenden durchschnittlichen Fahrzeugeigenschaften ausgegangen:

- **Elektroauto:** Es fährt nur mit Strom aus der Steckdose. Neupreis: 32 000 Euro. Kosten pro 100 Kilometer: 4,06 Euro (bei einem Strompreis von 22 Cent pro Kilowattstunde). Reichweite: 160 Kilometer. Motorleistung ca. 20 KW weniger als die unten genannten Referenz-Fahrzeuge.
- **Plug-in-Hybrid:** Dieser Autotyp hat einen Verbrennungs- und einen Elektromotor. Die Batterie wird beim Bremsen und an der Steckdose aufgeladen. Neupreis: 27 700 Euro. Kosten pro 100 Kilometer: 5,60 Euro (bei einem Strompreis von 22 Cent pro Kilowattstunde und einem Benzinpreis von 1,52 Euro

pro Liter). Elektrische Reichweite 50 Kilometer. Motorleistung 100 KW.

- **Benziner/Diesel:** Neupreis 24 400 Euro. Kosten pro 100 Kilometer: 8,21 Euro (bei einem Benzinpreis von 1,52 Euro pro Liter und Verbrauch von 5,4 Litern auf 100 Kilometern). Motorleistung 100 KW.
- **Verteilung 2030:** ca. 800 000 reine Elektromobile (2011: 2300), ca. 5,1 Millionen Plug-in-Hybride (2011: 37 000), ca. 42 Millionen Benzin-/Dieselfahrzeuge.

Forschungsprojekt OPTUM Optimierung der Umweltlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen – Integrierte Betrachtung von Fahrzeugnutzung und Energiewirtschaft, Öko-Institut e. V. und ISOE-Institut für sozial-ökologische Forschung, gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin 2011

Nachteile des Effizienzprinzips

[...] Effizienzpolitik ist so sperrig, weil sie es nicht mit zwei oder zwanzig, sondern mit Hunderten von Produkten zu tun hat. Mit Pumpen, Lüftern und Motoren, mit Boilern und Lampen, mit Wohnhäusern, Bürogebäuden und Fabriken, mit Steckdosen und Ventilen, mit Waschmaschinen und Fernsehgeräten, mit Autos und mit Kraftwerken. [...]

Nahezu jedes Ding kommt auch mit weniger Energie zurecht. Jedes, genau das ist das Problem. [...]

Hinzu kommt: Effizienzpolitik lässt etwas verschwinden, was vorher da war, ein Kraftwerk zum Beispiel oder einen Tanklastwagen, der seltener zum Auffüllen der Ölvorräte im Heizungskeller vorfahren muss. Verschwundenes ist aber untauglich als Beleg für Erfolg. Stattdessen wecken die Kämpfer für Effizienz noch neue Ängste. Weniger Energie? Da muss das Bier doch warm und die Stube kalt bleiben. Rationierung ist das. Ökodiktatur!

[...] In anderen Lebensbereichen klagt niemand über diktatorisches Gebahen. [...] Aber wenn es um einen vernünftigen

Umgang mit Energie geht, ist schnell von Zwang die Rede. Als der EU-Energiekommissar Günther Oettinger [...] seine Effizienzrichtlinie vorstellte, berichtete dpa über das „Energiespar-Diktat der EU“. Punkt.

Bloß geht es nicht ohne Effizienz. Sie ist billig, umweltverträglich und sofort nutzbar. [...]

Fritz Vorholz, „Ihr wollt gar nicht sparen!“, in: DIE ZEIT Nr. 28 vom 7. Juli 2011

www.zeit.de/2011/28/Energiewende/komplettansicht

Detlef Schulz und Karen Schulz

Energiequellen und Kraftwerke

Energie wird aus verschiedenen Energieträgern gewonnen. Diese unterscheiden sich jeweils hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit, der Methoden ihrer Gewinnung und der benötigten Kraftwerkstechnologien. Als Zukunftstechnologien werden Brennstoffzellen und Kernfusion behandelt.



Fossile, nicht erneuerbare Energieträger

Reserven, Ressourcen, Reichweite

Konventionelle Brennstoffvorkommen, zum Beispiel fließendes Erdöl oder frei strömendes Erdgas, können mit sogenannten klassischen Fördermethoden gewonnen werden. Unkonventionelle Vorkommen wie Ölsande oder Schiefergas erfordern hingegen alternative Vorgehensweisen. Für Ölsande müssen beispielsweise große Bodenmengen abgetragen und ausgewaschen werden. Um Schiefergas zu gewinnen, müssen Erd- oder Gesteinsschichten angebohrt werden, damit das Gas zur Oberfläche strömen kann.

Bei der Bewertung von Brennstoffvorkommen wird zwischen Reserven und Ressourcen unterschieden. Reserven sind mit hoher Genauigkeit bestätigte Vorkommen, die mit der heutigen Technik bei den aktuellen Preisen wirtschaftlich gefördert werden können. Ressourcen sind der Anteil des konventionellen und unkonventionellen Gesamtvorkommens, der nachgewiesen, aber momentan noch nicht wirtschaftlich abbaubar oder noch nicht genau erfasst ist. Die Ressourcen sind somit immer wesentlich größer als die Reserven. Sie können durch neue Technologien jedoch zu Reserven werden. Eine Schlüsselfunktion haben dabei zum Beispiel Tiefseebohrungen, um Erdöl und Erdgas zu gewinnen, oder das sogenannte Fracking (*Hydraulic Fracturing*, von engl. *to fracture* = aufbrechen = hydraulisches Aufbrechen, siehe a. S. 19). Dabei wird ein Gemisch aus Wasser, Quarzsand und Chemikalien mit hohem Druck in die Gesteinsschicht eingebracht, das so Risse im Untergrund erzeugt und den Gasabfluss ermöglicht.

Um einschätzen zu können, wie lange ein Rohstoff unter den heute gegebenen Umständen und bei gleichbleibenden Verbrauch noch verfügbar ist, werden die momentanen Reserven durch die aktuelle Weltjahresfördermenge dividiert. Als Ergebnis erhält man statistische Reichweiten.

Klassifizierung der nichterneuerbaren Energierohstoffe

	Erdöl	Erdgas	Kohle	Kernbrennstoffe
konventionell	Leichtöl Schweröl Kondensat	Freies Erdgas Erdölgas	Hartkohle Weichbraunkohle	Uran in Erz- lagerstätten Thorium
nicht konventionell	Schweröl Bitumen (Ölsand) Schieferöl (Ölschiefer)	Erdgas in dichten Gesteinen Flözgas Aquifergas Gashydrat		Phosphate Granite Meerwasser

Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Kohle

Reichweite und Verwendbarkeit: Die statistische Reichweite von Kohle beträgt nach den Angaben von *BP Statistical Review* weltweit 112 Jahre, in der Russischen Föderation 471 Jahre und in Deutschland 216 Jahre. Die Ressourcen sind – global gesehen – sehr viel höher. Abhängig von der Entwicklung des Verbrauchs kann Kohle bei steigenden Preisen noch für Jahrhunderte ausreichend zur Verfügung stehen. Es wird zwischen Hartkohle (Steinkohle) und Weichbraunkohle unterschieden. Braunkohle ist der einzige auch in Deutschland in großem Umfang verfügbare Rohstoff. Steinkohle wird wegen der hohen Abbaukosten einheimischer Vorkommen mittlerweile fast ausschließlich importiert. Braun- und Steinkohle werden zur Strom- und Wärmeerzeugung in Dampfkraftwerken eingesetzt. Dabei handelt es sich um die momentan kostengünstigste Art der Stromerzeugung. Gleichzeitig treten bei der Kohleverbrennung die im Vergleich höchsten Emissionen auf. Daher sind die hohen Kohlevorräte unter Klimagesichtspunkten besonders kritisch zu bewerten. (siehe a. S. 38 ff.)

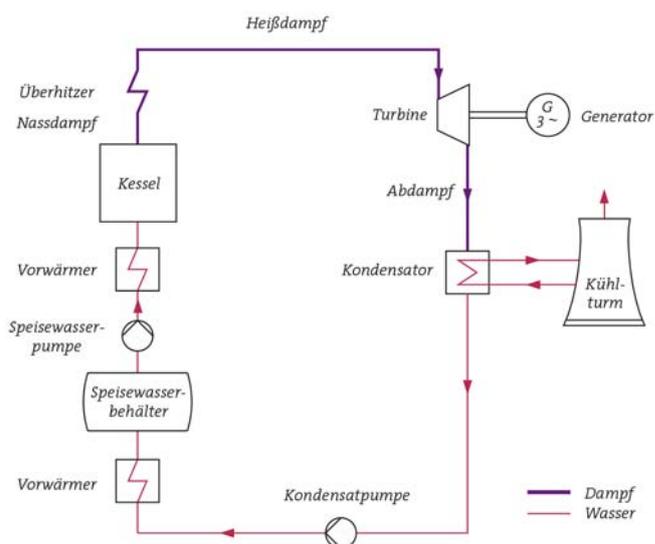
Methoden der Gewinnung und des Transports: Während Braunkohle ausschließlich in offenen Tagebauen abgebaut wird, kann Steinkohle abhängig von der Tiefe der Lagerstätte sowohl im offenen Tagebau wie beispielsweise in Australien oder bei tieferen Vorkommen im Untertage-Abbau gefördert werden. Insbesondere beim Abbau in Tagebauen tritt ein erheblicher Flächenverbrauch auf, nach dem Ende der Förderung ist ein Rekultivierungsprozess über mehrere Jahrzehnte erforderlich. Der Kohletransport erfolgt per Bahn, mit Lastkraftwagen oder Schiffen.

Kraftwerkstechnologien: Die ersten kohlebefeuerten Dampfkraftwerke wurden 1882 von Thomas Edison in New York und London in Betrieb genommen. Seit dieser Zeit konnten der Druck und die Temperatur des Prozesses durch den Einsatz höher belastbarer Werkstoffe wesentlich gesteigert werden, wodurch der Wirkungsgrad auf bis zu 47 Prozent verbessert wurde. Im Dampfkraftwerk laufen drei Prozessschritte ab: Verbrennung und Verdampfung sowie Umwandlung der thermischen in mechanische Energie. Mit der Kohle wird Wasser erhitzt. Als Dampf strömt es durch Turbinen, wobei elektrische Energie erzeugt wird. Wird zusätzlich zur elektrischen Energie auch die Abwärme genutzt, steigt der Gesamtwirkungsgrad wesentlich an. Dies erfordert jedoch große Wärmeverbraucher wie Fernwärmenetze in einem Versorgungsradius von fünf bis zehn Kilometern. In diesem Fall spricht man von Heizkraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung. Heutige Dampfkraftwerke werden in Leistungsstufen, den sogenannten Blockgrößen, von 500 bis 900 MW gebaut.

Zur Feuerung moderner Dampfkraftwerke wird Kohle genutzt, die zuvor in Kohlemühlen zu Staub gemahlen wurde. Das bei der Verbrennung entstehende Abgas muss aufwändig behandelt werden. Dies erfolgt mit einer Rauchgasentschwefelungsanlage, einer Entstickung, das heißt einer Anlage zur Verringerung der Stickoxide, und Elektrofiltern zur Entstaubung.

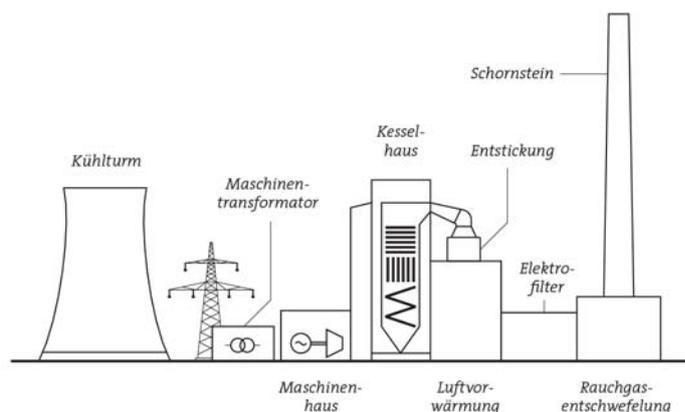
Dampfkraftwerke benötigen für das Anfahren einige Stunden, da die Bauteile sich temperaturbedingt ausdehnen; der Kessel von 500-MW-Kraftwerken wird zum Beispiel um bis zu 30 cm höher. Deshalb werden Dampfkraftwerke zur Grundlastversorgung eingesetzt. Moderne Dampfkraftwerke, deren Bauteile entsprechend angepasst werden, können schneller zwischen Voll- und Teillast wechseln. Dadurch können sie auch wirtschaftlich sein, wenn sie nicht dauerhaft in der Grundlastversorgung eingesetzt werden. Weiteres Entwicklungspotenzial liegt in der Verbesserung des Wirkungsgrades sowie der Verringerung von Emissionen.

Kreisprozess eines Dampfkraftwerks



Endrik Waldhaim / Detlef Schulz

Aufbau eines Dampfkraftwerks



Endrik Waldhaim / Detlef Schulz



Im Gegensatz zur Steinkohle kann Braunkohle nur im offenen Tagebau abgebaut werden. Dies erfordert einen großen Flächenverbrauch und die Umsiedlung von Ortschaften. Tagebau Welzow-Süd, Brandenburg, 2012

Kohlekraftwerke verursachen im Vergleich die höchsten Emissionen. Wesentlich ist hierbei die Abscheidung von Kohlendioxid. In Deutschland existiert ein Versuchskraftwerk zur CO₂-Abscheidung im Braunkohlekraftwerk Schwarze Pumpe bei Spremberg. Durch das Abscheiden des Kohlendioxids entstehen zwei wesentliche Probleme: Einerseits sinkt der Wirkungsgrad um bis zu zehn Wirkungspunkte, vorrangig wegen der aufwändigen Aufbereitung der Verbrennungsluft, aber auch durch die Kühlung und Kompression des Abgases. Andererseits muss das komprimierte Gas gelagert werden. Projekte zur möglichen Verpressung von flüssigem Kohlendioxid sind bisher am Widerstand der Bevölkerung und schließlich auch in der Gesetzgebung gescheitert. Vor allem die Risiken der langfristigen Abdichtung solcher Lagerstätten werden kritisch gesehen und unter Fachleuten kontrovers diskutiert. Allerdings gibt es erste Erfolge, Kohlendioxid stofflich zu nutzen, indem es bei der Produktion von Dämmstoffen in der chemischen Industrie eingesetzt wird.

Erdöl

Reichweite und Verwendbarkeit: Die statistische Reichweite von konventionellem Erdöl liegt nach den Angaben von *BP Statistical Review* weltweit bei 54 Jahren, Kuwait verfügt über Vorräte für 97 Jahre, Iran für 96 Jahre. Bei konventionellem Erdöl wird etwa ab dem Jahr 2024 (bei der zusätzlichen Nutzung unkonventioneller Reserven etwa ab 2035) der „*peak-oil*“, das heißt der Zeitpunkt der maximalen Fördermenge, erreicht sein, wobei zu diesem Zeitpunkt sehr viele unterschiedliche Zeitangaben, zahlreiche fehlerhafte Prognosen und kontroverse Aussagen gemacht werden. Bisher haben sich trotz steigender Förderung die Reserven und Ressourcen jedoch durch die Ausschöpfung neuer unkonventioneller Vorkommen weiter erhöht. Es wird geschätzt, dass die Ressourcen von unkonventionellem Erdöl doppelt so groß sind wie die konventionellen Vorkommen.

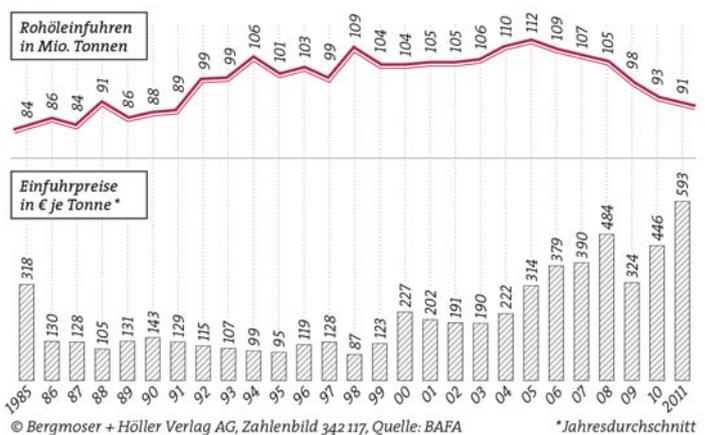
Erdöl wird wegen seiner hohen Energiedichte vorrangig zur Kraftstoffgewinnung eingesetzt. In Verbrennungskraftwerken zur Bereitstellung von Strom und Wärme sowie zur lokalen Wärmeerzeugung in Heizungsanlagen wird es dagegen aufgrund des schon lange anhaltenden Preisanstiegs immer weniger verwendet. Darüber hinaus ist Erdöl ein universell nutzbarer und deshalb stark nachgefragter Grundstoff in der chemischen Industrie, der zum Beispiel benötigt wird, um Plastik oder Kunstfasern herzustellen.

Methoden der Gewinnung und des Transports: Aus unterirdischen Lagerstätten an Land oder *offshore* direkt mit Pumpen flüssig gefördertes, das heißt frei fließendes Erdöl wird als konventionell bezeichnet. Unkonventionelles Erdöl ist nur schwer fließfähig und wird zum Beispiel in Kanada, wo die größten Vorkommen bekannt sind, in großen Mengen aus abgebagerten Ölsanden oder Ölschiefern ausgewaschen. Unkonventionelles Erdöl erweitert die konventionellen Reichweiten beträchtlich, allerdings werden hierbei enorme Flächen verbraucht. Der Transport von Erdöl erfolgt in Pipelines, Tankschiffen und Tanklastkraftwagen.

Kraftwerkstechnologien: Das erste deutsche Ölkraftwerk ging 1960 in Betrieb. Große Ölkraftwerke funktionieren im Prinzip ähnlich wie Dampfkraftwerke, wobei Öl als Brennstoff

Deutschlands Ölimporte

1985-2011



genutzt wird. Die Blockleistung kann bei bis zu 1000 MW liegen. Allerdings werden Ölkraftwerke wegen des hohen Brennstoffpreises in Deutschland nicht mehr gebaut. Bestehende Ölkraftwerke werden als Reservekraftwerke mit einigen hundert Benutzungsstunden pro Jahr zur Spitzenlastabdeckung, das heißt also in den Stunden des Tages, wo besonders viel Strom verbraucht wird bzw. die Nachfrage nach Strom am größten ist, eingesetzt. In Ländern mit eigenen Ölvorkommen wird diese Kraftwerksart auch zur Grundlastabdeckung genutzt.

Kleinere Ölkraftwerke, deren Leistung bis 10 MW reicht, werden als Blockheizkraftwerke betrieben, die alternativ auch mit Erdgas befeuert werden können. Da hierbei hohe Abgastemperaturen auftreten, kann ein Dampfkraftwerksprozess nachgeschaltet werden. Hierdurch kann der Gesamtwirkungsgrad auf bis zu 58 Prozent gesteigert werden. Durch Kraft-Wärme-Kopplung lässt sich der Wirkungsgrad noch weiter erhöhen.



picture alliance / AP Photo / Nabil al-Jurani

Erdöl – Rohstofflieferant Nr. 1: In Rumaila (Südirak) werden täglich mehr als eine Million Barrel gefördert; mit insgesamt fast 18 Milliarden Barrel Öl gehört das Vorkommen dort zu den größten Ölfeldern weltweit. Arbeiter in einer Raffinerie bei Basra 2009.

Fracking – überall möglich?

Bedingungen für die Schiefergas-Revolution in den USA:

GEOLOGIE

1. Die Felder sind breit, liegen nicht besonders tief in nicht allzu schwierigem Gestein, was darauf schließen lässt, dass sie technisch leichter förderbar sind. Ein Großteil des Schiefergases hat einen sehr hohen Flüssiganteil, der die Wirtschaftlichkeit der Förderung drastisch verbessert.

2. Es stehen viele Daten für die Bohrungen zur Verfügung, die es Unternehmen erlauben, die erfolgversprechendsten Gebiete zu erschließen.

GESETZESLAGE

1. Das Energiegesetz von 2005 schließt Fracking explizit vom Clean-Water-Gesetz der Umweltschutzagentur (EPA) aus („Cheney-Halliburton Schlupfloch“).

2. Das Energiegesetz von 1980 bietet Subventionen in Höhe von 50 Cent pro [Million British Thermal Units] MMBTU. Mit diesem Gesetz wurde auch eine „Intangible Drilling Cost Expensing Rule“ eingeführt, durch die mehr als 70 Prozent der Entwicklungskosten gedeckt sind. Das ist von größter Bedeutung für kleine Firmen mit begrenztem Cash-Flow (engl., Geldfluss, eigenwirtschaftete Mittel – Anm. d. Red.).

3. Aufgrund der Eigentumsrechte in den Vereinigten Staaten gelten Schiefergasvorkommen als Eigentum des Grundbesitzers. Damit sind finanzielle Anreize geschaffen, die es erleichtern, Schiefergas-Bohrungen auf Privatbesitz tätigen zu können. Zudem ist die amerikanische Bevölkerung an Öl- und Gasbohrungen in nächster Nähe ihres Wohnorts gewöhnt.

4. Pipeline-Zugang basiert auf dem Prinzip des „common carriage“. Gasproduzenten verfügen also über einen gewissen Zugang zu vorhandenen Pipelines, was die Wirtschaftlichkeit der Schiefergas-Produktion erhöht.

5. Die USA sind ein „Rohstoffbeschaffungsgasmarkt“, das heißt, es gibt viele Käufer und Verkäufer und eine gute Preistransparenz. Gas ist leicht zu verkaufen.

INDUSTRIE

1. Die Industrie wird von kleinen Unternehmen dominiert, die sogenannten „Momma and Poppa“-Unternehmen.

2. Der Hauptteil der Arbeit wurde von der dynamischen, sehr wettbewerbsfähigen Zulieferindustrie erledigt. Auf dem Höhepunkt der Operationen auf dem Barney Feld im Jahr 2008 waren 199 Bohrungen in Betrieb.

3. Es gibt eine Tradition, Explorationslizenzen für große Felder mit relativ vagen Arbeitsvorschriften zu vergeben. Genau das wird für die Exploration mit Schiefergasvorkommen gebraucht. [...]

Was eine Schiefergas-Revolution in Europa behindern könnte:

GEOLOGIE

1. Die vorhandenen Felder sind kleiner, liegen tiefer und in schwierigem Gestein, oft mit hohem Tongehalt, was ein Fracking erschwert. Wie weit die Vorkommen Flüssiganteile enthalten, ist noch nicht bekannt.

2. Es stehen nur sehr begrenzte Bohrdaten zur Verfügung.

GESETZESLAGE

1. Es gibt sehr strenge Vorschriften bezüglich Umwelt und Wasser. So fordern die polnische und die britische Umweltbehörde eine vollständige Offenlegung der bei Fracking verwendeten Flüssigkeiten. In den bestehenden einschlägigen Regulierungen für Erdöl werden unkonventionelle fossile Energieträger nicht einmal erwähnt. Rechtliche Unsicherheiten verlangsamen eine Förderung.

2. Finanzielle Anreize für eine Exploration von Schiefergas sind – mit Ausnahme kleinerer Fördermittel in Ungarn – nicht vorhanden. Die britische Regierung erwägt derzeit Steuererleichterungen für die Förderung.

3. Staaten besitzen die Eigentumsrechte für die Felder, es gibt keine finanziel-

len Anreize für Grundbesitzer, Vorkommen ausbeuten zu lassen – obgleich diese Bohrungen mit erheblichen Belastungen verbunden sind. Onshore-Öl- und Gasbohrungen sind in Europa nicht üblich. Positiv (vor allem für die betroffenen Kommunen) fällt ins Gewicht, dass die Exploration von Schiefergas auch Arbeitsplätze schaffen könnte.

4. Es gibt das Prinzip von „Drittparty-Zugängen“. Ist eine Pipeline ausgelastet, muss jeder Gasversorger eine eigene Pipeline bauen, um Zugang zu den Märkten zu erhalten.

5. Kontinentaleuropa ist ein „Projekt-Beschaffungsmarkt“ mit wenig Käufern und Verkäufern und geringer Preistransparenz. Die Transaktionskosten bei Gasverkäufen sind hoch.

INDUSTRIE

1. Dieser Industriezweig wird weitgehend von großen Unternehmen dominiert.

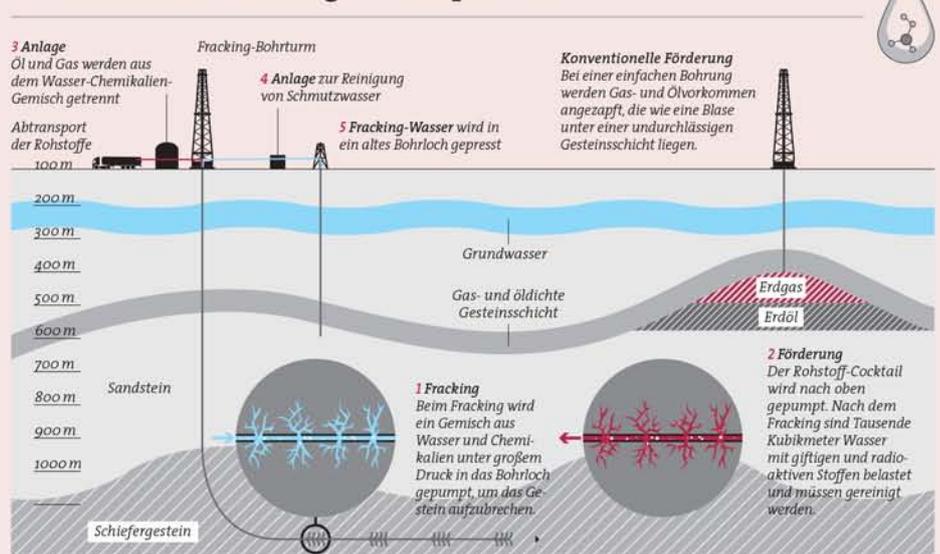
2. Die Zulieferindustrie ist ein amerikanisch dominiertes Oligopol. 2010 gab es in ganz Westeuropa nur 34 Onshore-Förderinseln. Die Kosten für die Bohrung eines Schiefergas-Brunnens sind in Polen dreimal so hoch wie in den USA, was auf den fehlenden Wettbewerb auf diesem Gebiet hinweist.

3. Lizenzen für Abbauflächen werden eher für kleine Gebiete und mit strengen Arbeitsvorschriften ausgegeben. [...]

Paul Stevens, „Auf dem Weg ins goldene Gaszeitalter?“, in: IP „Rohstoff-Revolution“ vom März/April 2013, S. 12 f.
<https://zeitschrift-ip.dgap.org/de/ip-die-zeitschrift/archiv/jahrgang-2013/maerz-april/auf-dem-weg-ins-goldene-gaszeitalter>

© IP

So funktioniert Fracking am Beispiel USA



SZ-Grafik: Hanna Eiden; Quellen: US-Energiebehörde EIA, Outlook 2013 in: Süddeutsche Zeitung vom 5./6. Januar 2013

Paul Langrock / Zenit / laif



Erdgas ist universell nutzbar: Das Gas- und Dampfturbinenkraftwerk in Hamm-Uentrop (Nordrhein-Westfalen) wurde als erstes kommunales Gaskraftwerk seiner Art 2007 in Betrieb genommen.

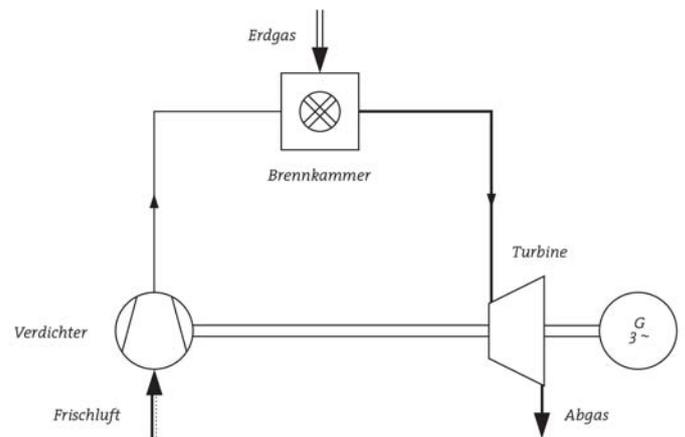
Erdgas

Reichweite und Verwendbarkeit: Die statistische Reichweite von konventionellem Erdgas beträgt nach den Angaben von *BP Statistical Review* weltweit 64 Jahre und beispielsweise in den GUS-Staaten 96 Jahre. In Europa ist das Fördermaximum für Erdgas bereits überschritten. Die Ressourcen von unkonventionellem Erdgas werden auf 1,5-mal so groß wie die konventionellen Vorkommen geschätzt. Erdgas ist ein universell nutzbarer Energieträger. Es wird zur Strom- und Wärmeerzeugung in schnell anfahrbaren Gaskraftwerken zur Spitzenlastabdeckung eingesetzt. Auch zur lokalen Wärmeerzeugung in Heizungsanlagen ist es stark nachgefragt. Darüber hinaus wächst der Bedarf für Gas als Treibstoff für Kraftfahrzeuge.

Methoden der Gewinnung und des Transports: Konventionelles Erdgas wird aus unter hohem Druck stehenden unterirdischen Lagerstätten an Land oder *offshore* gefördert. Als unkonventionell wird Erdgas dann bezeichnet, wenn es nicht selbstständig aus dem Bohrloch strömt. Dies kann je nach den umgebenden Schichten Kohleflözgas oder Schiefergas sein. Es wird aus tiefen Erdschichten durch Fracking (siehe S. 19) gewonnen, das auch in der Geothermie eingesetzt wird. Die Nutzung von Schiefergas birgt hohes wirtschaftliches Potenzial. Durch die zusätzliche Nutzung von unkonventionellem Gas decken beispielsweise die USA ihren Gasbedarf zu einem Drittel des Weltmarktpreises selbst ab. Gleichzeitig können durch Gasimporte politische Abhängigkeiten verringert werden. Der Transport erfolgt als komprimiertes Gas in Pipelines (CNG-Compressed Natural Gas) oder in bei tiefen Temperaturen verflüssigter Form (LNG-Liquidified Natural Gas) in speziell isolierten Gastankschiffen.

Kraftwerkstechnologien: Etwa ab 1935 begann die industrielle Nutzung von Gasturbinen, 1940 setzte ein Kraftwerk im schweizerischen Neuenburg die erste Gasturbine ein. Ein Gasturbinenkraftwerk beinhaltet die Brennstoffzufuhr, die Gasturbine und den angekoppelten elektrischen Generator. Ein Luft-Erdgas-Gemisch wird entzündet. Bei der Verbrennung in Gasturbinenkraftwerken werden Temperaturen von bis zu 1500°C erreicht. Die heißen Abgase – ein Gemisch aus Kohlendioxid, Wasserdampf und Stickstoff – durchströmen dann eine Turbine, dabei wird ihre thermische Energie in mechanische Bewegungsenergie und über den angeschlossenen Generator in Strom gewan-

Gasturbinenprozess



Endrik Waldhaim / Detlef Schulz

delt. Der Wirkungsgrad moderner Gasturbinen-Kraftwerke beträgt bis zu 40 Prozent, sie werden bis zu einer Leistung von 375 MW gebaut. Im Vergleich zu Kohlekraftwerken weisen sie geringere Investitionskosten und höhere Brennstoffkosten auf. Sie sind schnell anfahrbar und werden vorrangig als Spitzenlastkraftwerke eingesetzt. Zur Nutzung der hohen Abgastemperaturen kann ein Dampfkraftwerksprozess nachgeschaltet werden, der den Gesamtwirkungsgrad abhängig von der Kraftwerksgröße auf bis zu 58 Prozent erhöht. Auch hier kann der Wirkungsgrad durch Kraft-Wärme-Kopplung weiter gesteigert werden. Das Entwicklungspotenzial von Gaskraftwerken liegt vorrangig im Einsatz hochtemperaturfester Materialien für die Brennkammer und die Turbinenschaufeln.

Kernbrennstoffe

Reichweite und Verwendbarkeit: Als Kernbrennstoffe stehen die chemischen Elemente Uran (chem. Formel U) und Thorium zur Verfügung, die natürliche Bestandteile der Erdkruste sind. Uran ist der einzige momentan verwendete Kernbrennstoff, Thorium wird nicht kommerziell eingesetzt. Die globalen Uranvorräte sind sehr umfangreich, es ist keine Verknappung zu erwarten. Ihre Reserven unterscheiden sich von den Ressourcen im Gegensatz zu anderen Brennstoffen nur anhand des Förderpreises. Alle bekannten und sicher geschätzten Vorräte, die bei Kosten von bis zu 130 US-Dollar je Kilogramm U gewinnbar sind, betragen 4,59 Millionen Tonnen und würden ausreichen, den gegenwärtigen Verbrauch von jährlich 68 435 Tonnen U für 67 Jahre zu decken. Zusätzliche sekundäre Vorräte würden weitere 0,25 Mio. t U oder 3,6 Jahre hinzufügen. Die gesamte Reichweite beträgt damit etwa 70 Jahre. Kernbrennstoffe werden vorrangig zur Stromerzeugung eingesetzt. Wegen ihrer militärischen Nutzbarkeit müssen ihre Herstellung und ihr Verkauf streng kontrolliert werden. In Kernreaktoren wird das Uran beim Betrieb in Plutonium umgewandelt, das als spaltbares Material für den Bau von Kernwaffen eingesetzt werden kann. Plutonium war beispielsweise das Spaltmaterial der am 9. August 1945 auf Nagasaki abgeworfenen Atombombe.

Methoden der Gewinnung und des Transports: Uran kommt als Erz in der Erdkruste vor. Es kann als Gestein im Tagebau oder Tiefbau abgebaut sowie im „Lösungsbergbau“ mit Schwefelsäure aus dem Erz gelöst werden. Durch eine chemische Aufbereitung

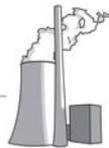
Daniel Acker / Bloomberg via Getty Images



Umstrittener Rohstoff: Nach der chemischen Aufbereitung kennzeichnet den sogenannten Yellow Cake, ein Gemisch von Uranverbindungen, seine markante gelbliche Färbung.

Kernkraftwerke in Deutschland

■ in Betrieb ■ abgeschaltet bzw. stillgelegt
 1968-2005 Laufzeit des Kernkraftwerks
 (2022) voraussichtliches Jahr der Abschaltung



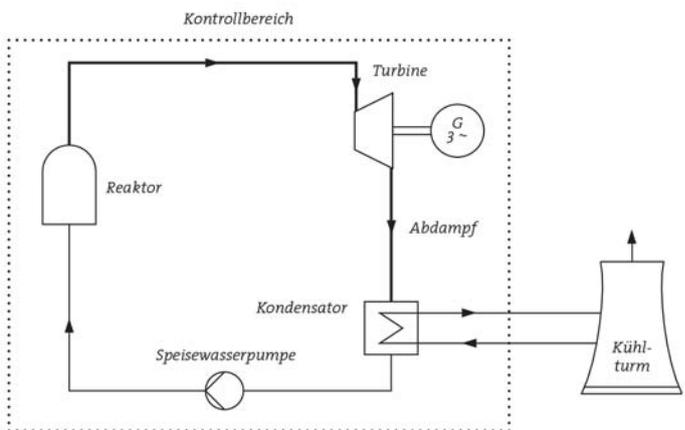
© Bergmoser + Höller Verlag AG, Zahlenbild 370452, Quelle: BfS, IAEA

entsteht der wegen seiner gelben Farbe sogenannte *Yellowcake*, der in trockener Form 70 bis 80 Prozent Uran enthält. Durch einen Brennvorgang wird Uranoxid erzeugt, das in gesicherten Behältern per Bahn, Schiff oder Lkw transportiert wird. Beim Abbau und der Aufbereitung von Uran treten Gefährdungen durch Schwermetallverbindungen im Abraumgestein auf.

Kraftwerkstechnologien: Die Chemiker Otto Hahn und Fritz Straßmann entdeckten im Dezember 1938 die Spaltung des Urankerns. Die Physiker Lise Meitner und Otto Frisch lieferten 1939 die erste physikalisch-theoretische Deutung. Das erste Kernkraftwerk der Welt wurde 1954 im russischen Obninsk in Betrieb genommen, es gilt aber wegen seiner geringen Leistung von nur fünf MW nicht als kommerziell nutzbar. Im Jahr 1955 wurde im englischen Calder Hall das erste kommerzielle Kraftwerk mit einer Leistung von 55 MW eingeschaltet.

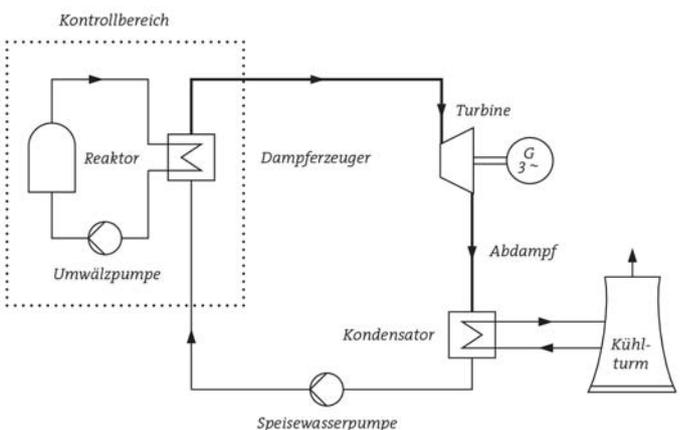
Ein Kernkraftwerk funktioniert prinzipiell wie ein Dampfkraftwerk. Die Verdampfung des Wassers im Reaktor erfolgt durch die Energie einer gesteuerten Kernspaltungs-Kettenreaktion. Die heute vorherrschenden Reaktortypen Siedewasserreaktor und Druckwasserreaktor sind eine Weiterentwicklung militärisch genutzter U-Boot-Reaktoren. Beim Siedewasserreaktor befinden sich der Reaktor, die Dampfturbine und der Kondensator in einem gemeinsamen Kreisprozess, das Wasser wird

Kernkraftwerk mit Siedewasserreaktor



Endrik Waldhaim / Detlef Schulz

Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor



Endrik Waldhaim / Detlef Schulz

bereits im Reaktorbehälter verdampft. Der Druckwasserreaktor verfügt über zwei getrennte Kreisläufe für den Reaktor und den Turbinenbereich, die Verdampfung erfolgt über einen Wärmetauscher. Somit ist beim Druckwasserreaktor der kontaminierte Kontrollbereich wesentlich kleiner und der Überwachungsaufwand geringer. Während anfangs wegen ihrer einfachen Bauweise vorzugsweise Siedewasserreaktoren errichtet wurden, haben sich inzwischen wegen ihres kleineren Kontrollbereichs Druckwasserreaktoren durchgesetzt.

Im von Wasser durchflossenen Reaktorbehälter befinden sich in bis zu 250 Rohren die Brennstäbe, die aus angereicherterem Uran bestehen. Ein Beschuss des Urans mit Neutronen kann eine Kernspaltungs-Kettenreaktion verursachen, wenn die Geschwindigkeit der Neutronen gering genug ist. Durch die Kernspaltung wird das Wasser erhitzt, der Dampf treibt eine Turbine an und erzeugt über den angetriebenen Generator Strom. Prinzipiell kann die Leistung von Kernkraftwerken relativ schnell verändert werden. Wegen des vergleichsweise geringen Druck- und Temperaturniveaus liegt der Wirkungsgrad

von Kernkraftwerken bei nur 30 Prozent. Das Entwicklungspotenzial von Kernkraftwerken ist nahezu ausgeschöpft, da der Druck- und Temperaturbereich nicht ohne Weiteres erhöht werden kann. Zu beachten ist, dass die Kühlung der Brennstäbe stets garantiert sein muss, da auch abgeschaltete Brennstäbe Wärme entwickeln. Ein Ausfall der Kühlung kann zu einem starken Temperaturanstieg und damit zur Gefahr einer Kernschmelze führen.

Während bei anderen klassischen Kraftwerkstechnologien oft die Abgasemissionen problematisch sind, ist bei der Kernenergie das Hauptproblem die sichere Lagerung der hoch radioaktiven Abfälle. Abhängig vom zu lagernden Stoffgemisch können sich Halbwertszeiten, das heißt Zeitspannen, in denen die radioaktiven Stoffe die Hälfte ihrer Strahlungswirksamkeit verlieren, von bis zu einigen zehntausend Jahren ergeben. Während der vergleichsweise kurzen Nutzungsdauer der bisherigen Endlager in Morsleben in Sachsen-Anhalt und ASSE II bei Remlingen im Kreis Wolfenbüttel traten bereits vielfältige technische Probleme auf, die eine dauerhaft sichere Lagerung in Frage stellen.

14 Staaten, 132 Reaktoren

Die Atomkraft liefert rund 30 Prozent des in der Europäischen Union verbrauchten Stroms. Von den 27 EU-Staaten betreiben nur 14 Atomkraftwerke, darunter allerdings alle größeren Länder. Es handelt sich um insgesamt 132 Reaktoren. Die Mehrheit der 480 Millionen Europäer, rund 70 Prozent, lebt daher in einem Land, in dem Atomkraft produziert wird.

Frankreich hat mit 58 Reaktorblöcken die meisten AKW in der EU und mit 78 Prozent den höchsten Atomstrom-Anteil. Das Durchschnittsalter der Anlagen liegt bei mehr als 25 Jahren. Altmeiler wie Fessenheim und Cattenom sind besonders störanfällig. 2007 begann der Bau eines neuen Reaktors in Flamanville. Seine Kosten sind explodiert, die Fertigstellung verzögert sich um vier Jahre.

Belgien hat sieben AKW und produziert damit 54 Prozent seines Stroms. Das Land will aus der Atomkraft aussteigen, Zieldatum ist 2025.

Die Slowakei betreibt vier Reaktoren russischer Bauart, der Atomstromanteil beträgt 54 Prozent. Zwei weitere AKW sind am Standort Mochovce im Bau, der nahe an der Grenze zum atomstromfreien Österreich liegt. Das erzeugt Konflikte mit Wien. Fertigstellung ist für 2013 respektive 2014 geplant.

Ungarn hat vier AKW im russischen Design, alle am Standort Paks, und 43 Prozent Atomstrom. Zwei neue Anlagen sind in Planung, der Anteil an Strommix soll auf 60 Prozent steigen. Die Mehrheit der Bürger (62 Prozent) hat sich in einer Umfrage gegen den Neubau ausgesprochen.

Slowenien betreibt mit dem Nachbarland Kroatien gemeinsam einen Reaktor in Krško, Hersteller: die US-Firma Westinghouse. Er liefert 41 Prozent des Stroms. Seine Laufzeit soll verlängert werden.

Schweden betreibt zehn AKW, die 39 Prozent des Stroms produzieren. Nach dem Harrisburg-Unfall beschloss das Land in einem Referendum den Atomausstieg. 2010 revidierte das Parlament die Entscheidung. Neue Reaktoren können künftig alte ersetzen. 57 Prozent der Bürger sprachen sich laut einer Umfrage gegen neue AKW aus.

Tschechien hat sechs Reaktoren russischer Bauart am Netz, der Atomstromanteil beträgt 33 Prozent. Besonders umstritten ist der Standort Temelin, nahe der Grenze zu Bayern und Österreich gelegen. Hier sollen zwei weitere Blöcke entstehen.

Bulgarien produziert mit seinen zwei (von ehemals sechs) noch aktiven russischen Reaktoren in Kosloduj 33 Prozent des Stroms. Vier besonders störanfällige Blöcke wurden als Bedingung für den EU-Beitritt abgeschaltet. In diesem Jahr wurde der seit 1985 geplante Bau von zwei neuen Reaktoren am Standort Belene gekippt.

Finnland betreibt zwei AKW und hat 32 Prozent Atomstromanteil. Das Land war das erste, das 2005 nach einem fast 20-jährigen faktischen Baustopp in der EU wieder ein neues AKW in Angriff nahm – das erste vom französisch-deutschen Typ EPR mit verbesserten Sicherheitseinrichtungen. Allerdings liegt die Fertigstellung aktuell um fünf Jahre hinter dem Plan. Die Kosten verdoppelten sich auf rund sechs Milliarden Euro.

Spanien hat acht Reaktoren, die knapp 20 Prozent des Stroms produzieren. Spaniens Ex-Premier Zapatero kündigte 2004 und 2008 den Ausstieg aus der Atomkraft binnen 20 Jahren und einen beschleunigten Umstieg auf erneuerbare Energien an. Konkrete Ausstiegsschritte gab es aber nicht. Unter den Eindrücken der Finanz- und Wirtschaftskrise verlängerte Madrid 2011 dann sogar die AKW-Laufzeiten – von 40 auf 60 Jahre.

Rumänien betreibt zwei Reaktoren kanadischer Bauart am Standort Cernavoda. Der Plan, dort zwei weitere Anlagen zu bauen, entpuppte sich als schwierig. Die Regierung hat bisher keine Investoren dafür gefunden. Angeblich hat ein chinesisches Unternehmen Interesse signalisiert.

Deutschland hat noch neun AKW am Netz, sie liefern 18 Prozent des Stroms. Als Folge einer Sicherheits-Neubewertung nach Fukushima wurden die acht Meiler der älteren AKW-Generationen stillgelegt. Der Ökostrom-Anteil liegt inzwischen bei 25 Prozent.

Großbritannien hat noch 16 AKW, der Atomstromanteil beträgt 16 Prozent. 2011 und 2012 wurden drei Reaktoren stillgelegt. Die Regierung plant den Neubau von AKW, ein Argument ist der Klimaschutz. Ob sich Investoren finden, ist noch offen. [...] Laut einer Umfrage befürworten 80 Prozent der Briten den Atomausbau.

Die Niederlande haben ein AKW in Betrieb. Die fast 39 Jahre alte Anlage liefert vier Prozent des Stroms. Pläne für neue Reaktoren wurden inzwischen aufgegeben.

Joachim Wille, „Kernenergie in Europa“, in: Frankfurter Rundschau vom 5. Oktober 2012

Erneuerbare Energiequellen

Windenergie

Entstehung und Nutzbarkeit: Windenergie entsteht aus Temperatur- und Druckunterschieden von Luftmassen. Die nutzbare Leistung des Windes hängt vorrangig von der Windgeschwindigkeit ab. Darüber hinaus wird sie von der Luftdichte, der Rotorkreisfläche sowie vom Leistungsbeiwert, das heißt von der Art der Aerodynamik, beeinflusst.

