

Klimaschutz ist nicht mehr aufschiebbar



In vielen Teilen der Erde sind vermehrt extreme und ungewöhnliche Wetterphänomene und deren Folgen zu beobachten: Berichte über Überschwemmungen, Wirbelstürme und Dürreperioden sind heute permanent in den Nachrichten zu finden. Sind dies Vorboten einer drohenden Klimakatastrophe oder handelt es sich um Extrem-schwankungen einer völlig normalen Entwicklung? Die Klimafor-scher sind sich hierüber noch nicht einig. Grundsätzliches steht aber fest: Menschliche Aktivitäten setzen große Mengen an CO₂ und anderen klimarelevanten Spurengasen frei. Während der natürliche Treibhauseffekt für eine gleichmäßige mittlere Oberflächentempe-ratur sorgt, steigt durch den zusätzlichen, von Menschen verursach-ten Treibhauseffekt die Durchschnittstemperatur auf der Erde ste-tig an.

Diese vom Menschen bewirkten Veränderungen im Ökosystem erfor-dern rasches und konsequentes Handeln. Grundvoraussetzung hierfür ist das Wissen um die Zusammenhänge. Das Klima kennt keine Staats-grenzen. Nationale Anstrengungen im Klimaschutz sind deshalb auf Dauer nur dann erfolgreich, wenn auf europäischer und internationaler Ebene ebenfalls wirksame Maßnahmen ergriffen werden. Die Menschen müs-sen sich stärker bewusst machen, dass politisches Handeln und interna-tionale Zusammenarbeit im Umweltschutz wichtig sind, aber auch durch das tägliche Verhalten des Einzelnen ergänzt werden müssen.

Wüste Brandenburg – Klimawandel bis zum Jahr 2055

F.A.Z. vom 14. Juli 2003 (gekürzt)

So wie dieser märkische Sommer ist, so wird vermutlich in den nächs-ten Jahren das Klima in Brandenburg sein: heiß und trocken. Bis zur Mitte des Jahrhunderts (2055) wird die durchschnittliche Temperatur um 1,4 Grad Celsius steigen und die durchschnittliche Niederschlags-menge sich um acht Prozent verringern. Das Klima wird sich in den nächs-ten Jahrzehnten viel schneller ändern als in den vergangenen Jahrhun-derten. Das jedenfalls nehmen die Wissenschaftler am Potsdamer Leib-nitz-Institut für Klimafolgenforschung an. Dass das Klima wärmer und trockener wird, ist an sich nicht schlecht. Für den Tourismus ist es sogar von Vorteil, wenn die Sommer im Durchschnitt schöner werden. Schlim-mer allerdings sind die Folgen der Klimaänderungen. Nach den Überle-gungen der Klimaforscher aber wird es schon bald dazu kommen, dass

Anstieg des CO₂ und der Temperatur



Quelle: Shell Deutschland Oil



Diskutieren Sie die Auswirkungen des Klimawandels. Schreiben Sie anschließend den FAZ-Artikel aus der Sicht der Klima-forscher weiter.

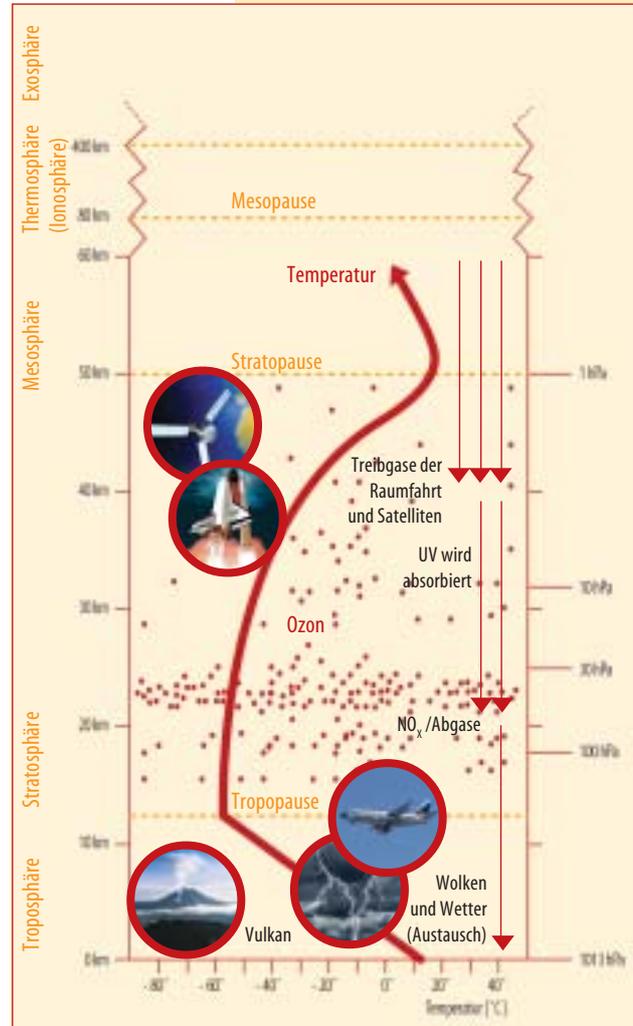
Der Aufbau der Erdatmosphäre

2

Vom Weltraum aus besehen wirkt sie wie ein dünner, bläulicher Film um die Erde. Sie macht das Leben auf unserem Planeten erst möglich: die Atmosphäre. Die untere Atmosphäre reicht bis in 50 km Höhe und besteht aus der Troposphäre und der darüber liegenden Stratosphäre. Zirka 75 bis 90 Prozent der Gesamtmasse der Atmosphäre befinden sich in der Troposphäre. Hier spielt sich alles ab, was wir unter „Wetter“ verstehen. Die untere Atmosphäre ist ein Gasgemisch aus 78,09 Prozent Stickstoff, 20,95 Prozent Sauerstoff und knapp einem Prozent Spurengasen, darunter 0,03 Prozent Kohlendioxid. Zusätzlich ist in der Atmosphäre fast immer Wasserdampf mit stark schwankenden Anteilen vorhanden. Die Lufthülle der Erde enthält zudem Spurengase, deren Menge durch menschliche Aktivitäten erhöht wird: Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Distickstoffoxid (N_2O) und Ozon (O_3). Auch die Konzentration der Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Halone steigt an. Obwohl diese Spurengase im Vergleich zu den Hauptbestandteilen nur in sehr geringen Mengen vorhanden sind, beeinflussen sie durch ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften entscheidend das Klima und damit auch das Leben auf der Erde. Ohne den natürlichen Treibhauseffekt könnte kein Mensch, kein Tier, keine Pflanze existieren. Nimmt ihre Konzentration zu, verstärkt dies den Treibhauseffekt und damit globale und regionale Klimaveränderungen, deren Konsequenzen wir noch gar nicht absehen können.

Die Temperaturstruktur bildet die Grundlage für die Stockwerkgliederung der Atmosphäre. Die „untere Atmosphäre“ besteht aus zwei Schichten: der _____ und der darüber liegenden _____ . In der erdnahen Troposphäre sinkt die Temperatur mit zunehmender Höhe um rund 6,5 Grad Celsius pro Kilometer. Anders in der Stratosphäre: Hier _____ die Temperatur mit der Höhe an und erreicht bei etwa 50 Kilometern das _____ (Stratopause). Der Übergangsbereich zwischen Troposphäre und Stratosphäre wird als _____ bezeichnet und befindet sich in durchschnittlich zehn Kilometern Höhe.