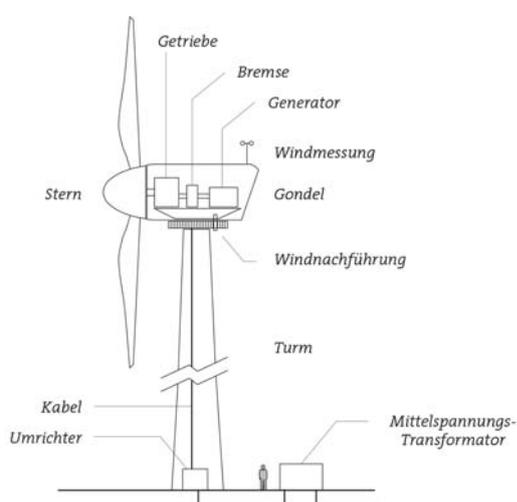
Kraftwerkstechnologien: Bereits ab 1891 wurden in Dänemark Windenergieanlagen zur Versorgung netzferner Regionen mit elektrischer Energie aufgebaut. Die wissenschaftlichen Grundlagen für die systematische Nutzung der Windenergie wurden in den 1920er-Jahren gelegt. Die erste Großanlage mit 1250 kW entstand im Jahr 1941 in den USA. Ab 1975 wurde die Stromerzeugung aus Windenergie international vorangetrieben. In Deutschland begann die industrielle Nutzung von Windenergieanlagen mit dem Stromeinspeisungsgesetz von 1990, das die Abnahme und Vergütung von elektrischer Energie regelte. Seit 2000 gilt das Erneuerbare-Energien-Gesetz, das im Schnitt alle vier Jahre überarbeitet wird. Hierin wurden der vorrangige Netzanschluss erneuerbarer Energien sowie garantierte Vergütungssätze festgeschrieben, was zu einem starken Ausbau geführt hat.

Das Funktionsprinzip von Windenergieanlagen besteht in der Umwandlung der Windenergie über Rotorblätter in mechanische Bewegungsenergie. An den Rotor ist ein elektrischer Generator gekoppelt, der die Energie direkt oder über leistungselektronische Wandler in das Netz einspeist. Die Anströmungseigenschaften der Rotorblätter können durch

drehbare Achsen an die Windgeschwindigkeit angepasst werden. Neben der Anlage befindet sich der Transformator, der bei Einzelanlagen den Anschlusspunkt zum öffentlichen Netz der Mittelspannung bei beispielsweise 20 kV bildet. Oft werden viele Anlagen in einem Windpark konzentriert, dann erfolgt der Netzanschluss über eine größere Schaltanlage am Hochspannungsnetz bei 110 kV oder bei sehr großen Windparks auch auf der Höchstspannungsebene 220 kV oder 380 kV. Für die Erzeugung elektrischer Energie wird der Windgeschwindigkeitsbereich von vier bis 20 Meter pro Sekunde (=14-72 km/h) genutzt, bei höheren Geschwindigkeiten schalten die Anlagen zum Schutz der Mechanik ab. Anlagen auf See werden für höhere Windgeschwindigkeiten dimensioniert. Im Zusammenhang mit erneuerbaren Energien wird oft deren energetische Amortisation diskutiert. Damit ist der Zeitraum gemeint, in dem eine Anlage so viel Energie produziert hat, wie für ihre Herstellung aufgewendet wurde. Klassische Kraftwerkstechnologien können sich nie energetisch amortisieren, da während ihres Betriebs ständig neuer energiehaltiger Brennstoff zugeführt werden muss. Windenergieanlagen amortisieren sich abhängig von der mittleren Windgeschwindigkeit an ihrem Standort innerhalb von drei bis sieben Monaten.

Eine Nutzung der Windenergie ist sowohl an Land (*onshore*) als auch auf dem Meer (*offshore*) möglich. *Offshore*-Installationen sind wesentlich kostenintensiver, dafür ist ihre Energieausbeute höher. Heutige Leistungen ausgeführter Anlagen reichen bis zu sieben MW, es besteht noch Entwicklungspotenzial bis oberhalb von zehn MW.

Aufbau einer Windkraftanlage



Endrik Waldhaim / Detlef Schulz

Installierte Leistung bis 2012

in Megawatt

1.	Niedersachsen	7155
2.	Brandenburg	4710
3.	Sachsen-Anhalt	3748
4.	Schleswig-Holstein	3385
5.	Nordrhein-Westfalen	3130
6.	Rheinland-Pfalz	1779
7.	Mecklenburg-Vorpommern	1707
8.	Sachsen	988
9.	Thüringen	831
10.	Bayern	779
11.	Hessen	728
12.	Baden-Württemberg	499
13.	Bremen	148
14.	Saarland	131
15.	Hamburg	53
16.	Berlin	2

Kumulierte Daten, Stand 30.6.2012

ZEIT-Grafik / Quellen: C. Ender, DEWI GmbH, BDEW, in: DIE ZEIT Nr. 51 vom 13. Dezember 2012



picture alliance / dpa / Ingo Wagner

Der Windpark BARD Offshore 1, circa 90 Kilometer vor der ostfriesischen Insel Borkum gelegen, umfasst mittlerweile 80 Windkraftanlagen, die mit einer Gesamtleistung von 400 Megawatt rund 400 000 Haushalte versorgen können.

Offshore ohne Anschluss ...

[...] Ungefähr 35 Kilometer nördlich von Helgoland entsteht Nordsee Ost, einer der ersten großen Meereswindparks in deutschen Gewässern, unter der Regie und Eigentümerschaft des Energiekonzerns RWE und seiner Tochtergesellschaft RWE Innogy. 48 Windturbinen sollen sich hier einmal drehen, die jeweils eine Leistung von 6,15 Megawatt haben. [...] Direkt angrenzend wird derzeit der Windpark Meerwind gebaut, für den die Beteiligungsgesellschaft Blackstone verantwortlich ist. Und ein Stück weiter nördlich soll ein dritter Park (Amrumbank West) entstehen, der Eon gehört. Zusammen kämen sie auf gewaltige fast 1000 Megawatt Leistung.

Doch noch dreht sich dort keine einzige Turbine. Sie werden stattdessen schon seit Monaten auf diversen Hafens- und Fabrikgeländen in Bremerhaven gelagert, zusammen mit den Türmen und Rotorblättern. [...]

Denn es fehlt die entscheidende Komponente eines jeden Offshore-Windparks: die große Umspannstation, die den vom Wind erzeugten Wechselstrom in Gleichstrom umwandelt und in Richtung Land weiterleitet. [...]

Der Transport von Menschen und Teilen, die benötigten Schiffe mit einem Charterpreis von teilweise 100 000 Euro täglich, die aufwendigen Verankerungen am Boden, der Lärmschutz beim Rammen der Stahlpfähle, das Überwachen der Umweltvorgaben, die engen Zeitfenster auf hoher See – all das macht die Projekte unberechenbar und teuer. Mindestens 1 Milliarde Euro muss für einen deutschen Offshore-Windpark veran-

schlagt werden. Wenn gebaut werden kann, dann muss es rund um die Uhr sein; zwei Teams auf der „Victoria Mathias“ wechseln sich derzeit im Zwölf-Stunden-Takt ab.

[...] Windturbinen mit einer Gesamtkapazität von 10 000 Megawatt will die Regierung bis zum Jahr 2020 in der Nord- und Ostsee haben. Aber [...] [w]irklich gebaut – und das schließt alle Vorarbeiten an Land mit ein – wird derzeit nur an Projekten mit einer Gesamtkapazität von 2700 Megawatt. Längst müssten zur Erreichung des Ausbauziels Investoren und Finanzierungszusagen für weitere Parks gefunden sein. Doch [...] will niemand frisches Kapital in die Hand nehmen, bevor die angekündigte Reform des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) feststeht. Gebaut wird lediglich dort, wo Kapital und Netzzusagen sicher sind. [...]

Bis 2017 können Investoren noch von einem Modell profitieren, das ihnen in den ersten acht Betriebsjahren eine überproportional hohe Vergütung von 19 Cent je Kilowattstunde sichert. Dieses sogenannte Stauchungsmodell sei nötig, um die Meereswindparks überhaupt anzustoßen, mit den ersten Projekten zu lernen, Kosten zu verringern und später günstiger bauen und betreiben zu können, heißt es in der Branche. [...] Aber wenn die Politik nicht bald handele, drohe von 2017 an das nächste Loch in der Bautätigkeit, heißt es warnend auch im Energiekonzern ENBW.

Für die deutschen Küstenstädte wie Bremerhaven, die sich auf die Offshore-Industrie gestürzt haben, wäre das der nächste herbe Schlag, sagt Andreas Nauen, der Vorstandsvorsitzende des Turbinen-

herstellers Repower Systems. Sein Konzern gehört zu den wenigen, die überhaupt solche Meerewindanlagen liefern können, und würde naturgemäß gerne mehr davon verkaufen. Rund 50 dieser 6-Megawatt-Anlagen hat Repower im vergangenen Jahr abgesetzt, 100 könnten in der Werkshalle in Bremerhaven gefertigt werden. Stattdessen wird die Kapazität dazu genutzt, Windturbinen für die Nutzung an Land zu bauen. Aber das hat nicht die gleiche Qualität, der Preiskampf der Hersteller ist an Land viel ausgeprägter. Bis zu 750 von 4300 Mitarbeitern (inklusive Leiharbeiter) werde Repower in den kommenden Monaten nach Hause schicken müssen, sagt Nauen. Schlimmer trifft es Betriebe, die jetzt eigentlich schon die Vorarbeiten für die nächsten Parks erledigen sollten. Der Cuxhavener Fundamentehersteller CSC hat wegen Auftragsmangels dichtgemacht, die Wettbewerber von Weserwind in Bremerhaven suchen händeringend nach Folgeaufträgen. [...]

Dabei will die Politik die Energiewende längst parteiübergreifend. Doch nicht jede Partei und nicht jedes Bundesland finden den Ausbau der Stromerzeugung auf hoher See gleichermaßen wichtig – zumal damit auch das Problem fehlender Leitungen quer durch die Republik verbunden ist. [...] [A]uch in der Windenergiebranche herrscht keineswegs Einigkeit; Turbinenhersteller, die wie Enercon oder General Electric nur Anlagen für die Nutzung an Land bauen, haben andere Ziele als die Offshore-Produzenten Repower und Siemens.

Holger Paul, „Baustelle auf See“, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 22. Juni 2013

... onshore – ein Erfolgsmodell

[...] Reußenköge, an der Nordseeküste zwischen Husum und Niebüll gelegen, zählt gerade einmal 330 Einwohner. Auf einen Quadratkilometer kommen, statistisch gesehen, sieben Einwohner. Reußenköge hat kein Zentrum, nicht einmal eine Kirche, sondern besteht aus in die flache Landschaft geduckten Höfen. Ohne Nachbarn, von Deichen ringsum geschützt. Die Deiche sind die einzigen Erhebungen weit und breit. Und natürlich die siebzig Windräder, die sich hier drehen. Reußenköge ist immer noch eine selbstständige Gemeinde. Auch das hat mit den Windrädern zu tun. Denn Windenergie hat die Gemeinde wohlhabend gemacht. [...]

Das Land hier ist „windhöffig“. Das klingt nett, aber es meint tüchtigen Wind, unangenehmen Wind, der oftmals als Sturm daherbraust. [...] Damit muss man erst einmal leben können. Und vor allem leben wollen. Wirtschaftlich jedoch lohnt sich der Wind. [...] Schleswig-Holstein ist gegenwärtig dabei, die Fläche der sogenannten Windeignungsgebiete von bislang 0,8 Prozent der Landesfläche auf 1,5 Prozent zu erweitern. Das ändert die Regionalpläne des Landes. Darüber wird, nicht nur in Reußenköge, öffentlich informiert und diskutiert. Bürgerbeteiligung heißt das. Am Ende muss sie mit Unterschriftenlisten dokumentiert werden. [...]

Die Windkraft wird in Reußenköge seit Anfang der achtziger Jahre genutzt. Die erste Anlage hatte eine Leistung von 55 Kilowattstunden. Sie war vom Besitzer aus dem Cecilienkoog für die Versorgung seines Gehöftes gebaut worden. [...] Zehn Jahre später gab es das sogenannte Stromeinspeisegesetz, wieder zehn Jahre später das Erneuerbare-Energien-Gesetz. Reußenköge nutzte seine Chance. Längst stehen die Anlagen nicht mehr am Haus, sondern in fünf Windparks. Park sechs soll folgen. Mit 200 bis 250 Kilowattstunden fing es an. Moderne Anlagen heute haben eine Leistung von zwei Megawatt. Die Gemeinde produziert 140 Mal mehr Strom, als sie selbst benötigt, wobei der Eigenbedarf bei 2,8 Millionen Kilowattstunden im Jahr liegt.

Die Idee des Bürgerwindparks stammt zwar nicht aus Reußenköge, aber doch aus Nordfriesland. Sie ist denkbar einfach: Akzeptiert werden Windkraftanlagen von den Nachbarn viel leichter, wenn sie selbst etwas davon haben. Und in Reußenköge war von Anfang an klar, Investoren von außerhalb sollten nicht zum Zuge kommen, son-

dern die Bewohner selbst. [...] 28 Gesellschafter für die Bürgerwindparkgesellschaft gab es am Anfang, heute sind es 200. Wer sich beteiligen will, muss 10 000 Euro einzahlen und für weitere 20 000 Euro bürgen.

[...] Seit die Windkraft in Deutschland aber ihre gesetzliche Grundlage hat, geben die Banken auch bereitwillig Kredit. Den Bürgern gehören die Windkraftanlagen, nicht jedoch das Land, auf dem sie stehen. Dafür zahlen sie Pacht. All das hat sich in Reußenköge längst eingespielt. Die kleine Gemeinde hat einen Haushalt von zwei Millionen Euro und Rücklagen von einer Million Euro. Schulen kennt Reußenköge nicht. [...]

Reußenköge hat mit dem Windgeld Radwege von Nord nach Süd über knapp zwölf Kilometer sowie von Ost nach West über 2,6 Kilometer gebaut und dabei auch noch Nachbargemeinden wie Ockholm unterstützt. [...] Für die neue

Turnhalle im nahen Bredstedt spendierte die Gemeinde 40 000 Euro, um Sportgeräte kaufen zu können. „Die werden schließlich auch von unseren Kindern genutzt.“ Auf der Einwohnerversammlung kündigt der Bürgermeister an, künftig werde jede Familie mit 200 Euro im Jahr pro Kind unterstützt. Außerdem seien bis Jahresende alle Haushalte mit Breitband versorgt. [...]

„Wir haben hier den Strukturwandel ein wenig aufgehalten“, sagt der Bürgermeister. 70 Landwirtschaftsbetriebe gab es früher in Reußenköge, 22 sind es noch heute. Durch die Windkraftanlagen jedoch haben sich neue Firmen angesiedelt, Handwerksbetriebe und zwei Planungsbüros. Nach Reußenköge pendeln inzwischen viele, die hier Arbeit gefunden haben. [...]

Frank Pergande, „Die den Wind ernten“, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 13. Oktober 2012



Jörg Böhling

Als Onshore-Windparks werden Windkraftanlagen auf dem Land bezeichnet, wie diese 2012 im Aufbau befindliche Windkraftanlage mit 6 Megawatt Nennleistung in Schleswig-Holstein.

Solarenergie

Entstehung und Nutzbarkeit: Außerhalb der Erdatmosphäre wirkt die sogenannte extraterrestrische Sonnenstrahlung mit 1367 Watt pro Quadratmeter. Die Einstrahlung auf der Erdoberfläche ist wegen der atmosphärischen Dämpfungseigenschaften geringer und liegt im Bereich von rund 1000 Watt pro Quadratmeter. Bei der Einstrahlung wird zwischen der diffusen, das heißt indirekten, durch Wolken abgeschwächten, sowie der direkten Strahlung unterschieden. Letztere liefert in Deutschland nur in den Monaten März bis Oktober wesentliche Beiträge. Solare Strahlung lässt sich thermisch zur Aufheizung und in Kopplung mit anderen Prozessen zur Stromerzeugung bzw. mit dem photovoltaischen Effekt, das heißt mit der Umwandlung von solarer Strahlung in Elektronen, auch direkt zur Stromerzeugung nutzen.

Kraftwerkstechnologien: Obwohl der photoelektrische Effekt bereits 1839 entdeckt und ab den 1950er-Jahren an photovoltaischen Zellen geforscht wurde, begann wegen der im Vergleich hohen Kosten und geringen Wirkungsgrade die industrielle Nutzung der Photovoltaik in Deutschland erst nach der Einführung des Stromeinspeisungsgesetzes im Jahr 1990. Zur direkten Wandlung von solarer Strahlungsenergie in elektrische Energie wird der photoelektrische Effekt genutzt: Dotierte, das heißt gezielt mit anderen Materialien verunreinigte Halbleiter setzen bei der Bestrahlung mit Licht Ladungsträger frei. Meist wird dafür dotiertes Silizium genutzt. Solarzellen können monokristallin, polykristallin oder in Dünnschichttechnologie aufgebaut sein. Typische Wirkungsgrade sind: 14 bis 18 Prozent für monokristalline, 13 bis 16 Prozent für polykristalline und zehn bis 12 Prozent für Dünnschichtzellen. Die einzelnen Zellen werden in Modulen zusammenschaltet, da jede einzelne nur eine geringe Spannung von 0,6 bis 0,7 Volt liefert. Eine Photovoltaikanlage besteht aus dem aus Modulen aufgebauten Solargenerator, dem nachgeschalteten Wechselrichter sowie einer Sicherheitsschnittstelle zum Netz. Die Module liefern abhängig von der Einstrahlungsleistung eine elektrische Leistung. Da es sich um Gleichspannung handelt, muss noch eine Anpassung an den Wechselstrom im Netz erfolgen. Diese Aufgabe übernimmt der Wechselrichter. Mit der Sicherheitsschnittstelle wird gewährleistet, dass die Anlage bei einem

Netzausfall abschaltet. Durch die Verschaltung vieler Module sind nahezu unbegrenzte Anlagenleistungen realisierbar; hierbei tritt jedoch ein hoher Flächenverbrauch auf.

Photovoltaische Anlagen in Mitteleuropa weisen abhängig von der Einstrahlung und dem Material am jeweiligen Standort eine energetische Amortisationszeit von zwei bis drei (Dünnschicht) bzw. drei bis fünf Jahren (polykristallin) auf. Das Entwicklungspotenzial dieser Kraftwerkstechnologie ist noch lange nicht ausgeschöpft, insbesondere der Erhöhung der Wirkungsgrade kommt eine große Bedeutung zu.

Industriell eingesetzte konzentrierende solarthermische Anlagen nutzen nur den direkten Strahlungsanteil, bei dem die Sonnenstrahlung in einem Brennpunkt konzentriert wird. Diese Technologie spielt in Deutschland keine Rolle, da sie erst ab einer direkten Sonneneinstrahlung von 1700 kWh/m² und Jahr sinnvoll einsetzbar ist. Bereits 1912 wurden Parabolrinnen zur Dampferzeugung für eine 45-kW-Dampfmotorpumpe in Ägypten eingesetzt. Die industrielle Nutzung zur Stromerzeugung begann 1984 in den USA, seither wurden weltweit rund 15 Projekte umgesetzt. Das solare Parabolrinnenkraftwerk besteht aus Reihen von Parabolrinnen, die der Sonne nachgeführt werden. Ein nachgeschaltetes Dampfkraftwerk erzeugt über den angetriebenen Generator Strom. Es sind Kraftwerksleistungen im Bereich von 10 MW bis 300 MW realisierbar.

Bei solaren Turmkraftwerken wird die Sonnenstrahlung über zweiachsig nachgeführte Spiegel auf das Absorberfenster einer Turmkonstruktion fokussiert. Hinter dem Absorber wird Luft erhitzt, die eine nachgeschaltete Gasturbine mit Generator antreibt und Strom erzeugt. Gebaut wurden bisher zwei Versuchsanlagen in Kalifornien und Südspanien sowie ein kommerziell nutzbares Kraftwerk in Südspanien, in den USA sind mehrere Anlagen im Bau. Mit dieser Bauart sind Kraftwerksleistungen zwischen 10 MW und 1000 MW erreichbar.

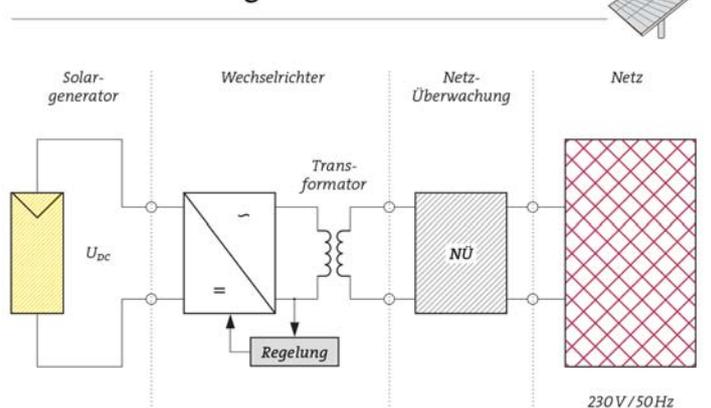
Eine andere Ausführung solarthermischer Kraftwerke sind die *Dish-Stirling*-Systeme. Sie bestehen aus einem zweiachsig nachgeführtem Parabolspiegel (*Dish*), in dessen Brennpunkt sich eine Wärmekraftmaschine, der *Stirling*-Motor, befindet. Er setzt die Wärme in Bewegungsenergie um und treibt einen elektrischen Generator an. Es sind Leistungen bis zu 250 kW möglich. Diese Kraftwerksart ist vorrangig für netzferne Versorgungen konzipiert.



Jörg Böthling

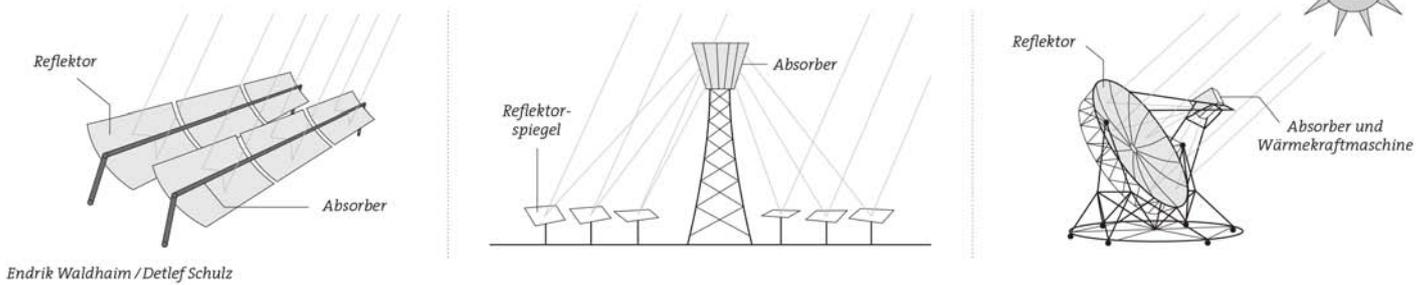
Auch in den eigenen vier Wänden lässt sich Energie erzeugen. In der Solarsiedlung Karlshöhe (Hamburg) sind Reihenhäuser mit Solarkollektoren zum Heizen und für die Warmwasserversorgung ausgestattet.

Prinzip einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage



Endrik Waldhaim / Detlef Schulz

Solarthermische Kraftwerksprinzipien



Solartechnik für den Sonnengürtel

[D]as Vorhaben, Strom aus den menschenleeren, aber sonnenreichen Wüsten Nordafrikas, erzeugt mithilfe spektakulärer Spiegelparks, in die Steckdosen deutscher Haushalte und Betriebe fließen zu lassen [...] erweist sich [...] als reichlich teuer. [...] [D]ie solarthermische Stromerzeugung [...] CSP [Concentrated Solar Power] beruht auf der Konzentration von Sonnenstrahlen mithilfe von Spiegeln. So entsteht enorme Hitze, mit der Wasserdampf erzeugt werden kann. Damit lässt sich eine Turbine antreiben, wie in gewöhnlichen Dampfkraftwerken – nur dient eben die Urkraft der Sonne als Energiequelle. Trotzdem ist das Interesse an der Errichtung der großen solarthermischen Kraftwerke mit ihren riesigen Spiegeln, tonnenschweren Stahlgerüsten, langen Hitzeabsorbern und ausgewachsenen Turbinenhäusern gering geblieben [...] – während Förderprogramme den Weltmarkt für die kleinteiligen Photovoltaik-Anlagen rasch wachsen ließen. [...] CSP, die alternative Technik der Solarstromerzeugung, hat einen wichtigen Vorteil: Die mithilfe der Spiegel erzeugte Hitze lässt sich in speziellen Wärmespeichern einige Stunden lang konservieren. Deshalb können thermische Solarkraftwerke auch nachts Strom liefern – dann, wenn aus Solarzellen keine einzige Kilowattstunde kommt.

Der Nachteil der Spiegeltechnik: Sie funktioniert in Ländern wie Deutschland nicht, sondern nur im Sonnengürtel der Erde. [...] Da solarthermische Kraftwerke, anders als Photovoltaik-Anlagen, obendrein nicht scheibchenweise errichtet oder als kleine Einheiten auf Hausdächer geschraubt werden können, sondern immer Großprojekte sind, kostet ihre Vorfinanzierung viel Geld. Die Folge: Der Markt stagnierte – und die Solarthermie geriet im Vergleich zur Photovoltaik ins Hintertreffen. [...]

Weil CSP-Strom rund um die Uhr zur Verfügung steht und damit regelbar ist, ließen sich mit seiner Hilfe die Fluktuationen des daheim erzeugten Wind- und Sonnenstroms ausgleichen, so die CSP-Anhänger. 15 Prozent des Strombedarfs, hoffen sie, könne der Wüstenstrom beisteuern, im Jahr 2050.

So viel, wenn überhaupt etwas, werden die Spiegelkraftwerke indes nur liefern, wenn die Rund-um-die-Uhr-Versorgung aus Nordafrika inklusive Transport billiger ist als die Erzeugung und Speicherung von Wind- oder PV-Strom, zu Hause oder in der Ferne. [...]

Tatsächlich steht außer Zweifel, dass die Solarthermie noch deutlich billiger werden kann. Sinkende Kosten versprechen vor allem Turmkraftwerke, die aussehen, als gehörten sie zur Kulisse eines Science-Fiction-Films. Drei solcher Anlagen stehen bereits in Andalusien. Hunderte Spiegel, Heliostaten genannt, richten dabei die Sonnenenergie auf die Spitze eines Turmes und lassen extrem hohe Temperaturen entstehen. Bei der üblichen Parabolrinnentechnologie lenken gekrümmte Spiegel die Sonnenkraft auf lange und teure Rohre aus Stahl und Glas, in denen Thermoöl zirkuliert.

Der Austausch dieses öligen Wärmeträgers durch Salz verspricht weitere Kostensenkungen, zumal Salz ohnehin bereits als Wärmespeicher für die Nachtstunden dient. Kostensenkungen von 40 Prozent und mehr seien durchaus drin, sagt Robert Pitz-Paal, Direktor des Instituts für Solarforschung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Rund 10 Cent pro Kilowattstunde teurer dürfe solarthermischer Strom am Ende nicht sein, soll er konkurrenzfähig werden, so der Experte. Heute kostet er mehr als doppelt so viel.

Das Problem: Je häufiger die Solarthermie wegen der aktuell bestehenden Kostennachteile bei Investitionsentscheidungen das Nachsehen hat, desto weniger wahrscheinlich wird die Erschließung der Potenziale zur Kostensenkung. [...]

Sollte der Stern der Solarthermie untergehen, wäre das nicht einmal eine Premiere. Schon 1916 sollte im damaligen Deutsch-Südwestafrika eine Demonstrationsanlage entstehen. Der Erste Weltkrieg kam dazwischen – und das aufkommende Erdölzeitalter.

Fritz Vorholz, „Wüstenstrom, eine Fata-Morgana?“, in: DIE ZEIT Nr. 18 vom 26. April 2012



Solúcar nahe Sevilla (Südspanien) ist der größte Solarkomplex europaweit. Die beiden Turmkraftwerke sowie die Solarrinnenanlagen liefern Strom für nahezu 94 000 Haushalte und produzieren zurzeit 183 MW.



Wasserfälle sind nicht nur ein eindrucksvolles Naturschauspiel, sie zeigen auch, welche enormen Mengen an Energie durch die Kraft des Wassers freigesetzt werden. Niagarafälle in Ontario (Kanada)

Wasserkraft

Entstehung und Nutzbarkeit: Wasserkraft wird in Form ihrer bewegten Masse für die Energieerzeugung nutzbar. Die Ressourcen sind abhängig von den Niederschlagsmengen und den geologischen Bedingungen unterschiedlich verteilt. In Norwegen werden beispielsweise 99 Prozent der elektrischen Energie aus Wasserkraft gewonnen, in Deutschland sind es drei Prozent.

Kraftwerkstechnologien: Bereits im Jahr 1880 baute man in England das erste Wasserkraftwerk zur Erzeugung elektrischer Energie, 1896 entstand an den Niagarafällen in den USA das erste Großkraftwerk. Die industrielle Nutzung begann mit der Entwicklung effektiver Turbinen Anfang des 20. Jahrhunderts. Der Aufbau eines Wasserkraftwerks ist vergleichsweise sehr einfach, es besteht aus einer Wasserturbine mit angekoppeltem elektrischem Generator. Zur Inbetriebnahme der Wasserturbinen brauchen nur Schieber geöffnet zu werden. Deshalb kann ein Wasserkraftwerk in ein bis zwei Minuten angefahren werden. Wasserkraftwerke lassen sich nach Bauart und Wasserspeicherung unterscheiden. Laufwasserkraftwerke sind Fließkraftwerke und stellen prinzipiell eine Staustufe in einem Fluss dar. Sie nutzen die anfallende Wassermenge und können abhängig von der Größe bei hohen Leistungen Wirkungsgrade bis 94 Prozent erreichen.

Speicherkraftwerke, auch Talsperrenkraftwerke genannt, nutzen das zufließende Wasser nicht unmittelbar. Es wird in Zeiten mit geringem Stromverbrauch gesammelt und in Zeiten mit hohem Leistungsbedarf genutzt.

Pumpspeicherwerke weisen hingegen einen oberen und unteren Speichersee auf. In Schwachlastzeiten wird das Wasser mit preiswerter elektrischer Energie in den oberen Speicher gepumpt. In Zeiten erhöhten Stromverbrauchs wird die potenzielle Energie des Wassers über Turbinen und Generatoren in elektrische Energie gewandelt, indem es in den unteren See abfließt. Bei großen Anlagen sind Wirkungsgrade bis 90 Prozent in einer Speicherrichtung erreichbar. Pumpspeicherwerke werden als Spitzenlastkraftwerk und zur Netzregelung eingesetzt (siehe a. S. 52 ff.).

Biomasse

Aufkommen und Verwendbarkeit: Aus Pflanzen und anderer Biomasse kann, zum Beispiel durch Verbrennung, Strom erzeugt werden. Zu den für Biomassekraftwerke geeigneten

biogenen Festbrennstoffen gehören holzartige und halmarlige Energiepflanzen wie Getreidepflanzen oder mehrjährige Gräser. Weitere Beispiele sind Holz aus schnellwachsenden Kulturen wie Pappeln und Weiden sowie Ernterückstände von Waldrestholz oder Stroh. Aber auch organische Nebenprodukte wie Industrierestholz oder organische Abfälle wie Gülle oder Klärschlamm stellen biogene Brennstoffe dar. Biomasse kann sehr vielfältig eingesetzt werden: als Feststoff in Heizkraftwerken mit Wasser-Dampf-Kreislauf, als Biogas in Gasturbinen zur Strom- und Wärmeerzeugung oder als Bioethanol bzw. Biodiesel, der Treibstoffen beige-mischt wird.

Biomasse – ein umstrittener Rohstoff

Die energetische Nutzung von Biomasse ist umstritten. Es besteht eine Konkurrenz zwischen stofflicher, thermischer und elektrischer Nutzung. Eine stoffliche Nutzung erfolgt in der Holz- und Papierverarbeitung sowie bei Agrarprodukten in der Nahrungsmittelindustrie. Wenn nicht gleichzeitig die Produktivität erhöht oder zusätzliche Fläche genutzt werden kann, verdrängt der Anbau von Energiepflanzen Nahrungsmittelpflanzen. Beispielsweise wird inzwischen sehr viel Mais und weniger Weizen angebaut, auch der Anbau von Hafer ist deutlich zurückgegangen. Durch die Erzeugung von Biotreibstoffen in den USA und Brasilien sinkt weltweit das Angebot an Nahrungsmitteln, wodurch deren Preise steigen.

Auch der Beitrag der Biomasse zum Klimaschutz ist zu hinterfragen, da Energiepflanzen viel Wasser benötigen, die natürliche Vielfalt reduzieren und ihr Anbau dazu führen kann, dass Regenwälder in den Tropen abgeholzt werden.

Kontrovers diskutiert werden außerdem mögliche Spekulationen auf Agrarprodukte: Erst durch ein verknapptes Angebot werden Gewinne erzielt, was wiederum zu weiteren Preissteigerungen führen würde. Wegen der geringen Lagerhaltung im Bereich der Biomasse ist dieser Effekt nur kurzfristig wirksam. Die Nutzung von Nebenprodukten der Biokraftstoffe in Deutschland verringert wesentlich den Import von Soja-Futtermitteln für die Viehhaltung. Die bestehende Flächenkonkurrenz zu Nahrungsmitteln kann dadurch vermindert werden, dass bisher ungenutzte bzw. vor allem auch landwirtschaftlich weniger wertvolle Flächen für den Anbau von Energiepflanzen erschlossen werden und darüber hinaus der Ertrag pro Fläche weiter erhöht wird. Zusätzlich kann durch die energetische Nutzung von anderweitig wertloser Biomasse der „zweiten Generation“ von Pflanzenreststoffen oder der „dritten Generation“ von Algenprodukten ein grundlegend positiver und nachhaltiger Effekt erzielt werden.

Methoden der Gewinnung und des Transports: Feste Biomasse wird mit Spezialmaschinen geerntet. Der Transport erfolgt vorrangig mit Lastkraftwagen. Energiereiches Pyrolyseöl als Zwischenprodukt oder auch Pflanzenöle werden mit speziellen Tanklastkraftwagen oder mit der Bahn transportiert.

Kraftwerkstechnologien: Biomasse kann auf drei Arten zur Strom-, Wärme- und Treibstoffherstellung genutzt werden:

- Die erste Art, die thermochemische Energiewandlung, erfolgt durch direkte Verbrennung mit Hilfe eines Sauerstoffüberschusses, durch Vergasung unter Sauerstoffmangel oder Verflüssigung bzw. Pyrolyse unter Sauerstoffabschluss.
- Bei der zweiten Art, den physikalisch-chemischen Verfahren, wird aus ölhaltiger Biomasse ein Flüssigenergieträger gewonnen. Auf diese Weise ist es möglich, ölhaltige Saat durch Pressung zum Beispiel in einer Ölmühle und Extraktion mit Lösemitteln zu einem Pflanzenöl umzuwandeln. Dieses ist ein Ausgangsstoff für Biodiesel und kann direkt in umgerüsteten Dieselmotoren verwendet werden. Biodie-

Energiepflanzen für Teller, Trog und Tank



Raps ist unser wichtigster Biodiesellieferant. Die heimische Anbaufläche hat sich in 30 Jahren fast verundertfach.



Soja ist die weltweit bedeutendste Ölsaat. Zwei Prozent der Ernte dienen menschlicher Ernährung.



Mais nährt Menschen und Tiere. Das Süßgras dient zunehmend auch als Quelle für Ethanol und Biogas.



Palmöl kommt meist aus Asien, dient großteils der Ernährung. Als Biodiesel ist es stark umstritten.



Weizen ist wichtig als Brotgetreide und für die Tiermast. Wird auch zu Ethanol vergoren.



Zuckerrohr liefert Haushaltszucker und zunehmend Ethanol; hat hierbei die beste Klimabilanz.



Zuckerrübe wird als Industriezucker oft vergoren zu Ethanol. Liefert Viehfutter und zunehmend Biogas.

Grafik zum Artikel von Hans Schuh, „Die Hungertreiber“, in: DIE ZEIT Nr. 35 vom 23. August 2012

sel ist ein Ester, der aus Pflanzenölen hergestellt wird. Ester entsteht aus der Reaktion einer Säure mit Alkohol unter Abspaltung von Wasser.

→ Zur dritten Art der Energieumwandlung zählen die biochemischen Verfahren. Sie werden eingesetzt, um aus zucker-, stärke- und zellulosehaltiger Biomasse Alkohol zu erzeugen und um Biogas zu gewinnen.

Um höhere Gesamtwirkungsgrade zu erzielen, werden Biomassekraftwerke meist mit Kraft-Wärme-Kopplung betrieben. In Deutschland hat die Nutzung von Biomasse noch ein hohes Potenzial. Vor allem die Biokraftstoffe der „zweiten Generation“ (Pflanzenreststoffe) werden dabei eine große Rolle spielen, da sie weniger in Nutzungskonkurrenz zu anderen Verwertungsarten treten. Während bei der Erzeugung von Biokraftstoffen der ersten Generation nur die Frucht selbst für die Kraftstoffproduktion genutzt wird, findet bei Kraftstoffen der zweiten Generation fast die gesamte Pflanze Verwendung. Biokraftstoffe der „dritten Generation“ entstehen aus der Nutzung von Algen zur Kraftstoffherzeugung. Im Flugbereich werden bereits Testflüge mit Algenkraftstoff geplant. Ein großer Vorteil der Stromerzeugung aus Biomasse ist, dass damit teilweise Schwankungen bei der Windenergieeinspeisung ausgeglichen werden können.

Geothermie

Entstehung und Nutzbarkeit: Energie lässt sich auch durch Nutzung der natürlichen Erdwärme (Geothermie) gewinnen. Vorrangig speist die Erdwärme sich aus radioaktiven Zerfallsprozessen im Erdinneren. Die einfachste Form der Nutzung ist an natürliche Gegebenheiten wie Heißwasser- und Heißdampfreservoirs gebunden. Diese können direkt für Heizzwecke eingesetzt werden. Das vorhandene Temperaturniveau wird über einen Wärmetauscher zur Dampferzeugung genutzt, um Dampfturbinen anzutreiben. Wegen der hohen Erschließungskosten muss für den wirtschaftlichen Betrieb die Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt werden. Deshalb werden nutzbare Standorte neben ihrem Temperaturpotenzial vorrangig so ausgewählt, dass über Heiznetze eine ausreichende Anzahl von Wärmeverbrauchern angeschlossen werden kann.

Kraftwerkstechnologien: Es wird zwischen oberflächennaher Nutzung und Tiefengeothermie unterschieden. Die oberflächennahe Nutzung erfolgt mit Erdwärmepumpen; eine direkte Wärmenutzung flüssiger Wärme- bzw. Kältespeicher (Aquiferen) erfordert starke Temperaturanomalien. Im italienischen Larderello wurde bereits im Jahr 1904 ein Geothermiekraftwerk errichtet. Inzwischen sind dort 21 geothermische Kraftwerke mit einer elektrischen Gesamtleistung von über 560 MW installiert. Bei einer Bohrtiefe von vier Kilometern wird eine Dampftemperatur von 350°C erreicht. Solche hydrothermalen Lagerstätten können bis zu großen Tiefen von einigen Kilometern genutzt werden. Wenn keine natürlichen Heißwasserquellen vorhanden sind, kann Wasser zum Aufheizen in eine Tiefenbohrung verpresst und wieder an die Erdoberfläche gepumpt werden. Das Wasser erhitzt sich beim Durchströmen des heißen Tiefengesteins. Mit geothermischen Kraftwerken ist eine kontinuierliche Stromerzeugung möglich, weshalb diese Technologie wie auch die Biomassenutzung gut geeignet ist, den wetterabhängig schwankenden Windstrom auszugleichen. Weltweit sind mehr als 470 geothermische Kraftwerke mit einer Gesamtleistung von über 9000 MW installiert, der Hauptteil davon in den USA.

In Deutschland ging im Jahr 2003 das erste Kraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 230 kW in Neustadt-Glewe in Mecklenburg-Vorpommern in Betrieb; es wurde bereits seit 1994 als Heizkraftwerk betrieben. Dieses Kraftwerk wird mit 98°C heißem Wasser aus einer 2250 Meter tiefen Bohrung gespeist. Im Jahr 2007 hat in Landau in der Pfalz ein Geothermiekraftwerk mit einer Bohrtiefe von 3400 Metern und einer elektrischen Leistung von 3,8 MW den Betrieb aufgenommen. Neue Anlagen wurden auch 2009 im bayerischen Unterhaching mit 3580 Metern und 3,4 MW sowie in Bruchsal mit 2500 Metern und 550 kW fertiggestellt.

Als Ausbauziel wird für die deutsche Geothermie eine Gesamtleistung von 280 MW bis zum Jahr 2020 angestrebt. Laut einer Studie im Auftrag des Bundestags könnte der aktuelle Energiebedarf Deutschlands mit Geothermie von der rein rechnerischen Angebotsseite mehr als 600-mal gedeckt werden, wenn die Erschließung und Nutzung dieser Energieform aus tieferen Erdschichten gelänge. Für den Bau von Geothermiekraftwerken stellen die kostenintensiven Tiefenbohrungen den größten Risikofaktor dar. Die Stromerzeugungskos-

ten liegen noch weit über den Kosten anderer Energieträger; die Realisierung von Geothermieanlagen ist daher momentan nur durch staatliche Förderung möglich. Bei ungeeigneten Bodenstrukturen können bei geothermischer Nutzung hohe Risiken auftreten. In Stauten im Breisgau kam es im Jahr 2007 bei Geothermiebohrungen zu Hebungen im Stadtgebiet, weil sich Gipsschichten in Reaktion mit Wasser ausdehnten. Zur Heizungsunterstützung für Eigenheime können Wärmepumpen mit oberflächennaher Erdwärmennutzung eingesetzt werden.

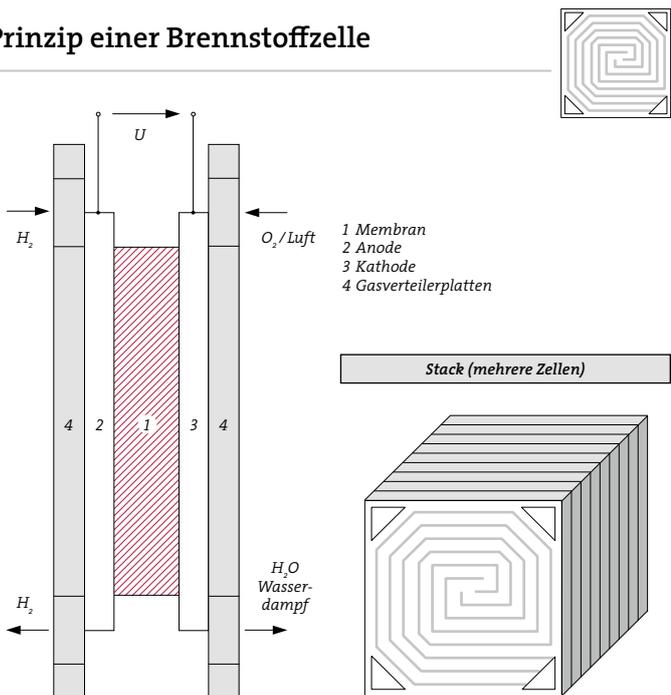
Zukunftstechnologien

Brennstoffzellen

Das Prinzip der Brennstoffzelle, das heißt die Energiegewinnung aus Wasserstoff, wurde bereits 1839 von William Robert Grove entdeckt. Im Jahr 1954 entwickelte Francis T. Bacon den Prototyp einer alkalischen Hochdruckzelle. Ab 1966 begann mit der Anwendung von Niedertemperaturbrennstoffzellen in Raumfahrtprogrammen die industrielle Nutzung, die sich anfangs langsam entwickelte, inzwischen aber als marktnah bezeichnet werden kann. Im Jahr 2009 waren weltweit bereits insgesamt 9800 MW elektrische Leistung aus Brennstoffzellen in Kleinkraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung, in Wasserstoff-Pkws und Bussen sowie in kleineren Schiffen und Unterseebooten installiert.

Das Potenzial von Brennstoffzellen ist noch sehr hoch, da ihr theoretisch möglicher Wirkungsgrad im Bereich von 95 Prozent bei geringen Temperaturen und 70 Prozent bei hohen Temperaturen technisch noch lange nicht ausgeschöpft ist.

Prinzip einer Brennstoffzelle



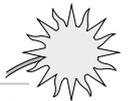
Endrik Waldhaim / Detlef Schulz

Kernfusion

Der neuseeländische Physiker Ernest Rutherford konnte im Jahr 1917 – und damit vor der Entdeckung der Kernspaltung – erste Fusionsreaktionen im Labor nachweisen, sein australischer Assistent Mark Oliphant führte 1934 die erste gezielte Reaktion im Labor durch. Bei der Kernfusion verschmelzen zwei Atomkerne, zum Beispiel die Isotope des Wasserstoffs Deuterium und Tritium. Da Deuterium auf verschiedenen Wegen erzeugt werden kann, ist kein Uran mehr als Brennstoff notwendig. Bei der Fusion wird eine im Vergleich zu anderen Reaktionen enorm große Energiemenge freigesetzt. Der Vorteil der Kernfusion gegenüber der Kernspaltung liegt in der wesentlich höheren Energieausbeute pro Brennstoffmenge. Eine solche Reaktion läuft auf der Sonne und allen anderen leuchtenden Sternen ab. Sie findet in einer Wolke aus Plasma statt. Plasma ist eine Mischung aus allen drei Aggregatzuständen fest, flüssig und gasförmig und wird deshalb oft als vierter Aggregatzustand bezeichnet. Die Probleme bei der technischen Umsetzung ergeben sich aus der hohen Reaktionstemperatur von 100 Millionen°C sowie insbesondere aus einer noch höheren Zündtemperatur des Prozesses von bis zu 400 Millionen°C.

Die Kernfusion wird seit den 1930er-Jahren intensiv erforscht. Zuerst wurde die unkontrollierte Fusion bei der Entwicklung der Wasserstoffbombe militärisch eingesetzt, 1952 wurde die erste Wasserstoffbombe im Pazifik gezündet. Seitdem wurde intensiv an der kontrollierten Fusion gearbeitet, doch erst im Jahr 1991 gelang im *Joint European Torus* (JET), einer europäischen Forschungseinrichtung im englischen Oxfordshire, eine nur zwei Sekunden dauernde Kernfusion, bei der zwei MW erzeugt wurden und ein Vielfaches der produzierten Energie aufgewendet werden musste. Im südfranzösischen Forschungszentrum Cadarache wird am *International Thermonuclear Experimental Reactor* (ITER) gearbeitet. Ziel ist, dass die Fusionsreaktion von Deuterium und Tritium sich energetisch selbst versorgt und somit ein kontinuierlicher Prozess abläuft, bei dem über einige Minuten eine Leistung von

Zukunftsenergie Kernfusion



Durch Beherrschung der Kernfusion – die Energiequelle der Sonne – könnte auf saubere und sichere Weise Energie gewonnen werden. Forscher rechnen mit der kommerziellen Nutzung frühestens ab 2050.

Prinzip	Schematischer Aufbau eines Fusionsreaktors
<p>Verschmelzung der Wasserstoff-Isotope Deuterium und Tritium zu Helium.</p> <p>Die Endprodukte dieser Reaktion haben nicht die gleiche Masse wie die Anfangsprodukte. Die Massen-Differenz wird nach Einsteins Formel $E=mc^2$ als Energie freigesetzt.</p>	<p>Im Reaktor werden Deuterium und Tritium in einen Plasma-Zustand gebracht (dünnes ionisiertes Gas). Bei extrem hoher Temperatur des Plasmas (über 100 Millionen Grad) kommt es zur Kernfusion.</p> <p>Supraleitende Magneten halten Plasma in Position Transformatorspule lässt im Plasma Strom fließen und heizt es dadurch auf</p> <p>Plasmastrahl Magnetfeldlinien</p>

picture-alliance / dpa-Grafik / dpa-infografik 15 627

500 Megawatt erzeugt werden soll. Das Plasma soll dabei durch Magnetfelder gehalten werden, die durch gekühlte elektrische Spulen erzeugt werden. Es wird erwartet, dass bis zur industriellen Anwendung noch 50 bis 80 Jahre intensiver Forschung erforderlich sind.

Auch bei der Kernfusion tritt eine erhebliche radioaktive Strahlung auf, dadurch können hohe gesundheitliche Risiken auftreten. Für Deuterium und Tritium existieren bisher kaum Rückhaltungstechnologien, wodurch diese Strahlungsanteile bisher nur mit großem Aufwand beherrschbar sind. Das gilt nicht nur für Kernkraftwerke, sondern vor allem für militärische Anlagen. Von Oak Ridge, Hanford und Savannah River in den USA, wo Tritium für Wasserstoff-Bomben produziert wurde, sind gravierende Probleme bekannt, zum Beispiel die Verseuchung des Grundwassers und die sogenannten Tritium-Bluter. Gleichzeitig tritt wie bei der Kernspaltung, wenn auch in vergleichsweise geringerem Umfang, das Problem der atomaren Endlagerung auf.

Verfügbarkeit von Kraftwerksarten

Um eine sichere Versorgung zu gewährleisten, müssten Kraftwerkstechnologien möglichst rund um die Uhr Energie bereit stellen können. Diese maximale Benutzungsstundenzahl von 8760 Stunden pro Jahr (das heißt 365 Tage, 24 Stunden lang) wird von Dampfkraftwerken annähernd erreicht. Nur für planmäßige Wartungsarbeiten, die meist während der Sommermonate bei geringerem Leistungsbedarf stattfinden, werden sie vom Netz genommen. Um eine Reserve für die Regelung der Netzfrequenz und Netzspannung vorzuhalten, werden Dampfkraftwerke circa zehn Prozent unterhalb ihrer Nennleistung betrieben. Die Vollbenutzungsstunden werden ermittelt, indem die eingespeiste Energiemenge durch die

Nennleistung dividiert wird. Sie geben an, wie viele Stunden im Jahr ein Kraftwerk umgerechnet bei Nennlast betrieben wurde. Zum technischen Vergleich von Kraftwerkstypen werden die technisch möglichen Vollbenutzungsstunden herangezogen. In der Praxis kann die Anzahl der Vollbenutzungsstunden durch schwankende Energiepreise oder geringere vertraglich vereinbarte Energiemengen weit unterhalb dieser Werte liegen. Bei Wind- und Photovoltaikanlagen weichen die maximal möglichen Benutzungsstunden stark von den Werten fossil befeuerter Kraftwerke ab. Windkraftanlagen an Land erreichen ihre Nennleistung nur an wenigen hundert Stunden im Jahr. Photovoltaikanlagen speisen abhängig von Jahreszeit und Sonnenstand tageszeitabhängig mit einem Spitzenwert in den Mittagsstunden ein.

Um bewerten zu können, welchen Beitrag Kraftwerkstechnologien zur Versorgungssicherheit leisten, wird die Höhe der gesicherten Leistung verwendet. Dabei handelt es sich um den Leistungswert, der garantiert zur Verfügung gestellt werden kann. Weil sie elektrische Energie nur wetterabhängig in das Netz einspeisen können, liegt die gesicherte Leistung von Windkraftanlagen bei 20 Prozent und von Photovoltaikanlagen bei elf Prozent. Bis zur angestrebten emissionsarmen Energieversorgung mit 80 bis 95 Prozent aus erneuerbaren Energien werden noch einige Jahrzehnte fossile Reserve-Kraftwerke benötigt. Nach optimistischen Prognosen sind dies schätzungsweise noch circa 25 bis 30 Jahre. Pessimistischere Schätzungen gehen dagegen von einem dauerhaften Bedarf an Reserve-Kraftwerken aus. Mit dem weiteren Ausbau der wetterbedingt fluktuierend einspeisenden erneuerbaren Energien gewinnt die flexible Erzeugung elektrischer Energie auch bei konventionellen Technologien an Bedeutung. Bei Dampfkraftwerken bedeutet dies, dass bei der Kombination mehrerer Kraftwerksblöcke ein besser regelbarer Block mit kleinerer Leistung gebaut wird. Dadurch wird das gesamte Kraftwerk in seinem Leistungsbereich besser regelbar. Gleichzeitig lassen sich moderne Kraftwerke insgesamt besser in ihrer Leistung einstellen.

Stromgestehungskosten und Emissionen von Kraftwerkstypen

Kraftwerksart	Stromgestehungskosten in €Cent/ kWh _{el} ¹⁾	CO ₂ -Intensität in g/kWh _{el} ¹⁾	CO ₂ -Äquivalente in g/kWh _{el} ¹⁾	Vollbenutzungsstunden pro Jahr ³⁾	Gesicherte Leistung in % ⁴⁾
Import-Steinkohle-Kraftwerk	4,0 ... 5,0	897	949	6500	93
Braunkohle-Kraftwerk	4,0 ... 5,0	1142	1153	6500	93
Erdgas-GuD-Kraftwerk	4,0 ... 5,0	398	428	6500	93
Erdgas-Blockheizkraftwerk	7,0 ... 8,0	5	49	6500	93
Kernkraftwerk	4,5 ... 5,5	31 ... 61	32 ... 65	6500	93
Windpark onshore	6,5 ... 8,0 ²⁾	23	24	2000	20
Windpark offshore	10,5 ... 16,5 ²⁾	22	23	4000	40
Photovoltaik	14,0 ... 20,5 ²⁾	89	101	850	11
Solarthermisches Kraftwerk	19,0 ... 23,0 ²⁾	25	27	2000	30 ⁵⁾
Wasserkraftwerk	5,0 ... 10,0	39	40	5000	50-80 ⁶⁾
Biogas-Blockheizkraftwerk	6,0 ... 8,0	-414	-409	6500	93

¹⁾Quelle: Öko-Institut Darmstadt: Arbeitspapier Treibhausemissionen und Vermeidungskosten der nuklearen, fossilen und erneuerbaren Strombereitstellung, März 2007, 17 S., die CO₂-Intensität gibt den reinen Gasgehalt an, CO₂-Äquivalente berücksichtigen weitere Schadstoffemissionen ²⁾Fraunhofer ISE: Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, Mai 2012, 25 S. ³⁾Technisch mögliche Stundenzahl, die reale Nutzung kann davon stark abweichen ⁴⁾Werte teilweise geschätzt ⁵⁾Bei vorhandenem Energiespeicher ⁶⁾Abhängig von der Wasserzuführung

Bernhard Pötter

Vom Waldsterben zur Energiewende

Strom aus Kohle und Atom prägt seit Jahrzehnten Deutschlands Energiepolitik. Aber die Schadensbilanz dieser Politik hat den Aufschwung der erneuerbaren Energien möglich gemacht.



Abgestorbener Wald im Nationalpark Hochharz in der Nähe des Brockens (Sachsen-Anhalt) im Juli 2002

picture-alliance / ZB / Peter Förster

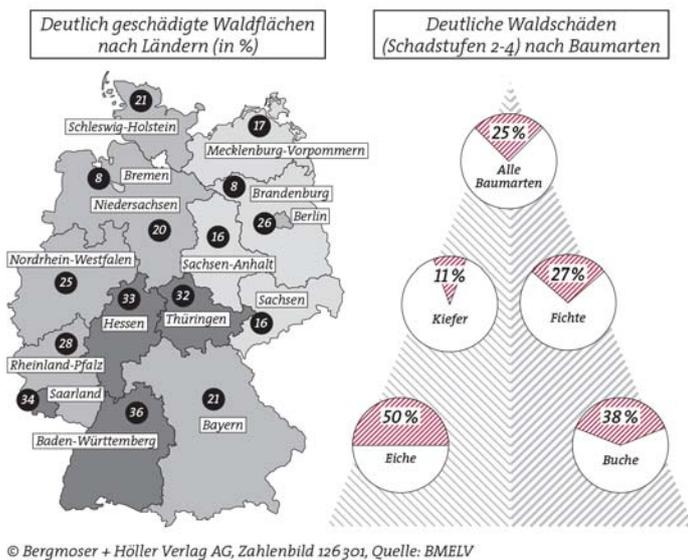
Störfälle als Auslöser für Bewusstseinsveränderung

Ein Berghang im Thüringer Wald, Anfang der 1980er-Jahre: Kahl stehen die bleichen Skelette der Fichten nebeneinander. Auf mehreren Hektar Fläche sind praktisch alle Bäume tot oder schwer geschädigt. Auch im Harz, im Schwarzwald und anderen deutschen Mittelgebirgen herrschte in den 1980er-Jahren ein ähnliches Bild. Das „Waldsterben“ war so weit verbreitet, dass Wissenschaftler meinten, in fünf Jahren wäre der deutsche Wald flächendeckend tot.

Dieses Horrorszenario trat nicht ein – auch, weil schnell gehandelt wurde. Denn das „Waldsterben“ veränderte Westdeutschland: Die Bundesregierung legte das bislang teuerste Programm zum Umweltschutz auf, um die Abgase aus den Schornsteinen der Industrie und der Kraftwerke von Schwefel und anderen Schadstoffen zu befreien; deutsche Autos bekamen bleifreies Benzin und einen Katalysator; die Umweltverbände erhielten starken Zulauf und die neu gegründete Partei „Die Grünen“ zog in die Parlamente ein. Das Waldsterben und die Reaktorkatastrophe im ukrainischen Tschernobyl von 1986 – beides katastrophale Störfälle im System der Energieversorgung – erschütterten den deutschen Fortschrittsglauben und verbreiteten „grünes“ Denken.

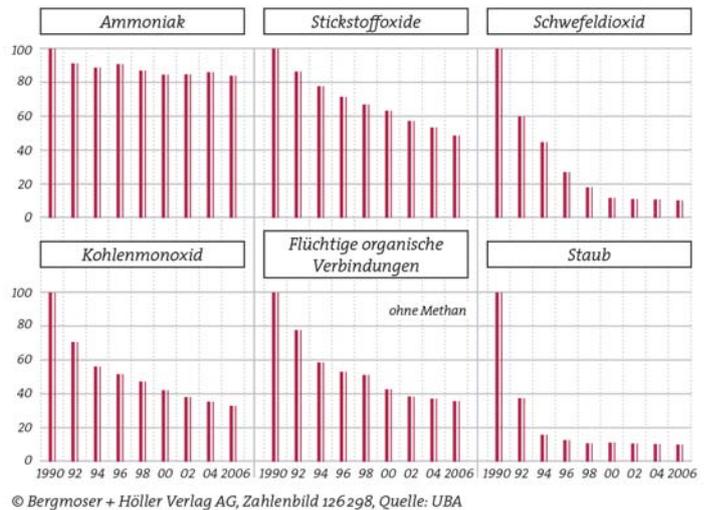
Doch das Waldsterben war mehr als nur ein Folgeschaden der Stromerzeugung. Zu dem Giftcocktail in der Luft trugen auch andere Verursacher bei: der Verkehr mit seinen Abgasen, Industrie und Haushalte durch die ungefilterte Verbrennung von Kohle und Öl. Den Deutschen wurde drastisch vor Augen geführt, dass Strom aus der Steckdose und eine warme Heizung Konsequenzen für die Umwelt haben – und dass hohe Schornsteine zwar die Belastung der Luft in den Städten verringern, dass sich Schadstoffe aber nicht in Luft auflösen. Die Angst vor sichtbaren und unsichtbaren Schäden aus Kohle- und Atomkraftwerken befeuerte in Deutschland einen jahrzehntelangen Kampf um die Energiepolitik. Der führte auch dazu, dass sich die größte Industrienation Europas ehrgeizige Ziele im Umwelt- und Klimaschutz setzt. Deutschland ist heute eines der wenigen Länder, die eine effektive Senkung ihrer Treibhausgase erreicht haben und ihr Energiesystem im großen Stil umbauen: Die Stromversorgung durch erneuerbare Energien wie Wind- und Sonnenkraft wurde seit den Tagen des Waldsterbens massiv ausgebaut und deckt heutzutage ein Viertel des Verbrauchs. Als sich im japanischen Fukushima im März 2011 die nächste atomare Katastrophe ereignete, war Deutschland auch deshalb bereit für die „Energiewende“.

Waldschäden 2012



Die Luft wird sauberer

Entwicklung der Schadstoffemissionen in Deutschland (1990=100)



Schadstoffe und ihre Folgewirkungen

Die Debatte um die Folgekosten der Energiepolitik hat die deutsche Gesellschaft so nachhaltig verändert wie nur wenige andere Fragen. Dabei sind manche Schäden – wie beim Waldsterben – nicht im erwarteten Maß eingetreten. Andere sind – wie bei der Atomkraft – in ihrem ganzen Ausmaß in der Wissenschaft nach wie vor umstritten. Neben den globalen Wirkungen der Treibhausgase aus der Verbrennung der fossilen Brennstoffe Kohle, Öl und Gas hat die Energieproduktion auch regional begrenzte Folgen. Die Stromerzeugung ist neben der Landwirtschaft, der Herstellung von Gütern und dem Verkehr der schwerwiegendste Eingriff des Menschen in den Naturhaushalt. Und die Frage, wie viel Umweltschäden für eine sichere und bequeme Versorgung mit Strom, Wärme und Mobilität zu akzeptieren sind, wird immer wieder neu diskutiert. „Eine Energieproduktion ohne Umweltauswirkungen gibt es nicht“, sagt Erik Gawel vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung an der Universität Leipzig. Er kritisiert, dass die Konzentration der Energiepolitik auf Treibhausgase und Klimaschutz zu „energiepolitischen Fehlschlüssen“ verführe. Wer nur auf CO₂-Bilanzen und aktuelle Kosten schaue, vernachlässige „die Risiken der nuklearen und fossilen Energien“: Unfälle in Kohlegruben, durch Ölpest verseuchte Meere, Methan-Ausgasung aus Gas-Pipelines.

Luftverunreinigung, Boden- und Wasserbelastung

Am deutlichsten werden die Nachteile der Energieproduktion beim Blick auf die qualmenden Schornsteine von Fabriken und Kraftwerken. Dabei ist die Belastung der deutschen Luft mit Schadstoffen deutlich gesunken – durch technischen Fortschritt, aber auch als Folge des Zusammenbruchs der veralteten Industrien in Ostdeutschland nach dem Ende der DDR. Seit 1990 verringerte sich etwa der Ausstoß von Treibhausgasen wie Kohlendioxid (CO₂) trotz kräftigen Wachstums der Wirtschaft um mehr als 25 Prozent. Bei anderen Schadstoffen waren die Rückgänge noch drastischer: 2009 gab es 92 Prozent weniger Schwefeldioxid in der deutschen Luft, 80 Prozent weniger Staub und 75 Prozent

weniger Kohlenmonoxid. Dieser Erfolg geht auch auf verbesserte Filtertechnik und innovative Verfahren zurück. Teilweise wurden verschmutzende Industrien aber auch aus Deutschland weg verlagert. In Dortmund etwa wurde 2002 das gesamte Stahlwerk Hoesch Phoenix abgebaut und in China wieder aufgebaut.

Der „blaue Himmel über dem Ruhrgebiet“, den der spätere Bundeskanzler Willy Brandt 1961 versprochen hatte, ist heute Realität. Die Belastung der Luft in deutschen Städten, die von den Bewohnern gesehen und gerochen wurde, ist massiv zurückgegangen. Im Fokus der Aufmerksamkeit stehen heute eher langlebige oder unsichtbare Schadstoffe: Hochgiftiges Dioxin reichert sich seit Jahrzehnten in Böden an und wird teilweise über Pflanzen, tierische Fette oder auch die Muttermilch in kleinsten Mengen in den menschlichen Organismus aufgenommen; an Sommertagen steigt die Belastung der Innenstädte durch Ozon aus den Automotoren teilweise auf bedenkliche Höhen. Und zunehmend warnen Mediziner vor Feinstaub in der Luft. Diese kleinen Partikel sind so winzig, dass sie bei Menschen über die Atemwege in die Lunge und sogar ins Gehirn gelangen können. Die minimal kleinen Abgasteilchen aus dem Ruß von Kaminen und Verbrennungsmotoren sind nach Angaben der EU dafür verantwortlich, dass in Europa jährlich zusätzlich etwa 70 000 Menschen sterben.

Denn nicht nur die Stromproduktion hat ihre Umweltauswirkungen. Auch der Einsatz von Energie in anderen Bereichen zieht Konsequenzen nach sich. Am gesamten Energieverbrauch des Landes haben die Industrie und der Verkehr nach offiziellen Statistiken einen Anteil von jeweils 30 Prozent. Die privaten Haushalte folgen mit 25 Prozent vor Gewerbe und Handel mit 15 Prozent. Seit 1990 hat sich der Energieverbrauch bei Industrie und Gewerbe trotz steigender Wirtschaftsleistung verringert. Doch bei den privaten Haushalten und im Verkehr sind die Erfolge nicht so deutlich. Trotz benzinsparender Motoren und moderner Heizungen führen hier zum Beispiel eine erhöhte Mobilität und der Trend zu größeren Wohnungen und mehr Einpersonenhaushalten dazu, dass die Gewinne durch mehr Effizienz durch höheren Verbrauch oft wieder „aufgefressen“ werden. Als Konsequenz daraus ist etwa der Verkehr zu einem Fünftel an den deutschen Emissionen für Treibhausgase beteiligt.

Im Vergleich zu großen Industrieanlagen und Kraftwerken ist es bei privaten Haushalten und im Verkehr oft schwieriger, den

Energieverbrauch und den Ausstoß von Schadstoffen zu verringern. Denn Millionen von Autofahrern oder Wohnungsbesitzern haben ihre eigenen Vorstellungen und Ansprüche an Komfort und Effizienz, die oft nicht einfach zu verändern sind. Staatliche Förderprogramme greifen oft langsamer, Innovationszyklen sind bei Eigenheimen länger als bei Maschinen in Fabriken. Ein Beispiel dafür ist die Wärmedämmung von Wohnhäusern. Nach Angaben der halbstaatlichen „Deutschen Energieagentur“ (dena) schlummern im Gebäudebestand die größten Reserven fürs Energiesparen: Alte Häuser verbrauchen zum Heizen dreimal soviel Energie wie Neubauten, fast 90 Prozent davon für Heizung und Warmwasser. Diese Rechnung ließe sich um bis zu 80 Prozent senken, erklärt die dena, „Tatsache ist jedoch: Von den energetischen Einsparpotenzialen wird bei Sanierungen durchschnittlich nur rund ein Drittel ausgeschöpft.“ Einer der Gründe dafür ist das „Mieter-Vermieter-Dilemma“: Während der Mieter von einem neu gedämmten Haus durch seine niedrigere Heizkostenrechnung profitiert, kann der Vermieter die Investitionskosten nur teilweise auf die Miete umlegen. Eine geänderte Regelung führt hier wiederum zu teilweise rasant steigenden Mieten, wogegen sich die Mieter wehren.

Wenn schon die betriebswirtschaftliche Berechnung der Kosten für die Energieversorgung schwierig ist, gilt das erst recht für die Umweltkosten. Sehr viele schwer bestimmbare Faktoren machen eine solche Rechnung heikel: Allein die Frage nach der finanziellen Abschätzung von aktuellen oder künftigen Klimaschäden ist unter Ökonomen und Ökologen heiß umstritten. Das Umweltbundesamt (UBA) hat trotzdem eine Rechnung über die „Umweltkosten der Stromerzeugung“ vorgelegt. Für eine Kilowattstunde (kWh) Strom aus Braunkohle, dem „schmutzigsten“ Energieträger, veranschlagen die Experten Gesamtkosten von 10,7 Cent, die nicht vom Strompreis (für Haushaltskunden etwa 25 Cent pro kWh) gedeckt sind. Diese „externen Kosten“ werden anderen aufgebürdet: Steuerzahlern, Opfern des Klimawandels, Krankenkassen. Ohne die Klimaschäden aus dem Kohlendioxid bleiben in der Rechnung des UBA immer noch über zwei Cent, die eine Kilowattstunde Braunkohlenstrom an „Luftschadstoffen“ verursacht. Die Verbrennung von Öl (2,4 Cent, Angaben jeweils nicht für Klimaschäden), Steinkohle (1,6 Cent) oder Gas (1 Cent) zieht ebenso einen dicken ökologischen Rucksack hinter sich her. Die Erneuerbaren schneiden deutlich besser ab: Photovoltaik mit 0,6 Cent, Windstrom mit 0,17 Cent Luftverschmutzung pro Kilo-

wattstunde. „Braunkohle hat etwa 40mal mehr Umweltkosten als Wind“, schreiben die UBA-Wissenschaftler.

Auch die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung belegt, dass trotz großer Erfolge in den 1990er-Jahren die selbst gesteckten Ziele bei der Verbesserung der Luftqualität verfehlt werden. Zwar wurde die Verbreitung von Schwefeldioxid, Stickoxiden, Ammoniak und flüchtigen organischen Verbindungen zwischen 1990 und 2009 insgesamt um 56 Prozent verringert. Doch das Ziel von 70 Prozent Reduktion in diesem Zeitraum wurde nicht erreicht. „Luftverunreinigung beeinträchtigt Ökosysteme und Artenvielfalt, insbesondere durch Versauerung und Überdüngung“, heißt es im „Fortschrittsbericht 2012“ zur Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie, „weitere Anstrengungen sind erforderlich.“ Denn obwohl etwa Schwefeldioxid fast vollständig und flüchtige Verbindungen zu zwei Dritteln vermindert wurden, sieht die Bilanz für Stickstoffdioxid (größte Quelle ist der Verkehr) und Ammoniak (größte Quelle ist die Landwirtschaft) deutlich schlechter aus. Vor allem die Ausdünstungen von Ammoniak, das aus der industriellen Tiermast stammt, verbleiben auf einem hohen Niveau und sind sogar wieder gestiegen.

Auch Schadstoffe, die über einen Schornstein in die Luft geblasen werden, sind zwar aus den Augen, aber nicht aus der Welt: So trägt Schwefel in der Luft zur Versauerung von Gewässern bei, Gebäude leiden unter Substanzen, die die Fassaden zerfressen. Der Tagebau für die Braunkohle frisst Dörfer und ganze Landschaften. Für die Rekultivierung der verwüsteten Gegenden zahlen die Kohlekonzerne, die diese Ausgaben mit ihren Preisen an die Kunden weitergeben. Doch für die meisten dieser Schäden, die zumeist von der Allgemeinheit der Steuerzahler oder der Krankenversicherten getragen werden, gibt es abseits der (geschätzten) Klimafolgen, „keine belastbaren monetären Schätzungen“, klagt das Umweltbundesamt. Das gilt auch für das Waldsterben, dessen volkswirtschaftlicher Schaden nie exakt ermittelt wurde. Schätzungen von 1987 gingen von 220 Milliarden Euro aus, heute wagt niemand mehr eine solche Kalkulation. Auch wenn immer noch viele Bäume geschädigt sind, die Waldfläche in Deutschland nimmt stetig zu. Und auch für „Bergbaufolgeschäden“ gibt es nur grobe Schätzungen: Wenn sich Kohlegruben absenken, entstehen in jedem Jahr an Deutschlands Gebäuden Schäden von mindestens 40 Millionen Euro. Wenn diese durch den modernen Bergbau entstanden sind, müssen sie durch den Energiekonzern Ruhrkohle (RAG) entschädigt werden. Der hat dafür bereits 3,3 Milliarden Euro an Rückstellungen gebildet.

Oft unterschätzt wird die Belastung des Wasserhaushalts durch die Stromproduktion. Kohle- und Atomkraftwerke brauchen für die Kühlung ihrer Systeme große Mengen von Wasser. Das Wasser wird entweder zu Dampf erhitzt, treibt Turbinen und entschwindet als weiße Wolke aus dem Kühlturm – oder es wird erwärmt wieder in die Natur zurückgeleitet. In trockenen Gegenden oder Dürreperioden kann das zu Umweltproblemen führen, weil das knappe Nass zusätzlich erhitzt in die Flüsse zurückfließt. So musste deshalb der französische Stromversorger EdF bei der Hitzewelle 2003 die Produktion in fast einem Drittel seiner Atomkraftwerke einstellen oder drosseln. Nach einer Übersicht des Informationsdienstes „Bloomberg New Energy Finance“ ist der Kraftwerkssektor für 44 Prozent der Wassernutzung in Europa verantwortlich. In Deutschland könnte sich demnach der Wasserdurst der Stromindustrie wegen der schnellen Zunahme von erneuerbaren Energien bis 2030 fast halbieren. Und größter Nutzer von Wasser ist mit weitem Abstand die Kernkraft.



picture alliance/ dpa / Marius Becker

Mobilität hat ihren Preis: Autos und Lastkraftwagen wie hier auf der A 3 in Köln sind für einen erheblichen Schadstoffausstoß verantwortlich.

Radioaktive Strahlung

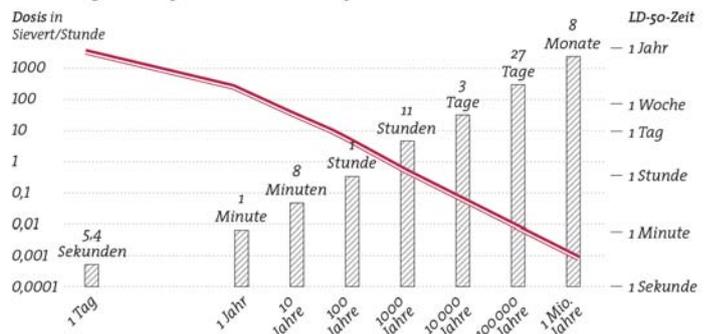
Der Wasserverbrauch der AKWs ist aber noch das geringste Umweltproblem der nuklearen Stromerzeugung. Zwar gilt der Atomstrom wegen seines geringen Ausstoßes von Treibhausgasen in der Klimadiskussion oft als „sauber“. Die Umweltfolgen des Atomzeitalters sind aber trotzdem enorm: Allein in Deutschland fallen bis zum Ende der Laufzeiten im Jahr 2022 aus allen deutschen Atomkraftwerken und Forschungsreaktoren nach Berechnungen des „Bundesamtes für Strahlenschutz“ (BfS) über 28 000 Kubikmeter hochradioaktiven Mülls an. Das ist etwa soviel wie der Rauminhalt von 1000 Güterwaggons. Für diese Dimensionen muss ein deutsches Atomendlager ausgelegt sein. Weltweit gibt es nach Angaben der World Nuclear Association 12 000 Tonnen hochgradig gefährlicher Nuklearabfälle im Jahr. Diese „abgebrannten“ und extrem stark strahlenden Brennelemente aus den Reaktorkernen müssen für Tausende von Jahren sicher von der Umwelt abgeschlossen werden. Dazu kommt noch einmal etwa die zehnfache Menge an schwach strahlenden Abfällen aus der Nuklearwirtschaft.

Dieses Entsorgungsproblem hat aber bislang keines der 30 Länder gelöst, die über Atomkraftwerke verfügen. Obwohl weltweit seit 1954 Atomkraftwerke betrieben werden, gibt es bis heute nirgendwo ein Endlager für hochradioaktive Stoffe. Und die Probleme rund um leckende Atomfässer und unsichere Lagerstätten wie in der niedersächsischen Asse oder in der Nord- und Ostsee machen immer wieder Schlagzeilen. Der Uranbergbau schließlich birgt große gesundheitliche Risiken für die Beschäftigten.

Hinzu kommen die Gefahren bei einem nuklearen Unglück. Als 1986 der Reaktor am ukrainischen Atomkraftwerk Tschernobyl durch einen Bedienungsfehler explodierte, wurde die Gegend weit-

Wie lange strahlt der Müll?

Strahlung und Gefährlichkeit im Lauf der Zeit



Die rote Kurve zeigt die Strahlendosis, die grauen Balken die Gefährlichkeit in einem Meter Entfernung. Lesebeispiel: Nach 100 Jahren strahlt ein nacktes Brennelement mit 5 Sievert pro Stunde. Man müsste sich eine Stunde lang dieser Strahlung aussetzen, um die LD-50-Dosis abzubekommen. Bei jedem zweiten Menschen führt diese Dosis binnen eines Monats zum Tod. Auf das natürliche Niveau sinkt die Strahlung erst nach drei Milliarden Jahren. Illustration: Nora Coenenberg, www.nocoii.com; Recherche: Niels Boing, in: DIE ZEIT Nr. 45 vom 4. November 2010

räumig verstrahlt. Etwa 350 000 Menschen wurden umgesiedelt, die „Todeszone“ 30 Kilometer rund um den Reaktor bleibt bis heute Sperrgebiet. Als direkte Folge des Unglücks nannte die offizielle Untersuchungskommission etwa 50 Tote. In den Jahren nach dem Unglück stieg die Zahl der Krebskranken unter der Bevölkerung und den Rettungskräften stark an. Die Schätzungen über Todesopfer durch Krebs nach Tschernobyl gehen weit auseinander: Während manche Studien etwa 5000 zusätzliche Krebstote prognostizieren, gehen Umweltschützer von über 900 000 Todesfällen aus.

Ein folgenreiches Unglück

[...] Erst am Abend des 30. April 1986, Tag vier nach der Katastrophe, meldet die sowjetische Nachrichtenagentur TASS: Durch eine „Havarie“ in Tschernobyl habe sich die Radioaktivität erhöht und seien zwei Menschen ums Leben gekommen. [...]

Was in der Nacht zum 26. April 1986 um 1.24 Uhr tatsächlich passierte [...] markiert den Countdown zur größten nuklearen Katastrophe der Menschheit. Zudem eine, um die sich später viele Wahrheiten ranken werden, was auch damit zusammenhängt, dass die zivile Nutzung der Kernenergie am 26. April 1986 zwar nicht ihre Friedfertigkeit, aber ihre Harmlosigkeit verliert. [...] Damals, am 26. April 1986, geistert in den Köpfen der Menschen eine leicht zu merkende Wahrscheinlichkeitsformel herum, nach der einmal in 10 000 Jahren ein Super-GAU passieren kann – ein Größter Anzunehmender Unfall, der außer Kontrolle gerät. Die Formel flößt Vertrauen ein, vernebelt aber, dass das extrem Unwahrscheinliche trotzdem morgen passieren kann.

Um 1.30 Uhr schlafen die Menschen in Europa, während der Reaktor bereits ohne

Dach da steht und aus seinem Schlund – 1000 Mal mehr als die nukleare Masse der Hiroshima-Bombe – radioaktive Partikel in den Himmel bläst, die bis heute Geigerzähler ausschlagen lassen. Halbwertszeit 30 Jahre: Erst in fünf Jahren wird das europaweit in die Böden eingetragene Cäsium 137 das erste Mal seine Ausstrahlung halbiert, erst in 330 Jahren sich die letzte Cäsium-Spur verflüchtigt haben. [...]

Moskau schickt Heerscharen Ahnungsloser nach Tschernobyl. 600 000, 800 000, eine Million? Niemand kennt die genaue Zahl der sogenannten Liquidatoren, die in den Tagen, Wochen und Monaten danach das weiß lodernde Graphitfeuer löschen, der Reaktorrüine einen Betonsarg überstülpen und eine 30-Kilometer-Sperrzone rund um das strahlende Inferno abstecken. [...] Einige erhalten in kurzer Zeit die bis zu 13 000-fache Strahlendosis dessen, was die Europäische Union (EU) als zulässigen Grenzwert pro Jahr für Menschen ansetzt, die in der Nähe eines Kernkraftwerks leben.

Es sind meist Wehrpflichtige um die 20, die aus allen Teilen des einstigen Riesen-

landes zwangsrekrutiert und bald wieder – Einsätze dauern strahlenbedingt nur Minuten – nach Hause geschickt werden. [...] So verlieren sich später Hunderttausende Strahlenschicksale im statistischen Nirgendwo. Eine verlässliche Bilanz der gesundheitlichen Folgen wird es niemals geben. Und trotzdem wird mit Opferzahlen Politik gemacht: „75 Tote“, so die Internationale Atomenergiebehörde (IAEO), seien eindeutig Tschernobyl zuzuordnen. Darin sieht die Vereinigung „Internationale Ärzte für die Verhütung des Atomkrieges“ eine „gezielte Täuschung der Weltöffentlichkeit“. Dabei habe schon 2000 die Weltgesundheitsorganisation (WHO) berichtet, dass 50 000 der Liquidatoren gestorben seien. Der Zwist zeigt nur, wie sehr das Atom weiter spaltet. [...]

Dann passiert „es“ in Fukushima erneut. Fast exakt 25 Jahre nach Tschernobyl. Dort wurde im Experiment erkundet, was passiert, wenn der Strom ausfällt; in Fukushima fiel er aus. [...]

Wolfgang Wiedlich, „Das Experiment von Anatoli Strepanowitsch Djatlow“, in: General-Anzeiger Bonn vom 23./24. April 2011

Endlager gesucht!

[...] Die Beseitigung der strahlenden Abfälle gehörte von Beginn an zu den größten Herausforderungen, seit dem Physiker Enrico Fermi am 2. Dezember 1942 die erste kontrollierte atomare Kettenreaktion in einem Militärlabor in Chicago gelang. Auch die USA als größte zivile und militärische Atommacht besitzen kein funktionstüchtiges Endlager. In den vierziger Jahren praktizierten sie, wie später auch Großbritannien, das Entsorgungskonzept der „fünf V“: Verdünnen, Verteilen, Vergraben, Versickern und vor allem Versenken.

So wurde in den USA frühzeitig ein Teil der strahlenden Last mit Erde und Beton vermischt und westlich von San Francisco nahe den Farallon-Inseln in den Pazifik geworfen. [...] Später, seit 1953, kippen die Schiffe ihre strahlende Ladung in die Bucht von Santa Cruz. Besonders brisante Frachten wurden vom Flugzeug aus ins Meer geworfen. [...]

Im November 1960 geht im unterfränkischen Kahl das erste kommerzielle deutsche Kernkraftwerk in Betrieb. [...] Den heiligen Vorsatz, vor dem Bau der ersten Meiler die Entsorgungsfrage zu klären, haben Bundesregierung und Genehmigungsbehörden schon über Bord geworfen. Dabei schreibt Paragraf 9a des ebenfalls 1960 verabschiedeten Atomgesetzes vor, dass jeder Betreiber dafür sorgen muss, dass „anfallende radioaktive Reststoffe [...] schadlos verwertet oder geordnet beseitigt werden“.

Was aber ist eine geordnete Beseitigung? Die Entsorgung im All? „Vermutlich sowjetischen Ursprungs“, glaubt Historiker [Anselm] Tiggemann, ist der seit den fünfziger Jahren diskutierte Vorschlag, den strahlenden Müll in den Weltraum zu schießen. [...] Doch die enormen Kosten, die Notwendigkeit fast täglicher Raketenstarts und die gravierenden Risiken durch Unfälle verweisen alle Weltraumausflüge ins Reich des Absurden.

Währenddessen konzentriert sich die Endlagersuche der Bundesdeutschen auf den Salzbergbau. [...] Die Bundesanstalt für Bodenforschung berichtet im Juli 1962 über Möglichkeiten der Endlagerung „im Untergrund“. Neben Salzbergwerken wird auch die Eisenerzgrube „Allerheiligen“ im Bergwerk Konrad bei Salzgitter als Standort ins Visier genommen.

Aber auch die billige Entsorgung im Meer will man nun [...] „erproben“. Im Mai 1967 wird im Hafen von Emden deutscher Atommüll auf das englische Frachtschiff Topaz geladen. Hafenarbeiter re-

bellieren, und das Gewerbeaufsichtsamt rügt mangelnden Arbeitsschutz – die Aktion im Atlantik ist nicht zu verhindern.

Sie bleibt die einzige deutsche Versenkungsaktion. 1983 stoppt die Londoner Dumping-Konvention die Ex-und-hopp-Entsorgung im Meer. Bis dahin kippen die westlichen Atomländer USA und Großbritannien, aber auch die Schweiz, die Niederlande, Belgien und andere 140 000 Tonnen Atommüll in den Ozean. Die Europäer bevorzugen eine Meereszone nordwestlich der spanischen Atlantikküste in 4000 Meter Tiefe. Auch die anfangs heftig protestierende Sowjetunion entsorgt bald Tausende Tonnen Atommüll im Eismeer. [...]

In der Bundesrepublik kehrt man zum Salz zurück. Und auch die DDR richtet 1969 ein Salzstock-Endlager ein: für schwachaktive Abfälle in Morsleben in Sachsen-Anhalt. Es muss später auch mittelaktiven Abfall und – nach der Wende – „BRD-Müll“ aufnehmen. Im Dezember 1971 beginnt die Einlagerung. [...] 36 754 Kubikmeter schwach- und mittelradioaktive Abfälle werden in Morsleben bis 1998 eingegraben. Doch das Bergwerk wackelt. [...] Nach Dauerprotesten von Anwohnern erklärt das Bundesamt für Strahlenschutz Morsleben im April 2001 endgültig zum Sicherheitsrisiko, sieben Monate später stürzt ein 5000 Tonnen schwerer Salzklötz aus dem Deckgebirge ab. Das Lager mutiert zum milliardenschweren Sanierungsfall, es wird notdürftig stabilisiert, mit Spezialbeton verfüllt und stillgelegt. [...]

Im Westen steht das ehemalige Salzbergwerk Asse II bei Wolfenbüttel zum Verkauf [...]. Im März 1965 übernimmt die Bundesrepublik den riesigen Fuchsbau. [...]

Das Bergwerk Asse wird zur „Forschungseinrichtung“ erklärt, die „versuchsweise“ schwachradioaktiven Müll aufnehmen soll. Zwischen April 1967 und Dezember 1978 gelangen 125 787 Atomfässer in die Asse, inklusive Giftmüll wie Arsen und verstrahlter Tierkadaver. Das Einlagern geschieht anfangs geordnet, dann immer chaotischer. In „freier Sturztechnik“, so der Fachbegriff, werden die radioaktiven Abfälle Abhänge hinuntergekippt, Salz drüber, basta. [...]

Doch [...] das Bergwerk [...] droht abzusaußen, die Südflanke ist einsturzgefährdet. Im Sommer 2008 kommt alles ans Tageslicht. [...] Jetzt sollen alle 125 787 Fässer aus den nuklearen Grabkammern des [...] Lagers zurückgeholt werden – ein Wettlauf gegen die Zeit. Geschätzte Kosten: vier Milliarden Euro.

Bereits zuvor, noch in den siebziger Jahren, ist ein anderer Salzstock in

den Fokus gerückt: Gorleben, ebenfalls in Niedersachsen, nahe der deutsch-deutschen Grenze. [...] Das Endlager soll gekoppelt werden an die größte Wiederaufbereitungsanlage (WAA) der Welt, in der Plutonium aus Atommüll zurückgewonnen wird. Der Bombenstoff soll dann in schnellen Brütern als Brennstoff eingesetzt werden. Die Ideologie des nuklearen Brennstoffkreislaufs bestimmt den Diskurs, und in Gorleben soll [...] ein blühender Atompark wachsen mit Endlager, WAA, Zwischenlager und einer Konditionierungsanlage, um Atommüll zu verpacken. Aber warum ausgerechnet Gorleben?

Bund und Länder untersuchen in den siebziger Jahren, wie der Historiker Detlev Möller nachzeichnet, unzählige Standorte. Allein Niedersachsen nimmt in geheimer Mission 140 Salzstöcke ins Visier. Die Bevölkerungsdichte muss niedrig sein, es soll kein Milchvieh weiden, der Wind darf keine „radioaktiven Reststoffe“ auf große Siedlungen zuwehen. Und die Infrastruktur muss stimmen. [...]

Am 22. Februar 1977 verkündet Niedersachsens Ministerpräsident Ernst Albrecht (CDU) schließlich, dass die Wahl auf Gorleben im, wie das damals hieß: „Zonenrandgebiet“ des Landkreises Lüchow-Dannenberg gefallen sei. [...]

Doch [...] [m]it dem Rückenwind einer bundesweiten Anti-Atom-Bewegung steigt die Region auf die Barrikaden. [...] Als der legendäre Gorleben-Treck im Frühjahr 1979 mit 100 000 Demonstranten nach Hannover rollt und halb Niedersachsen kopfstecht, [...] erklärt [Albrecht] den Entsorgungspark im Mai 1979 für „politisch nicht durchsetzbar“ und will jetzt „nur“ noch ein Endlager bauen. [...]

Für den „unverzichtbaren Entsorgungspfeiler“ der WAA sucht die Atomindustrie unterdessen mit Hochdruck einen anderen Standort. [...] 1985 beginnen die Bauarbeiten in Wackersdorf in der Oberpfalz. 1989, nach vier Jahren Bauzeit und zähem Widerstand der Bevölkerung, erkennt die Atomindustrie den Irrweg der Wiederaufarbeitung und flüchtet aus Wackersdorf. Die deutsche WAA ist gestorben und mit ihr [die Idee] vom „geschlossenen Brennstoffkreislauf“.

Geblieden ist die Suche nach einem Endlager. [...]

Manfred Kriener, „Weg! Weg!! Weg!!!“, in: DIE ZEIT Nr. 38 vom 13. September 2012

Ähnlich lückenhaft sind auch die Daten nach der Atomkatastrophe von Fukushima am 11. März 2011. Noch sind flächendeckende Untersuchungen über die radioaktive Belastung von Anwohnern, Tieren und Pflanzen in Japan und im Pazifischen Ozean nicht veröffentlicht worden. Aufsehen erregte allerdings eine Studie der Universität Ryukyu in der Provinz Okinawa, die Mutationen an Schmetterlingen in der zweiten und dritten Generation nachwies, die auf die relativ niedrige, aber konstante Strahlung nach den Havarien in den Reaktoren 1, 2 und 3 in Fukushima Daiichi zurückgeführt wurden. Denn bislang war die Mehrheit der Strahlenexperten bei der UNO und auch im Bundesamt für Strahlenschutz (Bfs) davon ausgegangen, dass es grundsätzlich keine Belege für eine Schädigung durch Niedrigstrahlung gebe. „Diese Studie verändert den Blick auf Gefahren von radioaktiver Strahlung“, sagt der Strahlenbiologe Timothy Mousseau von der US-Universität von South Carolina, ein Experte für die biologischen Auswirkungen von nuklearer Strahlung. Auch in Deutschland ist umstritten, ob Niedrigstrahlung nach der Katastrophe von Tschernobyl oder aus dem Normalbetrieb eines Atomkraftwerks zu Schädigungen führen kann. Der Münchner Biomathematiker Hagen Scherb hat errechnet, dass nach Tschernobyl Totgeburten und Missbildungen auch in Deutschland deutlich zunahmten – andere Wissenschaftler zweifeln diese Daten an.

Ökologischer Fußabdruck der „grünen“ Energien

Auch die „grünen“ Energien hinterlassen ihren ökologischen Fußabdruck – wenn auch deutlich geringer als bei Strom und Wärme aus Kohle, Gas oder Atom. So gelten schlecht geführte Biogasanlagen als Sicherheitsrisiko, weil sie leck schlagen und mit der Gülle in ihren Tanks Flüsse und Felder verseuchen können. Auch Explosionen sind möglich. Schätzungen gehen von jährlich etwa 30 Unfällen bei Biogasanlagen in Deutschland aus. Die hohe Förderung dieser erneuerbaren Energie wiederum hat dazu geführt, dass Bauern vor allem den lukrativen Mais als Energiepflanze anbauen: Das führt zu Monokulturen, schädigt die Artenvielfalt und belegt Ackerfläche, die nicht mehr für die Produktion von Nahrungsmitteln zur Verfügung steht.

Solaranlagen wiederum enthalten in ihren Panels Schwermetalle und müssen nach dem Ende ihrer Dienstzeit fachgerecht entsorgt werden. Ein solches Recyclingsystem für die bislang über zwei Millionen deutschen Solaranlagen gibt es aber noch nicht, wie Experten beanstanden. Auch bei ausgemusterten Windkraftanlagen müsse man sich klar werden, wie der Bauschutt von Anlage und Fundament verwertet werden solle, die Rotoren etwa bestehen aus der Verbindung vieler Kunststoffe. Abhilfe kann da

vielleicht ein Pilotprojekt schaffen: Ab Herbst 2012 erzeugt in Hannover die 100 Meter hohe Windmühle „Timbertower“ Strom für 1000 Haushalte – der Turm unter der Turbine ist aus Holz.

„Erneuerbare Energien haben 50- bis 100-mal mehr Flächenverbrauch als die fossilen Energieträger und das direkt vor unserer Haustür“, sagt Erik Gawel vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung. Die Belastungen – Rauschen und Lichtreflexe bei Windanlagen, verbaute Flüsse bei der Wasserkraft, Erdbebengefahr bei der Geothermie oder Konflikte mit dem Naturschutz – würden im Inland offensichtlich, wo sie bei den fossilen Energien entlang der weltweiten Lieferkette versteckt seien. Das Bundesamt für Naturschutz (BfN) nennt als mögliche Probleme den Verlust von Artenvielfalt durch den Anbau von Energiepflanzen oder die Störung von Tieren und Pflanzen, wenn Brachflächen neu beackert werden. Eine stärkere Nutzung von Holz kann dazu führen, dass mehr Totholz aus dem Wald geholt wird; wenn Pachtpreise steigen, sind Flächen für den Naturschutz nicht mehr zu bezahlen. Vor allem bei Windkraftanlagen warnen Naturschützer vor Gefahren: Der Bau von *Offshore*-Anlagen in der Nordsee vertreibt Fische und Schweinswale, die in ihrem empfindlichen Gehör geschädigt werden können. Tierfreunde befürchten, durch den massiven geplanten Ausbau der *Offshore*-Windenergie im deutschen Wattenmeer würden vor allem die Schweinswale und der Vogelzug in der Region gefährdet. Auch geplante Windanlagen in Wäldern sieht das BfN kritisch.