Aufbau der Erdatmosphäre



Quelle: Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

To Do

Studieren Sie die Grafik und vervollständigen Sie anschließend den Lückentext.

Die Ursachen des Treibhauseffektes

3

Der natürliche Treibhauseffekt

Wasserdampf (H_2O) und die Spurengase Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Distickstoffoxid (N_2O) sowie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) lassen in der Atmosphäre die kurzwellige Sonnenstrahlung nahezu ungehindert zur Erdoberfläche passieren, absorbieren aber zugleich einen Großteil der langwelligen Wärmestrahlung der Erdoberfläche und verhindern dadurch die Rückstrahlung ins Weltall. Diesem natürlichen Treibhauseffekt verdanken wir, dass auf der Erde nicht eine globale mittlere Durchschnittstemperatur von -18 Grad Celsius, sondern von $+15$ Grad Celsius herrscht.

Der anthropogene Treibhauseffekt (siehe Folie 1)

Die Ursachen des zusätzlichen Treibhauseffektes liegen in der Zunahme der Spurengase in der Atmosphäre. Seit Beginn der industriellen Revolution Mitte des 19. Jahrhunderts haben sich der globale Primärenergieverbrauch und damit die vom Menschen verursachten Emissionen ständig erhöht. Viele Wissenschaftler halten deshalb eine Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur um drei Grad Celsius innerhalb der nächsten 100 Jahre für möglich. Die daraus resultierenden Klimaveränderungen könnten dramatische Folgen annehmen.

Kohlendioxid (CO_2) entsteht unvermeidbar bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Gas und Öl, aber auch beim Abbrennen tropischer Regenwälder.

Methan (CH_4) stammt aus der Erdgaswirtschaft und dem Kohlebergbau, entsteht aber auch beim Reisanbau, bei der Rinderhaltung und auf Mülldeponien.

Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) haben außer ihrer ozonzerstörenden Wirkung auch einen Anteil am zusätzlichen Treibhauseffekt. Ihr Einsatzspektrum reicht vom Spraydosen-Treibgas bis zum Kältemittel im Kühlschrank. Die Herstellung und Verwendung ist in Deutschland seit 1991 verboten.

Ozon (O_3) in den bodennahen Schichten der Troposphäre ist ebenfalls für den zusätzlichen Treibhauseffekt mitverantwortlich. Es entsteht dort vor allem im Sommer aus den Abgasen von Autos und von Verbrennungsvorgängen unter Einwirkung von intensiver Sonnenstrahlung.

Distickstoffoxid (N_2O), auch Lachgas genannt, wird aus Kunstdünger und bei Verbrennungsvorgängen freigesetzt.

Von den globalen CO_2 -Emissionen sind 98 Prozent auf natürliche Vorgänge zurückzuführen. Nur zwei Prozent, das sind immerhin 22 Mrd. Tonnen, werden menschlichem Tun zugerechnet. Sie stammen aus industriellen Prozessen, aus der Energieerzeugung und vom Verkehr. Die Hälfte davon wird wieder in Pflanzen oder im Meer gespeichert, so dass ein jährlicher CO_2 -Überschuss von 11 Mrd. Tonnen in die Atmosphäre geht. Dieser vom Menschen stammende Überschuss ist es, der den Kohlenstoffhaushalt der Erde aus dem Gleichgewicht gebracht hat, und hier ist der einzige Ansatzpunkt für Gegenmaßnahmen.

Zusätzlich verschärft wird das Problem dadurch, dass es bis heute einen engen Zusammenhang zwischen Lebensstandard und Energieverbrauch gibt. Die Industriestaaten sind für drei Viertel des Energieverbrauchs der Welt – und damit auch für drei Viertel der CO_2 -Emissionen – verantwortlich, obwohl in ihnen nur ein Viertel der Weltbevölkerung lebt. Sie sind daher vor allem gefordert, wenn es um wirksame Schritte zur Verhinderung einer Klimakatastrophe geht. Gleichzeitig wächst der Energiehunger der Schwellenländer, insbesondere in China, Indien und Brasilien.

Atmosphärische Mischungsverhältnisse treibhausrelevanter Spurengase in ppb (parts per billion/ 10^9)

Jahr	CO_2	CH_4	N_2O	FCKW-11	FCKW-12
1765	279.000	790	285	0	0
1900	295.720	974	292	0	0
1960	316.240	1.272	297	0,018	0,030
1970	324.760	1.421	299	0,070	0,121
1980	337.320	1.569	303	0,158	0,270

Quelle: BHKW Infozentrum Rastatt



To Do

Welche natürlichen CO_2 -Senken könnten dem Anstieg der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre entgegenwirken?

www.umweltbundesamt.de/luft/emissionen/situation-de/schadstoffe/thg/co2-senken.htm,
www.europa.eu.int/comm/research/press/2001/pr1511en.html

Wie ist die Entwicklung des CO_2 -Ausstoßes in Bezug auf die Schwellenländer China und Indien zu beurteilen?

www.chinafokus.de/wirtschaft/profil_wirtschaft.php,
www.upi-institut.de/upi35.htm,
www.diw.de/deutsch/publikationen/wochenberichte/docs/95-10-2.html

Das Kyoto-Protokoll: Klimaschutz als globale Aufgabe

1992 wurde auf der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung (UNCED) in Rio de Janeiro, dem „Erdgipfel“, von mehr als 150 Staaten und der Europäischen Union (EU) die Klimarahmenkonvention (KRK) unterzeichnet. Ziel ist es, die Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu stabilisieren, das eine gefährliche Störung des Klimasystems verhindert.

Die Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention verabschiedeten auf ihrer dritten Konferenz Ende 1997 in Kyoto, Japan, das so genannte **Kyoto-Protokoll**. Die Industrieländer verpflichten sich auf eine überprüfbare Reduktion der Emissionen von Treibhausgasen um insgesamt 5,2 Prozent bis zum Jahr 2012. Von dieser Regelung betroffen sind die Emissionen von Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O) mit dem Bezugsjahr 1990, sowie die Emissionen von teilhalogenierten Kohlenwasserstoffen (H-FKW), perfluorierten Kohlenwasserstoffen (PFC) und Schwefelhexa-

fluorid (SF₆) mit dem Bezugsjahr 1995. Über die konkrete Ausgestaltung der „flexiblen Mechanismen“ des Kyoto-Protokolls wurde erst in den Nachfolgekonzferenzen (1998-2001) Konsens erzielt. Dazu gehört die Möglichkeit für Industriestaaten, ihre Wälder als Kohlenstoffspeicher (CO₂-Senken) anrechnen zu lassen – und zwar bis zu 3,5 Prozentpunkte ihrer Reduktionsverpflichtung. Außerdem kann ein Land seine Verpflichtungen auch erfüllen, indem es von anderen Ländern, die ihr Soll übererfüllen, Emissionszertifikate erwirbt (Emissionshandel). Schließlich können sich Industriestaaten im Rahmen des „Clean Development Mechanism“ Investitionen in klimafreundliche Technologien in Entwicklungsländern auf ihr Reduktionsziel anrechnen lassen. Die Kernenergie wurde von dieser Regelung ausgenommen.

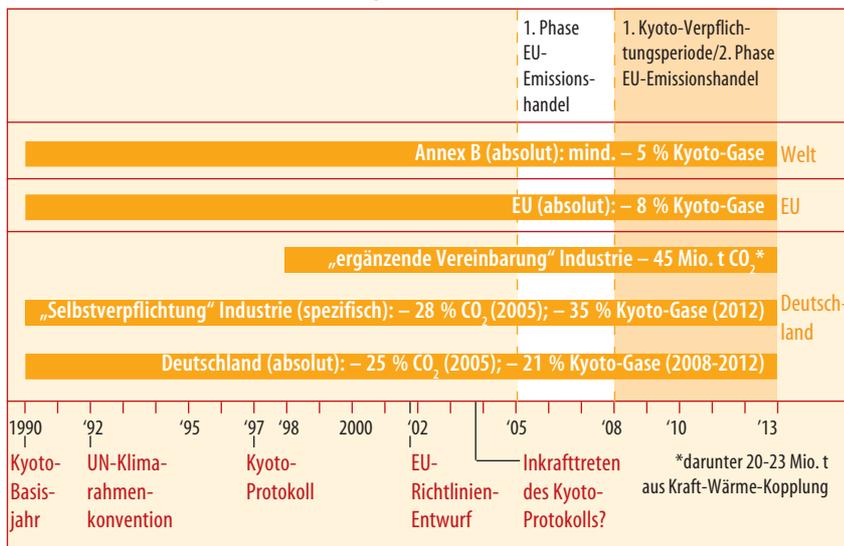
Das Kyoto-Protokoll tritt in Kraft, wenn es von mindestens 55 Unterzeichnerstaaten ratifiziert wurde und damit zugleich mindestens 55 Prozent der Treibhausgasemissionen aus

den Industriestaaten (Bezugsjahr 1990) abgedeckt werden. Im Vorfeld des Weltgipfels für nachhaltige Entwicklung in Johannesburg lagen die Ratifikationsurkunden von 79 Staaten (36 Prozent der Emissionen) vor.

Die US-Regierung unter George W. Bush verkündete im März 2001 den Ausstieg der USA aus dem Kyoto-Protokoll und begründete dies mit den schädlichen Auswirkungen auf die US-Wirtschaft. Im Februar 2002 präsentierte die Bush-Administration ihr neues Klimaschutzprogramm, das jedoch keine konkreten Verpflichtungen und Reduktionsziele enthält. Die Reduktion von Treibhausgasemissionen wird von der wirtschaftlichen Entwicklung abhängig gemacht. Von den EU-Staaten und den Umweltorganisationen wurde das Programm als völlig unzureichend kritisiert.

Die EU und Japan ratifizierten das Kyoto-Protokoll im Frühjahr 2002. Die Industriestaaten, mit Ausnahme der USA, zeigen hierdurch ihren Willen zu verpflichtenden und konkreten Maßnahmen im Klimaschutz.

Ziele und Meilensteine der Klimaschutzpolitik



Quelle: Shell Deutschland Oil



Wie wird das Kyoto-Protokoll kontrolliert? Was sind die Konsequenzen bei Nichteinhaltung der Vorgaben? Informieren Sie sich im Internet auf der Homepage der Klimarahmenkonvention: www.unfccc.int

Wege kosteneffizienten Klimaschutzes

„Flexible Instrumente“ und CO₂-Vermeidungskosten

Das Kyoto-Protokoll sieht zur Erreichung der Reduktionsziele bei den Treibhausgasen die so genannten „flexiblen Instrumente“ des Klimaschutzes vor. Im Einzelnen sind das:

- **Emissionshandel (ET):** der Handel von Emissionsrechten, die sich aus dem Kyoto-Protokoll ableiten, zwischen Industrieländern (Annex-B-Ländern)
- **Joint Implementation (JI):** von Industrieländern gemeinsam durchgeführte Klimaschutzprojekte
- **Clean Development Mechanism (CDM):** von Industrieländern in Entwicklungsländern finanzierte Klimaschutzprojekte

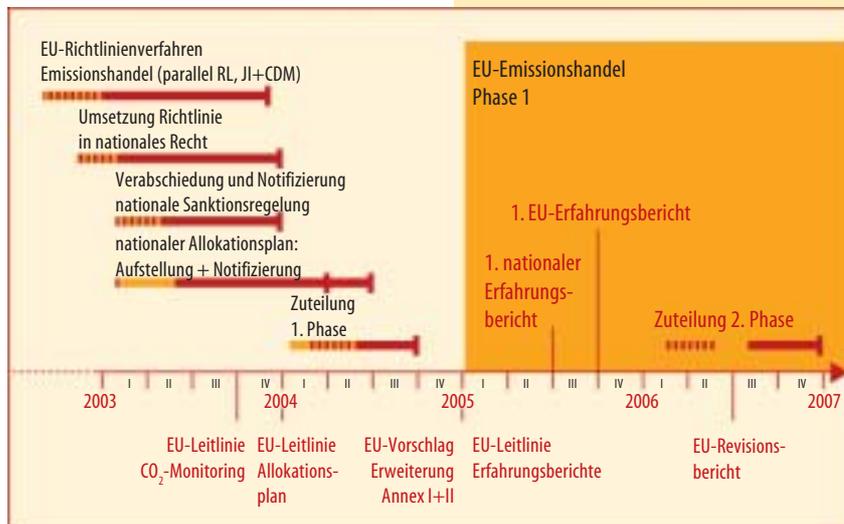
Die Instrumente JI und CDM – Funktion und Durchführung

CDM und JI dienen der direkten Kooperation zwischen den Staaten. Hierzu zählen etwa die Verbesserung der Effizienz eines Fernwärmenetzes, die Umrüstung eines Industriekesels auf einen anderen Brennstoff, die Installation von Solar Home Systems, der Neubau eines klimafreundlichen Kraftwerks oder die Wiederaufforstung von Wäldern.

Die Projekte werden von einem Zertifizierer begutachtet (in Deutschland z. B. der TÜV), um festzustellen, wie viele Tonnen Treibhausgase durch das Projekt weniger emittiert wurden. Der Prüfer stellt Zertifikate an die beteiligten Unternehmen aus. Diese Zertifikate können die Unternehmen entweder zum Kauf anbieten, zur Verrechnung mit eigenen Verpflichtungen nutzen oder aber im geplanten EU-weiten Zertifikatehandel für Unternehmen verkaufen.

Emissionsminderungen werden dann dort vorgenommen, wo sie volkswirtschaftlich am günstigsten zu erzielen sind. Das macht Sinn, denn Treibhausgase wirken nicht lokal oder regional, sondern global. Shell gehörte zu den ersten Unternehmen, das Erfahrungen in einem unternehmensinternen Emissionshandel-Pilotprogramm sammelte.

Emissionshandel: Nationale und EU-Gesetzgebung 2003-2007



Quelle: Shell Deutschland Oil

Britische Umweltministerin Margaret Beckett testet Praxis des Emissionshandels

Pressemitteilung des Ministeriums für Umwelt, Ernährung und ländliche Angelegenheiten, 18. April 2002

Umweltministerin Margaret Beckett besuchte heute den Börsensaal von Shell in London, um einmal selbst am Emissionshandel teilzunehmen. Dort handelte sie mit Emissionsrechten für eine Tonne Treibhausgase und überzeugte sich in persönlicher Anschauung davon, wie das System in der Praxis funktioniert.