Bei aller Vorsicht ist den Naturschützern aber auch klar: Die Auswirkungen des Klimawandels, der durch die fossilen Energien verursacht wird, sind deutlich gravierender als ein geordneter Ausbau der erneuerbaren Energien. „Der Einsatz erneuerbarer Energien“, heißt es in der BfN-Publikation „Daten zur Natur 2012“, „kann zum Schutz der biologischen Vielfalt und der Erhaltung der Ökosysteme dienen.“

Eine wirklich „grüne“ Art der Energieerzeugung gibt es deshalb nicht. Der Luxus, jederzeit ausreichend Elektrizität und Wärme zur Verfügung zu haben, wird in einem hoch technisierten Industriestandort wie Deutschland immer mit Belastungen für die Umwelt erkaufte. Wie groß dieser „ökologische Fußabdruck“ des Stroms aber ist, lässt sich beeinflussen: Fossile oder nukleare Energien bringen hohe Risiken im Betrieb und durch ihre Abfälle mit sich, erneuerbare Stromquellen beeinträchtigen wegen der dezentralen Erzeugungsweise mehr Menschen, dafür mit deutlich geringeren Risiken. Die genaue Abwägung für den Energiemix wird von Politik und Gesellschaft letztlich auf Basis einer Abwägung von ökonomischen, ökologischen und sozialen Faktoren entschieden. Insofern führt die „Energiewende“ fort, was mit dem „Baumsterben“ begonnen hat – eine engagierte gesellschaftliche Debatte darüber, aus welcher Quelle unser Strom in Zukunft kommen soll.



Paulo Fridmann / Bloomberg via Getty Images

Riesige Anbauflächen zur Gewinnung von Energiepflanzen sind zwar lukrativ, gehen jedoch auf Kosten der Artenvielfalt und der Lebensmittelerzeugung. Sojabohnenernte in Brasilien

Felix Christian Matthes

Treibhauseffekt und Klimaschutz

Seit der Industrialisierung verstärkt sich der menschlich verursachte Treibhauseffekt, ausgelöst vor allem durch die Energie- und die Landwirtschaft. Angesichts weitreichender klimatischer Folgen wird auf internationalen Klimaschutzkonferenzen um eine Reduktion der CO₂-Emissionen gerungen.

Die Einsicht in die Begrenztheit fossiler Energiequellen und in die Folgegefahren der Kernenergie haben das Interesse an einer nachhaltigen Versorgung durch erneuerbare



picture alliance / Gernot Gungga

erbare Energien befördert. Verstärkt wird diese Einsicht vor dem Hintergrund des anthropogenen Treibhauseffekts. Der durch menschliche Aktivitäten verursachte Klimawandel

Anthropogener Treibhauseffekt

Der menschlich verursachte (anthropogene) Treibhauseffekt, der seit Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert auftritt, ist auf den rapiden Anstieg der Emissionen von Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und anderen synthetischen Gasen zurückzuführen, die sich in der Atmosphäre ansammeln. So ist die Konzentration von CO₂ in der Erdatmosphäre seit dem vorindustriellen Zeitalter von 280 ppmv (parts per million in volume, Millionstel Volumenanteile) auf aktuell 393 angestiegen, bei Methan stieg die Konzentration von 700 ppbv (parts per billion in volume, Milliardstel Volumenanteile) auf 1874 ppbv, bei Lachgas von 270 auf 324 ppbv. Andere Treibhausgase wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) oder perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF₆) kommen in der natürlichen Zusammensetzung der Erdatmosphäre nicht vor. Sie sind in ihren Konzentrationen während der vergangenen Jahre erheblich gestiegen.

Die aktuellen Konzentrationen der verschiedenen FCKW betragen bis zu 530 pptv

(parts per trillion in volume, Billionstel Volumenanteile), bei besonders strahlungswirksamen HFKW-134a etwa 68 pptv sowie bei SF₆ etwa sieben pptv. Eine besondere Brisanz ergibt sich bei den synthetischen Treibhausgasen FCKW, HFKW, FKW und SF₆, weil sie teilweise außerordentlich lange in der Atmosphäre verweilen (bei SF₆ beispielsweise für 3200 Jahre) sowie eine sehr hohe Treibhauswirkung haben.

Weitgehend zweifelsfrei nachgewiesen ist inzwischen, dass diese Erhöhung der Treibhausgaskonzentrationen maßgeblich zu der im vergangenen Jahrhundert beobachteten Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur in Bodennähe von ca. 0,8 °C (±0,2 °C) beigetragen hat. Nun hat es natürliche Schwankungen bei den Durchschnittstemperaturen innerhalb sehr langer Perioden immer gegeben (Warm- und Kaltzeiten). Besorgnis erregend ist aber nicht nur die Größenordnung des Temperaturanstieges, sondern vor allem dessen Geschwindigkeit. Niemals in den vergangenen 1000 Jahren ist ein derartig schneller Temperaturanstieg verzeichnet worden. Gleichzeitig ist die Konzentration des wichtigsten Treibhausgases CO₂ in den zurückliegenden 20 000 Jahren nie-

mals so schnell angestiegen. Sie verzeichnet heute Werte, die in den vergangenen 100 000 Jahren nicht erreicht wurden.

Projektionen für die zukünftige Entwicklung der Treibhausgasemissionen und Modellrechnungen für die daraus resultierenden Klimateffekte zeigen, dass die weltweite bodennahe Durchschnittstemperatur gegen Ende des 21. Jahrhunderts im Vergleich zum vorindustriellen Niveau um zwischen 1,3 und 6,2 °C ansteigen könnte. Die Bandbreite der Temperaturprognosen ist dabei nicht nur auf wissenschaftliche Unsicherheiten zurückzuführen, sondern berücksichtigt vor allem verschiedene Emissionsverläufe. Auf Basis der aktuellen – rechtlich unverbindlichen – klimapolitischen Verpflichtungen einer Vielzahl von Staaten ergeben sich Emissionsverläufe, die für das Jahr 2100 – im Vergleich zu den vorindustriellen Niveaus – zu einer Temperaturerhöhung von etwa 3,3 °C (bei einer unsicherheitsbedingten Bandbreite von etwa 2,7 bis 4,2 °C) führen dürften. Die Folgen einer solch großen und schnellen Temperaturerhöhung können gravierend sein.

Felix Christian Matthes

verstärkt paradoxerweise einen Effekt, durch den das Leben auf der Erde erst möglich wurde. Die sogenannten Treibhausgase in der Erdatmosphäre vermindern die Wärmerückstrahlung von der Erdoberfläche in das Weltall und speichern die entsprechende Energie in der Erdatmosphäre. Ohne den natürlichen Treibhauseffekt, der überwiegend durch den in der Atmosphäre vorhandenen Wasserdampf (vor allem Wolken) und Kohlendioxid (aus organischen Kreisläufen) herbeigeführt wird, läge die bodennahe Durchschnittstemperatur der Erde nicht bei etwa 14°C über, sondern ungefähr bei 19°C unter Null (-19°C).

Neben diesen lebensnotwendigen natürlichen Treibhauseffekt tritt jedoch seit Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert der menschlich verursachte (anthropogene) Treibhauseffekt.

Folgen für Ökosysteme und Gesellschaften

Die globale Erwärmung kann zu verschiedenen Effekten führen, die wiederum erheblichen Einfluss auf Ökosysteme und menschliche Gesellschaften haben können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die durch den Treibhauseffekt bedingten Temperaturerhöhungen nicht gleichmäßig vollziehen. Vor

allem über den Landmassen der Kontinente werden die Temperaturen deutlicher steigen als über den Ozeanen. Als sehr wahrscheinlich gilt heute, dass folgende Veränderungen eintreten werden:

- Der Meeresspiegel steigt deutlich an (durch die thermische Ausdehnung der Wassermassen sowie das Abschmelzen der Polarkappen),
- Gletscher schmelzen ab,
- die Extremtemperaturen erhöhen sich,
- Temperaturspreizungen im Tagesverlauf vermindern sich,
- Niederschläge werden heftiger und
- Trockenzeiten werden länger, wodurch die Dürregefahr wächst.

Noch nicht abschließend nachgewiesen ist die durch den Klimawandel bedingte Zunahme anderer extremer Wetterereignisse wie *Hurricanes* oder Taifune; die Wahrscheinlichkeit solcher Effekte ist jedoch keineswegs vernachlässigbar. Langfristig können darüber hinaus auch gravierende Störungen globaler Zyklen entstehen, wie zum Beispiel der irreversible Abriss des Golfstroms im Atlantik, dessen Wärmetransport das vergleichsweise warme Klima Europas sichert.

Solche Veränderungen haben Folgen. So werden in Regionen, deren Wasserhaushalt ohnehin schon stark beansprucht wird, die Probleme der Wasserversorgung zunehmen. Vor neuen Herausforderungen werden aber auch Regionen stehen, deren Wasserversorgung in erheblichem Maße von Glet-

Klima – ein komplexes Kräftespiel

Und nun das: Die Erwärmung der Erde, melden Wissenschaftler im Fachmagazin „Nature Geoscience“, pausiert, obwohl der weltweite Ausstoß des Treibhausgases Kohlendioxid (CO₂) von Jahr zu Jahr immer neue Rekorde aufstellt. Von 1991 bis 2000, so die jüngste Studie, stieg die durchschnittliche Erdtemperatur um 0,24 Grad, von 2001 bis 2010 jedoch nur um 0,03 Grad. Diese letzte Dekade (2001-2010) war, so die Welt-Meteorologie-Organisation (WMO), die wärmste seit Beginn der Aufzeichnungen (1850).

Die veröffentlichte Studie von Forschern der Universität Oxford unter Beteiligung des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI/Hamburg) schlägt dennoch ziemliche Wellen: Die sogenannten Klimaskeptiker jubeln und betrachten sie als Bestätigung ihrer Zweifel, wonach nicht die Treibhausgase aus der Verbrennung von Kohle und Öl den Planeten erwärmen, sondern natürliche Faktoren wie etwa die Sonnenaktivität. Keine Entwarnung gibt hingegen Professor Jochem Marotzke, Direktor des MPI: „Diese Abschwächung der Temperaturerhöhung an der Erdoberfläche können wir mit unseren Modellen bisher nicht erklären, allerdings hat sich die Erde insgesamt weiter erwärmt, aber

diese Erwärmung hat vor allem in den tieferen Schichten der Ozeane stattgefunden.“

Fakten und Zusammenhänge sind geeignet, Klimalaiken gehörig zu verwirren. Auch deshalb, weil der Nicht-Forscher Wetter und Klima doch irgendwie als Zwillinge ansieht. Ihm erscheint ein strenger Winter spontan als Gegenbotschaft zum Klimawandel und Tropenhitze als dessen Bestätigung. Tatsächlich steckt hinter dem Klima ein komplexes Kräftespiel: Hier die natürlichen Kräfte, die das Erdklima zwischen kalt und warm hin- und herschubsen, dort der von einer Sieben-Milliarden-Menschheit angerührte wärmende Treibhausgas-Cocktail. Zudem können einige Ausdünstungen der Zivilisation auch kühlen, etwa freigesetzte Schwefelpartikel aus der Schwerindustrie. Alle Einflüsse können sich aufheben, verstärken und überlagern. Das klingt nach einer Sache, die so kompliziert ist, dass sie sich im Prinzip gar nicht vorhersagen lässt.

Es ist paradox: Während der Mensch zu einfachen Wahrheiten neigt und gelegentlich Wetter-Bauernregeln auswendig aufsagen kann, erklären Klimaforscher vermeintlich abstruse Zusammenhänge und globale Fernwirkungen: Mehr Kälte im Winter in Mitteleuropa durch weniger Eis in der Arktis. Mit anderen Worten:

Die globale Erwärmung kann regional sogar mehr Kälte verursachen.

Neben Schwefel, wie ihn auch Vulkane freisetzen, ist La Niña ein weiterer Gegenspieler des Erwärmungstrends – eine aus der Tiefe des Pazifiks aufsteigende Kaltwasserflut. Im Gegenzug werden große Wärmemengen in tiefere Ozeanschichten verfrachtet. Nach 1998 hat allein La Niña dreimal zugeschlagen. Die NASA berichtet, der Erwärmungstrend wäre ungebrochen, würden La-Niña-Effekte herausgerechnet. Ein dritter Abkühlungsfaktor spielt in Asien [...], denn selbst verbrannte Kohle kann kühlen, wenn sie viel Schwefel enthält.

Unterm Strich habe sich „das große Bild“, so Professor Hans Joachim Schellhuber, Leiter des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung, durch die Studie nicht verändert. Der Klimaberater der Bundesregierung sagte in den „Potsdamer Neuesten Nachrichten“: Wenn die „Anreicherung der tieferen Ozeanschichten mit der überschüssigen Wärme“ abgeschlossen sei, werde sich die Oberfläche wieder erwärmen – „und zwar schneller als zuvor“. [...].

Wolfgang Wiedlich, „Die Erde erwärmt sich langsamer“, in: General-Anzeiger Bonn vom 26. Juni 2012



picture alliance / ZB / Patrick Pleul

Der Klimawandel bedroht nicht nur die Gletscher (wie hier in Ostgrönland) ...



picture alliance / WILDLIFE / WILDLIFE / D.Perrine

..., sondern auch viele Lebensräume unter Wasser, wie etwa Korallenriffe in Australien.

schern gespeist wird. Die erhöhte Niederschlagsintensität auf der einen Seite und die Gefahr von höheren Extremtemperaturen und Trockenheiten auf der anderen Seite können die Nahrungsmittelversorgung in vielen Regionen gefährden. Sowohl der Anstieg des Meeresspiegels als auch die Niederschlagsintensitäten werden mit hoher Wahrscheinlichkeit die Überflutungsgefahr für einige Regionen der Erde verstärken, wobei besonders – aber keineswegs nur – die oft dicht besiedelten Küstenregionen betroffen sind. Die Verschiebung von Klima- und Vegetationszonen wird Gesundheitsprobleme – etwa durch Malaria, Dengue-Fieber oder Hitzestress – vergrößern.

Darüber hinaus werden viele Ökosysteme der Erde (von arktischen Lebensräumen bis zu australischen Unterwasser-Riffs) durch den globalen Klimawandel absehbar unwiederbringlich geschädigt.

Die Fähigkeiten der verschiedenen Gesellschaften, zumindest einige Effekte des Klimawandels abzuschwächen oder auszugleichen, sind höchst unterschiedlich. So ist die Verletzlichkeit vieler Entwicklungsländer mit Blick auf die Folgen des Klimawandels deutlich höher als die der hoch entwickelten Industriestaaten. Erstere leiden unter ungünstigeren klimatischen Vorbedingungen, Kapitalmangel, schlechterer Infrastruktur und Defiziten in der Bildung. Die Industriestaaten verantworten damit bisher, das heißt vor allem aus der historischen Perspektive, den größten Teil des anthropogenen Klimawandels. Dessen Folgen entstehen jedoch vor allem für die Entwicklungs- und Schwellenländer. Diese regionale Asymmetrie zwischen Verursachern und Betroffenen führt zu erheblichen Herausforderungen für die Klimapolitik.

Mit Blick auf die Handlungsnotwendigkeiten kommt dem „Zwei-Grad-Ansatz“ eine besondere Bedeutung zu. Demnach soll die Erhöhung der globalen Mitteltemperatur bis zum Ende dieses Jahrhunderts auf maximal zwei Grad Celsius im Vergleich zu dem Temperaturniveau in der vorindustriellen Zeit begrenzt werden. Als zusätzliche Bedin-

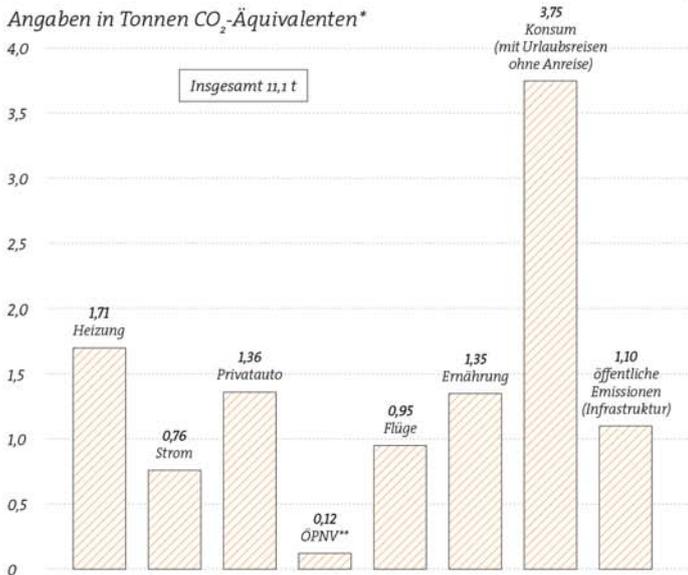
gung wird in einigen Analysen gefordert, neben dieser langfristigen Begrenzung die Geschwindigkeit des Temperaturanstiegs auf maximal 0,2°C pro Dekade (alle 10 Jahre) zu reduzieren. Dafür müssten die weltweiten Treibhausgasemissionen bis Mitte des Jahrhunderts um mindestens 50 Prozent zurückgeführt und danach massiv weiter reduziert werden.

Verursachende Bereiche

Aktuell liegen die weltweiten Treibhausgasemissionen – gemessen in Kohlendioxid-Äquivalenten – bei über 50 Milliarden Tonnen pro Jahr. Etwa 77 Prozent des gesamten Emissionsvolumens entfallen dabei auf Kohlendioxid und davon über drei Viertel auf die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger. Die verbleibenden CO₂-Emissionen stammen vor allem aus Änderungen der Landnutzung (Entwaldung in einigen Regionen der Erde) sowie aus bestimmten Industrieprozessen wie der Herstellung von Zement und Kalk.

Auf den Methan-Ausstoß entfallen etwa 16 Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen. Er wird vor allem durch die Landwirtschaft (Tierhaltung, Reisanbau) sowie die Abfall- und Energiewirtschaft verursacht. Etwa sieben Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen bestehen aus Lachgas, das ganz überwiegend ebenfalls durch die Landwirtschaft (Bodenbewirtschaftung) verursacht wird. Die synthetischen Treibhausgase (HFKW, FKW, FCKW, SF₆) spielen mit einem Anteil von etwa zwei Prozent im Vergleich zu den anderen Treibhausgasen noch keine wesentliche Rolle, doch auch sie werden durch den starken Anstieg der Emissionen in der jüngsten Vergangenheit zum Problem – insbesondere wegen ihrer teilweise extrem langen Lebenszeit.

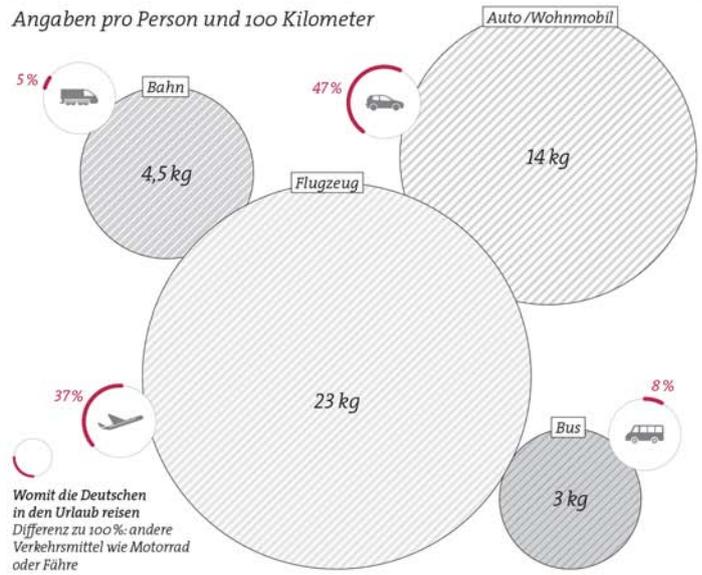
Wie viel CO₂ verursacht jeder Deutsche jährlich?



*Dabei werden andere Treibhausgase in CO₂ umgerechnet. Methan hat ein CO₂-Äquivalent von 25, ein Kilogramm Methan trägt also so stark zum Treibhauseffekt bei wie 25 Kilo CO₂. In der Grafik wurde mit durchschnittlicher Auslastung gerechnet: beim Auto 1,5 Personen, bei Fernzügen 44% und beim Flugzeug 73%. Das Umweltbundesamt lässt pro Erdbewohner 2,5 Tonnen zu, wenn die Erderwärmung bis 2050 nicht mehr als zwei Grad betragen soll. Der durchschnittliche Deutsche produziert jährlich rund 11 Tonnen. ** Öffentlicher Personen-Nahverkehr

Süddeutsche Zeitung vom 7. März 2013, Recherche Anna Oechslen, Hans Gasser, Grafik: Hassán Al Mohtasib; Quellen: Umweltbundesamt, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, FUR-Reiseanalyse 2013

Welche Menge Treibhausgase stoßen Verkehrsmittel aus?



picture alliance / ZB / Ian Woitas

Auch der Massentierhaltung in der Landwirtschaft wird ein großer Beitrag zum weltweiten Methan-Ausstoß nachgesagt.

Diese kurze Analyse zeigt bereits, dass Maßnahmen zur Verminderung des Treibhauseffekts besonders zwei Wirtschaftsbereiche berühren: die Energiewirtschaft und die Landwirtschaft – und damit also die Sicherheit der Energieversorgung und der Ernährung.

Anteilsstrukturen

Eine vertiefte Analyse der Verursacherstrukturen unterstreicht diese These. Etwa 43 Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger waren im Jahr 2010 der Kohlenutzung zuzurechnen, knapp 36 Prozent dem Verbrauch von Erdöl und etwa 20 Prozent dem Erdgaseinsatz. Eine besondere Rolle spielt die Stromerzeugung mit weltweit etwa 41 Prozent der energiebedingten CO₂-Emissionen. Den zweitgrößten Verursacherbereich bildet der Verkehrssektor mit einem Beitrag von etwa 22 Prozent, davon entfallen fast drei Viertel auf den Straßenverkehr. Der Emis-

sionsbeitrag der anderen Industriezweige liegt mit ungefähr 20 Prozent in einer ähnlichen Größenordnung. Die privaten Haushalte und der Dienstleistungssektor zeichnen weltweit für etwa elf Prozent der energiebedingten CO₂-Emissionen verantwortlich.

Auch wenn die Treibhausgasemissionen in allen Sektoren gesenkt werden müssen, verdeutlichen die Zahlen, dass ohne eine Änderung der Technologie- und Brennstoffbasis für die Stromerzeugung und den Verkehrssektor selbst massive Emissionsminderungen in den anderen Bereichen, wie zum Beispiel in Industrie und Haushalten oder in der Land- und Abfallwirtschaft, das Klimaproblem nicht lösen können.

Bemerkenswert ist auch, wer im weltweiten Vergleich wie viel zu den Treibhausgasemissionen, beiträgt. Die Industriestaaten verursachen derzeit knapp 40 Prozent der globalen Treibhausgasemissionen, und ihr Anteil an den energiebedingten Kohlendioxid-Emissionen liegt bei etwa 50 Prozent. Die wesentlich von der Landwirtschaft verursachten Methan-Emissionen entfallen dagegen zu knapp drei Vierteln auf die Entwicklungsländer, die Industriestaaten verantworten hier nur etwas mehr als ein Viertel.

Nachdem über viele Jahre die europäischen, nordamerikanischen und pazifischen OECD-Staaten sowie Russland den weltweit größten Verursacherblock gebildet haben, stammt inzwischen der größere Teil der weltweiten Treibhausgasemissionen im Ganzen wie auch der CO₂-Emissionen im Speziellen aus den stark wachsenden Volkswirtschaften der Entwicklungs- und Schwellenländer vor allem in Asien und Südamerika. So stehen der EU mit energiebedingten CO₂-Emissionen von ca. 3,98 Mrd. t CO₂ und den USA mit etwa 5,79 Mrd. t CO₂ sowie Russland (1,7 Mrd. t CO₂) und Japan (1,4 Mrd. t CO₂) inzwischen Staaten wie China (9,3 Mrd. t CO₂) oder Indien (1,8 Mrd. t CO₂) gegenüber (alle Daten für 2012). In einigen Ballungsräumen der Entwicklungs- und Schwellenländer werden inzwischen Pro-Kopf-Emissionen wie in einigen Industriestaaten erreicht.

Auch wenn die OECD-Staaten den weitaus größten Teil der historischen Verantwortung für den Klimawandel tragen und die Pro-Kopf-Emissionen der meisten Entwicklungs- und Schwellenländer oft noch auf vergleichsweise niedrigem Niveau liegen – zur notwendigen Trendumkehr bei den Treibhausgasemissionen werden daher spätestens mittelfristig auch die Nicht-OECD-Staaten deutlich beitragen müssen.

In den vergangenen Jahren wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um Optionen zur Treibhausgas-Vermeidung zu entwickeln und kostengünstiger zu gestalten. So sind in puncto Energieeffizienz, erneuerbare Energien, Industrieprozesse, CO₂-Abtrennung oder Materialeffizienz erhebliche Fortschritte erzielt worden. Wenn die Treibhausgasemissionen innerhalb eines engen Zeitrahmens und in einem beträchtlichen Ausmaß gesenkt werden sollen, um die Auswirkungen des globalen Klimawandels in seinen verschiedenen Dimensionen in noch tolerierbaren Grenzen zu halten, muss das Innovationstempo für technologische, wirtschaftliche und soziale Ansätze und Lösungen allerdings erheblich gesteigert werden.

Internationale Klimaschutzkonferenzen

Im Vergleich zu anderen globalen Politikfeldern hat sich die internationale Klimapolitik rasant entwickelt. Den Anlass für die erste internationale Klimakonferenz bildete eine Reihe von Klima-anomalien (vor allem starke Dürre- und Trockenperioden), die während der 1970er-Jahre in unterschiedlichen Regionen der Welt aufgetreten waren. Vom 19. bis 23. Februar 1979 wurden unter Schirmherrschaft der *World Meteorological Organization* (WMO) die Konsequenzen vorliegender Modellrechnungen erstmals eingehend diskutiert und eine langfristig merkbare Klimaänderung durch den Anstieg der CO₂-Konzentration in der Erdatmosphäre prognostiziert. Ihre Schlüsselrolle für die Entwicklung des Politikfeldes Klimaschutz erlangte die Konferenz durch einen breit angelegten Aufruf, der Entwicklung des Klimas größere Beachtung zu schenken. Die folgenden Jahre standen im Zeichen umfassender internationaler Forschungsprogramme, die die Wahrscheinlichkeit von Klimaänderungen durch Treibhausgase erhärteten.

Die Tagungen 1987 in Villach, Österreich und in Bellagio, Italien sowie der im gleichen Jahr vorgelegte Brundtlandbericht markierten den Übergang von der naturwissenschaftlichen Bestandsaufnahme des Treibhauseffektes zur politischen Diskussion über Maßnahmen zu seiner Eindämmung.

Die Klimakonferenz von Toronto (27. bis 30. Juni 1988) formulierte auf internationaler Ebene – und in der Diskussion zwischen Wissenschaft und Politik – erstmals konkrete klimapolitische Zielvorgaben („Toronto-Ziel“): Die Konferenz empfahl bis zum Jahr 2050 eine Reduktion von CO₂ und anderen Klimagasen um mehr als 50 Prozent. In einem ersten Schritt sollten dabei zwischen 1988 und 2005 der Energiewirkungsgrad um zehn Prozent gesteigert und die Klimagasemissionen global um 20 Prozent vermindert werden.

Im November 1988 wurde von der WMO und dem Umweltschutzprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) das *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) eingesetzt. Es stellt wissenschaftliche Erkenntnisse über Kli-

maänderungen zusammen und bewertet sie. Ferner soll das IPCC realistische und international akzeptierte Strategien zur Bewältigung des zusätzlichen Treibhauseffektes formulieren. Die Arbeit des IPCC ist auf Konsens angelegt, viele Wissenschaftler sind eingebunden. Wenn auch die Arbeitsweise und auch die Ergebnisse des IPCC an einzelnen Stellen immer wieder kritisiert wurden, hat sich das IPCC zu einem der einflussreichsten Expertengremien weltweit entwickelt.

Klimarahmenkonvention und Kyoto-Protokoll

Es folgten eine Reihe von Konferenzen; die bedeutendste fand schließlich im Jahr 1992 auf Einladung der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro statt. Das Ziel der dort beschlossenen Klimarahmenkonvention besteht darin, „die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre auf einem Niveau zu erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird“. Der notwendige Zeitrahmen für diese Stabilisierung wurde in der Konvention so bestimmt, „dass sich die Ökosysteme auf natürliche Weise den Klimaänderungen anpassen können, die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht wird und die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann“.

Im April 1995 folgte die erste Vertragsstaaten-Konferenz der Klimarahmenkonvention in Berlin. Hier wurde die „Ad Hoc Gruppe zum Berliner Mandat“ beauftragt, bis zur dritten Vertragsstaaten-Konferenz im japanischen Kyoto einen Vorschlag für verbindliche Zeit- und Zielvorgaben zur Reduktion der Treibhausgasemissionen zu erarbeiten.

Nach harten Verhandlungen wurde 1997 dort das sogenannte Kyoto-Protokoll verabschiedet, das am 16. Februar 2005 in Kraft trat.

Das völkerrechtlich verbindliche Kyoto-Protokoll schreibt den OECD-Staaten sowie den ehemals sozialistischen Industriestaaten unter anderem eine Reduktion der Emission von insgesamt sechs Treibhausgasen (CO₂, CH₄, N₂O, FKW, HFKW, SF₆) vor. Ihr Ausstoß sollte von 2008 bis 2012 um circa fünf Prozent verringert werden.

Die einzelnen Staaten verpflichteten sich auf unterschiedliche Emissionsmengen (Kanada, Japan, Ungarn und Polen -6 Prozent, USA -7 Prozent, Europäische Union und ihre Mitgliedstaaten sowie Tschechien -8 Prozent, Russland, Ukraine und Neuseeland ±0 Prozent, Norwegen +1 Prozent sowie Australien +8 Prozent). Um das Gesamtziel möglichst schnell und kostengünstig zu erreichen, sollten flexible Lösungen erlaubt sein. Industrieländer können sich für die Durchführung von Klimaschutzprojekten in Entwicklungsländern oder auch in anderen Industrieländern die dort vermiedenen Emissionen gutschreiben lassen. Zu den „flexiblen Mechanismen“ gehört auch der Emissionshandel.

In den nachfolgenden Vertragsstaaten-Konferenzen wurden die Details dieser Vorgaben in teilweise sehr schwierigen Verhandlungen ausgearbeitet. Obwohl die USA und Australien ihren Ausstieg aus den Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls erklärt hatten (Australien trat dem Kyoto-Protokoll 2008 dann schließlich doch bei, während Kanada das Protokoll im Jahr 2012 verließ), trat das Protokoll schließlich, 90 Tage, nachdem Russland es ratifiziert hatte, am 16. Februar 2005 in Kraft. Denn damit war eine doppelte Voraussetzung erfüllt: Mindestens 55 Staaten, die mindestens 55 Prozent der Treibhausgasemissionen aus den Industriestaaten verursachen, mussten das Protokoll ratifizieren, damit es in Kraft treten konnte.



AFP / Getty Images / Karim Jaafar

Schwierige Verhandlungen: Ende 2012 trafen sich in Doha (Katar) Vertreter der Vertragsstaaten der UN-Klimarahmenkonvention, um über Maßnahmen für den internationalen Klimaschutz zu beraten.

Der Bericht zu den wirtschaftlichen Aspekten des Klimawandels, 2006 erstellt durch den früheren Weltbank-Ökonomen Sir Nicholas Stern im Auftrag der britischen Regierung, und der vierte Sachstandsbericht des IPCC von 2007 erhärteten nochmals die wissenschaftlichen Belege für den vom Menschen verursachten Klimawandel. Seine Folgen wurden in den Berichten als immer gravierender bewertet, gleichzeitig erwiesen sich die erwarteten Kosten für entsprechende Gegenstrategien als überschaubar. Daraufhin erhielt Klimaschutz weltweit einen neuen Stellenwert auf der politischen Agenda. So stellte die Gruppe der G8-Staaten auf ihrem Treffen in Heiligendamm (Deutschland) im Juni 2007 den Klimaschutz als zentrale Aufgabe heraus, und der IPCC sowie der ehemalige US-Vizepräsident Al Gore erhielten für ihren Einsatz zum Klimaschutz den Friedensnobelpreis. Auf der 13. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention im indonesischen Nusa Dua auf Bali zielten die Verhandlungen auf eine Anschlusslösung für

das Kyoto-Protokoll sowie auf neue und umfassender angelegte Verpflichtungen.

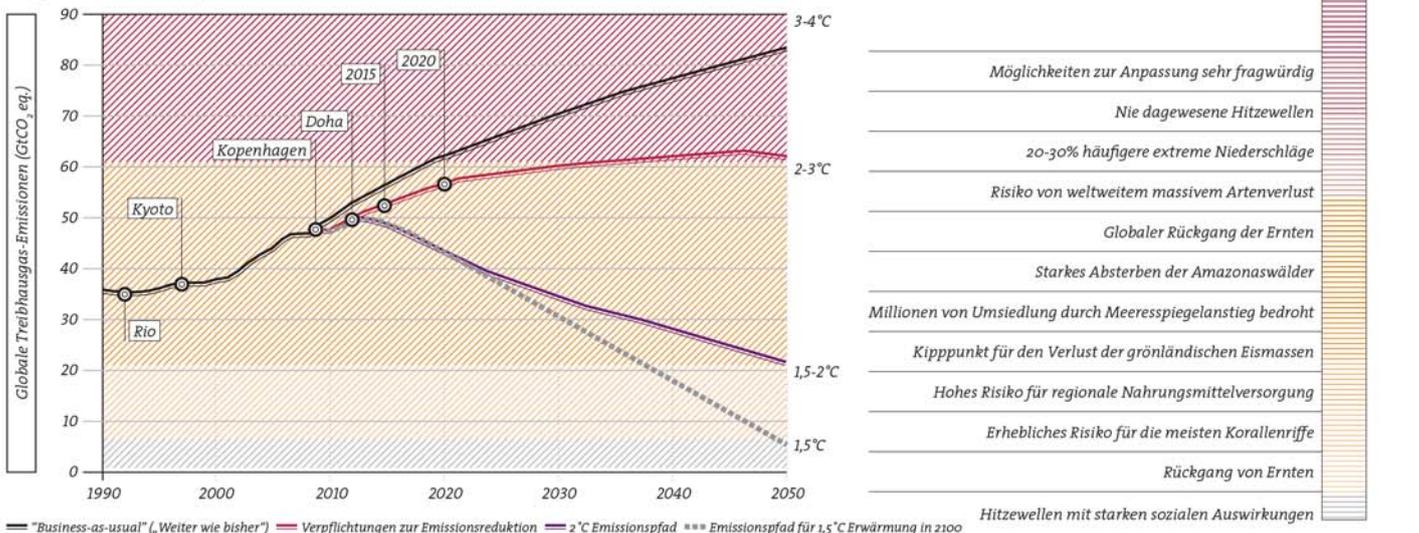
Die mit großen Erwartungen verbundene 15. Vertragsstaatenkonferenz 2009 im dänischen Kopenhagen scheiterte am Ziel, völkerrechtlich verbindliche Weichenstellungen für internationale Vertragswerke zum Klimaschutz vorzunehmen. Hervorzuheben ist jedoch, dass sich in Kopenhagen bzw. danach erstmals eine Reihe von Entwicklungs- und Schwellenländern ausdrücklich zu Treibhausgasminderungen verpflichtete.

Auch die nachfolgenden Klimakonferenzen in Cancún (Mexiko, 2010), Durban (Südafrika, 2011) und Doha (Katar, 2012) versuchten vergeblich, völkerrechtlich verbindliche Regelungen zur Minderung der Treibhausgasemissionen voranzubringen. In Doha konnte lediglich eine zweite Verpflichtungsperiode für das Kyoto-Protokoll (bis 2020) beschlossen werden. Für diese haben sich insgesamt 35 Staaten, das heißt alle derzeitigen EU-Staaten sowie Australien, Island, Norwegen, die Schweiz, Belarus, Kasachstan und die Ukraine (die drei letztgenannten Staaten allerdings nur unter Vorbehalt), völkerrechtlich verbindlichen Emissionsbegrenzungen unterworfen. Japan, Neuseeland und Russland traten der zweiten Verpflichtungsperiode nicht mehr bei, die anderen Länder mit hohem Ausstoß an Treibhausgas (Großemittenten) übernahmen weiterhin keine völkerrechtlich verbindlichen Verpflichtungen. Ziel der Verhandlungen ist nunmehr die Verabschiedung eines Vertrages auf der 21. Vertragsstaatenkonferenz im Jahr 2015, die in Paris stattfinden soll. Dieser Vertrag soll dann im Jahr 2020 in Kraft treten, wenn die zweite Phase des Kyoto-Protokolls endet.

Auch wenn sich die internationalen Verhandlungen zu völkerrechtlich verbindlichen Emissionsgrenzen weiterhin sehr schwierig gestalten und unter den Großemittenten nur die EU zu verbindlichen Verpflichtungen bereit ist, haben sich im Nachgang zu den freiwilligen Verpflichtungen der Klimakonferenz in Kopenhagen international vielfältige, teilweise sehr ehrgeizige nationale Klimapolitiken und Ziele entwickelt (z. B. in einzelnen Bundesstaaten der USA, in Mexiko, Südkorea, China und Südafrika), die erstmals auch von wichtigen Schwellenländern verfolgt werden.

Unter 2°C: Wir haben die Wahl

Mit den aktuellen Verpflichtungen zur Emissionsreduktion sind wir auf dem Weg zu einer Erwärmung von 3,3°C. Ohne zusätzliche Maßnahmen vor 2020 werden zukünftig die Wahlmöglichkeiten der Gesellschaft eingeschränkt sein. Steigende Temperaturen bedeuten steigende Auswirkungen.



© www.climateactiontracker.org Ecofys / Climate Analytics / PIK

Rolle der EU

Neben ihren einzelnen Mitgliedstaaten ist auch die Europäische Union (EU) als Ganzes der Klimarahmenkonvention und dem Kyoto-Protokoll beigetreten.

Nachdem sich Ende der 1990er-Jahre herausstellte, dass die Mitgliedstaaten ihre Ziele mit isolierten Aktivitäten nicht erreichen würden, hat die EU eine Reihe von Richtlinien und anderen Maßnahmen initiiert, um die Verpflichtungen im Rahmen des Kyoto-Protokolls erfüllen zu können. Dazu gehören technologieorientierte Schritte wie Richtlinien zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, zur Einführung von Biokraftstoffen, zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung, zur Verbesserung der Energieeffizienz in Gebäuden sowie Vereinbarungen zu Höchstverbrauchsstandards von Geräten. Darüber hinaus hat die EU ein eigenes CO₂-Emissionshandelssystem für die energieintensiven Industrien etabliert sowie die Energiebesteuerung erstmals harmonisiert und verschiedene EU-weite Forschungsprogramme initiiert. Die Klammer für die Klimaschutzpolitik bildet das Klimaschutz-Aktionsprogramm der EU (European Climate Change Programme – ECCP).

Eine neue Phase für die Klimapolitik der EU begann mit dem Ratsbeschluss vom März 2007, in dem sich die EU (mit nunmehr 27 Mitgliedstaaten) dazu verpflichtete, ihre Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um 30 Prozent unter die Niveaus von 1990 zu senken, wenn andere Staaten ähnliche Verpflichtungen übernehmen würden, anderenfalls sagte Brüssel eine Minderung der Emissionen von 20 Prozent zu. Im Nachgang zu diesen Beschlüssen unternahm die EU eine Vielzahl von Aktivitäten im Bereich der Klimaschutzpolitik. Vor allem dem im Januar 2008 vorgelegten Klimaschutz- und Energiepaket, unter anderem mit Regelungen zur Weiterentwicklung des EU-Emissionshandels, zu Verbrauchsgrenzwerten für Fahrzeuge und Geräte sowie zur Abscheidung und Ablagerung von CO₂ in geologischen Formationen, kommt eine Schlüsselrolle zu. Insgesamt basiert das 2008 beschlossene Energie- und Klimapolitik-Paket der EU auf den drei Zielen einer Emissionsreduktion um 20 Prozent, einem Ausbau der erneuerbaren Energien auf 20 Prozent des Energieaufkommens sowie einer Minderung des Primärenergieverbrauchs um 20 Prozent. Mit diesen Regelungen vollzieht sich ein deutlicher Wandel im Verhältnis zwischen nationaler und EU-Klimapolitik. Während die EU-Klimapolitik in den 1990er-Jahren

allenfalls eine additive Rolle zu den nationalen Ansätzen in der Klimapolitik bildete, erfasst sie zumindest als (verbindliche) Rahmensetzung inzwischen mehr als 75 Prozent der Emissionsminderungen.

Im Jahr 2009 einigten sich die Staatenchefs der EU auf langfristige Ziele für die Minderung der Treibhausgasemissionen. Im Vergleich zu 1990 sollen diese bis zum Jahr 2050 um 80 bis 95 Prozent zurückgeführt werden. Auf der Basis dieser Vorgaben präsentierte die Europäische Kommission im Jahr 2011 langfristige Roadmaps für die Entwicklung einer CO₂-armen Volkswirtschaft, eines CO₂-armen Verkehrssektors und eines CO₂-armen Energiesystems. Dafür wurden umfangreiche Analysen zu technologischen Aspekten, Kosten und politischen Konsequenzen langfristig angelegter Dekarbonisierungsstrategien (aber auch der Alternative von Nicht-Handeln) ange stellt. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass langfristig angelegte Strategien für sehr weitreichende Reduktionen der Treibhausgasemissionen für die EU möglich und zu vertretbaren Kosten umsetzbar sind.

Das wichtigste EU-weit einheitliche Klimaschutzinstrument bildet das EU-Emissionshandelssystem für Treibhausgase. Von diesem werden EU-weit ca. 11 000 Industrieanlagen mit insgesamt etwa 45 Prozent der Treibhausgasemissionen in der EU erfasst. Dieses Cap-and-Trade-Instrument definiert eine Obergrenze für die zulässigen Emissionen, gibt die entsprechende Menge von CO₂-Zertifikaten in den Markt, und überlässt es den einzelnen Anlagenbetreibern, ob sie Emissionsminderungsmaßnahmen ergreifen, ggf. überschüssige CO₂-Zertifikate verkaufen oder auf dem Markt CO₂-Zertifikate erwerben. Nach einigen Anlaufschwierigkeiten in der Pilotphase (2005-2007) wurde das System in der zweiten Phase (2008-2012) angepasst und 2008 für die dritte Phase (2013 bis 2020) neu ausgerichtet. Diese Veränderungen betrafen vor allem eine deutliche Reduktion der Menge an CO₂-Zertifikaten, die den Anlagenbetreibern kostenlos zugeteilt werden, sowie die langfristige Ausrichtung des Systems, das nun (rechtlich verbindlich) ein Emissionsminderungsziel für die erfassten Anlagen von über 70 Prozent gegenüber 2005 definiert. Nachdem das System über einige Jahre gut funktioniert hatte, ergab sich im Zuge der europäischen Finanz- und Wirtschaftskrise ab 2009 sowie durch den massiven Zufluss von Emissionsminderungszertifikaten aus dem Ausland ein weitreichender Überschuss an CO₂-Zertifikaten, der zu einem Verfall

der CO₂-Preise führte. Die Anreize für CO₂-armes Wirtschaften entfallen damit weitgehend. Ob es gelingt, diese Situation kurzfristig zu bereinigen, ist offen. In jedem Fall bleibt die entsprechende Reform des EU-Emissionshandels auf der politischen Agenda.

Schließlich nimmt die EU im internationalen Klimaschutzprozess eine Schlüsselrolle ein. Ihren vielfältigen Anstrengungen während der Verhandlungen ist es zu verdanken, dass das Kyoto-Protokoll beschlossen werden konnte. Erst durch ihr massives Einwirken auf Russland wurden die russische Ratifikation des Protokolls und damit dessen Inkrafttreten möglich, nur durch ihr Engagement konnte das Kyoto-Protokoll für eine zweite Periode verlängert werden. Die EU hat sich damit als wichtige Akteurin in der globalen Klimaschutzpolitik etabliert, spielt sowohl unter den Industriestaaten als auch gegenüber den Entwicklungs- und Schwellenländern eine zentrale Rolle und genießt einen erheblichen Vertrauensvorsprung. Allerdings ist die sehr weitgehende Vorreiterrolle der EU durch interne Konflikte zum Ambitionsniveau der Klimapolitik durchaus gefährdet.

Felix Christian Matthes

So funktioniert der europäische Emissionshandel:

Die EU setzt eine Obergrenze für den CO₂-Ausstoß fest, die jährlich reduziert wird (2,04 Mrd. Tonnen im Jahr 2013).

Für diese Menge werden Zertifikate ausgegeben. Ein Zertifikat entspricht einer Tonne CO₂.

Kraftwerksbetreiber müssen Zertifikate ersteigern: Industriebetriebe erhalten einige Zertifikate kostenlos. Die kostenlose Zuteilung soll bis 2020 schrittweise reduziert werden.

Für Anlagen, die zu viel CO₂ ausstoßen, müssen zusätzliche Zertifikate an einer speziellen Börse ersteigert werden. Hier bestimmen Angebot und Nachfrage den Preis. Derzeit liegt der bei gut vier Euro pro Tonne CO₂.

Alternativ können die Unternehmen in umweltverträglichere Technik investieren und so ihren CO₂-Ausstoß reduzieren.

Dadurch nicht genutzte Zertifikate können dann an der Börse verkauft werden.