Das seit 2. April 2002 geltende Emissionshandelssystem ist zentraler Bestandteil des britischen Klimaschutzprogramms. Es ist weltweit das erste System für den Handel mit Emissionsrechten für Treibhausgase, das alle Wirtschaftszweige erfasst. Shell ist eines der Unternehmen, die sich am Emissionshandel beteiligen. (gekürzt)

Info

Die EU hat ihre gemeinsame Kyoto-Verpflichtung im Juni 1998 unter ihren Mitgliedern neu aufgeteilt. Für Deutschland besteht eine Reduktionsverpflichtung für die Periode 2008 - 2012 von 21 % gegenüber 1990. Damit trägt Deutschland etwa drei Viertel der europäischen Minderungsleistung. Um das Klimaschutzziel besser und kosteneffizient erreichen zu können, wurde von der EU ein Emissionshandelssystem vorgeschlagen, zunächst nur auf das wichtigste Klimagas CO₂ und auf sechs ausgewählte Wirtschaftsbereiche beschränkt.

To Do

Informieren Sie sich über die Praxis, Möglichkeiten und Probleme des Emissionshandels. www.oeko-steuer.de/downloads/bund-osr-et.pdf

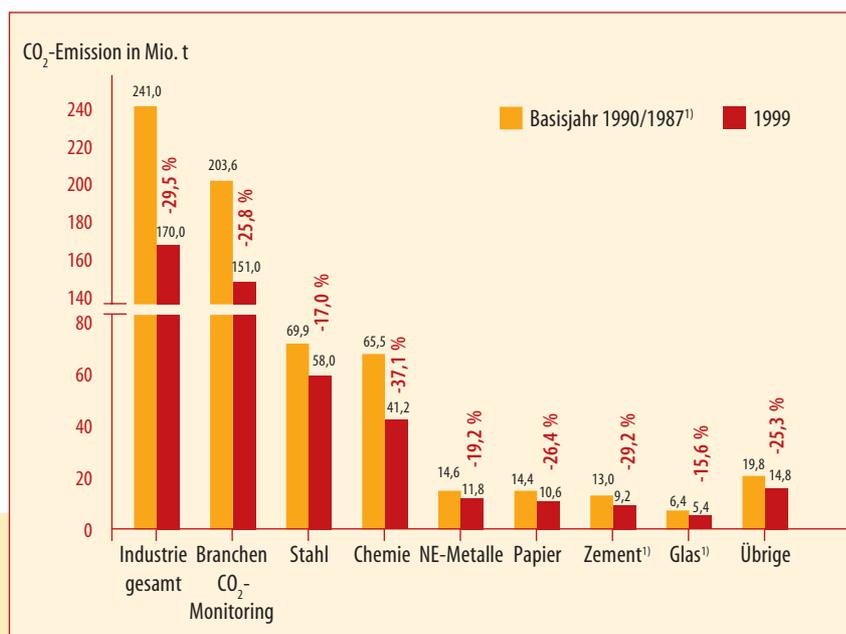
Welche Anlagen sind in Deutschland zur Teilnahme verpflichtet? www.emissionshandel-nord.de

Der deutsche Sonderweg der Selbstverpflichtung

6

Deutschland ist weltweit führend bei der Reduktion klimaschädlicher Gase. Das nationale Klimaschutzprogramm und das freiwillige nationale CO₂-Minderungsziel Deutschlands legen fest: In der Periode 2008 - 2012 müssen die Treibhausgasemissionen um 21 Prozent unter das Niveau von 1990 sinken. Bis 2020 müssen sie um 40 Prozent gesenkt werden, wenn die EU sich auf ein Emissionsziel von 30 Prozent festlegt. Mit verschiedenen Maßnahmen versucht Deutschland die ehrgeizigen Ziele zu erreichen. Ein Instrument unter vielen ist hierbei die Vereinbarung zwischen Bundesregierung und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge vom 9.11.2000, die so genannte „Selbstverpflichtung der deutschen Wirtschaft“. Sie sieht vor, bis zum Jahr 2010 die Kyoto-Gase – ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten – um 35 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren. Hieraus ergibt sich gegenüber 1998 eine zusätzliche CO₂-Minderung von zehn Millionen Tonnen bis 2005 und weiteren zehn Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten bis 2012.

Stahl-Zentrum – Erfolgsbilanz: Absolute CO₂-Minderung durch Selbstverpflichtung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge



Quelle: RWI Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Essen, 2002

Im Gegenzug will die Bundesregierung auf ordnungsrechtliche Maßnahmen zur Energieeinsparung bzw. CO₂-Reduktion verzichten und auf dem Gebiet der Umweltsteuern weiterhin auf die wirtschaftliche Situation der energieintensiven Industrie Rücksicht nehmen. Auch die Automobilindustrie hat eine spezielle „Freiwillige Selbstverpflichtung“ zur CO₂-Reduktion der von ihr hergestellten Fahrzeuge abgegeben.

Unbestritten ist, dass die Selbstverpflichtung der deutschen Wirtschaft zu einer schnellen Verbesserung der Umweltsituation beigetragen hat. Die Selbstverpflichtung weist aber gegenüber den flexiblen Instrumenten auch gewisse Nachteile auf: Es gibt keine Sanktionsmechanismen, wenn die Ziele nicht erreicht werden. Hinzu kommt, dass die Selbstverpflichtung nicht kompatibel ist, weder mit internationalen noch mit anderen nationalen Emissionshandlungssystemen. Die Möglichkeit des grenzüberschreitenden Emissionshandels ist hier nicht gegeben, die zugesagten Reduktionen werden durch Maßnahmen innerhalb der deutschen Industrie erbracht, die dabei entstehenden Kosten werden im Inland getragen.



Stellen Sie sich vor, Sie sind Topmanager eines deutschen Unternehmens. Welche Probleme sehen Sie in Bezug auf die Umsetzung dieser Selbstverpflichtung? Informationen finden Sie unter www.ftd.de/klimagipfel, www.shell.de/ „Kosteneffizienter Klimaschutz durch Emissionshandel“/[PDF]/04/03/2003/

Die Shell-Energie-Szenarien

7

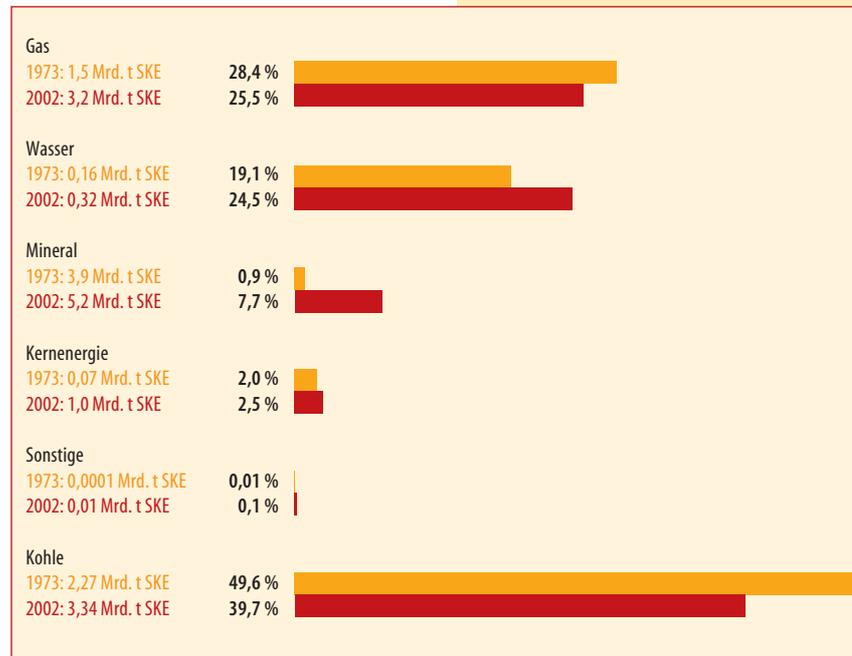
Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Energieversorgung

Wie wird die Zukunft der Energieversorgung aussehen? Unter dem Titel „Energy Needs, Choices and Possibilities – Scenarios to 2050“ hat die Royal Dutch/Shell Gruppe neue Szenarien über die zukünftige Entwicklung des Welt-Energiebedarfs veröffentlicht. In den letzten Jahren haben sich bedeutende Veränderungen im Energiebereich ergeben, die bei einer Betrachtung möglicher zukünftiger Entwicklungen zu beachten sind:

- Veränderung der Energiemärkte durch die zunehmende Liberalisierung und Globalisierung
- Zunahme der Schätzungen für die wirtschaftlich förderbaren Erdöl- und Erdgasressourcen
- Effizientere Nutzung konventioneller Energien
- Wachsende Bedeutung erneuerbarer Energien, v. a. Windkraftnutzung und Photovoltaik
- Erprobung und Anwendung von Hybrid- oder Brennstoffzellenantrieben sowie Wasserstoff als Kraftstoff
- Vereinbarte Reduzierung von Treibhausgasen im Rahmen des Kyoto-Protokolls
Auch gesellschaftliche Prioritäten sind bei der Abschätzung zukünftiger Entwicklungen von großer Bedeutung:
- Als Grundlage für Wirtschaftswachstum und Wohlstand muss ausreichend Energie zur Verfügung stehen, bezahlbar bleiben und eine langfristige Versorgungssicherheit bieten.
- Der Schutz der Umwelt und des Weltklimas wird für die Gesellschaft in den Industrieländern zunehmend bedeutender.

Entwicklung des Primärenergieverbrauchs

(in Mrd. t SKE) 1973: 7,9 Mrd. t SKE, 2002: 13,1 Mrd. t SKE



Quelle: Shell Deutschland Oil; RWE (Weltenergiereport 2002)

Derzeit verbrauchen die Industrieländer mehr als die Hälfte der Primärenergie. Es bestehen global gesehen große regionale Variationen im Energieverbrauch: Zwischen 0,4 t Steinkohleeinheiten (SKE) in Südasien bzw. 0,5 t SKE in Afrika und 11,1 t SKE in den USA und Kanada (siehe Folie 2). In der Zukunft ist mit einem steigenden Bedarf der Schwellen- bzw. Entwicklungsländer zu rechnen, v. a. in China, Indien und Brasilien. Eine Reduzierung des Energieverbrauches ist in den entwickelten Industrieländern nötig und wird erwartet, da hier die Mechanismen einer effizienteren Energienutzung wirken.

In beiden Szenarien wird das gleiche weltweite Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum angenommen:

- Die Weltbevölkerung wächst von heute sechs auf neun Milliarden Menschen.
- Dies führt zu einer Vervierfachung der Weltwirtschaftsleistung.

- In den hochentwickelten Industriestaaten werden sich Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch weiter entkoppeln.
- Der weltweite Energieverbrauch wird sich voraussichtlich verdoppeln oder knapp verdreifachen.
- Der Anteil der erneuerbaren Energien steigt zu Lasten der konventionellen Energieträger, zukünftig wird es eine Vielzahl an Energieträgern geben und von daher auch größere Wahlmöglichkeiten für die Verbraucher.

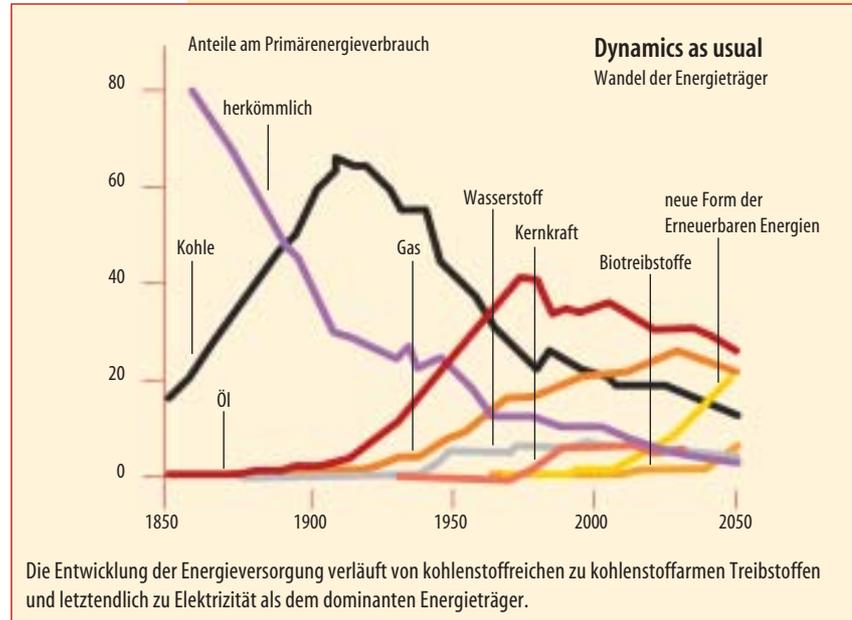
Ausgehend von den hier vorgestellten Annahmen bzw. Basisdaten wurden von der Shell Gruppe zwei Szenarien (siehe Kopiervorlagen 8a und 8b) entworfen, die darlegen sollen, wie sich die Energiesysteme unter verschiedenen Rahmenbedingungen entwickeln könnten:

- Dynamics as Usual
- The Spirit of the Coming Age

Dynamics as Usual (Evolutionäre Entwicklung)