Begleittext zur ZEIT-Grafik „Ausgeklügelt. So funktioniert der europäische Emissionshandel“, in: DIE ZEIT Nr. 29 vom 11. Juli 2013

Hans-Peter Beck / Jens-Peter Springmann

Das Stromnetz im Zeichen der Energiewende

Die Versorgungssicherheit im Stromnetz ist ein hohes Gut. Um sie zu gewährleisten, müssen einige technische Grundvoraussetzungen gegeben sein. Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien aber wird eine konstante Leistungsbereitstellung zur Herausforderung. Deshalb sollen künftig intelligente Netze und neue Speicheranlagen bzw. -technologien eingesetzt werden.



picture alliance / ZB / Jens Bittner

Strom auf dem Weg zum Verbraucher: neue Strommasten für eine 110-Kilovolt-Freileitung in der Nähe von Kummer (Mecklenburg-Vorpommern)

Das elektrische Energiesystem (Stromnetz) hat die Aufgabe, den in Kraftwerken und erneuerbaren Energieanlagen erzeugten Strom zuverlässig zum Nutzer zu bringen. Strom lässt sich in großen Mengen nicht speichern, sondern wird meist direkt ins Netz eingespeist. Erneuerbare Quellen wie Wind und Sonne liefern ihn jedoch – abhängig vom Wetter – nicht gleichmäßig, sondern schwankend. Um die Stabilität des Stromnetzes nicht zu gefährden und die notwendige Netzfrequenz von 50 Hertz (Hz) zu garantieren, werden daher sogenannte *Must run*-Kraftwerke zugeschaltet. Sie halten die Versorgungssicherheit aufrecht, indem sie abhängig von der eingespeisten Menge der Wind- und Photovoltaikenergie ergänzend Strom ins Netz liefern. So soll vermieden werden, dass es insbesondere bei einer „dunklen Flaute“ zur vollständigen Stromunterbrechung kommt. Die *Must run*-Kapazität wird bisher noch überwiegend von konventionellen Kraftwerken erbracht. Wollte man diese Aufgabe alleine den – relativ umweltschonenden – Gaskraftwerken überlassen, müsste mehr Gasspeicherkapazität vorhanden sein. Denn ohne diese Speicher würde die laufende Entnahme stark schwankender Gasströme unzulässige Druckschwankungen

im Gasnetz auslösen. Zum jetzigen Zeitpunkt, an dem der Anteil der erneuerbaren Energie am Energiemix 25 Prozent beträgt, die Kernkraftwerke zur Unterstützung wegfallen und es noch keine genügende Speicherkapazität gibt, gewährleisten daher vorwiegend Kohlekraftwerke die System-sicherheit, ergänzt durch das Abregeln, also das Begrenzen von Wind- und Photovoltaikanlagen bei Stromüberangebot. Der verstärkte Einsatz von Kohlekraftwerken hat allerdings die unliebsame Folge, dass heute wieder mehr CO₂-Emissionen als zu Zeiten der Kernkraft-Ära entstehen. Wenn dies vermieden und der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung wie vorgesehen weiter zunehmen soll, müssen Gaskraftwerke flexibler leistungsfähig gemacht und Gas- und Stromnetze enger gekoppelt werden, um die guten Speichereigenschaften von Gasnetzen zum Erhalt der Versorgungssicherheit nutzen zu können. Eine wichtige Rolle wird dabei dem Bau von Gas- und Stromspeichern, wie beispielsweise Pumpspeicher- und Batteriespeicher-Kraftwerken, zukommen. Diese Maßnahmen benötigen Zeit und finanzielle Mittel und bedeuten neue Herausforderungen für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft.

Technische Grundvoraussetzungen

Frequenzstabilität im Verbund

Der elektrische Strom muss möglichst störungsfrei zum Verbraucher gelangen. Dazu dient das Stromnetz, das unter anderem aus Freileitungen, Kabeln, Transformatoren und Schaltern besteht. Es leitet elektromagnetische Wellen nahezu mit Lichtgeschwindigkeit und einer Wellenlänge von 6000 km bei 50 Hz Netzfrequenz weiter. Stromangebot und -nachfrage müssen jederzeit bei einer konstanten Netzfrequenz von 50 Hz im Gleichgewicht gehalten werden. Abweichungen, hervorgerufen durch das Ein- und Ausschalten von Lasten (<100 MW), werden sofort durch rotierende Schwungmassen in den Kraftwerken ausgeglichen. Bei Unterfrequenzen, wenn also mehr Energie nachgefragt wird oder wenn ein Kraftwerk überraschend ausfällt, dient diese kinetische Energie als Sofortreserve mit Leistungen von ca. 100 bis 1000 MW. Sinkt die Frequenz beispielsweise um ein Hz in einer Sekunde, stützen die deutschen Kraftwerke das Netz augenblicklich mit ca. zehn GW mechanischer Leistung. Durch die Erhöhung des Drehmomentes an den Generatorwellen übernehmen sie die fehlende Einspeiseleistung und heben die Frequenz wieder auf 50 Hz an. Beim Abschalten von Lasten geschieht das Umgekehrte. Dieser Mechanismus funktioniert nur, wenn alle Kraftwerke elektrisch über Leitungen miteinander synchron, das heißt mit gleicher Frequenz, verbunden sind und sich gegenseitig stützen. Ein solches Verbundnetz besteht in Deutschland seit circa 100 Jahren. Im europäischen Verbundnetz stellen alle Betreiber zur Netzstützung stets mindestens zwei Prozent ihrer Kraftwerksleistung bereit, die innerhalb von 30 Sekunden verfügbar sein müssen.

Die Frequenz von 50 Hz im Verbundnetz ist somit das Maß aller Dinge für ein stabiles Netz. Nur in signifikanten Störfällen, wenn beispielsweise ein Kraftwerkblock von 600 MW ausfällt, gibt es Abweichungen von bis zu $\pm 0,5$ Hz und mehr. Bei höheren Frequenzabweichungen besteht die Gefahr regionaler Stromausfälle.

Die Versorgungssicherheit ist ein hohes Gut und ein wichtiger Standortfaktor. Mit Ausfallzeiten von weniger als 20 Minuten pro Jahr ist das deutsche Verbundnetz (mit Spannungen ≤ 380 kV und einem angeschlossenen Verteilnetz mit Spannungen ≤ 110 kV) extrem zuverlässig, wobei diese Berechnung allerdings nur Ausfälle von drei Minuten und mehr berücksichtigt. Doch nehmen, wie berichtet wird, kürzere Ausfälle und Spannungsschwankungen zu. Sie gilt es beim verstärkten Übergang auf erneuerbare Energien beherrschbar zu machen beziehungsweise zu vermeiden.

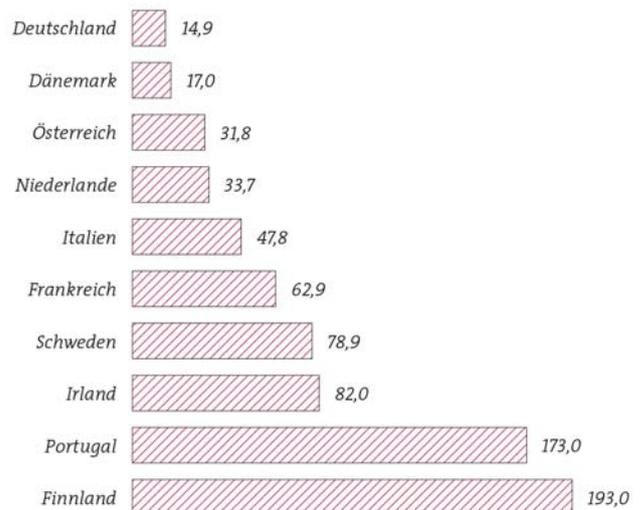
Blindleistung, Spannung und Schutz

Eine stabile Netzspannung ist erforderlich, um die Funktion der an den Strom angeschlossenen Geräte nicht zu gefährden und diese bei Überspannungen infolge von Instabilitäten vor

Nur wenig Stromausfälle in Deutschland



Durchschnittliche Unterbrechungsdauer der Stromversorgung 2010 je Kunde in Minuten*



* ungeplante Unterbrechungen ohne außergewöhnliche Ereignisse (höhere Gewalt)

LUX 03/2013, S.25; Quellen: BDEW, 5th CEER Report on the Quality of Electricity Supply 2011

Zerstörung zu bewahren. Um das zulässige Spannungsband in jedem Einspeise- und Lastfall einzuhalten, stellen die Netzbetreiber zusammen mit den Kraftwerken die hierfür erforderliche Blindleistung bereit. Sie wird zum Beispiel in den Kraftwerksgeneratoren durch ein starkes Magnetfeld nach dem Induktionsgesetz erzeugt und sorgt für die notwendige Netzspannung, die den Strom durch den elektrischen Verbraucher treibt. Spannung und Strom zusammen ergeben schließlich die gewünschte elektrische Leistung, die in Motoren, zum Beispiel in Kraft, umgesetzt wird. Zu viel Blindleistung im Netz führt zu Überspannungen und umgekehrt. Die Energieversorger sorgen auch hier jederzeit für einen Ausgleich zwischen Blindleistungsangebot und -nachfrage.

Elektrische Netze können durch Brände Sach- und Personenschäden auslösen und durch Übergreifen auf „gesunde“ Netzabschnitte weitere Ausfälle hervorrufen. Um dies zu vermeiden, gibt es die Schutztechnik in Gestalt von Sicherungen und Leistungsschaltern, die im Störfall im 0,1-Sekundenbereich eingreift und „kranke“ Netzbereiche gezielt abschaltet. Um die Schutztechnik auszulösen, muss neben der Anschlussleistung auch eine circa zehnmal höhere Kurzschlussleistung am Fehlerort vorhanden sein.

Auch ein ausgeglichener Blindleistungshaushalt und die Bereitstellung der Kurzschlussleistung erfordern neue Technologien, wenn konventionelle Kraftwerke zugunsten erneuerbarer Energien zurückgehen und trotzdem die hohe Netzsicherheit sowie der Sach- und Personenschutz aufrechterhalten werden sollen.

Blackout – eine Katastrophe und wie man ihr begegnet

[...] **DIE ZEIT:** Herr Homann, haben Sie einen Notstromgenerator zu Hause?

Jochen Homann: Nein, das wäre auch ein komisches Signal. Die Bundesnetzagentur ist aber so vorbereitet, dass bei einem Stromausfall ein Krisenstab arbeitsfähig wäre.

Marc Elsberg: Viele Krankenhäuser, Behörden und Hilfsdienste haben für ein bis zwei Tage Diesel gebunkert. Dummerweise haben viele Tankstellen aber keine Notstromversorgung und können auch keinen Diesel abfüllen. Ein mehrtägiger Blackout wäre eine Katastrophe. [...]

ZEIT: In Ihrem Roman Blackout kommt es fast zum Bürgerkrieg, weil Nahrung knapp wird; Seuchen breiten sich aufgrund mangelnder Hygiene aus, es herrscht Chaos. Ursache ist in diesem Fall kein Wirbelsturm, sondern ein Hackerangriff von Terroristen auf sensible Punkte der Stromversorgung. [...]

Elsberg: Als ich 2008 zu schreiben begann, war ein solcher Angriff noch Fantasie. Dann hat der Angriff des Computerwurms Stuxnet auf Atomkraftwerke im Iran gezeigt, dass das Realität werden kann. Im Moment werden noch verschiedene Generationen von Software in Kraftwerken eingesetzt. Das Problem: Die jüngeren Systeme, die standardisierte Komponenten enthalten, lassen sich einfacher manipulieren. Durch den Ausbau der Stromnetze zum Smart Grid bekommen wir es mit Sicherheitsrisiken zu tun, wie sie bei Kreditkartenfirmen wöchentlich sichtbar werden.

ZEIT: Und dann?

Homann: Der Wettlauf zwischen IT-Sicherheit und Hackern hat längst begonnen.

ZEIT: Derzeit kümmern sich die Betreiber um die Sicherheit. Reicht das?

Homann: Ja, das geht gar nicht anders. Nur sie kennen die Systeme gut genug, deshalb liegt die Verantwortung bei ihnen. Die Betreiber wissen das, und wir sollten auch nicht vergessen, dass eine sichere Stromversorgung in ihrem ureigenen Interesse ist.

Elsberg: Durch die Energiewende nehmen aber gerade die sensiblen Schnittstellen zu, weil Stromproduzenten, Netzbetreiber und Endverbraucher stärker miteinander vernetzt werden. Wer kümmert sich um die?

Homann: Die Schnittstellen sind eine Herausforderung. Dass etwa das Cyberabwehrzentrum gegründet

wurde, zeigt aber doch, dass die Regierung dies erkannt hat.

ZEIT: Ein zweiter Angriffspunkt im Roman sind die intelligenten Stromzähler, die in Neubauten bereits vorgeschrieben sind. Tatsächlich hat das FBI gewarnt, man könne diese Smart Meter von außen manipulieren.

Homann: Sicher, je mehr man sich vernetzt, desto mehr Angriffspunkte gibt es. Aber Panik ist nicht angebracht. Für vernetzte Smart Meter wird intensiv an Vorgaben zum Datenschutz und zur Datensicherheit gearbeitet, sodass die Gefahr von Angriffen minimiert wird.

Elsberg: Na ja, ganz sicher wird man solche Stromzähler nie machen können. Deshalb muss dafür gesorgt werden, dass nicht das ganze Netz abstürzt, wenn Teile davon manipuliert werden.

ZEIT: Was geschähe, wenn alle Haushalte gleichzeitig vom Netz gingen?

Homann: Das wäre ein Riesenproblem. Die Haushalte verbrauchen ein Drittel des Stroms in Deutschland. Wenn diese Nachfrage schlagartig ausfiele, würde das Netz zusammenbrechen.

Elsberg: Deswegen gab es auch immer Bedenken bei der gut gemeinten Energiespar-Aktion, für eine Stunde das Licht auszuschalten. Ein Drama, wenn alle mitmachen würden!

ZEIT: Auch das Versagen wichtiger Knotenpunkte kann ein Stromnetz lahmlegen, wie man [...] in den USA gesehen hat. Eine Gefahr auch in Europa?

Homann: Das Netz wird nach dem „N-1“-Kriterium angelegt. Das heißt, es funktioniert auch dann noch, wenn eine wichtige Leitung oder ein Kraftwerk ausfällt. Dieses Prinzip hat sich als Grundlage der Versorgungssicherheit hierzulande bewährt.

Elsberg: Es gibt allerdings den Hauptrisikofaktor Mensch, der das „N-1“-Prinzip außer Kraft setzen kann. Das ist 2006 in Papenburg passiert, als eine Stromleitung abgeschaltet wurde, damit ein Kreuzfahrtschiff unter ihr durchfahren konnte. Vom Ruhrgebiet bis nach Spanien gingen die Lichter aus. [...]

ZEIT: Gehen wir nun einmal davon aus, es kommt [im] Winter zu einem Blackout. Was dann? [...]

[Homann:] [...] Würde es zu einem flächendeckenden Stromausfall kommen, würden die Netzbetreiber

zuerst schwarzstartfähige Kraftwerke wieder hochfahren[...], die unabhängig vom Stromnetz gestartet werden können. Sie würden dann mit selbstständig versorgten Netzgebieten zusammengeschaltet werden. So würde das Gesamtnetz sukzessive wieder aufgebaut.

Elsberg: Die Ursachenforschung darf man natürlich nicht vergessen. Wenn der Stromausfall sich schnell über eine große Fläche ausbreitet, wird das nicht einfach. Die Serviceteams müssten dann erst einmal eine Menge Leitungen checken. Das kann Tage dauern, bis klar ist, wo zum Beispiel Masten umgeknickt sind, wie das im Winter 2005 im Münsterland der Fall war.

ZEIT: Wie sieht es mit der Kommunikation aus, wenn der Strom fehlt? [...]

Homann: Wir haben für solche Fälle ein Satellitentelefon, um für den Wiederaufbau der Stromversorgung in ständigem Kontakt mit den Netzbetreibern bleiben zu können. Und die Mobilfunkunternehmen würden den normalen Verkehr unterbinden, damit die Besitzer einer Vorrangschaltung weiterhin kommunizieren könnten. Diesen Vorrang haben nicht nur wir, sondern unter anderem auch Ärzte.

ZEIT: Was ist mit der Kraftstoffversorgung? Die wenigsten Tankstellen sind mit Notstromaggregaten ausgestattet – man kann dort bei einem Blackout also gar nicht tanken.

Elsberg: Ein österreichischer Katastrophenschützer sagte mir einmal: Zur Not hol ich das eben mit dem Schöpfer raus! Wir sollten vielleicht auf die Fähigkeit der Menschen vertrauen, im Katastrophenfall zu improvisieren. [...]

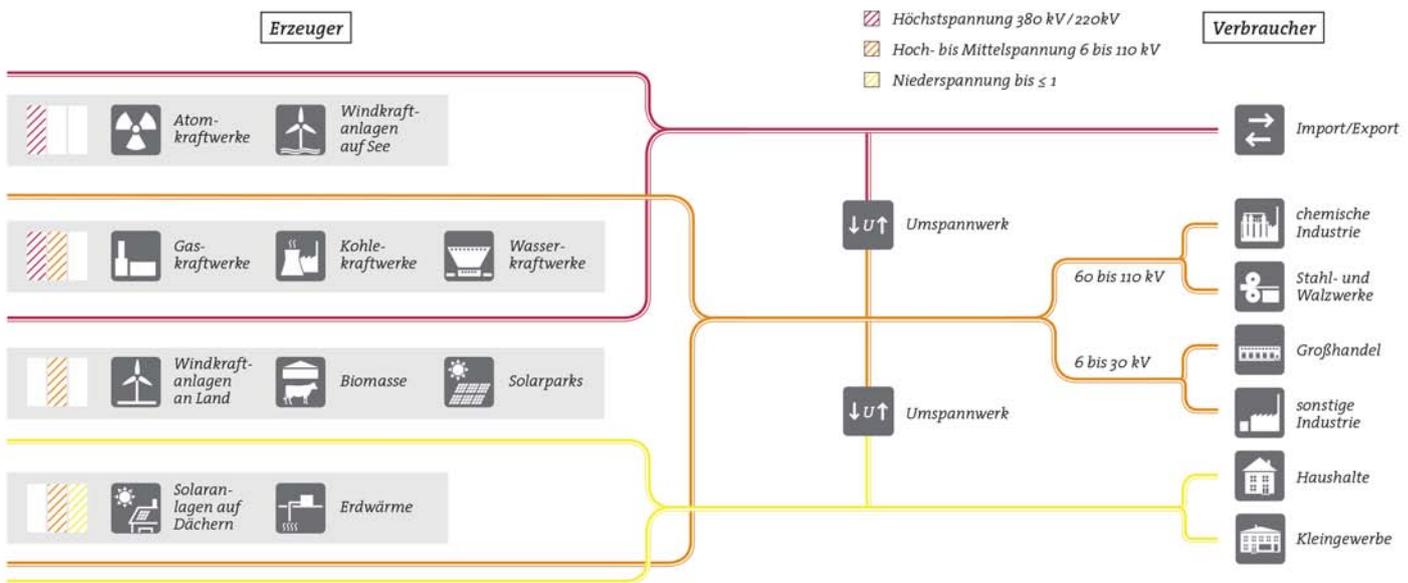
ZEIT: Haben Sie nach Ihren Recherchen noch Vertrauen in die Energieversorgung, Herr Elsberg?

Elsberg: Ja. Gerade unter den Verantwortlichen habe ich ein großes Bewusstsein für die Problematik und die Herausforderungen entdeckt. Ich halte die Energiewende für eine großartige Sache und bin zuversichtlich, dass sie funktionieren wird.

„Das wäre ein Riesenproblem“, Gespräch von Inge Kutter und Max Rauner mit Jochen Homann, Leiter der Bundesnetzagentur, und Marc Elsberg, Autor des Bestsellerromans Blackout über einen großflächigen Stromausfall, in: DIE ZEIT Nr. 50 vom 6. Dezember 2012

So kommt der Strom zu uns

Aufbau eines Stromnetzes in Deutschland



© picture-alliance / dpa-infografik / Globus 5248; Quelle: BMWi, dena

Netzstruktur und Spannungsebenen

Die heutigen vier Spannungsebenen – Höchstspannung: 380/220 kV, Hochspannung: 110 kV, Mittelspannung: ≤110 kV, Niederspannung: ≤ 1 kV – sind aus physikalischen Gründen nötig. Da die Kunden unterschiedliche Leistungen abnehmen, zum Beispiel Haushalt/Gewerbe <1 MW, Industrie <100 MW, sollte aus technischen Gründen ein typischer Strom von 1000 Ampere nur in Ausnahmefällen überschritten werden. Die Spannung (U) wird daher beim Kunden durch Transformatoren so eingestellt, dass deren spezifischen Leis-

tungsanforderungen entsprochen werden kann. Neben der kundengerechten Anschlussspannung auf der sogenannten Verteilnetzebene (VN, $U \leq 110$ kV), welche vom Verteilnetzbetreiber (VNB) verantwortlich betrieben wird, gibt es noch die oben angegebene Verbund- bzw. Übertragungsnetzebene (ÜN, $U = 380/220$ kV). Sie ist für die überregionale Versorgungssicherheit und die sich daraus ergebende Frequenzregelung erforderlich und wird von den Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) geführt, welche europaweit über die Norm-Frequenz von 50 Hz „wachen“. Als Verantwortliche mit gesetzlichem Auftrag stellen sie den angeschlossenen VNB ein hochgradig

Ausbau des Stromnetzes

Der Umbau der deutschen Energieversorgung kommt vorläufig mit weniger neuen Stromleitungen aus als von den Netzbetreibern noch im Frühjahr kalkuliert. Das zeigt der Entwurf für einen Bundesbedarfsplan, den die Bundesnetzagentur [...] dem Bundeswirtschaftsministerium vorgelegt hat. Er umfasst den Neubau von rund 2800 Kilometern Höchstspannungstrassen und die Verstärkung von weiteren 2900 Leitungskilometern. Nur 51 der von den Betreibern des Übertragungsnetzes vorgeschlagenen 74 Bauvorhaben wurden aufgegriffen. [...] In die Planung seien zunächst nur die besonders dringenden Vorhaben aufgenommen worden, erläuterte Netzagentur-Präsident Jochen Homann. Vorgesehen ist,

dass der Bedarf jedes Jahr aufs Neue überprüft wird. Gegebenenfalls können dann weitere Projektvorschläge der Netzbetreiber nachträglich berücksichtigt werden. [...] Die ursprüngliche Netzplanung war in einem öffentlichen Konsultationsverfahren mit mehr als 3300 Stellungnahmen auf viele Einwände gestoßen. Umweltverbände hatten sie als überdimensioniert bemängelt.

[...] Statt der ursprünglich geplanten vier Korridore sind nur noch drei Trassen geplant. Eine führt von Emden über das Ruhrgebiet nach Philippsburg in Baden-Württemberg, die zweite von Brunsbüttel an Hannover vorbei in Richtung Stuttgart und die dritte von Wilster bei Stade nach Grafenrheinfeld am Main. [...]

Zusammen mit der Netzplanung hat die Netzagentur einen Bericht über die möglichen Umweltauswirkungen der

neuen Leitungen vorgelegt. Homann bezeichnete den Umweltbericht als „Frühwarnsystem“, das Konflikte bei der nun anstehenden Feinplanung vermeiden sollte. Der Entwurf legt nur grobe Korridore fest, durch die die neuen Höchstspannungsleitungen später einmal führen sollen. [...]

bü, „Weniger neue Stromleitungen für die Energiewende“, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 27. November 2012

Innovationsfaktor Gleichspannung?

In der Elektrotechnik gab es lange eine Hierarchie, die sich bis in den Haushalt fortsetzte: Überall dort, wo elektrische Energie ernsthafte Aufgaben zu erledigen hatte, kam sie als Wechselspannung daher. Sie treibt Lokomotiven,

Stromtrassen durch Deutschland

Um den Strom von dort, wo er gerade produziert wird, dorthin zu bringen, wo man ihn braucht, müssen die Netze ausgebaut werden – aber das ist kompliziert. Planung, Genehmigung und Bau einer Stromtrasse dauern derzeit etwa zehn Jahre; gibt es Streit, auch mal länger. [...] Und dabei ist der genaue Verlauf der vier geplanten Nord-Süd-Stromautobahnen, die wegen der geringeren Verluste statt dem üblichen Wechselstrom Gleichstrom transportieren sollen, bislang noch völlig offen [...].



Marlene Weiß (Text), Ilona Burgath (Grafik), „Es fehlen Hochspannungsleitungen“, in: Süddeutsche Zeitung vom 4. Januar 2013; Quellen: EEX, Übertragungsnetzbetreiber, eigene Berechnungen, Netzentwicklungsplan 2012 (Stand August 2012), BDEW, AGEB, Länderarbeitskreis Energiebilanzen, destatis, eigene Recherchen

verfügbares flächendeckendes Verbundnetz bereit, an das die Kunden über die Verteilnetze angeschlossen sind.

Diese bewährte Netzstruktur ist den neuen Anforderungen hoher schwankender Einspeisungen, vor allem aus erneuerbaren Energien, anzupassen: Bisher wurden die Übertragungs- und Verbundnetze so angelegt, dass beim Eintreten eines Fehlers (von n Betriebsmitteln fällt eines aus, d. h. n-1) der Betrieb ganz oder wenigstens in drei Vierteln aufrecht erhalten werden kann. Hierzu sind redundante, das heißt mehrfach vorhandene Netzstrukturen nötig, die die Investitions- und Betriebskosten erhöhen. Steigt der Anteil erneuerbarer Energie,

müssen zusätzliche Strukturen von den Netzbetreibern aufgebaut werden (z. B. ein Gleichstrom-Transportnetz von Nord nach Süd). Dies verursacht betriebswirtschaftliche Mehrkosten, denen allerdings – falls aus Mangelstrukturen ein Fehler erwächst – mögliche volkswirtschaftliche Schäden gegenüber stehen. Diese und ähnliche Fragen sind beim Umbau der Netze zur Integration von erneuerbaren und hocheffizienten Energieerzeugern unter technischen, wirtschaftlichen, ökologischen und Akzeptanzgesichtspunkten abzuwägen.

Flutlichtanlagen und Waschmaschinen. Gleichspannung taugte demnach nur für harmlose Randbereiche, das Batterieradio, die Halogen-Birnen in der Schreibtischlampe oder den zur Steckdose umfunktionierten Zigarettenanzünder im Auto.

Doch inzwischen hat die Gleichspannung neue Freunde gefunden, ihr haftet der goldene Schimmer der Innovation an. Sie soll helfen, ein Kernproblem der Energiewende zu lösen: den Transport elektrischer Energie von Windparks im Norden zu Verbrauchern im Süden. [...]

Wechselspannung lässt sich mit einem Transformator problemlos auf ein anderes Niveau der Spannung bringen. Höhere Spannung bedeutet geringeren Strom, der beim Transport fließen muss. Und ein geringerer Strom bedeutet geringere Einbußen. Überlandleitungen haben

oft eine Spannung von 400 Kilovolt. Nur auf diesem Niveau lassen sich die Übertragungsverluste begrenzen.

Doch moderne Elektronik erlaubt es, die Energie mit hoher Gleichspannung noch verlustärmer zu transportieren. Um eine elektrische Leistung von 2500 Megawatt 800 Kilometer weit zu transportieren, also die Produktion von fünf großen Offshore-Windparks in der Nordsee nach Bayern zu bringen, sind bei einer 400-Kilovolt-Wechselstromtrasse Verluste von fast zehn Prozent zu erwarten. Eine HGÜ-Verbindung (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung) mit 800 Kilovolt käme mit gut einem Viertel davon aus. [...]

Andererseits ist HGÜ viel aufwendiger, als es konventionelle Leitungen sind. Besonders die Schaltstationen am Anfang und Ende einer Gleichstromtrasse

schlagen ins Geld und produzieren Verluste. Erst bei Entfernungen von 600 Kilometern ist die Technik wirtschaftlich.

Neue Entwicklungen könnten sie verbessern: Erst vor Kurzem hat der Konzern ABB den Prototyp für einen HGÜ-Schalter vorgestellt. Dieser erlaubt es, ein Netz der verlustarmen Leitungen aufzubauen, statt überall Verbindungen von Punkt zu Punkt zu errichten, an deren Ende die Energie immer wieder in Wechselspannung konvertiert wird. Ohne solche Schalter hat der Gleichstrom nur wenig Chancen, aus seiner untergeordneten Position auszubrechen.

Christopher Schrader, „Umschalten in die Zukunft“, in: Süddeutsche Zeitung vom 27. November 2012

Intelligente Netze – Antwort auf ein Mehr an erneuerbaren Energiequellen

Die bisherigen Stromnetze waren darauf eingerichtet, dass große Kraftwerke viele Verbraucher mit relativ konstanter Leistung versorgen. Der Strom aus erneuerbaren Energien kommt dagegen aus einer Vielzahl kleiner Anlagen, die dezentral angesiedelt sind, sich kaum übergreifend steuern lassen und starken Leistungsschwankungen unterliegen. Dies erfordert ein intelligenteres Stromnetz (englisch: *Smart Grid*), das diese Vorgaben unter Beobachtung von Wirtschaftlichkeit und Netzstabilität mit den Bedürfnissen der Verbraucher in Einklang bringt. Die Übertragungs- und Verbundnetze müssen also so umgestaltet werden, dass die schwankenden Erzeugerleistungen problemlos einbezogen werden können. Hierzu müssen die Kraftwerke nicht mehr nur nach den Verbraucher-Lastgängen gesteuert werden, sondern zunehmend auch nach der mit Vorrang eingespeisten erneuerbaren Energie. Der schwankende Teil muss möglichst genau vorhergesagt werden, damit keine Netzengpässe („Staus auf den Stromautobahnen“) entstehen. Heutige Kraftwerke brauchen je nach Typ zehn bis 60 Minuten, um auf 100 Prozent Leistungsabgabe anfahren zu können. Je ungenauer die erneuerbare Leistung vorhergesagt wird, desto mehr teure Regelkraftwerke müssen dann am Netz sein. Zudem ist ihre Leistung nicht unbedingt dort verfügbar, wo die erneuerbaren Quellen bei ausreichend Sonne und Wind einspeisen. Erneuerbare Energiequellen erzeugen den Strom häufig nicht immer wo (z. B. in Ballungszentren) und wann er benötigt wird. Das lokale Defizit kann durch neue Leitungen ausgeglichen werden, das zeitliche durch Kraftwerke und zukünftig auch durch Speicher.

Erneuerbare Anlagen speisen je nach Spitzenleistung auf verschiedenen Spannungsebenen ein: kleine PV-Anlagen meistens in das Niederspannungsnetz, größere in das Mittelspannungsnetz. Windparks „*onshore*“ speisen immer mittelspannungs-

oder hochspannungsseitig ein und „*offshore*“-Parks in der Regel auf der Höchstspannungsebene. Die auf einer Ebene eingespeiste Energie kann nicht immer auch dort abgenommen werden; der Lastfluss kehrt sich um, die Verbrauchsebene mit Überschussleistung wird für die höhere Spannungsebene zur Erzeugerebene. Dies kann zur unzulässigen Spannungserhöhung am Einspeiseort führen. Der Netzbetreiber hat dies zu verhindern und muss auch in kritischen Fällen, wie Windstille und Bewölkung, kombiniert mit Starklast oder Schwachlast bei gleichzeitiger hoher Sonnen- und Windenergieeinspeisung, das zulässige Spannungsband (± 10 Prozent der Normspannung) sicherstellen. Die Vermeidung von Fehlspannungen führt schon heute teilweise zu einem Netzausbau mit leistungsstärkeren Transformatoren, Schaltern und Leitungen bzw. Kabeln. Bei zukünftig noch höheren erneuerbaren Anteilen (>30 Prozent) sind neue Wege zu gehen wie beispielsweise selbstregelnde Ortsnetztransformatoren, Blindleistungsregelanlagen mit Umrichtern oder Speicher in Verbindung mit einer intelligenten Automatisierungstechnik.

Ein *Smart Grid* ist also aus elektrotechnischer Sicht ein Netz, welches einen stabilen Betrieb auch bei schwankender Lastflussumkehr ermöglicht. Diese wäre vermeidbar, wenn lokal die eingespeiste Energie stets dem Verbrauch entsprechen würde und somit das Netz nicht zusätzlich in Anspruch nähme. So ließe sich der eigene Verbrauch zeitlich und leistungsmäßig an die Erzeugung anpassen (z. B. Laden von Elektroautos bei Stromüberangebot). Auch die Wärme- und Kälteerzeugung durch Blockheizkraftwerke kann mit eigenerzeugtem Strom gekoppelt werden, beispielsweise durch die angebotsabhängige Steuerung von Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen oder Wärmepumpen. Auch eine Zwischenspeicherung in Batterien ist möglich, wenngleich die derzeit teuerste Methode.

Studien zeigen allerdings, dass auch bei einem solchen Last- und Erzeugungsmanagement über „intelligente“ Rechner (z. B. *Smart Meter*, s. u.) ein vollständiger lokaler Ausgleich von erzeugter und benötigter elektrischer Energie nicht immer erreicht werden kann. Es wird deshalb auf der Verteilnetz-Ebene einen Markt für dezentral erzeugte elektrische Energie geben müssen (*Smart Market*). Zudem werden auch weiterhin zentrale Großkraftwerke elektrische Energie für die Verbundnetze bereitstellen, um die Defizite aufzufangen, die gerade in Ballungsgebieten nach Abschaltung der dortigen nuklearen Kraftwerke erwartbar sind.



Raier-Weisflog

Mit sogenannten *Smart Metern*, neuartigen elektronischen Stromzählern, können Stromkunden ihren Energieverbrauch eigenständig kontrollieren und steuern. Pilotprojekt in Spremberg 2010

Um alle genannten Dienstleistungen sowie die Netzsteuerung und Abrechnung erbringen zu können, ist eine sichere und zuverlässige Kommunikation im Verteilnetz erforderlich. Die bereits bei den Übertragungsnetzebenen und Verbundnetzebenen vorhandenen Kommunikationsnetze werden entsprechend ausgebaut und durch eine zuverlässige Kommunikation im Verteilnetz ergänzt.

Ein Vorbote hierfür sind *Smart Meter*, also der Ersatz des bisherigen kommunikationslosen Stromzählers durch einen kleineren Messcomputer mit Datenaustausch. Diese Zähler eröffnen

neue Möglichkeiten, zum Beispiel eine dynamische Abrechnung bei zeitabhängigen Stromtarifen. Der Kunde könnte dann prinzipiell Geld sparen, wenn er Strom in Starkwind- und Schwachlastzeiten bei niedrigen Preisen nutzen würde. Wirtschaftlich besonders interessant könnte der Betrieb eigener Speicher werden, da überschüssige Energie zu Preisen unterhalb der Tarifpreise verfügbar wäre. Diese lastabhängigen Tarife fehlen allerdings heute noch. Sie gibt es bisher nur für Großverbraucher, so dass sich für Tarifkunden ein *Smart Meter* derzeit noch nicht lohnt.

Smart Grid auf dem Dorf

[...] In Wildpoldsried wird das [schlaue Netz, genannt „Smart Grid“] erprobt, im Forschungsprojekt IRENE (Integration regenerativer Energien und Elektromobilität). Das kleine Dorf der Erneuerbaren ist zu einer Modelllandschaft geworden für Ökostrom und seine Verteilung.

Bevor die schlaue Steuerung beginnen kann, muss geklärt werden, was in einem Ortsnetz eigentlich genau passiert. Bisher wissen Stromversorger darüber fast nichts, schließlich werden die Zähler in Haushalten nur einmal im Jahr abgelesen. Zuerst wurden also 200 kleine schwarze Kästen über Wildpoldsried verteilt. Permanent funken diese „Smart Meter“ Erzeugungs- und Verbrauchsdaten an die Zentrale der AÜW [Allgäuer Überlandwerke] in Kempten.

Wenn Wind und Sonne absehbar mehr Strom liefern, als die Wildpoldsrieder brauchen, kommen 32 Elektroautos zum Einsatz. Ihre Batterien werden dann nachgeladen und entlasten so das Netz. Der neu installierte Ortsnetztrafo senkt die überhöhte Spannung zusätzlich ab. Er ist nämlich regelbar – das gibt es normalerweise nur im Hochspannungsnetz. Im Herbst wird zusätzlich noch ein Lithium-Ionen-Speicher aufgebaut. Er soll überschüssigen Solarstrom aufbewahren für die verbrauchsintensiven Abendstunden.

Auch Wettereffekte werden berücksichtigt. So liefert viel Sonne nicht immer viel Solarstrom. Brennt sie im Sommer lange auf die Module, dann werden die sehr heiß, und ihr Wirkungsgrad sinkt. „Deshalb kann an einem Sommertag der Ertrag um über 20 Prozent niedriger liegen als bei gleicher Sonneneinstrahlung im Winter“, sagt Robert Köberle. Der Ingenieur ist für die Feinjustierung und Wartung all der Technik zuständig. Beim neuen Ortsnetztrafo hat er eine Wetterstation eingebaut.

Schon im Wildpoldsrieder Miniaturmaßstab ist ein Smart Grid erstaunlich komplex. Jeden Tag liefert es drei Gigabyte

Daten, fünf CDs ließen sich damit füllen. Ein schlaues Netz braucht schnelle Computer mit leistungsfähiger Software. [...]

Ein „selbst organisiertes Energieautomatisierungssystem“ soll für den steten Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage im lokalen Stromnetz sorgen. „So Easy“ lautet sein griffiges Kürzel. Dafür wird nach dem Vorbild großer Strombörsen ein lokaler Marktplatz simuliert, auf dem automatische Agenten die Interessen der Erzeuger und Verbraucher wahrnehmen. Wer Strom bei hoher Nachfrage erzeugt, wird belohnt, wer ihn bei hohem Angebot verbraucht, bekommt ihn billig.

[...] Mit dem Smart Grid können die [AÜW] einen Teil der Kosten vermeiden, die normalerweise beim Anschluss neuer Solar-, Biogas- und Windkraftanlagen ans Ortsnetz entstehen. „Das Einsparpotenzial liegt bei bis zu 20 Prozent“, sagt Technikchef Fiedeldey. Dagegen stehen allerdings die Kosten für den Bau und den Unterhalt all der Technik, die ein Smart Grid wiederum erfordert. „Für den Betrieb müssen wir bisher einen halben Manntag ansetzen“, weiß der Wartungschef Robert Köberle. Die größten Probleme macht ihm die drahtlose Übertragung all der Messdaten über das Handynetz. „Für unser System brauchen wir eine sehr sichere Verbindung, doch die reißt immer mal wieder ab.“

Und für den Weg von Pilotprojekten zur flächendeckenden Anwendung fehlt den Smart Grids der rechtliche Rahmen. „Wenn wir Kupfer durch Intelligenz ersetzen wollen, brauchen wir Investitionssicherheit“, sagt Michael Fiedeldey von den Allgäuer Überlandwerken. Doch im bisherigen System werden nur Erzeugung, Transport und Vertrieb des Stroms vergütet, nicht aber Systemdienstleistungen wie das Abpuffern großer Spannungsschwankungen im Ortsnetz.

Nötig wäre also noch mehr Regulierung in einem schon heute völlig überregulierten Markt. Der AÜW-Techniker veranschaulicht das mit einer Grafik. Sie zeigt den exponentiellen Anstieg erneuerbarer

Energieeinspeisung in seinem Netz. Darüber liegt eine zweite, ebenso steile Kurve, die für die Zahl der Paragraphen in den Energiegesetzen steht. „Als ich vor 15 Jahren anfang, gab es ein Gesetz mit 19 Paragraphen. Heute haben wir sieben Gesetze mit 306 Paragraphen.“

[...] Albert Moser, [d]er Leiter des Instituts für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft an der RWTH Aachen, hat eine Marktsimulation entwickelt für den von der Bundesregierung angeforderten Netzentwicklungsplan. Er warnt davor, das Potenzial schlauer Netze zu überschätzen. „Dieser Autarkie-Gedanke funktioniert mit viel Idealismus vielleicht an ausgewählten ländlichen Standorten, nicht aber in einer Großstadt.“ Die werde immer sehr viel mehr Strom benötigen, als sie erzeugen könne. „Smart Grids können deshalb den Ausbau der Übertragungsnetze nicht ersetzen.“

[...] Für den Bürgermeister und CSU-Vorsitzenden von Wildpoldsried [Arno Zengerle] ist die Energiewende keine nüchterne Kosten-Nutzen-Rechnung. „Es kommt immer auf einzelne Menschen an“, sagt er. 30 Millionen Euro haben die Bürger seines Dorfes in erneuerbare Energie investiert. Aus dem Erlös der Solarmodule auf kommunalen Dächern wird die Jugendarbeit von Sportvereinen und Feuerwehr finanziert. Im Gegenzug stellt jeder Verein einen Rentner für Wartungsarbeiten. „In einer kleinen Gemeinde geht so was per Zuruf“, sagt er.

Auf die Interessen der Industrie muss er nicht achten. Denn Letztere gibt es in Wildpoldsried gar nicht. Nur eine kleine Firma produziert für Ökohäuser Lehmbauplatten. Die werden mit Heißluft getrocknet. Ein Glücksfall für die vier Blockheizkraftwerke im Dorf. Deren überschüssige Wärme lässt sich so im Sommer einigermaßen sinnvoll nutzen.

Dirk Asendorpf, „Mit schlauer Power“, in: DIE ZEIT Nr. 34 vom 16. August 2012

Entwicklungsmöglichkeiten und Entwicklungsnotwendigkeiten

Für eine erfolgreiche Wende weg von der Kernkraft hin zu einem steigenden Anteil erneuerbarer Energien werden Speicher, intelligente Netze hinreichender Dimensionierung und Systemstabilisatoren gebraucht. Nur so lässt sich die heutige Versorgungssicherheit aufrechterhalten, die ein hohes Gut und auch ein – volkswirtschaftlich gesehen – wichtiger Standortfaktor ist.

Für Netzbetreiber, die diese Systemdienstleistungen erbringen, und für Kraftwerksbetreiber, die im großen Maßstab an der Börse Strom kaufen und verkaufen, haben sich bislang Pumpspeicherkraftwerke (PSW) gelohnt: Bei Stromüberschüssen wird Wasser den Berg hinauf gepumpt und in Starklastzeiten in einer Turbine im Tal verstromt. Allerdings werden die vorhandenen PSW vorrangig als Regelkraftwerke zur Frequenzstabilisierung und Spannungshaltung benötigt, und schon heute reichen die 40 GWh Speicherenergie mit acht GW Leistung, die die Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland erbringen, nicht aus, um die aus erneuerbaren Quellen erzeugte Überschuss-Energie aufzunehmen; sie wird deshalb noch abgeregelt, aber in voller Höhe vergütet. Die Kosten tragen die Stromkunden. Dieser Zustand wird in Zukunft durch ein neues Marktdesign zu ändern sein, er belegt aber auch, wie wichtig die Entwicklung neuer Speicheranlagen und -technologien ist. Am einfachsten wäre der Bau neuer Pumpspeicherkraftwerke in Ländern mit großem Potenzial wie Österreich, Schweiz und Norwegen. Im Mai 2012 haben die Regierungen von Österreich, der Schweiz und Deutschland

ihre Bereitschaft erklärt, die vorhandenen Möglichkeiten dieser Technologie gemeinsam zu nutzen. Dem stehen jedoch Nachteile entgegen wie große Entfernungen, die Abhängigkeit von anderen Nationen, möglicherweise zu hohe Preise sowie Akzeptanzprobleme vor Ort.

Alternativ zu Pumpspeichern über oder unter Tage sind Druckluftspeicher mit unterirdischen Kavernen denkbar, in denen die bei der Komprimierung anfallende Wärme mit gespeichert wird, um sie beim Entspannen der Druckluft wieder nutzen zu können. Diese Speicher, die es weltweit derzeit noch nicht gibt, sind jedoch erst ab Wirkungsgraden von mehr als 60 Prozent sinnvoll einsetzbar und verursachen Zusatzkosten. Auch untertägige Wasserstoffspeicher gibt es bislang nur je einmal in den USA und in England. Ihr Gesamtwirkungsgrad liegt bei Rückverstromung unter 40 Prozent und wird erzielt, indem Wasserstoff mittels Elektrolyse mit regenerativ erzeugtem Strom hergestellt, gespeichert und in einer speziellen Turbine verstromt wird. Vorhandene, günstigere Gasturbinen können wegen der zu heißen Flamme (3000°C) derzeit noch nicht genutzt werden. Prinzipiell erscheint auch eine Methanisierung („Windmethan“) denkbar. In dem von dem französischen Chemiker Paul Sabatier entwickelten Verfahren wird aus Wasserstoff (H_2) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) bzw. Kohlenmonoxid (CO) synthetisches Methan (CH_4) erzeugt. Mit diesem Verfahren wurde bereits in den 1970er-Jahren in der Industrie Erdgassubstrat aus Kohle gewonnen. Allerdings wäre der Wirkungsgrad bei der Methanisierung (35-55 Prozent) noch ungünstiger, bei zugleich hohen Kosten für die entsprechenden Anlagen.

Am aussichtsreichsten ist die Wasserstoffnutzung in Chemieanlagen und im Verkehr, wobei hier derzeit noch die Tankstelleninfrastruktur und die Wasserstoffautos hergestellt werden müssten. Eine weitere vielversprechende Option ist die Beimischung von Wasserstoff zum Erdgas (Power-to-Gas). Aus heutiger Sicht scheint ein Anteil von fünf bis zehn Prozent möglich, ohne den Brennwert dieses Mischgases unzulässig zu verändern. Theoretisch sind Anteile bis zu 60 Prozent denkbar (früheres Stadtgas). In diesem Fall müssten allerdings alle Gasgeräte eine zusätzliche Brennwertregelung erhalten.

Langzeit-Wasserstoffspeicher für die Strom-zu-Strom-Anwendung sind derzeit großtechnisch nicht verfügbar und wären mit erheblichen Kosten verbunden. Sie werden aber, vergleichbar mit Erdgasspeichern im Erdgasnetz, erforderlich, um die nötige Reserve für die Versorgungssicherheit zu bunkern.

Batterien erscheinen für die Kurzzeitspeicherung (bis zu mehreren Stunden) sinnvoll, stehen jedoch in Konkurrenz zu anderen Technologien. Die Kosten sind derzeit viermal so hoch wie bei einem Pumpspeicherkraftwerk über Tage und doppelt so hoch wie bei der untertägigen Variante.

Auch mit der theoretischen Speicherkapazität von 40 Millionen Elektroautos könnte Deutschland lediglich 2000 GWh/70 GW \approx 30 h, also nur für circa einen Tag versorgt werden, vorausgesetzt, das Netz stünde bereit und wäre stabil bei einer fast 100-prozentigen Lastflussumkehr. Elektroautos sind somit als strategischer Speicher kaum geeignet.

Großtechnische Anlagen mit stoßförmigen Speichern (Wasserstoff, Druckluft, synthetisches Erdgas) werden erst ab 2030 eine wirtschaftliche Rolle spielen, wenn der erneuerbare Anteil im Stromnetz bei 50 Prozent und mehr liegen sollte. Sie müssen aber schon heute erforscht und entwickelt werden, um bis dahin verfügbar zu sein. Ab 2030 werden Angebot und Nachfrage voraussichtlich so weit auseinanderklaffen, dass ein erheblicher Speicheranteil in allen Netzebenen erforderlich sein wird.

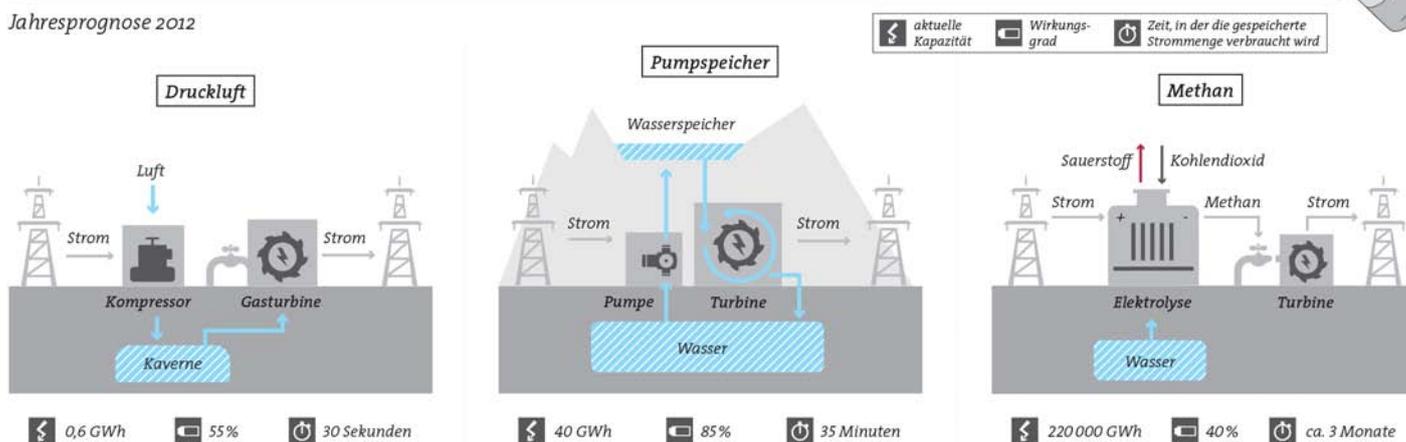


picture alliance / dpa / Matthias Hiekel

Um Energieüberschüsse speichern zu können, werden künftig zusätzliche Pumpspeicherkraftwerke benötigt. Das Pumpspeicherwerk Niederwartha (Sachsen) besteht bereits seit 1930.