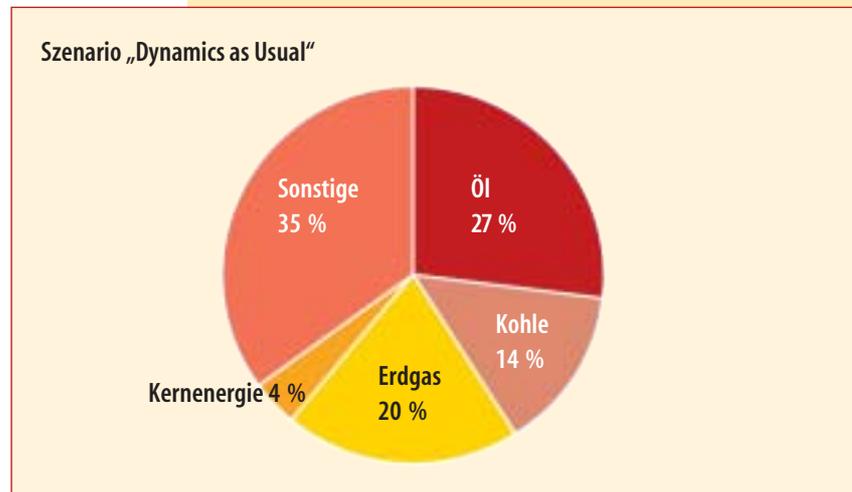
Eine Welt, in der die gesellschaftlichen Forderungen nach sauberer, sicherer und nachhaltiger Energie die Entwicklung vorantreiben. Erprobte Technologien (Verbrennungsmotor u. a.) werden immer sparsamer und effizienter, die technische Entwicklung schreitet mit einem noch höheren Tempo voran, als wir es bisher erlebt haben. In China und Indien wächst die Nachfrage nach Energie rapide, angetrieben durch die wirtschaftliche Entwicklung und das Bevölkerungswachstum. In den hochentwickelten Industriestaaten dagegen wird durch verbesserte Techniken immer weniger Energie benötigt. Erdöl, heute der wichtigste Energieträger, wird erst verhältnismäßig ab 2040 knapp, bedingt durch neue Techniken bei der Förderung und den geringeren Verbrauch. Erdgas übernimmt eine zunehmend wichtigere Rolle: Bis 2010 hat es in vielen Bereichen bereits die Kohle ersetzt; ab 2020 wird es Erdöl aus vielen Bereichen der Energieversorgung verdrängen. Bis 2020 erfolgt in den OECD-Staaten ein rasches Wachstum der regenerativen Energien (rund 20 Prozent der Elektrizitätsversorgung), unterstützt durch gesetzliche Vorgaben und gesellschaftliche Forderungen nach Umwelt- und Klimaschutz. Große Fortschritte in der Biotechnologie ermöglichen ab 2040 sukzessive den Ersatz konventioneller Brennstoffe durch Biokraft- und Biobrennstoffe, in Verbindung mit der Entwicklung extrem energiesparender Fahrzeuge. Weitere technische Entwicklungen befördern auch die erneuerbaren Energien: Bis 2050 wird ihr Anteil ca. 30 Prozent des globalen Primärenergieverbrauches umfassen (siehe Folie 3).

Wandel der Energieträger – Anteil am Primärenergieverbrauch



Quelle: Shell Deutschland Oil – „Energy Needs, Choices and Possibilities – Scenarios to 2050“

Weltenergieverbrauch im Jahr 2050 – Anteile an der Primärenergie



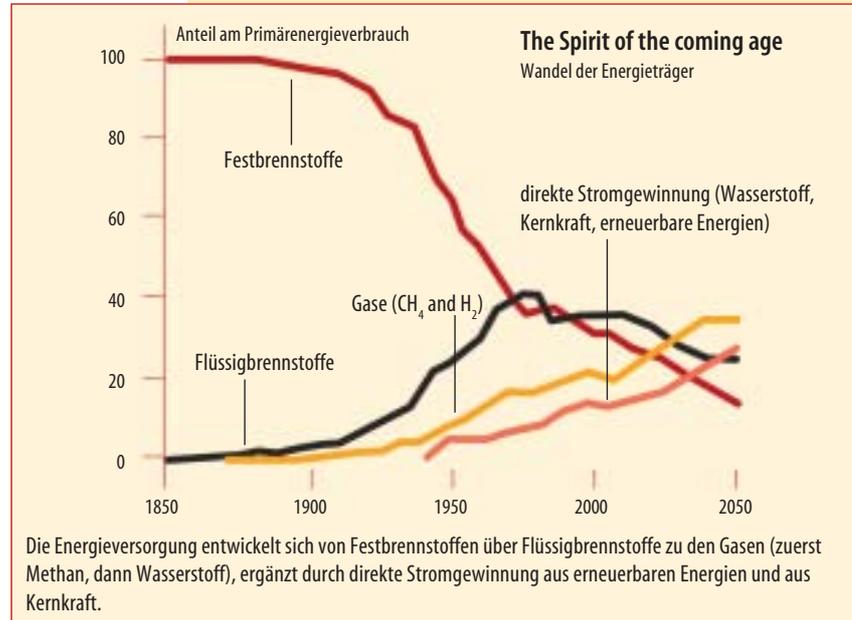
Quelle: Shell Deutschland Oil – „Energy Needs, Choices and Possibilities – Scenarios to 2050“

Die Shell-Energie-Szenarien

The Spirit of the Coming Age (Revolutionäre Entwicklung)

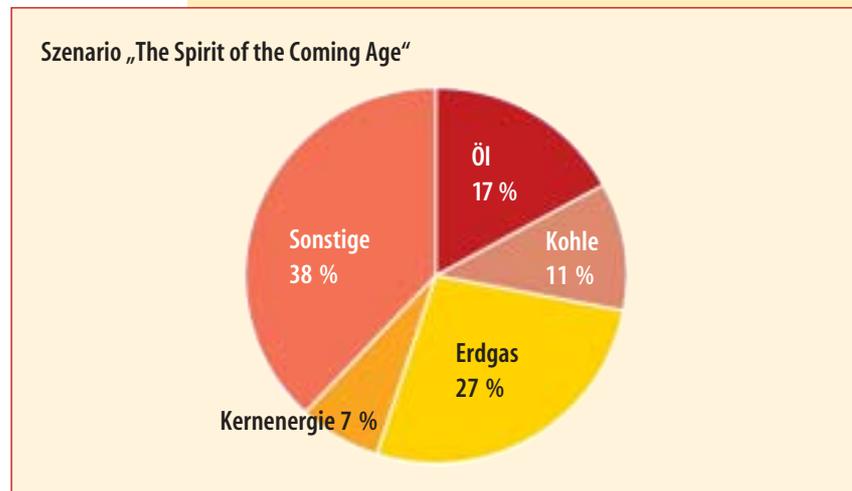
In diesem Szenario wird die Energieversorgung fundamental verändert. Es ist eine Welt der Mobilität, in der Werte wie persönliche Freiheit und Unabhängigkeit sowie eine Offenheit gegenüber neuen Technologien eine große Rolle spielen. Es werden vielfach ganz neue Wege beschritten, um Lösungen für die Energiefrage zu finden. Eine Zeit voller Experimente – auch mit Misserfolgen –, die Technologiesprünge ermöglicht und zu einem System der Energieversorgung führt, in dessen Mittelpunkt die Brennstoffzelle und die Wasserstofftechnologie stehen. Die Automobilindustrie entwickelt raffinierte Speicherbehälter, u. a. für den Einsatz in Kraftfahrzeugen („Fuel boxes“), die den Durchbruch der neuen Technologie erst befördern. China und Indien sind gezwungen, ihre Abhängigkeit von Erdöl und Erdgas zu verringern: Aus ökologischen und logistischen Gründen ist die herkömmliche Nutzung der Kohle nicht mehr vertretbar. Die Lösung liegt u. a. in der Extraktion von Methan und Wasserstoff aus einheimischer Kohle für den Einsatz als Treibstoff und Energieträger. Die weltweite Entwicklung in Richtung der Wasserstofftechnologie wird begleitet von einer effizienten und weit reichenden Erdgasnutzung. Der Anteil an erneuerbaren Energien bleibt vorerst gering, nach 2025 werden diese aber vermehrt zur elektrolytischen Gewinnung von Wasserstoff, dem neuen Energieträger, genutzt. Bis zum Jahre 2050 hat sich eine neue Energieversorgung etabliert, in der Innovationen der Motor der weiteren Entwicklung sind (siehe Folie 3).

Wandel der Energieträger – Anteil am Primärenergieverbrauch



Quelle: Shell Deutschland Oil – „Energy Needs, Choices and Possibilities – Scenarios to 2050“

Weltenergieverbrauch im Jahr 2050 – Anteile an der Primärenergie



Quelle: Shell Deutschland Oil – „Energy Needs, Choices and Possibilities – Scenarios to 2050“

Die Shell-Energie-Szenarien – Ausblick

9

Die Sorge um das Weltklima und Ängste, dass Erdöl knapp wird, sind treibende Kräfte für Veränderungen, die den Shell-Szenarien zu Grunde liegen. Im Szenario „Dynamics as Usual“ wird die bewährte Energietechnik weiterentwickelt, mit einer deutlichen Effizienzsteigerung herkömmlicher Techniken und einer breiten Unterstützung durch erneuerbare Energien. Das Szenario „The Spirit of the Coming Age“ beschreibt hingegen die Revolution der Energiesysteme durch Brennstoffzelle und Wasserstoff. Die Szenarien setzen dabei unterschiedliche gesellschaftliche Prioritäten: Effizienzsteigerung bei konventioneller Technik, Umweltschutz und Nachhaltigkeit auf der einen Seite sowie Mobilität, Flexibilität und technologische Innovationsfreude andererseits.

Erdgas – Brücke in die Zukunft

In beiden Szenarien spielt Erdgas eine Schlüsselrolle als Übergangslösung auf dem Weg zu einer neuen Energieversorgung. Im Fall „Dynamics as Usual“ bildet Erdgas die Brücke zu regenerativen Energien; im Fall von „The Spirit of the Coming Age“ ermöglicht es den Übergang zur Brennstoffzelle und Wasserstofftechnologie.

Weiteres Wachstum des weltweiten Energieverbrauchs

Bevölkerungswachstum und die wirtschaftliche Entwicklung in Ländern wie z. B. China und Indien verursachen einen weiteren Anstieg des Energieverbrauches. Die Abnahme des Energieverbrauches in den wirtschaftlich fortgeschritteneren Gebieten der Erde wird dies nicht kompensieren können. Im Szenario „Dy-

namics as Usual“ verdoppelt sich der Weltenergieverbrauch bis zum Jahr 2050, während bei „The Spirit of the Coming Age“ mit einer Verdreifachung zu rechnen ist. Der Verbrauch ist hier höher, da die Gesellschaft in diesem Fall aufgrund der neuen Energiestruktur und Technologie verhältnismäßig großzügiger mit Energie umgeht.

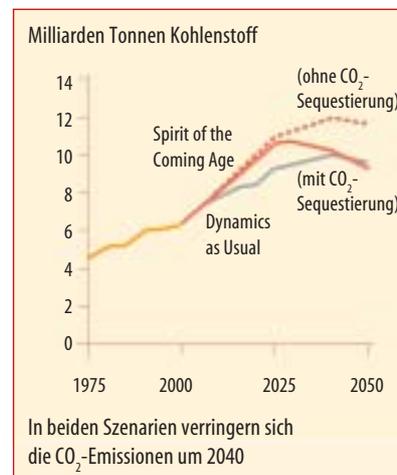
Die Integration regenerativer Energien

In beiden Szenarien legen erneuerbare Energien in den nächsten 25 Jahren zu. Von einem Durchbruch kann man allerdings nicht sprechen. Der Anteil an der Energieversorgung bleibt noch relativ gering. Erst ab ca. 2025 gewinnen erneuerbare Energien höhere Anteile an der Energieversorgung: Im Szenario „Dynamics“ liegt der Anteil bei 30 Prozent; im Szenario „Spirit“ bei ungefähr 24 Prozent.

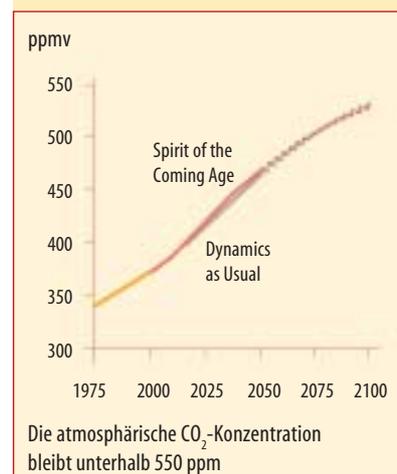
Zweigleisige Strategie

Auch in der Zukunft werden Kohlenwasserstoffe einen großen Teil des weltweiten Energiebedarfs decken. Hauptgrund hierfür ist der weitere Anstieg des Energieverbrauches durch die wirtschaftliche Entwicklung und das Bevölkerungswachstum in den Schwellen- und Entwicklungsländern. Erneuerbare Energien werden zwar eine wesentlich bedeutendere Rolle spielen als heute, können aber aufgrund des starken Wachstums nicht allein die Nachfrage befriedigen. Der Anteil der fossilen Energien wird im Jahr 2050 noch immer über 60 Prozent des Energieverbrauches betragen. In der Zukunft wird die Energieversorgung der Menschheit auf einer breiteren Basis stehen: ein Mix aus fossilen, regenerativen und völlig neuen Energieträgern.

CO₂-Emissionen



Atmosphärische CO₂-Konzentration



Quelle: Shell Deutschland Oil – „Energy Needs, Choices and Possibilities – Scenarios to 2050“

To Do

Vergleichen Sie die Shell-Szenarien mit den Langfrist-Szenarien des Bundesumweltministeriums unter www.bmu.de Suchfunktion: Energieszenarien (pdf-Dokument).

Was versteht man unter CO₂-Sequestrierung? Infos unter www.wbgu.de/wbgu_jg2003_ex07.pdf

Wege zur nachhaltigen Energieversorgung

10

Um die CO₂-Emissionen kostengünstig zu senken und Ressourcen zu schonen, gibt es einige Lösungsansätze. Die einfachste Möglichkeit ist die Einsparung von Energie – sowohl in der Industrie als auch im privaten Haushalt. Die Möglichkeiten hierzu sind breit gefächert:

Ein Beispiel ist die Wärmedämmung von Gebäuden. So wird in den Privathaushalten rund die Hälfte der verbrauchten Energie für das Heizen eingesetzt. Aber auch in der Industrie, für die die Verbesserung der Energieeffizienz bereits seit langem ein fortlaufender Prozess ist, lässt sich durch Prozessoptimierung und verbesserte Anlagentechnik der Energieverbrauch weiter senken: Der Energieverbrauch in der Shell-Raffinerie in Köln konnte beispielsweise durch gezielte Maßnahmen innerhalb der letzten zehn Jahre um 25 Prozent verringert werden. Diese Maßnahmen schonen nicht nur die Umwelt, sondern sparen auch Geld. Auch der Einsatz neuer Technologien bietet die Möglichkeit, Energie einzusparen – ohne den Konsum mengenmäßig einzuschränken. Aus der Sicht von Shell ist beispielsweise die Brennstoffzelle eine viel versprechende Entwicklung (siehe **Kopiervorlagen 33-34**). Eine weitere Möglichkeit zur Ressourcenschonung und Verringerung der CO₂-Emissionen ist der Umstieg auf kohlenstoffarme oder -freie Energieträger. Werden beispielsweise bei der Verbrennung von Kohle im Durchschnitt zwischen 3,3 kg CO₂/kg SKE (Braunkohle) und 2,7 kg CO₂/kg SKE (Steinkohle) freigesetzt, beträgt die Kohlendioxid-Freisetzung von Erdgas nur 1,5 kg CO₂/kg SKE. Bei der energetischen Nutzung von Biomasse in Heizkraftwerken entsteht im Idealfall sogar ein geschlossener CO₂-Kreislauf: Es wird nur so viel CO₂ freigesetzt, wie ursprünglich in der Biomasse enthalten war.