Die drei wichtigsten Speichertypen

Jahresprognose 2012



Marlene Weiß (Text), Ilona Burgath (Grafik), in: Süddeutsche Zeitung vom 4. Januar 2013; Quellen: EEX, Übertragungsnetzbetreiber, eigene Berechnungen, Netzentwicklungsplan 2012 (Stand August 2012), BDEW, AGE, Länderarbeitskreis Energiebilanzen, destatis, eigene Recherchen

Speicher – Achillesferse der Energiewende?

[...] Früher oder später könnte die Speicherfrage zur Achillesferse der Energiewende werden, denn der Ausbau der Kapazitäten verläuft alles andere als reibungslos. Zum einen sträuben sich Bürger [...] gegen Großprojekte vor ihrer Haustür. Zum anderen ist es ausgerechnet der Ausbau der Erneuerbaren, der das Geschäft mit Pumpspeicherkraftwerken unrentabel werden lässt. [...] In Deutschland sind mehr als 30 solcher Anlagen in Betrieb. [...]

Wann genau der Bau zusätzlicher Speicher unausweichlich wird, ist umstritten. [...] Ein von vielen Fachleuten als realistisch angesehenes Szenario hat im vergangenen Jahr der Verband der Elektrotechnik, Elektronik Informations-technik (VDE) von einem Forscherteam errechnen lassen. Sobald der Anteil des Stroms aus den Erneuerbaren die 40-Prozent-Marke übersteigt, reichen die heutigen Kapazitäten nicht mehr aus, prognostizieren die Wissenschaftler. Unmittelbar drohen demnach keine größeren Engpässe – doch weit von der kritischen Marke entfernt ist Deutschland nicht: 2020 sollen 35 Prozent des erzeugten Stroms aus erneuerbaren Energien stammen, zehn Jahre später die Hälfte. Wird 2050 das 80-Prozent-Ziel der Bundesregierung erreicht, benötige Deutschland zusätzliche Kurzzeitspeicher mit einer Leistung von 14 Gigawatt, was etwa eine Verdreifachung der heutigen Kapazitäten bedeuten würde. [...]

Vor diesem Hintergrund ist das, was sich im Osten von Dresden anbahnt, ab-

surd. Noch pumpt der Energieversorger Vattenfall am Standort Niederwartha Wasser in die Höhe, noch rauscht das Wasser durch drei Meter starke Rohre zurück ins Tal. Doch schon bald könnten in Deutschlands ältestem Pumpspeicherkraftwerk die Schotten dichtgemacht werden. „Die Anlage rechnet sich so nicht mehr, im schlechtesten Falle müssen wir sie noch in diesem Jahr stilllegen“, sagt Gunnar Groebler, der in der deutschen Wasserkraftsparte von Vattenfall das Sagen hat. Das Kraftwerk ist in die Jahre gekommen, um es in Schuss zu bringen, müsse ein dreistelliger Millionenbetrag investiert werden. Doch Investitionen in Pumpspeicherkraftwerke seien derzeit „grundsätzlich wirtschaftlich nicht darstellbar“. Auch an anderen Standorten schiebe der Konzern Investitionen vor sich her. Macht Vattenfall in Sachsen ernst, sinkt die Speicherkapazität, anstatt zu steigen.

Die Ursache für den Investitionsstau ist paradox. Früher funktionierte das Geschäftsmodell der Betreiber so: Nachts, wenn der Strom an der Börse günstig war, warfen sie die Pumpen an und füllten ihre Staubecken. Gegen Mittag, wenn die Deutschen mit Abstand am meisten Strom verbrauchen und der Preis an der Börse nach oben schnellte, liefen die Turbinen, und die Betreiber verkauften teuren Strom mit Gewinn. „Diese Rechnung geht nicht mehr auf“, sagt Groebler. Denn heute liefern Photovoltaikanlagen mittags große Strommengen und decken Bedarfsspitzen weitgehend ab. Die täglichen Preisunterschiede sind deshalb genau wie die Gewinne der

Betreiber zusammengeschrumpft. Zwar hat die Bundesregierung neue und zum Teil auch bestehende Pumpspeicher für viele Jahre von den Netzentgelten befreit. Daran, dass sich viele Projekte nicht mehr rentieren, hat das aber wenig geändert.

Weil die Energieversorger die Auswirkungen der Erneuerbaren unterschätzt haben, stocken auch schon geplante Projekte. Zum Beispiel in Waldeck, Nordhessen. 250 Millionen Euro wollte Eon hier für eine weitere Turbine in einem bestehenden Pumpspeicherkraftwerk investieren. [...] Die endgültige Investitionsentscheidung hat Eon verschoben, Hintergrund sei „die energiewirtschaftliche Situation, die keine Investitionssicherheit gewährleistet“.

[...] Kurz vor dem Abschluss steht hierzulande kein großes Neubauprojekt, zeigt eine Statistik der Bundesnetzagentur. Im laufenden Jahr gibt es eine geringe Kapazitätsausweitung von 195 Megawatt, für die Jahre 2014 und 2015 ist kein Zubau registriert. Weil es in Deutschland nur wenige geeignete Flächen für neue Pumpspeicher gibt, sucht die Regierung im Ausland nach Entlastung. [...] [Im] Projekt „Nord.Link“ [...], das Netzbetreiber Tennet gemeinsam mit dem norwegischen Betreiber Statnett und der KfW-Bank beschlossen hat, [soll] ein Gleichstromkabel mit einer Kapazität von 1400 Megawatt [...] ab 2018 norwegische Wasserspeicher und das deutsche Stromnetz verbinden. [...]

Johannes Pennenkamp, „Das Speicherproblem“, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 30. März 2013

Manuel Berkel

Energiewirtschaft und Preise

Seit der Liberalisierung der Strom- und Gasmärkte 1998 herrscht freier Wettbewerb. Doch wie sind die Kräfte auf dem Markt tatsächlich verteilt? Und wie beeinflusst der Ausbau der erneuerbaren Energien den Strompreis? Das Förderungsmodell für erneuerbare Energien wird kontrovers diskutiert.

Vom Monopol zum Wettbewerb

1885 floss in Berlin, erstmals deutschlandweit, Elektrizität aus einem öffentlichen Kraftwerk. Doch erst ab 1998, mehr als 100 Jahre später, entstand ein Markt für Strom mit Preisbildung nach Angebot und Nachfrage. Ein Markt für Gas entwickelte sich ab 2003. Bis dahin hatte die Politik die Energiewirtschaft vom Wettbewerb ausgenommen. Denn die Versorgung der Wirtschaftsbetriebe und der Bevölkerung mit Strom und Wärme galt als Aufgabe der öffentlichen Daseinsvorsorge. Daher befanden sich viele Energieunternehmen im Besitz von Bund, Ländern und Kommunen. Namen wie PreußenElektra und Bayernwerk, Vorgänger des E.ON-Konzerns, zeugen von ihrer Vergangenheit als Staatsbetriebe. An RWE sind immer noch Kommunen beteiligt, und bei der Belieferung der Endkunden haben Städte und Gemeinden mit ihren Stadtwerken seit jeher eine starke Stellung. Der Energiekonzern Vattenfall, der vor allem in Hamburg und in den ostdeutschen Bundesländern aktiv ist, befindet sich im Besitz des schwedischen Staates.

Das Fehlen von Wettbewerb hatte neben dem politischen auch einen technischen Grund: Strom- und Gasleitungen ermöglichen ihren Eigentümern ein natürliches Monopol im Energietransport. Volkswirtschaftlich wäre es unökonomisch und bei weitem zu kostspielig, wenn jeder Wettbewerber für seine Energielieferungen ein eigenes Strom- oder Gasnetz aufbaute. Aber nicht nur beim Betrieb der Netze, sondern auch bei der Belieferung der Verbraucher verfügten Energiekonzerne, Regionalversorger und Stadtwerke über Gebietsmonopole. Jeder Endkunde konnte Strom und Gas nur von einem einzigen Versorger kaufen. Gleichzeitig mussten kleinere Lieferanten wie Stadtwerke mangels eigener Erzeugungsanlagen Strom von dem Kraftwerksbetreiber beziehen, dem auch das Übertragungsnetz in ihrem Versorgungsgebiet gehörte. Etwa 85 Prozent der Stromerzeugungskapazität befanden sich jahrzehntelang in der Hand der Unternehmen, die um das Jahr 2000 zu den vier Energiekonzernen E.ON, RWE, Vattenfall und EnBW fusionierten.



Die Gebietsmonopole wurden 1998 mit Inkrafttreten des novellierten Energiewirtschaftsgesetzes abgeschafft, nachdem sich die Mitgliedstaaten der Europäischen Union zuvor auf die Liberalisierung der Strom- und Gasmärkte geeinigt hatten. Neue Energielieferanten traten auf den Plan, und Stadtwerke beendeten mit Klagen gegen die Kraftwerksbetreiber ihre Strombezugsverträge, die sie häufig für eine Laufzeit von 20 Jahren gebunden hatten. Lieferanten konnten für ihren Einkauf nun zumindest zwischen den vier großen Stromerzeugern wählen. Eine weitere Voraussetzung für günstige Beschaffungskosten, nämlich Transparenz über die am Markt erzielten Preise, schufen die im Jahr 2000 in Frankfurt/M. und Leipzig gegründeten Strombörsen, die 2002 zur *European Energy Exchange* (EEX) in Leipzig fusionierten.

Großhandel über Spot- und Terminmärkte

Der kurzfristige Großhandel mit Energie für Deutschland wird seit 2008 über die Börse *European Power Exchange* (EpeX Spot) mit Sitz in Paris abgewickelt, einem Gemeinschaftsunternehmen der EEX und der französischen *Powernext*, sowie an der *Energy Exchange Austria* (EXAA) in Wien. An den **Spotmärkten** geben die Lieferanten dem Börsenbetreiber einen Tag im Voraus (engl.: *day ahead*) bekannt, wie viel Strom sie laut ihren Prognosen für ihre Kunden in den unterschiedlichen Stunden des Folgetages benötigen werden und welchen Preis sie zu zahlen bereit sind. Am höchsten ist die Nachfrage werktags zwischen acht und 20 Uhr und besonders in den Mittagsstunden. Diese Spitzenlast-Nachfrage wird über die Börse mit teuren *Peakload*-Produkten (*peakload* = engl. für Spitzenlast) gedeckt. Der Teil der Stromnachfrage, der rund um die Uhr und an jedem Tag gesichert werden muss, wird als Grundlast bezeichnet. Im Großhandel gibt es dafür günstige Stromprodukte mit konstanter elektrischer Leistung, sogenannte *Baseload*.

Auf der Angebotsseite melden die Betreiber von Kraftwerken ebenfalls einen Tag im Voraus, zu welchen Preisen sie prognostizieren.

segemäß wie viel Strom anbieten werden. In einem funktionierenden Markt bietet jeder Kraftwerksbetreiber dann Strom an, wenn er die Kosten für Brennstoff und CO₂-Verschmutzungsrechte sowie einen Deckungsbetrag für Bau und Betrieb des

Kraftwerks erwirtschaften kann. Nach diesem Mechanismus weisen Kern- und Braunkohlekraftwerke die niedrigsten Erzeugungskosten auf, während diese bei Steinkohle- und Gaskraftwerken höher liegen. Die Reihenfolge der Kraftwerkstechnolo-



picture alliance / ZB / Hendrik Schmidt

Die 2002 entstandene Energiebörse EEX soll für Transparenz auf dem Energiemarkt sorgen und hat damit Einfluss auf die Gewinne...



Jörg Böhling

..., die beispielsweise das Kohlekraftwerk Moorburg (Hamburg) durch seine Energieproduktion erzielt.

Wettbewerb vor Entscheidungsfreiheit

Die Leitzentrale in der Nähe des Potsdamer Platzes wird von einem elektronischen Schaltbild beherrscht. Bunte Linien und Lämpchen zeigen die Elektroleitungen jedes Berliner Kiezes an. Hier wird Deutschlands größtes Stromnetz überwacht. Es ist das zentrale Nervensystem der Hauptstadt. Seine Synapsen aktivieren Kühlschränke, Heizungen, Telefone, die S-Bahnen ebenso wie die Konzert- und Operationssäle der 3,5-Millionen-Metropole.

In diesen Wochen setzen sie auch die Berliner Politik unter Spannung. Denn das lokale Stromnetz mit seinen mehr als 35 000 Kilometer Leitungen und 80 Umspannwerken steht zum Verkauf. [...] Wie in Hunderten von Städten und Gemeinden, so läuft auch in der Hauptstadt der Konzessionsvertrag mit dem derzeitigen Inhaber und Betreiber des Netzes aus. An der Spree ist die Vattenfall-Tochter Stromnetz Berlin bis zum Jahr 2014 die Herrin über alle Leitungen. Nun muss der Senat dieses Eigentums- und Nutzungsrecht neu vergeben. Für die nächsten 20 Jahre legen die Politiker fest, wem das Netz gehören soll: einem privaten Unternehmen? Einem kommunal betriebenen Stadtwerk? Oder einer Genossenschaft? Hinzu kommt die Frage: Wie frei ist die Kommune bei dieser Entscheidung? [...]

Wer auch immer das Stromnetz betreibt: Ihm winken verlässliche Einkünfte aus den Durchleitungsentgelten anderer Stromversorger. Die Bundesnetzagentur geneh-

mig eine Rendite von sieben bis neun Prozent, die können Kommunen gut gebrauchen. Seit 2007 gründeten sie auch deshalb bundesweit 71 neue Stadtwerke und übernahmen 170 Netzkonzessionen.

Dieses Ziel haben die Bürger auch in Berlin formal erreicht. Um die Jahreswende beschloss die große Koalition, ein Stadtwerk zu gründen. Ein zweites Unternehmen, die Berlin Energie, soll sich die Netzkonzession holen. [...]

Die Lage ist vertrackt: Selbst wenn Berlins Politiker durch das Votum der Bürger auf eine Rekommunalisierung verpflichtet würden, könnten sie nicht einfach dem landeseigenen Unternehmen das Netz übertragen. Der freie Wettbewerb hat nämlich Vorfahrt. Er bremst die Entscheidungsfreiheit aus, weil das Energiewirtschaftsgesetz ein „transparentes und diskriminierungsfreies“ Vergabeverfahren fordert. Nach strengen Leitlinien des Bundeskartellamtes und der Bundesnetzagentur muss Finanzsenator Ulrich Nussbaum andere Interessenten also gleichbehandeln wie die stadteigene Berlin Energie. [...]

Im Rennen sind neben ihr und der Vattenfall-Tochter fünf weitere Bewerber [...], wer die Stadt von seiner Eignung überzeugt hat, der muss dem vormaligen Inhaber das Stromnetz abkaufen. Die Manager der Vattenfall-Tochter nennen noch keinen offiziellen Preis, geben den Wert des Netzes aber mit zwei bis drei Milliarden Euro an. [...]

Wer bei der Entscheidung 2014 gewinnen wird, das hängt von den Kriterien

ab, nach denen der Finanzsenator seine Bewertungspunkte vergibt. Dabei ist er an Leitlinien des Bundeskartellamtes gebunden – und die lassen nur Vorgaben aus dem Energiewirtschaftsgesetz zu. Sicher, preisgünstig und verbraucherfreundlich muss der Konzessionär demnach wirtschaften; effizient und umweltverträglich. Das klingt gut – lässt einer Kommune aber für andere Überlegungen wenig Spielraum. Eine Beteiligung der Bürger beim Netzbetrieb zum Beispiel sieht das Gesetz nicht vor. Der Präsident des Bundeskartellamtes, Andreas Mundt, hielt das Kriterium für bedenklich, weil es eine „ungerechtfertigte Bevorzugung kommunaler Unternehmen“ ermögliche. Der Wettbewerb sei notwendig, „damit die Verbraucher bestmöglich profitieren“. Auch Vorgaben, dass der Konzessionär möglichst viel in die regionale Wirtschaft investieren möge, vertragen sich laut Mundt nicht mit den gesetzlichen Anforderungen. Mehrmals schon hat seine Behörde beanstandet, wenn Kommunen aus ähnlichen Gründen ihren Eigenbetrieben den Zuschlag gaben.

[...] Kommunale Spitzenverbände protestieren gegen die strengen Vorgaben der Marktaufseher. Der Berliner Energierechtler Philipp Boos meint, dass sie gegen die vom Grundgesetz garantierte Selbstverwaltungshoheit der Gemeinden verstießen. Wettbewerbsfreiheit vor Entscheidungsfreiheit: Der Konflikt macht auch die Politiker im Berliner Senat nervös. [...]

Christiane Grefe, „Berlins Stromrebell“, in: DIE ZEIT Nr. 23 vom 29. Mai 2013

gien nach ihren Erzeugungskosten wird als *Merit Order* (engl. für „Reihenfolge der Grenzkosten“) bezeichnet.

Aus dem Schnittpunkt der Angebots- und der Nachfragekurve ermittelt der Börsenbetreiber am *Day-Ahead*-Markt für jede Stunde des Folgetages einen einheitlichen Strompreis. Dessen Höhe bestimmt das teuerste Kraftwerk, das noch nötig ist, um die Nachfrage in der jeweiligen Stunde zu decken. Meist entspricht dies in der *Merit Order* den Erzeugungskosten eines Steinkohle-, seltener denen eines Gaskraftwerks.

Weil der Börsenpreis am Spotmarkt stark schwankt und Stromlieferanten ihre Endkundenpreise in der Regel für längere Zeiträume kalkulieren, beziehen sie den Großteil ihres Stroms nicht am Spot-, sondern am **Terminmarkt** – der Börse *EEX Power Derivatives* – oder direkt von den Kraftwerksbetreibern (engl. *over the counter*, außerhalb der Börse, kurz: OTC). Über sogenannte *Future*- oder *Forward*-Produkte kaufen Lieferanten Strom meist sechs Monate bis drei Jahre im Voraus ein. Weil der Großhandel sehr aufwendig ist, haben nur größere Energieversorger eigene Handelsabteilungen. Stadtwerke haben den Einkauf häufig an Dienstleister wie Trianel oder Südweststrom ausgelagert.

Mit steigenden Kosten für Kohle und Gas nahm der Börsenpreis vor allem zwischen 2003 und 2008 zunächst stark zu. Im Jahr 2012 machte die Beschaffung auf dem Großhandelsmarkt nach Angaben der Bundesnetzagentur ein Viertel des Strompreises für Haushaltskunden aus. Wie sich der Großhandelspreis für Strom in den kommenden Jahren entwickeln wird, hängt von mehreren Faktoren ab: vom Wachstum bzw. von der Nachfrage in den Schwellenländern, von Fortschritten bei der Energieeffizienz, vom Preis für CO₂-Zertifikate und von der Erschließung neuer Gasvorkommen in Schiefergestein und in der Tiefsee. Die Förderung aus unkonventionellen Lagerstätten (siehe S. 19) und die schwache Konjunktur nach der Finanzkrise haben den Gas- und den Strompreis für die Industrie in den USA zwischen 2008 und 2012 um 60 Prozent fallen lassen. Weil deshalb auf dem Weltmarkt auch die Nachfrage nach konkurrierenden Brennstoffen zurückging, sank 2012 der Steinkohlepreis gegenüber dem Vorjahr um sieben Prozent. Dieser Verfall des Kohlepreises war neben der hohen Einspeisung von erneuerbaren Energien und dem gefallenem Preis für Treibhausgaszertifikate ein weiterer Grund, warum der Strompreis an der EEX 2012 stark zurückging.

Marktmacht und Machtkontrolle

In der Energiewirtschaft besteht das Risiko, dass sich der Preis auf den Großhandelsmärkten nicht allein nach marktwirtschaftlichen Prinzipien bildet. Befindet sich ein großer Teil der Kraftwerke in der Hand weniger Erzeuger, können diese ihre Marktmacht ausnutzen und den Strompreis in die Höhe treiben. Nach der Öffnung des Strommarkts war der Großhandelspreis bis zum Jahr 2000 zunächst um ein Drittel gegenüber 1998 gefallen. Doch danach stiegen die Preise wieder an. Als 2006 der Börsenpreis in Deutschland deutlich über den Erzeugungskosten der preisbestimmenden Kraftwerke lag, leitete die EU-Kommission Beschwerdeverfahren gegen E.On ein und ließ Büros des Konzerns durchsuchen. Die Generaldirektion Wettbewerb hatte den Verdacht, dass der Konzern günstigen Strom aus Braunkohle-, Wasser- oder Kernkraftwerken zurückgehalten haben könnte, damit der Börsenpreis durch ein teureres Kraftwerk bestimmt wurde als nötig war.

Die Ermittlungen endeten mit einem Vergleich: Die Kommission stellte das Verfahren 2008 ein, und im Gegenzug ver-

pflichtete sich E.On, sein Stromübertragungsnetz und mehrere große Kraftwerke zu verkaufen. In ihrer vorläufigen Beurteilung schrieb die Kommission allerdings, dass „der deutsche Stromgroßhandelsmarkt von den drei Betreibern E.On, RWE und Vattenfall gemeinsam beherrscht wird. [...] E.On, RWE und Vattenfall [könnten] des Weiteren eine gemeinsame Preiserhöhungsstrategie vereinbart haben.“

Abreden der Konzerne seien aber für den Missbrauch von Marktmacht gar nicht nötig, folgerte das Bundeskartellamt in Bonn aus einer Sektoruntersuchung in den Jahren 2007 und 2008. „Die Analyse der Kräfteverhältnisse auf dem Stromgroßhandelsmarkt [...] leg[t] das Ergebnis nahe, dass in Deutschland mehrere Anbieter (RWE, E.On, Vattenfall und gegebenenfalls auch EnBW) individuell über eine marktbeherrschende Stellung verfügen“, schrieb die Behörde in einem zusammenfassenden Bericht im Januar 2011. Der Nachweis einer marktbeherrschenden Stellung war allerdings schwierig, weil ein Viertel aller deutschen Kraftwerke nach Angaben der Betreiber im Untersuchungszeitraum wegen „technischer Restriktionen“ nicht am Netz war. Die Wettbewerbsbehörde sah sich deshalb nicht imstande, missbräuchliche Kapazitätszurückhaltungen nachträglich von technisch unvermeidbaren Stillständen zu unterscheiden.

Durch die 2013 eingerichtete Markttransparenzstelle bei der Bundesnetzagentur in Bonn und die 2011 gestartete europäische Regulierungsbehörde ACER (*European Agency for the Cooperation of Energy Regulators*) in Ljubljana werden die Wettbewerbsbehörden in den kommenden Jahren genauere Daten zum Energiegroßhandel erheben und grenzüberschreitende Stromgeschäfte innerhalb der EU besser kontrollieren können. Nach dem Verkauf von Kraftwerken und der Stilllegung von acht Atomreaktoren im Jahr 2011 verfügen die vier deutschen Energiekonzerne noch über 73 Prozent der inländischen konventionellen Stromerzeugungskapazitäten. Für einen stärkeren Wettbewerb auf dem Großhandelsmarkt müssten zum einen mehr Energieversorger eigene Kraftwerke bauen. Bisher haben kommunale Unternehmen einen Anteil von 18 Prozent am Kraftwerkspark, neun Prozent entfallen auf Erzeugungsanlagen von Industrie- und Gewerbebetrieben sowie auf ausländische Energieversorger. Für mehr Wettbewerb würde zum anderen der Bau zusätzlicher grenzüberschreitender



Die Europäische Regulierungsbehörde ACER mit Sitz in Ljubljana soll für mehr Transparenz auf dem Energiemarkt sorgen. Anlässlich ihrer Gründung im März 2011 hält ihr Direktor, Albert Pototschnig, die Eröffnungsrede.

REUTERS / Stojan Zivulovic

Leitungen sorgen, sodass Strom und Gas ohne Engpässe über Landesgrenzen fließen könnten. Die Marktmacht national ausgerichteter Versorger würde in einem europäischen Energiebinnenmarkt schrumpfen.

Preisbeeinflussung durch erneuerbare Energien

Die größte Herausforderung für den Erzeugungsmarkt wird in den kommenden Jahren aber die Einbeziehung der erneuerbaren Energien sein. Bisher ist die Preisbildung auf konventionelle Kraftwerke zugeschnitten. Die hohen Preise zur Mittagszeit etwa waren für die Betreiber konventioneller Kraftwerke ein wichtiger Baustein, um den Deckungsbetrag für ihre Kraftwerksinvestitionen und ihre Gewinne zu erwirtschaften. Die Preisbildung wird aber zunehmend durch erneuerbare Energien beeinflusst.

Übertragungsnetzbetreiber verkaufen Ökostrom, der durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert wird, seit 2010 an den Spotmärkten. Die Differenz zu der höheren, im EEG garantierten Vergütung tragen die Stromverbraucher seit dem Jahr 2000 über die EEG-Umlage. Mit 3,6 Cent pro Kilowattstunde machte sie 2012 genau 13,8 Prozent des Strompreises von 26 Cent aus.

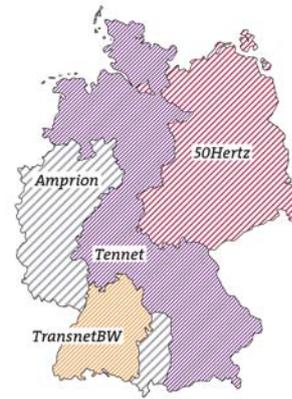
Weil erneuerbare Energien keine Brennstoffe verbrauchen, liegen ihre laufenden Kosten bei null und sind damit nach dem derzeitigen Marktmodell so niedrig wie bei keiner anderen Erzeugungstechnologie. Erneuerbare Energien verdrängen deshalb Anlagen mit höheren Grenzkosten vom Markt, sodass der Preis von einem günstigeren Kraftwerk bestimmt wird – zum Beispiel von einem abgeschriebenen Steinkohlekraftwerk anstelle eines neuen Gaskraftwerks. Durch diesen *Merit-Order-Effekt* (siehe a. S. 55/56) senken erneuerbare Energien den Strompreis an der Börse.

Die Folge ist paradoxerweise eine steigende EEG-Umlage. Denn wenn der Börsenpreis sinkt, erhöht sich automatisch die Differenz zur garantierten Vergütung. Der *Merit-Order-Effekt* war ein Grund dafür, dass sich die EEG-Umlage 2013 von 3,6 auf 5,3 Cent pro Kilowattstunde erhöhte und ihr Anteil an den Stromkosten von 13,8 auf 18,3 Prozent stieg. Allein die kurz zuvor drastisch ausgebaute Solarenergie deckt an sonnigen Mittagen bereits bis zu einem Drittel des deutschen Stromverbrauchs, wodurch der früher zur Mittagszeit besonders hohe Strompreis sinkt. Dadurch wird es besonders für teure Gaskraftwerke – die früher zur Bedarfsdeckung in Zeiten hoher Nachfrage eingesetzt wurden – schwerer, Gewinne zu erwirtschaften. Solange preisgünstige Speicher für große Elektrizitätsmengen fehlen, bleiben aber fossile Kraftwerke nötig, um die Stromerzeugung aus wetterabhängigen erneuerbaren Energien abzusichern und Schwankungen im Stromnetz auszugleichen. Neue Regeln für den Strommarkt müssten also gewährleisten, dass einerseits erneuerbare Energien vermarktet werden können, ohne einen öffentlichkeitswirksamen Bestandteil ihrer Förderung selbst in die Höhe zu treiben, und sich andererseits auch fossile Kraftwerke noch rentieren.

Entgelte für den Energietransport

Die zweite Wertschöpfungsstufe in der Energiewirtschaft nach Erzeugung und Handel ist der Transport. Die Stromhöchstspannungsleitungen gehören den vier Übertragungsnetzbetreibern Tennet TSO, Amprion, 50Hertz Transmission und TransnetBW. Bis vor wenigen Jahren waren sie im Besitz der vier großen Energieerzeuger, derzeit ist noch RWE mit 25 Prozent an Amp-

Netzbetreiber



SZ-Grafik Eiden in: Süddeutsche Zeitung vom 27. November 2012; Quelle: Bundesnetzagentur

tion beteiligt, EnBW mit 87 Prozent an TransnetBW. Die niedrigeren Spannungsebenen sind im Eigentum der 735 regionalen Verteilnetzbetreiber, also Stadtwerken oder Regionalversorgern, von denen einige den vier Energiekonzernen gehören.

Seit Beginn der Energiemarktliberalisierung 1998 hat die Politik immer aufwendigere Methoden entwickelt, das natürliche Monopol der Netzbetreiber zu regulieren und Energielieferanten einen diskriminierungsfreien Zugang zu Strom- und Gasleitungen zu verschaffen. Die Eigentümer der Netze hatten den neuen Rechtsanspruch der Lieferanten auf Netzzugang zunächst durch überhöhte Entgelte für die Durchleitung von Strom und Gas behindert. Konkurrierenden Versorgern war es dadurch nur schwer möglich, diese Energieträger gewinnbringend anzubieten.

Seit 2006 genehmigen deshalb die Bundesnetzagentur und die Regulierungsbehörden der Länder die Höhe der Netzentgelte. Sie sind abhängig von der Größe und Struktur des Netzgebietes, vom Erneuerungsbedarf alter Leitungen und von der Zahl neu anzuschließender Kraftwerke – vor allem Ökostromanlagen. Die Netzentgelte sind deshalb bei jedem der 735 regionalen Netzbetreiber unterschiedlich hoch. Zusammen mit den Entgelten für Zählerbetrieb, Messung und Abrechnung machten sie 2012 durchschnittlich 23 Prozent des Strompreises aus.

Die Netzentgelte inklusive der Messkosten sind durch Eingriffe der Regulierungsbehörden von 7,3 Cent im Jahr 2006 auf sechs Cent pro Kilowattstunde im Jahr 2012 gesunken. Durch ihr Eigentum an der Infrastruktur haben die Netzbetreiber aber ein gewisses Druckpotenzial gegenüber den Regulierungsbehörden und dem Gesetzgeber. Nach Protesten der Netzfirmer hat die Bundesnetzagentur die regulierten Renditen der Unternehmen für den Zeitraum 2014 bis 2018 nicht so stark gesenkt wie zunächst beabsichtigt. Die dem Bundeswirtschaftsministerium unterstehende Behörde wollte damit einen schnellen Ausbau des Stromnetzes für die erneuerbaren Energien ermöglichen.

Vertrieb durch die Lieferanten

Die dritte Stufe der Wertschöpfung in der Energiewirtschaft ist schließlich der Vertrieb durch die Lieferanten. Wie viel der Lieferant auf den Großhandelspreis aufschlägt, hängt stark vom Wettbewerbsdruck ab, also von der Zahl der Anbieter und der Bereitschaft der Kunden zu einem Versorgerwechsel. In Deutschland gibt es etwa 1000 Stromversorger, bei dem größten Teil

handelt es sich allerdings um Stadtwerke oder Regionalversorger, die nur in ihren Stammgebieten Energie vertreiben. Hinzu kommen rund 50 private Energiehändler, die meist weder über eigene Kraftwerke noch Netze verfügen. Pro Netzgebiet kann ein Haushalt durchschnittlich zwischen 80 Lieferanten wählen. Die höchsten Marktanteile halten immer noch E.On, RWE, Vattenfall und EnBW. Zusammen haben sie Stromlieferverträge mit 42 Prozent aller Haushalte. Dabei treten die vier Konzerne auch unter den Markennamen eigener Discounttöchter oder von Stadtwerken auf, an denen sie Mehrheitsbeteiligungen halten.

Der Lieferant, der in einem Netzgebiet die meisten Kunden versorgt, wird als Grundversorger bezeichnet. Er ist gesetzlich verpflichtet, jeden Kunden im Netzgebiet mit Strom oder Gas zu beliefern. Sollte der Vertragspartner eines Kunden die Belieferung einstellen, übernimmt automatisch der Grundversorger. Mit dieser Pflicht begründen die Lieferanten, dass Grundversorgungstarife besonders teuer sind. Grundversorger sind in der Regel Stadtwerke oder Vertriebstöchter der vier großen Stromerzeuger.

Obwohl es eine große Zahl an Wettbewerbern auf dem Endkundenmarkt gibt, ist die Wechselbereitschaft von Haushaltskunden immer noch eher schwach ausgeprägt. Nur 17 Prozent der Haushalte hatten bis 2011 ihren Energielieferanten gewechselt. Etwa 43 Prozent hatten neue Verträge mit ihrem Grundversorger abgeschlossen, die im Durchschnitt 1,5 Prozent teurer sind als die Belieferung durch einen Konkurrenten. Rund 40 Prozent der Haushalte waren 2011 sogar immer noch in einem der Grundversorgungstarife, die im Mittel 4,7 Prozent teurer sind als Angebote von Wettbewerbern. Wegen der eher schwachen Wechselbereitschaft der Kunden konnten die Stromlieferanten den Vertriebsanteil am Durchschnitt aller Stromtarife von drei Prozent im Jahr 2007 auf acht Prozent 2012 erhöhen, ohne hohe Kundenverluste befürchten zu müssen.

Steuern, Abgaben und Umlagen

Zusammengenommen fließen fast 70 Prozent des Strompreises in die Wirtschaft, mit 30 Prozent ist der staatliche Anteil an den Stromkosten allerdings, verglichen mit anderen Ländern, hoch. Die Mehrwertsteuer wird auf alle Verbrauchsgüter erhoben und macht 16 Prozent des Strompreises aus. Spezifisch für den Energiesektor ist zum einen die Konzessionsabgabe. Kommunen erheben sie seit Beginn der Elektrifizierung dafür, dass die Stromleitungen über öffentliche Wege führen. Die zulässige Höhe der Abgabe ist nach der Einwohnerzahl der Kommune gestaffelt, durchschnittlich liegt sie bei 1,7 Cent pro Kilowattstunde (2012: 6,4 Prozent des Strompreises).

Hinzu kommt die Stromsteuer in Höhe von zwei Cent pro Kilowattstunde (2012: 7,9 Prozent des Preises). Sie wurde 1999 schrittweise mit der ökologischen Steuerreform eingeführt und wird genutzt, um die Beiträge von Arbeitnehmern und Arbeitgebern zur Rentenversicherung zu begrenzen. Die Ökosteuern sollen einen Anreiz zum Energiesparen setzen, und sie macht deutlich, dass es auch politische Gründe dafür gibt, Energie zu verteuern. Die Pflicht zum Kauf von Emissionszertifikaten ist ebenfalls ein Mittel, gesamtwirtschaftliche Kosten des Energieverbrauchs in den Preisen abzubilden und so den Umbau hin zu einem umwelt- und ressourcenschonenden Wirtschaftssystem voranzubringen.

Belastungen von Verbrauchern und Wirtschaft

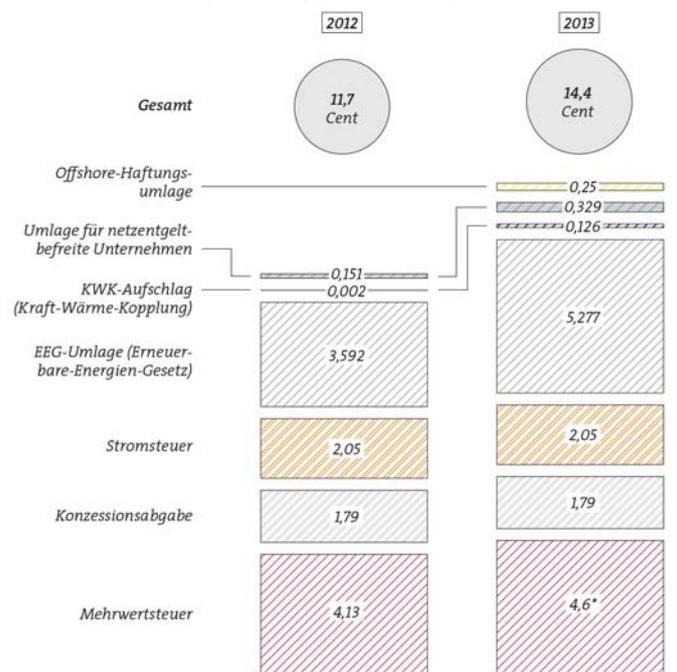
Gleichzeitig belasten steigende Energiepreise Bürgerinnen und Bürger sowie Teile der Wirtschaft immer stärker. Ein Durchschnittshaushalt gibt für Heizung, Benzin und Strom inzwischen fast genauso viel aus wie für Lebensmittel, wobei die Ausgaben für Strom den geringsten Anteil an den Energiekosten haben. Zwischen 2000 und 2012 nahmen die allgemeinen Verbraucherpreise laut Statistischem Bundesamt aufgrund der Inflation um 22 Prozent zu. Benzin ist dagegen für Haushalte um 61 Prozent teurer geworden, Strom und Erdgas um 77 Prozent, Heizöl sogar um 115 Prozent.

Innerhalb der Wirtschaft gibt es große Unterschiede beim Verbrauch einzelner Energieträger und bei der Kostenbelastung. Während für das Transportgewerbe die Treibstoffpreise entscheidend sind, verbrauchen zum Beispiel Kühlhäuser oder IT-Unternehmen vor allem Strom. In der Industrie ist neben Elektrizität auch Wärme und damit Erdgas ein wichtiger Produktionsfaktor. Die Spannweite der Energiekostenbelastung reicht vom Ladeninhaber, der nur Beleuchtung und Heizung bezahlen muss, bis zum Aluminiumproduzenten, der für ein Prozent des gesamten deutschen Stromverbrauchs verantwortlich ist.

Für Gewerbebetriebe betrug der Strompreis inklusive Umsatzsteuer 2012 mit knapp 24 Cent etwa so viel wie für Haushaltskunden mit 26 Cent pro Kilowattstunde. Zieht man aber die Mehrwertsteuer ab, die die Unternehmen ja zurückbekommen, zeigt sich vor allem bei Industrieunternehmen eine hohe Differenz zum Haushaltskundenpreis. Sie zahlen netto mit 13 Cent pro Kilowattstunde nahezu halb so viel. Industriebetriebe profitieren vor allem davon, dass sie an höhere Spannungsebenen angeschlossen sind. Weil sie nur einen Teil des Stromnetzes nutzen, zahlen sie durchschnittlich ein Netzentgelt von

Staatlicher Anteil am Strompreis 2013

Durchschnittliche staatliche Abgaben pro Kilowattstunde Strom für einen Drei-Personen-Haushalt (Verbrauch 3500 kWh/Jahr)

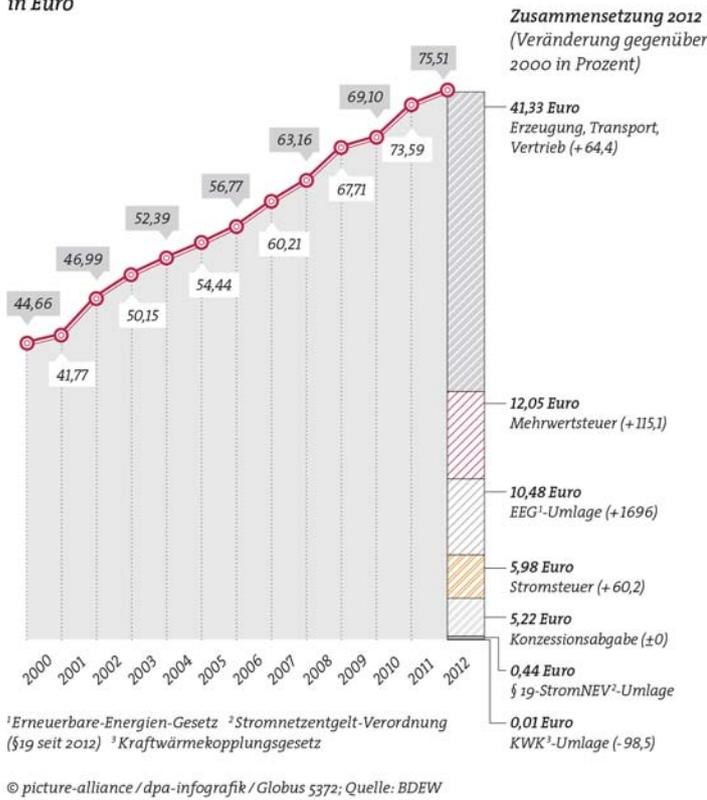


© picture-alliance / dpa-infografik 17785; Quelle: BDEW

*geschätzt

Die Stromrechnung

Durchschnittlicher monatlicher Strompreis eines Drei-Personen-Haushaltes (Jahresverbrauch 3500 kWh) in Euro



1,7 Cent pro Kilowattstunde. Bei Haushalten sind es 5,4 Cent. Die Konzessionsabgabe ist für Großkunden wie Industriebetriebe ebenfalls geringer.

Die Kosten für Beschaffung und Vertrieb liegen mit 5,7 Cent ebenfalls deutlich unter den Konditionen für Haushaltskunden, denen durchschnittlich 8,4 Cent pro Kilowattstunde berechnet werden. Industriebetrieben kommt dabei ihr gleichmäßiger Verbrauch zu Gute. Sie brauchen seltener teuren Spitzenlast-Strom als Haushalte. Sehr große Betriebe können mit Energielieferanten zusätzlich Rabatte auf die Vertriebsmarge aushandeln, außerdem profitieren Industriekunden stärker vom preissenkenden *Merit-Order*-Effekt der erneuerbaren Energien als Verbraucherinnen und Verbraucher.



Die Energieschuldenfalle

Die Energiewende gibt es nicht umsonst, und mit jeder neu installierten Solaranlage und jedem zusätzlichen Windrad wird sie teurer. Zwar kursieren bislang nur vage Kalkulationen, doch schon jetzt ist klar: Die Umlage für die Subventionierung von Ökostrom wird im kommenden Jahr noch teurer. Von derzeit 5,27 Cent je Kilowattstunde könnte sie auf deutlich mehr als 6 Cent klettern.

Auf der Stromrechnung addieren sich die Centbeträge zu einem saftigen Plus, das für die einen ärgerlich, aber zu verschmerzen ist – für diejenigen jedoch, die mit ihrem Geld schon jetzt kaum über die Runden kommen, zum ernsthaften Problem werden kann. Allein im vergangenen Jahr, als Strom noch deutlich günstiger war, drehten die Versorger mehr als 300 000 säumigen Zahlern den Saft ab. Jeder vierte Berliner, der 2012 die Schuldnerberatung aufsuchte, hatte „Energieschulden“, 2006 war es noch jeder zehnte. [...]

Umso erstaunlicher ist die große Unwissenheit, die in Deutschland über den Zusammenhang von hohen Energiekosten und Armut herrscht. [...]

Um Licht ins Dunkel zu bringen, müssen erst einmal diejenigen identifiziert werden, denen steigende Energiekosten besonders weh tun. Das sind, anders als oft angenommen, nicht zwangsläufig die Empfänger von Arbeitslosengeld II.

Wer mit Schulden- und Energieberatern spricht, erfährt: Ein erheblicher Teil ihrer Klientel sind Geringverdiener und Rentner. Gerade Menschen, die knapp über der Schwelle für den Bezug von Sozialtransfers liegen, hätten häufig damit zu kämpfen, jeden Monat ihre Energierechnung zu bezahlen.

Hartz-IV-Empfänger dagegen bekommen ihre Heizkosten, solange sie „angemessen“ sind, von den Behörden überwiesen. Die Kosten für die Stromrechnung ist im Regelsatz enthalten. Auch wenn diese Rechnung in der Realität aus unterschiedlichen Gründen oft nicht aufgeht – zumindest auf dem Papier schützt die Grundsicherung davor, unverhofft im Dunkeln oder Kalten zu sitzen. Die Pauschalforderung von Verbraucherschützern, mit höheren Transfers gegen Zahlungsengpässe anzukämpfen, greift damit zu kurz.

[...] [Die] Briten [...] haben eine Formel für Energiearmut entworfen und ermitteln jährlich, wer betroffen ist. [...]. Wer mehr als 10 Prozent eines geringen Einkommens für Energie ausgeben muss, gilt als „energiearm“.

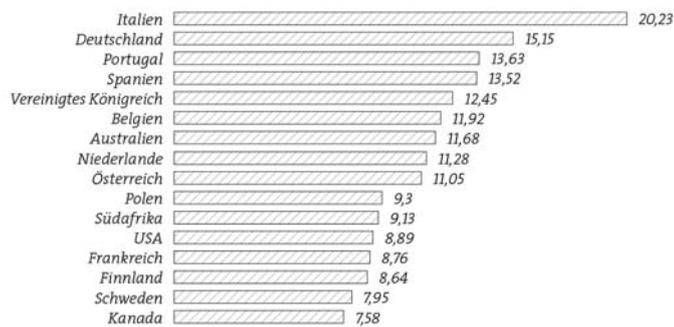
Diese Methode lässt sich wegen des hiesigen Sozialsystems zwar nicht eins zu eins auf Deutschland übertragen. Sie lenkt jedoch den Blick darauf, dass Energiearmut nicht allein mit Einkommen, sondern entscheidend mit Energieeffizienz zu tun hat. Leben Ärmere in energetisch unzureichend sanierten Häusern, erhöht das ihren Energiebedarf und verschärft die Problematik.

Ist das in Deutschland häufig der Fall? Um diese Frage fundiert zu beantworten, fehlen schlicht die Daten. Genauso fehlt Vermietern, in deren Wohnungen Transferbezieher oder Geringverdiener leben, der Anreiz, in neue Fenster oder besser gedämmte Wände zu investieren. Denn um solche Kosten wieder herein zu bekommen, müssten sie anschließend die Mieten erhöhen – und das ist wegen der finanziellen Misere ihrer Mieter oft nicht möglich. [...]

Johannes Pennenkamp, „Energie und Armut“, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 6. Juli 2013

Industriestrompreise nach Ländern weltweit 2012

Strompreise in US-Dollar-Cent pro kWh
(ausgewählte Länder, Juni 2012)



LUX 02/2013, S. 24; Quelle: NUS Consulting Group

Innerhalb der EU lagen die deutschen Industriestrompreise 2012 um 20 Prozent über dem Durchschnitt, wenn man die aufwendig zu versorgenden Inselstaaten Malta und Zypern herausrechnet. Grund waren vor allem die hohen Steuern, Abgaben und Umlagen. In den USA kostet Strom nur etwa halb so viel wie in Deutschland. Die Politik ist deshalb bestrebt, die Strompreise für solche Industriebranchen niedrig zu halten, die besonders energieintensiv sind und die in intensivem internationalem Wettbewerb stehen. Hoher Wettbewerbsdruck gegenüber anderen Ländern verhindert, dass die Unternehmen Preissteigerungen an ihre Kunden auf den internationalen Märkten weitergeben können.

Für energieintensive Unternehmen gibt es allerdings keine einheitliche Definition. In einigen Gesetzestexten werden darunter Großverbraucher verstanden, deren Stromkosten vier Prozent des Umsatzes übersteigen. Andere Beihilfen beziehen

sich auf die Bruttowertschöpfung, die dem Umsatz abzüglich der Vorleistungen entspricht. Dadurch sollen auch solche energieintensive Unternehmen in den Genuss von Strompreisermäßigungen kommen, die weitgehend fertige Komponenten veredeln und deren eigener Beitrag zur Wertschöpfung des Endprodukts relativ gering ist.

Besonders energieintensive Prozesse finden sich vor allem in der Grundstoffindustrie, bei der Produktion von Baustoffen, Papier, Glas, Metallen und Chemikalien. In der Grundstoffindustrie arbeiten 820 000 Menschen und damit 2,3 Prozent der Beschäftigten in Deutschland. Die Produkte dieser Betriebe werden in vielen anderen Branchen weiterverarbeitet. In der Politik gibt es deshalb die Sorge, dass bei einer zu hohen Belastung mit Energiekosten die Grundstoffindustrie und mit ihr viele weitere Arbeitsplätze ins Ausland verlagert werden könnten. Für besonders energieintensive Industriebranchen gibt es darum zahlreiche staatliche Beihilfen auf die Energiepreise, besonders für Strom.

Die Grundstoffindustrie zahlt weder Stromsteuer noch Netzentgelte und kann auch von der Konzessionsabgabe befreit werden. Die ermäßigten Sätze der EEG-Umlage von 0,05 Cent und der KWK-Umlage von 0,025 Cent pro Kilowattstunde (zur Förderung von Anlagen, die in Kraft-Wärme-Kopplung gleichzeitig Strom und Wärme erzeugen) sind so niedrig, dass dies einer Befreiung nahekommmt. Die Grundstoffindustrie zahlt deshalb im Wesentlichen nur den Börsenpreis und einen Aufschlag für den Lieferanten.

EEG-Umlage

Energieintensive Produktionsunternehmen außerhalb der Grundstoffindustrien sind zwar nicht komplett von Steuern, Abgaben und Umlagen befreit, für sie gibt es aber zumindest Ermäßigungen. In den vergangenen Jahren wurde der Kreis der privi-

Wie gerecht ist die EEG-Umlage?

[...] [B]ei der Firma Aurubis [laufen] die Fäden der Energiewende zusammen. Europas größte Kupferhütte liefert dem Umbau den nötigen Rohstoff: Kupfer für Hightech-Kabel und Windräder. „Einerseits bedeutet die Wende für uns als energieintensive Industrie ein gewaltiges Risiko. Wir sind auf bezahlbaren Strom angewiesen“, sagt Ulf Gehrckens, Energie-Manager bei Aurubis. „Auf der anderen Seite profitieren wir davon, denn die erneuerbaren Energien erfordern den vermehrten Einsatz von Kupfer. Allein in einem Windrad sind es rund acht Tonnen.“

Das Werk in Hamburg gilt in der Industrie weltweit als führend beim Stromsparen. Wegen des gewaltigen Verbrauchs ist der Konzern von der Ökostrom-Umlage ausgenommen. Trotzdem zahlt er noch immer doppelt so viel für Energie wie seine Konkurrenten in China. „Mehr geht nicht“, sagt Gehrckens. „Die Konsequenz

wäre, dass das Kupfer für die deutsche Wende künftig von anderen Unternehmen aus Asien kommt. Dort wird bei der Herstellung doppelt so viel Energie verbraucht und mit weniger Umweltschutz gearbeitet. Ein Drittel unseres Stromverbrauchs fließt gerade in Umweltschutzmaßnahmen wie Luftfilter.“ [...]

Doch auch in der Wirtschaft wachsen die Zweifel, ob es so weitergehen kann. Denn die Ausnahmen von der Ökostrom-Finanzierung sind in Deutschland längst zur Regel geworden. Die Liste der Begünstigten für 2012 umfasst gut 700 Unternehmen und ist mehr als 20 Seiten lang. [...] [F]ür [...] [2013] haben bereits 2000 Betriebe einen Antrag für den Sonderstatus gestellt.

[Bernad Drechsel] [...] führt seit einigen Jahren das Unternehmen seiner Familie, die Textilveredelung Drechsel in Selb. 140 Mitarbeiter hat er heute und bearbeitet Stoffe für Kunden aus der Region. Weil der Strompreis seit Jahren steigt, investierte die Firma Millionen in einen geringeren

Verbrauch. Durch neue Maschinen und Lichtsysteme konnte dieser um 25 Prozent reduziert werden. Ein Erfolg, der Drechsel jetzt teuer zu stehen kommt. Denn sein Unternehmen nimmt zu wenig Strom ab, um von der EEG-Umlage befreit zu werden. Damit steigt die Stromrechnung für den Betrieb rapide. Die Ökostromkosten fressen die Ersparnis wieder auf. [...]

Am meisten ärgert Drechsel, dass Firmen in der Nachbarschaft mit einem üblen Trick durchkommen. Ende des Jahres, erzählt Drechsel, würden die rund um die Uhr ihre Maschinen laufen und die Lichter brennen lassen, um den Stromverbrauch künstlich über die Grenzwerte zu treiben. Für solche Firmen ein Gewinn: Der zusätzliche Verbrauch koste einen niedrigen fünfstelligen Betrag, die Ersparnis durch die Befreiung von der Ökostrom-Umlage hingegen liege „im hohen sechsstelligen Bereich“, sagt Drechsel. [...]

Markus Balsler, Marlene Weiss, „Stromschlag“, in: Süddeutsche Zeitung vom 20./21. Oktober 2012



picture alliance / Roland Weirauch

Die Trimet Aluminium AG in Essen gehört mit rund einem Prozent am gesamten deutschen Stromverbrauch zu den energieintensivsten Produktionsunternehmen in Deutschland. Strompreismäßigungen sollen sie international wettbewerbsfähig halten.

legierten Unternehmen immer größer. Allein Nachlässe bei der Energie- und Stromsteuer und der EEG-Umlage betragen jährlich mehrere Milliarden Euro. Seit 2004 brauchen Industrieunternehmen nicht mehr detailliert nachzuweisen, wie stark die Zahlung der EEG-Umlage ihre Wettbewerbsfähigkeit beeinträchtigen würde. Verschiedene Bundesregierungen rechtfertigten die Ausnahmen damit, dass die EEG-Umlage und die Stromsteuer nationale Besonderheiten seien und deutsche Industrieunternehmen international wettbewerbsfähig sein müssten.

Durch immer weitere Ausnahmen für Teile der Industrie müssen private Haushalte sowie nicht-begünstigte Gewerbetreibende und Industrieunternehmen allerdings immer höhere Belastungen zur Finanzierung der EEG-Umlage tragen. Kurzzeitig waren die Mehrbelastungen durch Industriebeihilfen auf zehn Prozent der Umlage begrenzt, Ende 2006 strich der Gesetzgeber diese Deckelung aber. Ohne Industrierabatte hätte die EEG-Umlage nach Angaben der Bundesnetzagentur 2012 nur bei knapp drei statt 3,6 Cent pro Kilowattstunde gelegen. Dieser Trend kann sich in Zukunft noch verstärken, weil immer mehr Unternehmen eigene Kraftwerke und Privatleute Solaranlagen betreiben. Auf den selbst erzeugten und verbrauchten Strom wird bisher eben-

falls keine EEG-Umlage fällig. Steigende Vergütungen müssten bei dieser Entwicklung von immer weniger Verbrauchern finanziert werden.

Kontroverse um die Förderung der erneuerbaren Energien

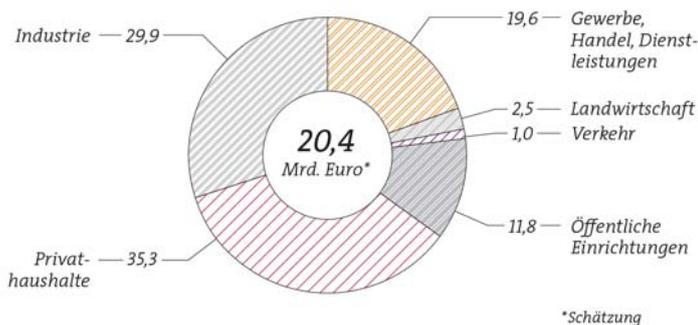
Im Interesse der Verbraucher wie auch kleiner und mittlerer Unternehmen wird vielfach gefordert, die Förderung erneuerbarer Energien zu reformieren. Gleichzeitig ist umstritten, ob die positiven Beschäftigungseffekte der erneuerbaren Energien die hohe Förderung rechtfertigen. Nach Angaben des Bundesumweltministeriums arbeiteten 2011 etwa 382 000 Menschen im Bereich der erneuerbaren Energien. Die Arbeitsplätze finden sich in der Metall-, Elektro- und Chemieindustrie sowie im Maschinenbau bei der Produktion der Ökostrom-Anlagen, im Handwerk bei der Installation und Wartung sowie im Dienstleistungsgewerbe beim Betrieb von zum Beispiel Windparks.

Neuen Arbeitsplätzen stehen die Kosten für die Förderung nach dem EEG gegenüber, 2012 betrug die Vergütung 15,4 Milliarden Euro. Diese Summe wurde den Verbrauchern an Kaufkraft entzogen oder sie fehlte Unternehmen für Investitionen. In der konventionellen Energiewirtschaft gehen außerdem immer mehr Arbeitsplätze verloren.

Zu ersten nachhaltigen Arbeitsplatzverlusten kam es auch bereits in der Erneuerbaren-Branche, als 2011 und 2012 eine Reihe von Solaranlagenherstellern trotz milliardenhoher Zuschüsse Insolvenz anmeldeten. Wie in anderen Bereichen der Elektroindustrie hatten asiatische Hersteller die Marktführerschaft erobert. Die hohe Förderung der Solarbranche wird von vielen inzwischen als kritisch gesehen. Es gibt aber kaum Zweifel, dass erneuerbare Energien und Technologien für den effizienten Verbrauch von Energie in den kommenden Jahrzehnten wichtige Wachstumsmärkte bleiben werden. Der Klimawandel und der wachsende Energiebedarf der Weltbevölkerung lassen wenig Alternativen.

Wer die Kosten für das EEG trägt

Verteilung 2013 in Prozent



FAZ-Grafik Brocker vom 13. Juli 2013; Quellen: BDEW; AGEB; Bundesregierung



Langrock / Zenit / aif

Arbeitsplatz in luftiger Höhe: Servicemonteur für Windräder müssen fit und schwindelfrei sein, um wie hier die Rotorblätter auf Schäden zu prüfen.

Beschäftigung im Sektor erneuerbare Energien

Wenn es den typischen Beruf der Energiewende gibt, dann ist es dieser: Servicemonteur für Windräder. Fast wie ein Actionheld im Film hängt er – durch ein Seil gesichert – in schwindelerregender Höhe und montiert und wartet einen geflügelten Giganten. Voraussetzung für den Job sind eine abgeschlossene Berufsausbildung in Elektrotechnik, Maschinenbau oder Mechatronik sowie eine entsprechende Weiterbildung.

Aber es muss nicht so spektakulär sein, auch für die Mitarbeiter von Logistik oder Werften für die Offshore-Windkraft bringen Windräder Jobs. Den aktuellsten Zahlen der Bundesregierung zufolge beschäftigte die Windenergie 2012 direkt oder indirekt fast 118 000 Menschen.

[...] Fast 377 800 Menschen hat die Branche der erneuerbaren Energien im vergangenen Jahr in Deutschland nach offiziellen Angaben beschäftigt. Allerdings: Zum ersten Mal ist die Zahl rückläufig, 2011 waren es noch 381 600 Beschäftigte gewesen. Beginnt der Jobmotor Energiewende etwa zu stottern?

Bei der Windenergie zumindest läuft er noch einwandfrei. Laut einer vom Bundesumweltministerium in Auftrag gegebenen Studie zur Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien vom März 2013 könnte der deutsche Windmarkt im laufenden Jahr sogar „alle bisher dagewesenen Rekorde brechen“.

Bis zu 3500 Megawatt Stromleistung durch neue Windradanlagen könnten demnach entstehen. Gleichwohl, so die Macher der Studie, könnte mit dem Wachstum bald Schluss sein. [...] Denn bereits jetzt seien auf dem globalen Markt Überkapazitäten auszumachen. Die langfristige Folge: Die Nachfrage sinkt, die Preise für Windtechnologie fallen, Tausende Arbeitsplätze sind gefährdet.

In der Solarbranche kennt man das schon. Hier ist die Energiewende-Party spätestens seit dem vergangenen Jahr vorbei. Dabei schien sich das Jobversprechen zunächst auch hier zu bewahrheiten: Laut der Regierungsstudie vom März 2013 verfünffachte sich die Zahl der Beschäftigten von gut 25 000 im Jahr 2004 innerhalb von sieben Jahren auf 125 000. Dann brach sie im vergangenen Jahr auf nur noch 100 500 Arbeitnehmer ein. [...] Ein Hauptgrund: In Asien lassen sich Solarzellen deutlich billiger herstellen.

[...] Wurden 2011 in Deutschland noch 400 Biogasanlagen errichtet, waren es 2012 nur noch 300. Auch die Beschäftigung sank demnach. Im Biogasbereich arbeiten vor allem Anlagenbauer, Zulieferer, Landwirte und Servicekräfte. 2011 waren es noch rund 60 000, im vergangenen Jahr dann schon 20 000 Beschäftigte weniger [...]. Mit dem

Wegbrechen des inländischen Markts setzen die Unternehmen aufs Ausland: Die Exportrate der Branche stieg im dem Zeitraum von 10 auf 40 Prozent. [...]

Kann die Energiewende also auch in den kommenden Jahren neue Arbeitsplätze schaffen? [...] Der Trend scheint weg vom innerdeutschen Markt hin zu mehr Engagement im Ausland zu gehen.

Doch was ist mit den Arbeitsplätzen in Deutschland? Hier sehen Experten großes Potential beim Netzausbau. Laut einem Sprecher der Deutschen Energie-Agentur (Dena) müssen bis 2022 rund 4000 Trassenkilometer entstehen, um den durch Wind erzeugten Strom aus dem Norden und Osten der Republik in den Süden und Westen zu transportieren. Das Problem: Es gibt noch keine Zahlen, wie viele Arbeitsplätze der Netzausbau konkret schaffen kann. [...]

Markus Huth, „Der Aufwind flaut ab“, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 12. Juni 2013

Manuel Berkel

Energiepolitik

Die Energieversorgung ist eine der materiellen Lebensadern einer Gesellschaft. Aus ihrer hohen Bedeutung und den voneinander abweichenden Interessen einer Vielzahl gesellschaftlicher Gruppen ergeben sich ein starkes Konfliktpotenzial und damit ein besonderer politischer Steuerungsbedarf.



picture alliance / dpa / Foto: DigitalGlobe

Havarie mit weitreichenden Folgen: das Kernkraftwerk in Fukushima nach einer Explosion in Reaktor 3 im März 2011

Energiewende 2011

„Die Sicherstellung einer zuverlässigen, wirtschaftlichen und umweltverträglichen Energieversorgung ist eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts.“ Mit diesen Worten eröffnete die Koalition aus CDU/CSU und FDP ihr Strategiekonzept zur langfristigen Versorgung mit Energie vom 28. September 2010. Darin bekundete sie zwar die Absicht, beim Energiemix der Zukunft den erneuerbaren Energien den Hauptanteil zuzuweisen. Doch gleichzeitig warb sie um gesellschaftliche Akzeptanz für eine Laufzeitverlängerung der deutschen Kernkraftwerke als „Brückentechnologie“ und revidierte damit den Atomausstiegsbeschluss der rot-grünen Regierungskoalition von 2001. Nur knapp ein

Jahr später, am 6. Juni 2011, beschloss dieselbe Bundesregierung dagegen den endgültigen Ausstieg Deutschlands aus der Kernenergie bis 2022, der am 30. Juni 2011 in namentlicher Abstimmung des Bundestages mit der Mehrheit von 513 Stimmen als „13. Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes“ bestätigt wurde. Auslöser für diese Kehrtwende war ein Unfall im japanischen Atomkraftwerk Fukushima am 11. März 2011, bei dem es zur Kernschmelze gekommen war. Mit der von ihr selbst so betitelten „Energiewende“ stellte die schwarz-gelbe Bundesregierung den rot-grünen Atomausstiegsbeschluss von 2001 wieder her und verschärfte ihn sogar. Dieser wechselvolle Umgang mit der Kernenergie zeigt beispielhaft, wie stark die Energiepolitik von gegensätzlichen Interessen bestimmt wird.

Akteure

Ministerielle Zuständigkeiten auf Bundesebene

Die unterschiedlichen energiepolitischen Ziele spiegeln sich in der Verteilung der Zuständigkeiten auf verschiedene Ministerien der Bundesregierung wider. Eine sichere und preiswerte Energieversorgung für Unternehmen und Verbraucher ist traditionell Aufgabe des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Über das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) schafft es die ordnungspolitischen Rahmenbedingungen für die Wirtschaftssubjekte im Energiesektor. Dazu gehören insbesondere Regeln für den diskriminierungsfreien Zugang von Energielieferanten zu den Netzen für Strom und Gas, wodurch seit 1998 überhaupt erst Wettbewerb in der Energiewirtschaft entstehen konnte (siehe a. S. 54 ff.).

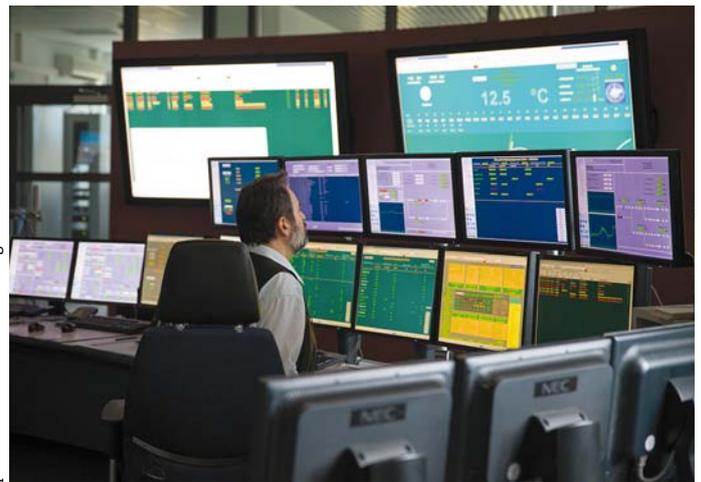
Details der Regulierung legt die Bundesnetzagentur fest, eine Behörde im Geschäftsbereich des Bundeswirtschaftsministeriums. Der möglichst störungsfreie Betrieb und der Ausbau der Energienetze fallen genauso in die Zuständigkeit des Wirtschaftsressorts, wie die anwendungsorientierte Energieforschung und das Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen.

Mit der wachsenden Bedeutung erneuerbarer Energien hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit in der Energiepolitik deutlich an Macht hinzugewonnen. Gegründet wurde es im Juni 1986 nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl. Damals übernahm es vom Innenministerium die Zuständigkeit für die Sicherheit von Kernkraftwerken und für die Lagerung von atomaren Abfällen



picture alliance / R4200

Neben dem Wirtschaftsministerium, derzeit unter der Leitung von Philipp Rösler (re., FDP), ist auch das Umweltministerium, geführt von Peter Altmaier (CDU), ein wichtiger Akteur im Bereich Energiepolitik.



picture alliance / ZB / Oliver Killig

Auf kommunaler Ebene spielen häufig die Stadtwerke eine zentrale Rolle. Im Dresdener Wasserkraftwerk Tolkewitz überwacht ein Mitarbeiter der Gasleitstelle der Stadtwerke Drewag auf Monitoren den Betriebsablauf.

auf der Grundlage des Atomgesetzes von 1959. Die Förderung der Energiewirtschaft und die Überwachung kerntechnischer Anlagen zu trennen und auf unterschiedliche Ministerien zu verteilen, ist seit Beginn der Nutzung der Atomenergie eines der wichtigsten Prinzipien der Energiepolitik.

Seit dem Jahr 2000 regelt das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) den Anschluss von Windrädern, Solaranlagen, Biomassekraftwerken und anderen Ökostrom-Anlagen an das Netz, es regelt die Abnahme und Vergütung der Elektrizität sowie den Mechanismus zur Finanzierung der Einspeisung, die EEG-Umlage. Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz schreibt seit 2009 einen Mindestanteil erneuerbarer Energien an der Wärmeversorgung neuer Gebäude vor. Über das Bundes-Immissionsschutzgesetz und die dazugehörigen Verordnungen setzt das Umweltressort Grenzwerte für den Schadstoffausstoß von fossilen Kraftwerken und Heizungsanlagen sowie für die elektromagnetischen Belastungen durch Stromleitungen fest und regelt die Genehmigung größerer Erneuerbare-Energie-Anlagen, besonders die von Windrädern.

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung legt in der Energieeinsparverordnung (EnEV) zulässige Höchstwerte für den Energieverbrauch von Gebäuden fest, die Hausbesitzer zum Einbau von Dämmsystemen oder effizienten Heizungsanlagen verpflichten. Neben diesen drei wichtigsten Ministerien beschäftigen sich weitere Ressorts mit Energiefragen. Die Energie- und die Stromsteuer werden vom Bundesfinanzministerium geregelt, die Grundlagenforschung verantwortet das Bundesministerium für Bildung und Forschung und bei Gesetzen, die Biogas und Biokraftstoffe betreffen, hat das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz ein Mitspracherecht.

Jedes Ministerium verantwortet die Gesetze und Verordnungen in seinem Geschäftsbereich zwar federführend, in der Regel sind aber zumindest das Wirtschafts- und meistens auch das Umweltministerium an der Formulierung von Gesetzentwürfen mit Energiebezug beteiligt. Auch Änderungen des Erneuerbare-Energien-Rechts sind nur im Konsens mit dem Wirtschaftsressort möglich. Differenzen zwischen Wirtschafts- und Umweltpolitikern zeigen sich regelmäßig bei den Themen Klimaschutz, Erneuerbare-Energien-Förderung und Energieeffizienz.

Einfluss von Ländern und Kommunen

Energierrecht ist weitgehend Bundesrecht, vor allem was die ordnungspolitischen und fiskalischen Aspekte betrifft. Durch ihre Kompetenzen im Planungsrecht können Länder und Kommunen das Tempo beim Bau von Infrastruktur allerdings stark beeinflussen. Mit Erlassen zur maximalen Höhe von Windrädern oder Mindestabständen zu Wohngebieten lässt sich der Ausbau der Windenergie blockieren. Umgekehrt können Länder und Kommunen den Bau von Erneuerbare-Energien-Anlagen stark beschleunigen, indem für solche Bauwerke seitens der Länder in der Regionalplanung und seitens der Kommunen in den Flächennutzungsplänen Vorrangflächen ausgewiesen werden.

Bei ihren Planungen haben sich viele Bundesländer analog zur Bundesregierung eigene Ziele für den Anteil erneuerbarer Energien gesetzt. In vielen Regionen und Kommunen gibt es lokale Energiekonzepte, die eine wichtige Rolle für die Information und Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger spielen. Leitmotiv ist neben dem Klimaschutz häufig der Wunsch nach einer Autarkie in der Energieversorgung, nach Unabhängigkeit von großen Energieunternehmen und von Preissteigerungen.

Dieser Wunsch nach Unabhängigkeit droht allerdings, die Gesellschaft zu entsolidarisieren. Bürgerinnen und Bürger protestieren wegen lokaler Beeinträchtigungen gegen Stromleitungen, Speicherseen oder neue fossile Kraftwerke, weil sich deren Nutzen kaum vor Ort, sondern nur gesamtgesellschaftlich zeigt. Häufig wird in lokalen Energiekonzepten ausgeblendet, dass eine vollständige Autarkie einzelner Regionen nur zu unverhältnismäßig hohen volkswirtschaftlichen Kosten, zum Beispiel für Energiespeicher oder fossile Reservekraftwerke, zu realisieren wäre.

Bürgerinteressen ...

Auf der lokalen Ebene werden viele Konflikte um die Energieversorgung besonders deutlich. Während Grundstückseigentümer von Pachtzinsen für Windräder profitieren oder Landwirte von der Vergütung für Biomassekraftwerke, müssen Nachbarn den Anblick der Türme oder Geruchsbelästigungen durch Gär tanks ertragen. Die Lokalpolitik hat deshalb eine wichtige Funktion für

den Ausgleich unterschiedlicher Interessen im Zusammenhang mit der Energiewende.

Die Proteste gegen Energieinfrastruktur haben oft finanzielle Gründe. Der Bau eines Windparks oder einer Höchstspannungsleitung kann den Wert einer nahe gelegenen Immobilie stark vermindern. Spätestens seit der Anti-Atomkraft-Bewegung der 1970er-Jahre interessieren sich Bürgerinnen und Bürger außerdem sehr stark für die Auswirkungen von Großprojekten auf die Natur und die menschliche Gesundheit. Der Protest gegen Infrastrukturbauten ist deshalb häufig eine Reaktion auf die mangelhafte Berücksichtigung schutzwürdiger Belange durch die ausführenden Unternehmen. Beispielsweise konnte der 1,2 Milliarden Euro teure Neubau des Steinkohlekraftwerks Datteln IV nicht wie geplant 2011 ans Netz gehen, nachdem das Oberverwaltungsgericht Münster 2009 auf den Normenkontrollantrag eines Anwohners hin den Bebauungsplan der Gemeinde Datteln geprüft und für nichtig erklärt hatte. Nach Ansicht des Gerichts waren die Auswirkungen des Kraftwerks auf Mensch und Natur unzureichend ermittelt worden.

Klagen gegen Bauprojekte sind in den vergangenen Jahren auch deshalb sachkundiger und damit erfolgreicher geworden, weil die rechtlichen Möglichkeiten von Umweltverbänden und Vereinen erweitert wurden. 2002 wurde die Verbandsklage in das Bundesnaturschutzgesetz aufgenommen, wodurch Umweltschutzorganisationen gewissermaßen stellvertretend für Anwohner



Thomas Pfaffmann / Baaske Cartoons

klagen können. Durch ein Verfahren gegen ein neues Steinkohlekraftwerk in Lünen hat der Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland (BUND) 2011 vor dem Europäischen Gerichtshof (EuGH) erstmals die Möglichkeit einer Popularklage für Verbände erstritten. Umweltschützer können seitdem die Einhaltung europäischer Naturschutzvorschriften – beispielsweise der Richtlini-

Grenzen der Bürgerbeteiligung

[...] Nirgendwo in Europa, nirgendwo auf der Welt ist die Atomkraft schlechter beleumundet als in Deutschland, nirgendwo ist nach Fukushima der Notknopf schneller gedrückt worden. Abschalten jetzt! Das Land taumelte freudetrunken in die Energiewende, ein jahrzehntelanger Kampf ging zu Ende. Bald würde grüner Strom dieses Deutschland surren lassen wie einen Elektromotor. Solarfelder, Windparks. Herrlich.

Zwei Jahre nach Fukushima klingt „Energiewende“ in den Ohren vieler Bürger wie Kernschmelze. Kernschmelzen fanden in der Ukraine oder Japan statt, die Energiewende aber gibt es in Deutschland. Stromkabel sollen in der Nachbarschaft gezogen werden, die Pferde auf der Koppel galoppieren durch den Schatten riesiger Windräder, im See am Wald entsteht ein Pumpspeicherwerk. Der Strom wird sichtbar, auf den Hügel[n], auf den Feldern.

In der Eifel sitzen an einem Freitagnachmittag drei Männer zusammen, sie gehören einer Vereinigung an, die „Rettet den Rursee“ heißt. [...] Es [gab] Überlegungen, dort ein Pumpspeicherwerk zu bauen. „Wir wollen unbedingt Energiewendeland Nummer eins werden“, sagt Christoph Pranter, Mitbegrün-

der der Bürgerinitiative gegen das Pumpspeicherwerk: „Und dafür opfern wir den Verstand.“

So sehen das die Bürger an vielen Orten. Ob es der Thüringer Rennsteig ist, ein Weinberg in der Pfalz, ein See in Bayern, ob in der Uckermark, in Bayreuth oder Nürtingen: Es regt sich Widerstand gegen die Strippenzieher der Energiewende, die ihre Kabel verlegen wollen, hoch über den Köpfen der Menschen, oder sonst etwas bauen wollen im Namen der Energiewende. Und überall versuchen Politiker und Unternehmen, diesen Widerstand zu brechen, in dem sie mit den Bürgern zusammenarbeiten. Bürgerbeteiligung. Nur funktioniert die irgendwie nicht. [...]

„Rettet den Rursee“ erwartet schwerste Schäden für den Rursee, in den das bei der Stromerzeugung zu Tale schießende Wasser eingeleitet würde. Ufer würden verschlammten, segeln würde unmöglich, baden sowieso. Der Tourismus, einzige nennenswerte Erwerbsquelle, sei in Gefahr. [...]

Die Energiewende ist für die Menschen also nur im Prinzip eine gute Sache. Die Unternehmen, die sie vorantreiben, werden inzwischen verachtet wie zuvor die Atomkonzerne. [...] Sie müssen sich etwas einfallen lassen, und ihnen fällt ein, was der Atomindustrie schon eingefallen ist: Sie malen die Welt mit der Kraft der

Werbung schöner, als sie ist. Sie schaffen Fakten, die überzeugen sollen. [...]

Hilft alles nichts.

Stuttgart 21, sagt der Eifeler Aktivist Christoph Pranter, habe das Bewusstsein der Leute verändert. Dort hat der Bürger zu hören bekommen, er habe sich ja nicht eingemischt vor zehn, 15 Jahren, als der Tiefbahnhof in den Gremien besprochen wurde. Jetzt habe der Bürger halt gelernt. Das Pumpspeicherwerk am Rursee in der Eifel zum Beispiel [...] könnte nur an dieser Stelle entstehen – oder an zwei anderen irgendwo in Deutschland. Dennoch ist der Widerstand jetzt schon derart organisiert, dass, wenn morgen die Bulldozer anrollen würden, sich die ersten Menschen schon im Uferschlamm eingegraben hätten. Ein Dialog zwischen Bauherr und Gegnern findet nicht statt. „Rettet den Rursee“ will kein Pumpwerk. Kein großes, kein kleines. Gar keins. Wozu also reden?

Einer sagt: „Wenn in Ihrem Garten jemand was bauen will, was Sie nicht wollen – reden Sie mit dem?“

Das sind die Grenzen der Bürgerbeteiligung. [...] (Am 21. Juni 2013 informierte der Netzbetreiber Trianel die Öffentlichkeit, dass er das Projekt PSW Rur nicht weiter verfolge – Anm. d. Red.)

Ralf Wiegand, „Öko? Nein, danke“, in: Süddeutsche Zeitung vom 25. März 2013



Umweltschützer des BUND und von Compact e.V. demonstrieren 2011 gegen die Erweiterung des Steinkohlekraftwerks Datteln. Seine Zukunft ist ungewiss.

en zum Vogelschutz und zu Flora-Fauna-Habitaten – auch dann gerichtlich prüfen lassen, wenn Anwohner nicht unmittelbar in ihren Interessen berührt sind.

... und ihre Berücksichtigung durch die Politik

Auf das gestiegene Bedürfnis nach Beteiligung und die erweiterten Klagemöglichkeiten hat der Bund einerseits mit neuen Einschränkungen reagiert. Gegen neue Stromhöchstspannungsleitungen sind durch das Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG) von 2009 und das Bundesbedarfsplangesetz von 2013 nur noch Klagen vor dem Bundesverwaltungsgericht in erster und letzter Instanz möglich. Der Gesetzgeber verspricht sich dadurch eine Beschleunigung besonders wichtiger Infrastrukturprojekte. Andererseits haben Bürgerproteste, wie etwa gegen das Bahnhofprojekt „Stuttgart 21“, dazu geführt, dass Entscheidungsträger in der Politik und in der Wirtschaft der Bevölkerung früher und ernsthafter Gelegenheit geben, ihre Bedenken gegen Bauprojekte zu äußern.

So hat die schwarz-gelbe Bundesregierung im Rahmen des Gesetzespakets zur Energiewende vom 6. Juni 2011 mit dem Netzausbaubeschleunigungsgesetz (NABEG) neue und umfassendere Möglichkeiten geschaffen, um die Öffentlichkeit bei

Ringens um öffentliche Mitsprache

[...] Der [...] „Netzentwicklungsplan“ der Netzbetreiber ist [...] [wie der jährliche „Szenariorahmen“, der von den Netzbetreibern zum ersten Mal im Juni 2011 vorgelegt wurde] mit neuen Formen der Bürgerbeteiligung verbunden. [...]

[D]urch Parlamentsbeschluss [wurde] der Netzentwicklungsplan per Gesetz zum „Bundesbedarfsplan“ [...] (beschlossen vom Bundestag am 25. April 2013 und vom Bundesrat am 7. Juni 2013 – Anm. d. Red.) [...]

[E]rst dann wird die Trassenführung auf wenige hundert Meter genau festgelegt. Das geschieht erstmals – manche halten das für verfassungswidrig – nicht mehr in Form von Raumordnungsverfahren der jeweiligen Länder, sondern als „Bundesfachplanung“ – weil und soweit es sich um grenzüberschreitende Höchstspannungsleitungen handelt.

Die Bundesnetzagentur lädt dafür zu einer „Antragskonferenz“ nicht nur die Behörden der Länder ein, sondern auch – über Tageszeitungen und das Internet – die Öffentlichkeit. Die Einladung dient in deren Fall aber nur der Information, nicht der Mitbestimmung.

Die soll erst nach Ende der Antragskonferenz – aber vor dem Planfeststellungsverfahren – einsetzen. „Jede Person, einschließlich Vereinigung“, kann sich laut dem Gesetz über die Beschleunigung des Netzausbaus zu den Er-

gebnissen der Antragskonferenz schriftlich äußern. Anschließend findet eine mündliche Erörterung statt, die in die Entscheidung der Bundesnetzagentur über die „Bundesfachplanung“ eingeht (voraussichtlich bis Ende 2013). Erst dann beginnt das Planfeststellungsverfahren – und das Verfahren der Bundesfachplanung wiederholt sich auf der Grundlage einer genauen Trassenführung: Antragskonferenz, schriftliche Einwendungen, mündliche Anhörung, Rechtsmittel.

Neu an diesem Verfahren ist, dass eine Bürgerbeteiligung nicht erst stattfinden soll, wenn die Planung schon beschlossene Sache ist und deshalb leicht als „Alibiveranstaltung“ hingestellt werden kann. Auch die Einrichtung eines „Projektmanagers“ ist neu. Er dient nicht als Mediator [...] sondern als [...] Moderator. [...]

Damit wird zwar der „Grundrechtsschutz durch Verfahren“ weiterentwickelt, wie ihn das Bundesverfassungsgericht in den siebziger Jahren zu Hochzeiten der Anti-Atom-Bewegung anmahnte.

Doch Anhängern einer Legitimation nicht durch Verfahren, sondern durch Beratung („deliberative Demokratie“) ist das zu wenig. Eine bloße Information der Öffentlichkeit im Frühstadium der Planung reicht ihnen nicht aus; sie wollen eine Mitwirkung von Beginn an, eine

kontinuierliche Beteiligung, den Konsens durch Kommunikation.

Das aber wirft neue Fragen über Rechtsstaatlichkeit, über Pflichten und Rechte der Exekutive auf – was nutzt der beste Konsens nach intensiver Beteiligung der Öffentlichkeit, wenn der Verwaltung vor Gericht gravierende Versäumnisse nachgewiesen werden können, die auf ebenjenem zwanghaften Konsens beruhen? Und wie verbindlich sind früh erzielte Einigungen in späteren Planungsphasen? Wo endet das berechtigte Interesse der breiten Öffentlichkeit, wo beginnt der Rechtsschutz unmittelbar betroffener Bürger – der sich dann auch gegen anderweitig geäußerte Interessen der Öffentlichkeit richten kann?

Solche Fragen begleiten auch den Versuch, das Verwaltungsverfahrensgesetz wieder zur Klammer der Fachgesetze zu formen und damit eine einheitliche Regelung für Bürgerbeteiligung und Planfeststellung zu erreichen. Das soll das „Gesetz zur Verbesserung der Öffentlichkeitsbeteiligung und Vereinheitlichung von Planfeststellungsverfahren“ bewerkstelligen, das in erster Lesung im Mai [2012] im Bundestag behandelt wurde. (Verkündet am 31. Mai 2013. In kraft seit dem 7. Juni 2013 – Anm. d. Red.) [...]

Jasper von Altenbockum, „Energiewende-Demokratie“, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 5. Juni 2012

der Erstellung des jährlichen Netzentwicklungsplans, einer Art Masterplan für die Energiewende, zu beteiligen.

Folgewirkungen des EEG

Die schwarz-gelbe Bundesregierung hat sich 2010 das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2050 rund 60 Prozent des Energieverbrauchs aus erneuerbaren Quellen zu decken und 80 bis 95 Prozent der Treibhausgasemissionen einzusparen. Der für das Jahr 2022 angepeilte Atomausstieg setzt die Politik unter Druck, die wegfallenden Stromerzeugungskapazitäten zu ersetzen.

Zwischen den Bundesländern kam es nach dem Energie-wendebeschluss von 2011 zu einem politischen Wettbewerb um einen möglichst schnellen Ausbau erneuerbarer Energien. Es zeichnete sich ab, dass die Länder das Ziel der Bundesregierung aus dem Energiekonzept von 2010, bis zum Jahr 2020 den Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch von 17 auf 35 Prozent zu erhöhen, in der Summe voraussichtlich weit übertreffen würden. Ein drastischer Verfall des Preises für Solaranlagen und die Furcht von Investoren vor immer neuen Einschnitten in die staatliche Förderung lösten zudem einen Boom der Photovoltaik aus. Die Debatte um die Kosten der Energiewende verschärfte sich.

Der Bund versucht auf die steigenden Ausgaben für erneuerbare Energien mit Einschnitten in die Vergütung nach dem EEG zu reagieren. Dabei trifft er allerdings oft auf den Widerstand der Bundesländer.

In strukturschwachen ländlichen Regionen ist das Gewerbesteueraufkommen aus dem Betrieb der Kraftwerke eine wichtige Einnahmequelle für die Kommunen. Das örtliche Handwerk profitiert vor allem von Aufträgen zur Installation von Solarmodulen. In größerem Maßstab bewirkt die EEG-Vergütung für Photovoltaikanlagen eine Umverteilung von Kapital in die südlichen Bundesländer und steigert das Einkommen dort lebender Hausbesitzer und Landwirte. In Nord- und Ostdeutschland hängen von Windparks und der dazugehörigen

Industrie zehntausende Arbeitsplätze ab. Andererseits fühlen sich Teile des Mittelstands in den industriellen Zentren Nordrhein-Westfalens, Bayerns und Baden-Württembergs von Netzentgelten und der EEG-Umlage zunehmend belastet.

Vorgängerbeförderungen: Kohlepfennig und Atomenergie

Energiepolitik muss also viele einander entgegengesetzte Interessen berücksichtigen. Dabei waren die politischen Eingriffe des Bundes in den Energiesektor gerade wegen des fehlenden Wettbewerbs schon in den vergangenen Jahrzehnten von erheblicher Tragweite. Im Wirtschaftsaufschwung der 1950er- und 1960er-Jahre war das vorrangige Ziel der Energiepolitik, den wachsenden Strom- und Wärmebedarf von Unternehmen und Haushalten mit den wichtigsten Energieträgern Stein- und Braunkohle zu decken. Durch Zwangsanleihen musste die Industrie Kohleunternehmen mit Kapital für den Ausbau der Förderkapazitäten ausstatten.

Mit umfangreichen Subventionen wurde die heimische Steinkohleförderung ausgebaut und gegenüber ausländischer Konkurrenz geschützt. Die staatlichen Unterstützungsmaßnahmen gipfelten ab 1965 in Verstromungsgesetzen, mit denen der Bund für Betreiber von Steinkohlekraftwerken Steuervorteile einführte und die Differenz zwischen dem Preis für einheimische Steinkohle und dem niedrigeren Ölpreis auf dem Weltmarkt zahlte.

Ab 1975 trugen Stromverbraucher die Mehrkosten durch eine Umlage, den sogenannten Kohlepfennig. Im Jahr 1989 erreichte er die Höhe von 8,5 Prozent des Strompreises, das Geld wurde in einen staatlichen Fonds eingezahlt. Das Bundesverfassungsgericht erklärte diese Form der Finanzierung 1994 für verfassungswidrig, weil sie das Haushaltsrecht des Bundestages verletze und Gemeinlasten aus Steuern finanziert werden müssten.

Die 1970er- und 1980er-Jahre standen im Zeichen der Ölknappheit und der einsetzenden Stromerzeugung durch Kernenergie im industriellen Maßstab. Die Ölkrisen von 1973 und 1979 verteuerten Ölimporte, führten zu Konjunk-



ullstein bild – Kasperski

Während der Ölkrise 1973 verordnete die Bundesregierung der deutschen Bevölkerung wegen eines Erdölembargos vier autofreie Sonntage. Die Folgen waren kurzfristig leere Straßen wie hier in Berlin und ein langfristiges Umdenken in der Energiepolitik.

tureinbrüchen und verdeutlichten die Abhängigkeit des Wohlstands von fossilen Energien. Ohne dass die Politik eingreifen musste, bestärkten die Preissteigerungen Unternehmen und Verbraucher darin, Energie zu sparen und effizienter zu wirtschaften, die Automobilwirtschaft senkte den Kraftstoffverbrauch ihrer Fahrzeugmodelle. Diese effizienzfördernde Wirkung hoher Energiepreise nutzte die Politik, als sie 1999 bei der ökologischen Steuerreform Treibstoffe, Strom und Brennstoffe in Deutschland mit höheren Steuern belegte und als sie 2005 den EU-weiten Emissionshandel einführte.

Die sozial- und christlich-liberalen Bundesregierungen reagierten auf die Ölkrise unter anderem, indem sie mit Russland eine Ausweitung seiner Gaslieferungen aushandelten, was in den folgenden Jahrzehnten allerdings eine neue Abhängigkeit schuf. In sein Energieforschungsprogramm von 1974 nahm der Bund erstmals erneuerbare Energien auf, und ab 1978 wurden staatliche Zuschüsse gezahlt,

wenn Gebäude statt mit Ölheizungen mit Sonnenkollektoren oder Wärmepumpen ausgestattet wurden. 1977 trat die erste Wärmeschutzverordnung für Gebäude in Kraft.

Seit Mitte der 1950er-Jahre hatten Bund und Länder den Aufbau der Atomwirtschaft durch Milliardenbeträge für Forschung und den Bau von Reaktoren unterstützt. In den 1970er-Jahren ging dann der Großteil der deutschen Atomkraftwerke in Betrieb. Für die Endlagerung des Atommülls aber bestand noch kein Konzept. Um jedoch keine Zweifel an der Endlagerbarkeit aufkommen zu lassen und Erfahrungswerte zu gewinnen, erwarb die Gesellschaft für Strahlenforschung im Auftrag des Bundes das stillgelegte Salzbergwerk Asse und lagerte dort von 1967 bis 1978 Atommüll ein. Erst 1974 legte die Bundesregierung ein Entsorgungskonzept vor. Die Wirtschaft wurde verpflichtet, Anlagen zur Wiederaufarbeitung und Zwischenlagerung zu betreiben, der Bund übernahm die Verantwortung für die Endlagerung. Von zunächst acht potenziellen Standorten für ein

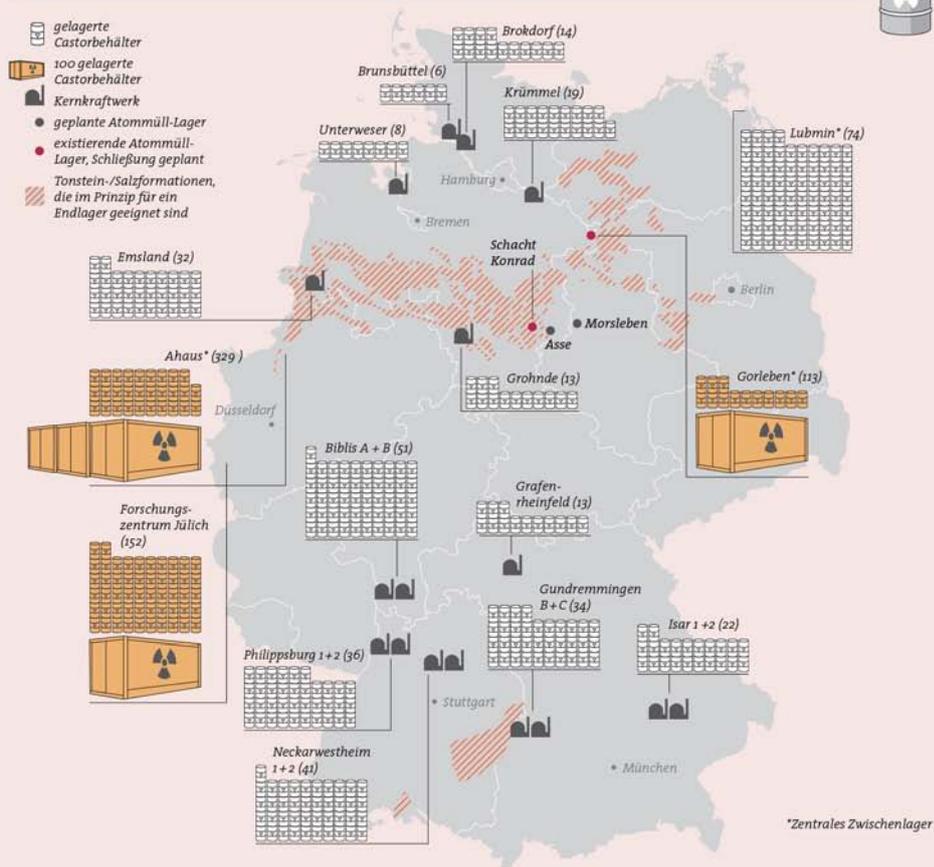
Suche nach Endlagerstätten

Ein Lager für den deutschen Atommüll – nur wo? Das Verfahren, auf das sich Bund und Länder am 9. April 2013 geeinigt haben, sieht für die Suche eine „Weiße Landkarte“ vor. Überall im Land könnte ein Endlager entstehen, aber viele Regionen scheiden rasch aus. Ballungsräume etwa, Wasserschutzgebiete, Gegenden mit Erdbebenrisiko. Bleiben am Ende nur jene Gesteinsformationen, die für die Aufbewahrung von Atommüll taugen – wenn sich das für Zeiträume von Hunderttausenden von Jahren überhaupt sagen lässt.

Im Zentrum der Suche dürften damit abermals Salzstöcke in Norddeutschland stehen, dazu der sogenannte Opalinuston, ein festes Tongestein, das sich vor allem im Südwesten Deutschlands findet. Theoretisch denkbar wäre auch ein Endlager in Granit, hierzulande vertreten in Teilen Bayerns und Sachsens. Doch die Suche nach einem Atommülllager ist heikel. Damit sich die Situation nicht überall so aufschauelt wie in Gorleben, soll das Verfahren diesmal ganz transparent ablaufen. Erst soll eine Enquete-Kommission in öffentlicher Debatte an Kriterien für ein Endlager arbeiten, die dann aber noch in das Gesetz aufgenommen werden müssten. Später sollen eigene Bürgerbüros in den jeweiligen Regionen dafür sorgen, dass Anwohner sich nicht übergangen fühlen. Ehrgeizig ist die Suche, Zieldatum 2031, ohnehin. So blieben nur acht Jahre Zeit, um an den favorisierten Standorten Erkundungsbergwerke zu errichten und die Erkenntnisse auszuwerten. [...]

MIBA, „Ton, Steine, Endlager“, in: Süddeutsche Zeitung vom 10. April 2013

Kernkraftwerke und die Lagerung ihrer Abfälle



Chronik des Atommüll-Lagers Gorleben



SZ-Grafik: Hanna Eiden; Recherche: Martin Mühlfenzl; Quelle: BGR, Bundesamt für Strahlenschutz (Stand: 31.12.2011)



Atomenergie soll Versorgungssicherheit schaffen: Im Februar 1971 ist in Brunsbüttel ein Modell des AKWs zu besichtigen, das 1977 in Betrieb genommen wurde.



Endlager blieb 1977 das ehemalige Salzbergwerk Gorleben übrig, und 1979 begann dessen – zunächst oberirdische – Erkundung. Die Eignung von Gorleben als Endlager ist allerdings höchst umstritten. Im Sommer 2013 schufen Bundestag und Bundesrat mit dem Standortauswahlgesetz die rechtliche Grundlage für eine erneute, ergebnisoffene Endlagersuche. Eine Kommission aus Politikern, Vertretern der Gesellschaft und Experten soll bis 2015 die Kriterien für ein Endlager erarbeiten. Die Suche wird dann von dem neuen Bundesamt für kerntechnische Entsorgung geleitet, bis 2031 soll sie abgeschlossen sein. Der Bau des Endlagers und die Einlagerung des hochradioaktiven Mülls müssten nach derzeitigem Stand bis 2040 erfolgt sein, weil dann die Genehmigungen für die oberirdischen Zwischenlager enden.

Förderung der erneuerbaren Energien ab 1997

Das rasche Anwachsen der Anti-Atomkraftbewegung hatte zur Folge, dass der Deutsche Bundestag 1979 die Enquete-Kommission „Zukünftige Kernenergiepolitik“ aus Abgeordneten und Wissenschaftlern einsetzte. Ein Jahr später kam diese Kommission in einem Zwischenbericht mehrheitlich zu der Überzeugung, dass

ein Ausstieg aus der Atomenergie möglich sei, wenn der Energiebedarf gesenkt und erneuerbare Energien ausgebaut würden. Ebenfalls 1979 schlossen der Energieverband VDEW und der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) die Vereinbarung, Strom aus erneuerbaren Energien freiwillig in die Netze aufzunehmen und zu den vermiedenen Brennstoffkosten zu vergüten. Die meisten Versorger verweigerten allerdings die Abnahme, und die freiwillig gezahlte Vergütung lag mit weniger als zehn Pfennigen pro Kilowattstunde weit unter den Erzeugungskosten von Windrädern oder gar Solaranlagen. In dieser Umbruchzeit tauchte 1980 erstmals das Wort „Energiewende“ im Titel einer Publikation des Freiburger Öko-Instituts auf. Der Name des programmatischen Buches lautete: „Energiewende – Wachstum ohne Erdöl und Uran“.

In den 1980er-Jahren verstärkten die aufkommende Klimaschutzdebatte und Ökostrom-Förderprogramme einzelner Länder und Kommunen den Druck für eine wirksame und verbindliche gesetzliche Förderung erneuerbarer Energien. Gegen den Widerstand des damals noch zuständigen Bundeswirtschaftsministeriums verabschiedete die CDU/FDP-Mehrheit im Bundestag am 5. Oktober 1990 das von ihren Fraktionen erarbeitete Stromeinspeisungsgesetz. Es verpflichtete die Energieversorger ab 1991 zur vorrangigen Abnahme von Strom aus erneuerbaren Energien (Einspeisevorrang). Die Vergütung wurde je nach Technologie auf 75 bis 90 Prozent des Strompreises für Endkunden festgelegt. Am höchsten wurden Wind- und Solarenergie gefördert – mit 16,6 Pfennigen pro Kilowattstunde. Neben den klima- und atompolitischen Zielen verfolgte das Stromeinspeisungsgesetz vor allem einen industriepolitischen Zweck: Mit Hilfe staatlich veranlasster Förderung sollte eine Nachfrage nach neuen Energieerzeugungstechnologien entstehen, und deutsche Industriebetriebe sollten in die Lage versetzt werden, nach und nach marktfähige, also zuverlässige und preiswerte Produkte für den Weltmarkt zu entwickeln.

Die Kosten der Förderung durften die Energieversorger auf die Kunden umlegen, ohne die Ökostrom-Vergütung gesondert ausweisen zu müssen. Die Fördersätze waren zusammen mit zusätzlichen staatlichen Anreizen für Windenergieanlagen, Biomasse- und Wasserkraftwerke so auskömmlich, dass der Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch zwischen 1990 und 1999 von drei auf 5,4 Prozent zunahm. Nach dem Kohlepfeffig-Urteil des Bundesverfassungsgerichtes von 1994 klagten mehrere Energieversorger gegen das Stromeinspeisungsgesetz. Der Bundesgerichtshof verwarf die Klagen jedoch wegen der monopolartigen Stellung der Unternehmen.

Dynamik durch das EEG ab 2000

Für jeden Netzbetreiber war die Höchstmenge des nach dem Stromeinspeisungsgesetz zu vergütenden Ökostroms auf fünf Prozent gedeckelt. Weil diese Grenze um das Jahr 2000 in einigen Regionen ausgereizt zu werden drohte und die neue rot-grüne Bundesregierung den Ausbau erneuerbarer Energien beschleunigen wollte, verabschiedeten die Abgeordneten der neuen Regierungskoalition das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Mit seinem Inkrafttreten am 1. April 2000 entfiel die Deckelung der erneuerbaren Energien auf fünf Prozent des Stromaufkommens. Da die Strompreise aufgrund der Liberalisierung der Energiemärkte gefallen waren (siehe a. S. 54 ff.), wurden außerdem feste Vergütungssätze für einen Zeitraum von 20 Jahren eingeführt, um Investoren Planungssicherheit zu geben.

Die Vergütungssätze sollten künftig sämtliche Kosten der Ökostrom-Erzeugung decken und zusätzliche regionale Förderprogramme überflüssig machen. Deshalb hob die rot-grüne Regierung auf Grundlage wissenschaftlicher Studien die Sätze für alle erneuerbaren Energien an. Die Förderung für Solarstrom wurde auf Drängen der Solarverbände auf 99 Pfennig pro Kilowattstunde angehoben, wobei die Gutachter des Bundesumweltministeriums für eine Kostendeckung eigentlich schon einen Vergütungssatz von 85 Pfennigen als ausreichend angesehen hatten.

Die Kosten der Förderung wurden ab dem Jahr 2000 erstmals in der EEG-Umlage gesondert ausgewiesen. Seit 2010 ist die Umlage nicht mehr in jedem Netzgebiet unterschiedlich hoch, sondern bundesweit einheitlich. Die Erhebung der Umlage und die Auszahlung der Fördergelder übertrug die Bundesregierung den Netzbetreibern. Indem auf eine Finanzierung aus Steuern oder aus einem staatlichen Fonds wie beim Kohlepfeffig verzichtet wurde, sollte das Fördersystem gleichzeitig in Einklang mit dem deutschen Haushaltsrecht und dem europäischen Beihilferecht gebracht werden, nach dem Zahlungen aus staatlichen Mitteln für einzelne Branchen von der europäischen Kommission genehmigt werden müssten.

Das EEG führte zu einer Industrialisierung der Erneuerbare-Energien-Branche. Der Ökostrom-Anteil wuchs von 6,8 Pro-

zent im Jahr 2000 auf 23 Prozent 2012, und die von den Stromkunden zu zahlende jährliche Vergütung aus der EEG-Umlage verneunfachte sich von 1,7 auf 15,4 Milliarden Euro.

Die staatliche Festsetzung der EEG-Tarife hat zwiespältige Folgewirkungen: Weil der Ausbau der erneuerbaren Energien von einer Vielzahl dezentraler Akteure abhängt, haben wissenschaftliche Gutachter das Tempo des Zubaus wiederholt unterschätzt. Die Bundesregierungen hatten seit dem Jahr 2000 lange von Einschnitten bei der Förderung abgesehen, die über die im EEG festgeschriebene jährliche Verringerung (Degression) der Vergütungssätze hinausgegangen wären. Da die Gesellschaft den erneuerbaren Energien und besonders der Photovoltaik sehr wohlwollend gegenüberstand, wollte die Politik nicht als Bremser der Energiewende gelten. Interessengruppen wie die Solarindustrie oder Bioenergie und Windstrom produzierende Landwirte konnten wiederholt die Willensbildung der Parteien beeinflussen. Als die schwarz-gelbe Bundesregierung schließlich 2010 und 2012 doch außerplanmäßig die Vergütung für Photovoltaik herabsetzte, führte dies im Vorfeld zu neuen Rekorden bei der Installation von Solaranlagen, weil Hauseigentümer, Landwirte und institutionelle Investoren sich noch die alte, höhere Vergütung für 20 Jahre sichern wollten. Die durch das EEG bereits entstandenen Rechtsansprüche werden für die nächsten zehn bis zwanzig Jahre der Hauptfaktor für hohe Ökostrom-Ausgaben bleiben.

Weitere Potenziale für eine erfolgreiche Energiewende

Ganz im Gegensatz zu ihrer Bedeutung für den Klimaschutz und die finanzielle Belastung der Verbraucher nehmen die Bereiche Wärmeversorgung und Verkehr in der energiepolitischen Diskussion eine weit weniger prominente Stellung ein als die Stromversorgung. Besonders bei der Beheizung von Gebäuden gibt es noch große Energiesparpotenziale, die für eine erfolgreiche Energiewende umgesetzt werden könnten. Politische Eingriffe in den Gebäudesektor wirken sich allerdings noch direkter auf den Alltag der Bürgerinnen und Bürger aus als solche in die Stromversorgung. Vermieter nutzen den Einbau von

Dämmsystemen oder neuer Heiztechnik häufig für anschließende Mietsteigerungen. Bei unsachgemäßer Planung oder fehlerhaftem Einbau können teilweise gesundheitsbedrohliche Schäden (Schimmelbildung, höhere Brandgefahr) an Gebäuden entstehen. Die Nutzung von Biomasse als Brenn- oder Treibstoff ist umstritten, weil sie vor allem in Entwicklungsländern ökologischen Raubbau fördern kann und in Konkurrenz zur Nutzung von Pflanzen als Lebensmitteln steht.

Eine Energiewende im Verkehrssektor setzt nicht nur neue technologische Entwicklungen wie sparsamere Motoren,



Erfolgsfaktor Energieeffizienz: Eine fachgerechte Wärmedämmung reduziert den Heizbedarf und spart Energiekosten.



Mobilität mit Zukunft? Etwa 16 000 Elektrofahrzeuge sind mittlerweile auf Deutschlands Straßen unterwegs.

preiswertere Elektrofahrzeuge oder den Aufbau eines Tanknetzes für Wasserstoffautos voraus. Bürgerinnen und Bürger müssten auch bereit sein, alternative Mobilitätskonzepte wie Carsharing oder den Bus- und Bahnverkehr stärker zu nutzen. Der Güterverkehr fließt immer noch zu drei Vierteln über Straßen. Mit Eingriffen in den Verkehrssektor ist die Politik jedoch zudem wegen der Spezialisierung der deutschen Automobilindustrie auf schwere und hoch motorisierte Fahrzeugklassen zurückhaltend.

Ein weiterer Hemmschuh für die Energiewende ist die mangelhafte Einbindung der nationalen Energiepolitik in den europäischen Rahmen. Die Förderung verschiedener Energieträger und die Entscheidung für oder gegen bestimmte Technologien liegen zwar immer noch in der Verantwortung der Mitgliedstaaten. Die EU-Mitglieder haben sich jedoch im Maastricht-Vertrag 1993 dazu verpflichtet, einen länderübergreifenden Binnenmarkt zu schaffen, der auch die Handelsgüter Strom und Gas einschließt. Zudem koordinieren sie seit 2005 über den Emissionszertifikatehandel ihre Verpflichtungen aus der internationalen Klimaschutzpolitik und haben sich das Ziel gesetzt, den Treibhausgasausstoß bis zum Jahr 2020 um 20 Prozent zu reduzieren. An diesen Rahmenbedingungen richten Unternehmen ihre Investitionsentscheidungen aus, weil Anlagen in der Energiewirtschaft mehrere Jahrzehnte genutzt werden. Ohne einen funktionierenden Emissionshandel werden Unternehmen weniger in effiziente Technologien oder erneuerbare Energien investieren.

In der EU-internen Diskussion um neue CO₂-Reduktionsziele für das Jahrzehnt nach 2020 blieb die Bundesregierung genau wie die polnische Regierung bislang zurückhaltend. Dahinter stand die Absicht, abzuwarten, bis die Vereinten Nationen voraussichtlich 2015 ein internationales Nachfolgeabkommen des Kyoto-Protokolls zum Klimaschutz abschließen, um mögliche Wettbewerbsnachteile für die heimische Industrie zu verhindern und die nationale Energiepolitik nicht unter erhöhten Anpassungsdruck zu setzen. Denn dann müssten die Anstrengungen zum Energiesparen weiter verstärkt werden und auch in Bereichen, die bisher nicht am Emissionshandel teilnehmen, wie etwa dem Verkehrs- und der Immobiliensektor, eine stärkere Energieeffizienz durchgesetzt werden.

Aber schon wegen des weit vorangeschrittenen EU-Binnenmarkts gerät die deutsche Energiewende in Konflikt mit der

europäischen Ebene. Der hohe Anteil der erneuerbaren Energien an der Elektrizitätserzeugung in Deutschland senkt wegen des *Merit-Order*-Effektes (siehe S. 54 ff.) den Börsenstrompreis in den Nachbarländern, und verschlechtert damit die Wirtschaftlichkeit dortiger Kraftwerke und Speicher. Polen und Tschechien klagen über die Belastung ihres Stromnetzes durch deutschen Ökostrom. Die EU-Kommission hat die Sorge geäußert, dass der schnelle Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland künftig dazu führen könnte, dass andere EU-Mitgliedstaaten weniger Ökostrom-Anlagen errichten und die Befreiungen deutscher Unternehmen von energiebezogenen Abgaben die Wettbewerbsfähigkeit innerhalb der Union verzerren. Durch die gemeinsame Klimaschutzpolitik gibt es für die gesamte EU bereits eine Höchstgrenze (*Cap*) für die Menge an zulässigen Emissionen. Senkt Deutschland seinen CO₂-Ausstoß durch erneuerbare Energien besonders stark, dürfen andere Mitgliedstaaten automatisch mehr Treibhausgase produzieren. Für den Klimaschutz wäre also ohne eine stärkere europäische Abstimmung in der Energie- und Klimapolitik nichts gewonnen.

Eine stärkere europäische Zusammenarbeit könnte außerdem die Kosten für den klimaschonenden Umbau der Energiewirtschaft reduzieren. Solarenergie lässt sich günstig in Südeuropa erzeugen, Windenergie an den nordeuropäischen Küsten. Um den Austausch von Energie zu verbessern, die Kosten der Erzeugung zu senken und die Versorgungssicherheit zu erhöhen, müssen die europäischen Übertragungsnetzbetreiber seit 2010 Pläne für den gemeinsamen Netzausbau der kommenden zehn Jahre vorlegen. Ab 2014 will die EU-Kommission den Mitgliedstaaten Vorgaben für kürzere Genehmigungsfristen grenzüberschreitender Strom- und Gasleitungen machen.

Um die Kosten für eine gesamteuropäische Energiewende zu senken, müsste jeder EU-Mitgliedstaat vor allem entscheiden, wie viel der Strom- und Gasaustausch mit anderen Ländern zur Versorgungssicherheit beitragen soll. Wollte sich jeder Staat autark versorgen, müssten beispielsweise mehr konventionelle Kraftwerke und Speicher für jene Zeiten vorrätig gehalten werden, in denen Wind- und Solarenergie den Verbrauch nicht decken können. Eine nur auf Deutschland ausgerichtete Energiewende wäre wegen der vielfältigen europäischen Verknüpfungen eine teure Fiktion.



AP / Yves Logghe

Klimaaktivisten, verkleidet als Pinguine, demonstrieren am 1. Dezember 2010 vor dem Sitz der Europäischen Kommission in Brüssel. Sie setzen sich für mehr Klimaschutz in der EU ein.

Glossar

ACER (Europäische Agentur für die Zusammenarbeit der Energieregulierungsbehörden, engl.: *European Agency for the Cooperation of Energy Regulators*) – Die 2009 gegründete Behörde mit Sitz in Ljubljana, Slowenien, überwacht und reguliert seit 2011 die europäischen Energiemärkte in Hinblick auf Transparenz und Stabilität.

Ampere (A) – ist im internationalen Einheitensystem (SI-System) die Grundeinheit zur Messung der Stromstärke, also der pro Einheit fließenden elektrischen Ladung. Ein Ampere (Einheitenzeichen A) entspricht dem Fließen einer elektrischen Ladung von einem Coulomb pro Sekunde: $1\text{ A} = 1\text{ C/s}$.

Biomasse – Verschiedenste Stoffe bzw. Stoffgemische biologischen Ursprungs, meist feste oder flüssige Materialien, aber auch Gase werden als Biomasse bezeichnet. Aus ihr kann, zum Beispiel durch Verbrennung, Strom erzeugt werden. Biogene Festbrennstoffe, die in Biomassekraftwerken verwendet werden können, sind holz- und halmartige Energiepflanzen wie Getreide oder mehrjährige Gräser, Holz aus schnell wachsenden Kulturen wie Pappeln und Weiden sowie Ernterückstände von Waldrestholz oder Stroh. Weitere biogene Brennstoffe sind Nebenprodukte wie Industrierestholz oder organische Abfälle wie Gülle oder Klärschlamm.

Blindleistung – wird zum Beispiel in Kraftwerksgeneratoren durch ein starkes Magnetfeld nach dem Induktionsgesetz erzeugt und sorgt für die notwendige Netzspannung, die den Strom durch den elektrischen Verbraucher treibt. Spannung und Strom zusammen ergeben schließlich die gewünschte elektrische **Leistung**, die in Motoren zum Beispiel in Kraft umgesetzt wird.

Brennstoffzelle – [...] ist ein Gerät, welches ähnlich wie eine (aufladbare oder nicht aufladbare) Batterie als galvanische Zelle elektrische Energie direkt aus chemischer Energie erzeugt. Es ist also kein Umweg über Wärme und mechanische Energie wie in einer Wärmekraftmaschine notwendig. Im Unterschied zu einer Batterie ist der chemische Energieträger („Brennstoff“) nicht in der Brennstoffzelle eingebaut, sondern wird im Betrieb kontinuierlich von außen zugeführt, und zwar zu einer der beiden Elektroden (der Anode). Gleichzeitig wird ein Oxidationsmittel (z. B. Sauerstoff oder Luft) der anderen Elektrode (der Kathode) zugeführt, und das entstehende Produkt (z. B. Wasser) wird abgeführt. [...] Aus: <http://www.energie-lexikon.info>

Emissionshandel – wurde 2005 von der EU als marktwirtschaftliches Instrument eingeführt, um gemäß den im Kyoto-Protokoll festgelegten Klimaschutzziele eine Senkung der Treibhausgasemissionen zu erreichen. Gehandelt wird mit Emissionsrechten (einer Art von Verschmutzungsrechten), die durch Emissionszertifikate verbrieft sind. Es geht hierbei um Emissionen von schädlichen Stoffen – meist in die Atmosphäre. Die größte Bedeutung hat heute der Handel von Emissionszertifikaten für Kohlendioxid (CO₂), ein klimaschädliches Gas, welches bei der Verbrennung fossiler Energieträger entsteht.

Endenergie – ist Energie, die beim Verbraucher ankommt, etwa in Form von Brennstoffen und Treibstoffen oder elektrischer Energie. Endenergie ist zu unterscheiden von der Primärenergie aus den genutzten natürlichen Quellen, aber auch von der letztendlich erhaltenen Nutzenergie sowie vom Nutzen der Energieanwendung. Letzterer ist häufig nicht als eine Energiemenge quantifizierbar.

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) – regelt seit dem Jahr 2000 den Anschluss von Versorgungsanlagen aus erneuerbaren Energien an das Netz. Das EEG regelt die Abnahme und Vergütung der Elektrizität sowie den Mechanismus zur Finanzierung der Einspeisung, die **EEG-Umlage**.

Energiebilanzen – werden jährlich von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) erstellt und bieten eine detaillierte Übersicht über die energiewirtschaftlichen Verflechtungen in Deutschland. Sie erlauben Aussagen über den Verbrauch von Energieträgern in den einzelnen Sektoren und geben Auskunft über ihren Fluss von der Erzeugung bis zur Verwendung in den unterschiedlichen Erzeugungs-, Umwandlungs- und Verbrauchsbereichen. Bei den Energiebilanzen wird unterschieden zwischen dem Primär- und Endenergieverbrauch sowie dem Verbrauch und den Verlusten bei Energiegewinnung, Umwandlung und Verteilung und schließlich dem nichtenergetischen Verbrauch.

Fracking (Hydraulic Fracturing, von engl. *to fracture* = aufbrechen = hydraulisches Aufbrechen) – Methode zur Gewinnung von in Gesteinsschichten gespeichertem Erdgas oder Erdöl, das nicht konventionell gefördert werden kann. Dabei wird ein Gemisch aus Wasser, Quarzsand und Chemikalien mit hohem Druck in die Gesteinsschicht eingebracht, das so Risse im Untergrund erzeugt und den Gas- bzw. Ölabbfluss ermöglicht. Die Chemikalien sind notwendig, um das darin enthaltene Öl oder Gas zu binden und Risse im Gestein offen zu halten, sodass der Rohstoff herausgespült werden kann.

Fossile, nicht erneuerbare Energieträger – sind Energieträger, die in geologischen Urzeitaltern beim Abbau von toten Pflanzen und Tieren entstanden sind. Dazu zählen Erdöl, Erdgas, Kohle und Kernenergie.

Geothermie – ist die direkte oder indirekte Gewinnung von Wärme aus dem Erdreich, die zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt werden kann. Die einfachste Form der Nutzung ist an natürliche Gegebenheiten wie Heißwasser- und Heißdampfreservoirs gebunden.

Grundlastversorgung – Der Teil der Stromnachfrage, der rund um die Uhr und an jedem Tag gesichert werden muss, wird als Grundlast bezeichnet. Im Großhandel gibt es dafür günstige Stromprodukte mit konstanter elektrischer Leistung, sogenannte *Baseload*.

Heizwert – Der spezifische Heizwert [...] eines Brennstoffs oder Treibstoffs gibt an, wie viel Energie in Form von Wärme bei der Verbrennung pro Kilogramm des Stoffs maximal gewonnen werden kann. Die Umrechnung der Energieträger geschieht auf der Grundlage ihrer Heizwerte. Aus: <http://www.energie-lexikon.info>

Hertz (Hz) – ist ein Maß für die Frequenz, also für die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde im Stromnetz, die das Stromnetz stabil halten (überwiegend 50,0 Hertz).

Intelligente Stromnetze (engl.: *smart grid*) – bringen die schwankenden Einspeiseleistungen erneuerbarer Energien unter Beobachtung von Wirtschaftlichkeit und Netzstabilität mit den Bedürfnissen der Verbraucher in Einklang.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, „Weltklimarat“) – ist eine vom Umweltprogramm der UN und der Weltorganisation für Meteorologie ins Leben gerufene zwischenstaatliche Institution, die wissenschaftliche Erkenntnisse über Klimaänderungen zusammenstellt und sie bewertet. Das IPCC soll realistische und international akzeptierte Strategien zur Bewältigung des zusätzlichen Treibhauseffekts formulieren. Die Arbeit des IPCC ist auf Konsens angelegt, viele Wissenschaftler sind eingebunden.

Kernbrennstoff – ein Material, welches durch Kernspaltung oder Kernfusion in einem Kernreaktor Energie liefern kann. Dafür stehen die chemischen Elemente Uran (chem. Formel U) und Thorium (Th) zur Verfügung, die natürliche Bestandteile der Erdkruste sind.

Kernfusion – nuklearer Prozess, bei dem zwei Atomkerne, zum Beispiel die Isotope des Wasserstoffs Deuterium (D) und Tritium (T), verschmelzen. Da Deuterium auf verschiedenen Wegen erzeugt werden kann, ist kein Uran mehr als Brennstoff notwendig. Bei der Fusion wird eine im Vergleich zu anderen Reaktionen enorm große Energiemenge freigesetzt.

Konventionelle Brennstoffvorkommen – sind zum Beispiel fließendes Erdöl oder frei strömendes Erdgas. Sie können mit sogenannten klassischen Fördermethoden gewonnen werden.

Konzessionsabgabe – Kommunen erheben sie seit Beginn der Elektrifizierung dafür, dass die Stromleitungen über öffentliche Wege führen. Die zulässige Höhe der Abgabe ist nach der Einwohnerzahl der Kommune gestaffelt, durchschnittlich liegt sie bei 1,7 Cent pro Kilowattstunde (2012: 6,4 Prozent des Strompreises).

Kyoto-Protokoll – 1997 im japanischen Kyoto verabschiedetes Zusatzprotokoll zur Ausgestaltung der UN-Klimarahmenkonvention. Erstmals waren konkrete Reduktionsziele in einer Verpflichtungsperiode der Jahre 2008 bis 2012 für die sechs wichtigsten Treibhausgase (CO_2 , CH_4 , N_2O , FKW, HFKW, SF_6) vorgesehen, und zwar eine Reduktion um durchschnittlich 5,2 Prozent gegenüber dem Bezugsjahr 1990.

Merit Order (engl. für „Reihenfolge der Grenzkosten“) – In einem funktionierenden Markt bietet jeder Kraftwerksbetreiber dann Strom an, wenn er die Kosten für Brennstoff und CO_2 -Verschmutzungsrechte sowie einen Deckungsbetrag für Bau und Betrieb des Kraftwerks erwirtschaften kann. Nach diesem Mechanismus weisen Kern- und Braunkohlekraftwerke die niedrigsten Erzeugungskosten auf, während diese bei Steinkohle- und Gaskraftwerken höher liegen. Die Reihenfolge der Kraftwerkstechnologien nach ihren Erzeugungskosten wird als *Merit Order* bezeichnet.

Methanisierung – In dem von dem französischen Chemiker Paul Sabatier entwickelten Verfahren wird aus Wasserstoff (H_2) und Kohlenstoff (CO_2) bzw. Kohlenmonoxid (CO) synthetisches Methan (CH_4) erzeugt. Mit diesem Verfahren wurde bereits in den 1970er-Jahren in der Industrie Erdgassubstrat aus Kohle gewonnen.

Must run-Kraftwerke – halten die Versorgungssicherheit aufrecht, indem sie abhängig von der eingespeisten Menge der Wind- und Photovoltaikenergie ergänzend Strom ins Netz liefern.

Nichtenergetischer Verbrauch – Einsatz von Energieträgern, bei denen es nicht auf den Energiegehalt, sondern auf die stofflichen Eigenschaften ankommt. Beispiele hierfür sind das Mineralölprodukt „Bitumen“, das beim Straßenbau eingesetzt wird, oder Rohbenzin, das als Grundstoff für die Erzeugung chemischer Produkte dient.

Nutzenergie – Energie, die dem Endverbraucher für seine Bedürfnisse in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen (z. B. Beleuchtung, mechanische Energie, Wärme, Kälte, Licht) zur Verfügung steht.

Nutzungsgrad – Verhältnis von erzeugter zu eingesetzter Energie bzw. von Umwandlungsausstoß zu Umwandlungseinsatz.

Ohm – Maßeinheit für den elektrischen Widerstand einer Stromleitung.

Primärenergie – Primärenergieträger sind solche, die unmittelbar der Natur entnommen und keiner Umwandlung unterworfen werden müssen. Beispiele: Rohöl, Rohbraunkohle, Uran, Erdgas sowie die erneuerbaren Energien aus Wind, Wasser, Sonnenstrahlung, Erdwärme und Biomasse.

Reserven – mit hoher Genauigkeit bestätigte Rohstoffvorkommen, die mit der heutigen Technik zu aktuellen Preisen wirtschaftlich gefördert werden können.

Ressourcen – Anteil des konventionellen und unkonventionellen Rohstoff-Gesamtvorkommens, der nachgewiesen, aber momentan noch nicht wirtschaftlich abbaubar oder noch nicht genau erfasst ist. Die Ressourcen sind somit immer wesentlich größer als die Reserven. Sie können durch neue Technologien jedoch zu Reserven werden.

Sekundärenergie – Sekundärenergieträger entstehen aus der Umwandlung von Primärenergieträgern. Beispiel: Aus der Primärenergie Wasserkraft wird elektrische Energie als Sekundärenergie erzeugt. Sekundärenergieträger sind alle Stein- und Braunkohlenprodukte sowie Mineralölprodukte, verschiedene erzeugte Gase (z. B. Gichtgas, Kokereigas), Strom und Fernwärme.

Smart Metering – ist der Ersatz des bisherigen kommunikationslosen Stromzählers durch einen kleineren Messcomputer mit Daten-

austausch. Diese Zähler eröffnen neue, zum Beispiel zeitabhängige Stromtarife.

Solare Strahlung – lässt sich thermisch zur Aufheizung und in Kopplung mit anderen Prozessen zur Stromerzeugung bzw. mit dem photovoltaischen Effekt, das heißt mit der Umwandlung von solarer Strahlung in Elektronen, auch direkt zur Stromerzeugung nutzen.

Spannungsebenen – Vier Ebenen – Höchstspannung: 380/220 kV, Hochspannung: 110 kV, Mittelspannung: ≤ 110 kV, Niederspannung: ≤ 1 kV – sind aus physikalischen Gründen nötig. Da die Kunden unterschiedliche Leistungen abnehmen, zum Beispiel Haushalt/Gewerbe < 1 MW, Industrie < 100 MW, sollte aus technischen Gründen ein typischer Strom von 1000 Ampere nur in Ausnahmefällen überschritten werden. Die Spannung (U) wird daher beim Kunden durch Transformatoren so eingestellt, dass deren spezifischen Leistungsanforderungen entsprochen werden kann.

Spitzenlastabdeckung – erfolgt in den Stunden des Tages, in denen besonders viel Strom verbraucht wird bzw. die Nachfrage nach Strom am größten ist, also werktags zwischen acht und 20 Uhr und besonders in den Mittagsstunden. Diese Spitzenlast-Nachfrage wird über die Börse mit teuren *Peakload*-Produkten (*peakload* = engl. für Spitzenlast) gedeckt.

Stromnetz – besteht unter anderem aus Freileitungen, Kabeln, Transformatoren und Schaltern. Es leitet elektromagnetische Wellen nahezu mit Lichtgeschwindigkeit und einer Wellenlänge von 6000 km bei 50 Hertz Netzfrequenz.

Stromsteuer – derzeit zwei Cent pro Kilowattstunde (2012: 7,9 Prozent des Preises). Sie wurde 1999 schrittweise mit der ökologischen Steuerreform eingeführt und wird genutzt, um die Beiträge von Arbeitnehmern und Arbeitgebern zur Rentenversicherung zu begrenzen. Die Ökosteuer soll einen Anreiz zum Energiesparen setzen, und sie macht deutlich, dass es auch politische Gründe dafür gibt, Energie zu verteuern.

Treibhausgase – so werden Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und andere synthetische Gase bezeichnet, die sich in der Atmosphäre ansammeln. Sie vermindern die Wärmerückstrahlung von der Erdoberfläche in das Weltall und speichern die entsprechende Energie in der Erdatmosphäre. Der natürliche Treibhauseffekt wird überwiegend durch den in der Atmosphäre vorhandenen Wasserdampf (vor allem Wolken) und Kohlendioxid (aus organischen Kreisläufen) herbeigeführt. Ohne ihn läge die bodennahe Durchschnittstemperatur der Erde nicht bei etwa 14°C über, sondern ungefähr bei 19°C unter Null (-19°C). Neben diesen lebensnotwendigen natürlichen Treibhauseffekt tritt jedoch seit Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert verstärkt der menschlich verursachte (anthropogene) Treibhauseffekt.

Unkonventionelle Vorkommen – beispielsweise Ölsande oder Schiefergas, deren Gewinnung Vorgehensweisen wie etwa **Fracking** (s. dort) erfordern.

Verbundnetz – besteht in Deutschland seit circa 100 Jahren, indem alle Kraftwerke elektrisch über Leitungen miteinander synchron, das heißt mit gleicher Frequenz, verbunden sind und sich gegenseitig stützen. Im europäischen Verbundnetz stellen alle Betreiber zur Netzstützung stets mindestens zwei Prozent ihrer Kraftwerksleistung bereit, die innerhalb von 30 Sekunden verfügbar sein müssen. Das deutsche Verbundnetz weist Spannungen ≤ 380 kV auf und verfügt über ein angeschlossenes Verteilnetz mit Spannungen ≤ 110 kV.

Volt (V) – Maßeinheit für die elektrische Spannung (Nieder-, Mittel-, Hoch- und Höchstspannung) im internationalen Einheitensystem (SI-System). Private Haushalte werden meist über das Niederspannungsnetz versorgt. Große Kraftwerke speisen meist in die Hoch- und Höchstspannung, aus denen teilweise auch große Stromverbraucher ihre elektrische Energie beziehen. Kleinere Industriebetriebe und andere gewerbliche Stromverbraucher versorgen sich vorwiegend über das Mittelspannungsnetz. (siehe **Spannungsebenen**)

Wasserkraft – wird in Form ihrer bewegten Masse für die Energieerzeugung nutzbar.

Watt (W) – elektrische Leistung, die sich als Produkt aus Spannung (**Volt**) und Stromstärke (**Ampere**) ergibt. Ein Watt entspricht einem Joule pro Sekunde.

Wattstunde (Wh) – misst die elektrische Arbeit, das Produkt aus Leistung und Zeit; gebräuchlich ist der Ausdruck Kilowattstunde (kWh). In der Physik wird für die elektrische Energie die Einheit Wattsekunde (Ws) verwendet, dabei ist $1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$ (Joule).

Windenergie – Energie, die aus Temperatur- und Druckunterschieden von Luftmassen entsteht. Die nutzbare Leistung des Windes hängt vor-

rangig von der Windgeschwindigkeit ab, aber auch von der Luftdichte, der Rotorkreisfläche sowie vom Leistungsbeiwert, das heißt von der Art der Aerodynamik.

Wirkungsgrad – misst die Effizienz von Energiewandlungen und Energieübertragungen. Er ist eine dimensionslose Größe und beschreibt das Verhältnis der Nutzleistung zur zugeführten Leistung.

Zwei-Grad-Ansatz – Nach ihm soll die Erhöhung der globalen Mitteltemperatur bis zum Ende dieses Jahrhunderts auf maximal zwei Grad Celsius im Vergleich zu dem Temperaturniveau in der vorindustriellen Zeit begrenzt werden.

Literaturhinweise

Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (Hg.) Mahnke, Eva / Mühlenhoff, Jörg: Renew's Spezial (Ausgabe 57) Strom speichern, Berlin 2012, 28 S., online abrufbar unter: http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/57_Renews_Spezial_Strom_speichern_mar12_online_01.pdf

Becker, Peter: Aufstieg und Krise der deutschen Stromkonzerne – zugleich ein Beitrag zur Entwicklung des Energierechts, Bochum 2011, 380 S.

BP p.l.c. UK: BP Statistical Review of World Energy June 2012, 45 S.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): Energierohstoffe 2009 Reserven, Ressourcen, Verfügbarkeit, Hannover 2009, 284 S.

Bundeszentrale für politische Bildung (Hg.): Ende des Atomzeitalters? Von Fukushima in die Energiewende (bpb-Schriftenreihe Band 1247), Bonn 2012, 144 S.

Dies. (Hg.): fluter: CO₂ (Nr. 35), Bonn 2010; online abrufbar unter: www.bpb.de/shop/zeitschriften/fluter/34444/co2

Dies. (Hg.): fluter: Was wir brauchen – Energie (Nr. 19), Bonn 2006; online abrufbar unter:

www.bpb.de/shop/zeitschriften/fluter/34804/was-wir-brauchen-energie

Dies. (Hg.): Reihe Zeitbilder: Umwelt: Bedrohung und Bewahrung, Autor: Dietrich Jörn Weder, Bonn 2012, 222 S.;

DERA Rohstoffinformationen: Energiestudie 2012 Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen, Hannover 2012, 92 S.

Diehl, Peter: Reichweite der Uran-Vorräte der Welt, Studie im Auftrag von Greenpeace, Januar 2006, 72 S.

Elsberg, Marc: Blackout. Morgen ist es zu spät, München 2012, 800 S.

Fischer, Severin: Auf dem Weg zur gemeinsamen Energiepolitik: Strategien, Instrumente und Politikgestaltung in der Europäischen Union, Baden-Baden 2011, 283 S.

Flosdorff, René / Hilgarth, Günther: Elektrische Energieverteilung: mit 47 Tabellen und 95 Beispielen, Wiesbaden 2013, online abrufbar unter: http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/atomkraft/uranreport2006_lf.pdf

Heuck, Klaus / Dettmann, Klaus-Dieter / Schulz, Detlef: Elektrische Energieversorgung: Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie für Studium und Praxis, 8., überarb. u. aktual. Auflage Wiesbaden 2010, 783 S.

Hirschl, Bernd: Erneuerbare Energien-Politik: Eine Multi-Level Policy-Analyse mit Fokus auf den deutschen Strommarkt, Wiesbaden 2008, 664 S.

Illing, Falk: Energiepolitik in Deutschland: Die energiepolitischen Maßnahmen der Bundesregierung 1949 – 2013, Baden-Baden 2012, 281 S.

Kempf, Claudia: Kampf um Strom, Berlin 2013, 142 S.

Oeding, Dietrich / Oswald, Bernd R.: Elektrische Kraftwerke und Netze, Berlin 2011, 1055 S.

Quaschnig, Volker: Erneuerbare Energien und Klimaschutz: Hintergründe – Techniken – Anlagenplanung – Wirtschaftlichkeit, München 2010, 344 S.

Ders.: Regenerative Energiesysteme : Technologie – Berechnung – Simulation, München 2013, 424 S.

Plöger, Sven: Gute Aussichten für morgen. Wie wir den Klimawandel bewältigen und die Energiewende schaffen können (bpb-Schriftenreihe Band 1296), 4., komplett überarb. Neuauflage, Frankfurt/Main 2012, 314 S.

Pollak, Johannes / Schubert, Samuel R. / Slominski, Peter: Die Energiepolitik der EU, Wien 2010, 235 S.

Rahmstorf, Stefan / Schellnhuber, Hans-Joachim: Der Klimawandel. Diagnose, Prognose, Therapie, 7., vollst. überarb. u. aktual. Auflage, München 2012, 144 S.

Rifkin, Jeremy: Die dritte industrielle Revolution. Die Zukunft der Wirtschaft nach dem Atomzeitalter (bpb-Schriftenreihe Band 1214), Frankfurt a.M. 2011, 303 S.

Smith, James: Biotreibstoff. Eine Idee wird zum Bumerang (bpb-Schriftenreihe Band 1311), Berlin 2012, 141 S.

Spring, Eckhard: Elektrische Energienetze: Energieübertragung und -verteilung, Berlin 2003, 475 S.

Stiftung Warentest (Hg.): Das Energiesparbuch. Machen Sie den ersten Schritt, Berlin 2009, 176 S.

Dies. (Hg.): Modernisieren und Energie sparen. Planung – Kosten – Umsetzung, Berlin 2008, 224 S.

Strauß, Karl: Kraftwerkstechnik, Berlin, Heidelberg 2006, 518 S.

Winterhagen, Johannes: Abgeschaltet. Was mit der Energiewende auf uns zukommt (bpb-Schriftenreihe Band 1293), Bonn 2012, 252 S.

Internetadressen

www.bfs.de

www.bpb.de/politik/wirtschaft/energiepolitik/

www.bpb.de/mediathek/73413/das-erdoelfoerdermaximum
(Mit offenen Karten, aufgez. 2010)

www.ag-energiebilanzen.de

www.bundesnetzagentur.de/cln_1912/DE/Home/home_node.html

www.dena.de/

www.energie-lexikon.info/

www.energiewelten.de/elexikon/lexikon/index3.htm

<http://ernaehrungsvorsorge.de/>



Autorinnen und Autoren

Manuel Berkel hat bei einer Tageszeitung volontiert und als Redakteur gearbeitet. Seit 2009 ist er freier Journalist und berichtet aus Berlin über wirtschaftliche und politische Aspekte der Energiewende. **Herr Berkel hat die Konzeption dieser Heftausgabe erarbeitet und die Koordination übernommen.**

Kontakt: mail@manuel-berkel.de, Twitter: @manuelberkel

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck ist Leiter des Instituts für Elektrische Energietechnik und Vorstandsvorsitzender des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen, beides an der TU Clausthal. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Dezentrale Energiesysteme, Leistungsmechatronik und Antriebe sowie elektrische Energiespeicher.

Kontakt: vorsitzender@efzn.de

Dr. Felix Chr. Matthes ist Forschungs-Koordinator für Energie- und Klimapolitik im Öko-Institut, Berlin. Forschungsschwerpunkte: nationale und internationale Energie- und Klimaschutzpolitik.

Kontakt: f.matthes@oeko.de

Bernhard Pötter ist freier Mitarbeiter und Teilzeit-Redakteur im Wirtschaftsressort der taz und beschäftigt sich seit vielen Jahren mit Energiefragen.

Prof. Dr.-Ing. habil. Detlef Schulz leitet die Professur für Elektrische Energiesysteme an der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg und ist Sprecher des Forschungsschwerpunkts „Nachhaltige Energieversorgung“. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Netzintegration erneuerbarer Energien, Smart Grids und Flugzeuggeländernetze.

Kontakt: detlef.schulz@hsu-hh.de

Dr. Karen Schulz leitet ein selbstständiges Ingenieurbüro für energie-technische Lösungen in Hamburg. Ihre fachlichen Schwerpunkte sind die Biomasse und deren Netzintegration.

Dr. Jens-Peter Springmann ist Leiter der Geschäftsstelle des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen der TU Clausthal. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der volkswirtschaftlichen Analyse energiepolitischer Maßnahmen.

Dr. Hans-Joachim Ziesing war lange Jahre Leiter der Energieabteilung im Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin). Als unabhängiger Consultant ist er beratend tätig im Bereich von Energie- und Klimapolitik. Seit 1994 ist er Geschäftsführer der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V., deren Aufgabe die Erstellung der Energiebilanzen für Deutschland ist.

Impressum

Herausgeberin:

Bundeszentrale für politische Bildung/bpb, Adenauerallee 86, 53113 Bonn, Fax-Nr.: 02 28/99 515-309, Internetadresse: www.bpb.de/izpb, E-Mail: info@bpb.de

Redaktion:

Christine Hesse (verantwortlich/bpb), Jutta Klaeren, Magdalena Langholz (Volontärin)

Gutachten und redaktionelle Mitarbeit:

Dr. Hubertus Bardt, Leiter Kompetenzfeld Umwelt, Energie, Ressourcen am Institut der deutschen Wirtschaft, Köln; Daniel Fokken, Bremen; Janina Kretzschmann, Köln; Nicolas Miehle, Dortmund; PD Dr. Lutz Mez, Berlin Centre for Caspian Region Studies, Freie Universität Berlin; Martin Neibig, Darmstadt

Titelbild:

Paul Langrock / Zenit / laif – Ein Tunnel im Berliner Untergrund verbindet Friedrichshain und Marzahn per Stromautobahn. Ein Netzingenieur auf Inspektionstour

Umschlag-Rückseite:

Leitwerk, Köln

Gesamtgestaltung:

KonzeptQuartier® GmbH, Art Direktion: Linda Spokojny, Schwabacher Straße 261, 90763 Fürth

Druck:

STARK Druck GmbH + Co. KG, 75181 Pforzheim

Vertrieb:

IBRo, Verbindungsstraße 1, 18184 Roggentin

Erscheinungsweise:

vierteljährlich.

ISSN 0046-9408. Auflage dieser Ausgabe: 500 000

Redaktionsschluss dieser Ausgabe:

September 2013

Text und Fotos sind urheberrechtlich geschützt. Der Text kann in Schulen zu Unterrichtszwecken vergütungsfrei vervielfältigt werden.

Anforderungen

bitte schriftlich an
Publikationsversand der Bundeszentrale
für politische Bildung/bpb
Postfach 501055, 18155 Rostock
Fax: 03 82 04/66-273 oder E-Mail: bestellungen@shop.bpb.de

Absenderanschrift bitte in Druckschrift.

Abonnement-**Anmeldungen oder Änderungen** der Abonnementmodalitäten bitte melden an informationen@abo.bpb.de

Informationen über das weitere Angebot der Bundeszentrale für politische Bildung/bpb erhalten Sie unter der o.g. bpb-Adresse.

Für telefonische Auskünfte (**bitte keine Bestellungen**) steht das Info-telefon der bpb unter Tel.: 02 28/99 515-115 von Montag bis Donnerstag zwischen 8.00 Uhr und 16.00 Uhr und freitags zwischen 8.00 Uhr und 15.00 Uhr zur Verfügung.





DER TIMER 2013 2014



Der Timer kommt!

Der Timer ist der informative
Notizkalender der bpb.
160 Seiten stark.

Hier bestellen:

www.bpb.de/timer
Fax: +49 (0) 2 28-99 51 51 51-1

Timer-Telefon für

Großbesteller (ab 250 Stück):
Tel: +49 (0) 2 28-99 51 51 51-0

Übrigens:

Wer große Stückzahlen
bestellt, spart jede Menge!

 **bpb:**
Bundeszentrale für
politische Bildung