Werden bei der Energiegewinnung fossile Energierohstoffe – in denen große Mengen an pflanzlichem Kohlenstoff gebunden sind – durch kohlenstoffärmere Energiequellen ersetzt, kann dies den globalen Kohlendioxid-Ausstoß deutlich senken. Einzelne Klimaschutzmaßnahmen reichen aber nicht aus, um eine nachhaltige Entwicklung zu ermöglichen. Das Wachstum der Weltbevölkerung sowie der Weltwirtschaft wird den Energieverbrauch weiter ansteigen lassen. Um diesen Bedarf zu decken, müssen alle verfügbaren Energieträger genutzt und der Anteil der erneuerbaren Energiequellen sukzessive gesteigert werden. Langfristig kommt den regenerativen Energien eine Schlüsselrolle für eine zukunftsfähige Energieversorgung zu!

Energieverbrauch und Umweltbelastung



Quelle: Zeitbild Verlag

To Do

Ermitteln Sie Ihren persönlichen Jahresenergiebedarf in t SKE und die zugehörige Menge an freigesetztem CO₂, indem Sie den jährlichen Verbrauch Ihrer Familie durch die Anzahl der Personen dividieren (1 t SKE entspricht etwa einer Energie von 8.000 kWh).

Heizung: 1 Liter Heizöl oder 1m³ Erdgas enthält eine Energie von 10 kWh. Bei der Verbrennung dieser Menge werden ca. 3 kg CO₂ freigesetzt, bei Erdgas nur 2 kg.

Strom: Ihren Bedarf entnehmen Sie der Jahresrechnung. Die CO₂-Emissionen betragen ca. 0,6 kg/kWh.

Verkehr: Bei der Verbrennung von 1 Liter Benzin (10 kWh) werden 2,2 kg CO₂ freigesetzt, bei Kerosin 2,5 kg CO₂.

Was sind erneuerbare Energien?

In den vergangenen Jahren setzte sich in Industrie, Wissenschaft und Politik zunehmend die Erkenntnis durch, dass die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien einen möglichen Lösungsweg für eine nachhaltige und umweltverträglichere Energieversorgung darstellt. Jeder redet darüber, aber was verbirgt sich eigentlich hinter diesem Begriff?

Erneuerbare Energiequellen sind jene Energieformen, die nicht-fossiler und nicht-nuklearer Natur sind. Die meisten erneuerbaren Energieträger haben ein und dieselbe Quelle, aus der sie sich immer wieder regenerieren: die Strahlungsenergie der Sonne (siehe Folie 4). Da die Sonne nach menschlichem Ermessen nicht vor Ablauf von rund fünf Milliarden Jahren erlöschen wird, sind diese Energiequellen unerschöpflich. Die von der Sonne pro Jahr auf die gesamte Erdoberfläche einfallende Energie würde theoretisch ausreichen, um mehr als das 8.000-fache des derzeitigen Weltenergieverbrauchs zu decken.

Obwohl erneuerbare Energieträger in vielen Ländern derzeit noch eine untergeordnete Rolle bei der Energieversorgung spielen, gewinnen sie zunehmend an Bedeutung und setzen sich erfolgreich am Markt durch.

To Do

Kreuzen Sie eine oder mehrere Antworten an.

1. Wie werden erneuerbare Energiequellen noch genannt?

- A wieder verwendbare
- B regenerative
- C raffinierte

2. Zu den erneuerbaren Energiequellen zählen im Wesentlichen:

- A Sonnenenergie, Biomasse, Erdwärme
- B Kernenergie, Kohle
- C Gezeitenenergie, Wasserkraft, Windenergie
- D Erdgas, Erdöl

3. Welche Quelle haben die meisten erneuerbaren Energieträger?

- A Wind
- B Wasser
- C Sonne



Was sind erneuerbare Energien?



Mit den erneuerbaren Energiequellen „Solarthermie“ und „Photovoltaik“ wird die Strahlungsenergie der Sonne direkt genutzt. Bei der **Solarthermie** wird die Sonnenstrahlung in thermische Energie umgewandelt. Einsatzgebiete der weitgehend ausgereiften solarthermischen Anlagen sind die Brauchwasserbereitung, die Unterstützung der Raumbeheizung oder die Schwimmbadheizung – um nur einige Beispiele zu nennen.

Demgegenüber wird bei der **Photovoltaik** das Sonnenlicht mit Hilfe von Solarzellen in elektrischen Strom verwandelt. Aufgrund der oftmals sehr lückenhaft oder gar nicht ausgebauten Stromversorgungsnetze hat die dezentrale energetische Nutzung der Sonne bisher primär in Entwicklungsländern dazu beigetragen, die Lebensbedingungen vieler Menschen zu verbessern. Aber auch in den Industrieländern gewinnt die photovoltaische Stromerzeugung durch staatliche Fördermaßnahmen zunehmend an Bedeutung.

Die elementarste Form, Sonnenenergie zu speichern, führt uns die Natur vor: Durch Photosynthese wird im Rahmen des Pflanzenwachstums aus Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O) **Biomasse** aufgebaut; die Energie hierfür liefert die Sonne. Biomasse (Holz, Stroh, Algen, Klärschlamm, Hausabfälle usw.) besteht ebenso wie fossile Energieträger zu einem wesentlichen Teil aus Kohlenstoff. Bei der energetischen Nutzung in Heizkraftwerken wird dieser durch Verbrennung wieder in Kohlendioxid umgewandelt; dabei wird aber nur so viel CO_2 freigesetzt, wie zuvor in der Biomasse eingelagert war.

Windenergie ist letztlich auch eine aus der Sonnenenergie umgewandelte Energieform: In windreichen Gegenden Europas waren Windmühlen über Jahrhunderte landschaftsprägend. Bei heutigen Windkraftträgern wird durch die Drehbewegung eines Windrotors ein Dynamo angetrieben, der aus der Bewegungsenergie von Luftmassen elektrische Energie erzeugt. In Deutschland hat die Nutzung der Windenergie durch das so genannte Stromeinspeisungsgesetz von 1991 einen kräftigen Wachstumsschub erhalten: Nach diesem Gesetz bekommt jeder, der mit seinem Kraftwerk einen Stromüberschuss erwirtschaftet und die-



sen in das öffentliche Stromnetz einspeist, eine Mindestvergütung. Gab es vor dem Gesetz gerade einmal 500 Anlagen zur Nutzung der Windenergie, wuchs die Zahl bis Ende 2002 auf fast 14.000 – damit nehmen wir im internationalen Vergleich eine Spitzenposition ein. Ihre Gesamtleistung beträgt ca. 12.000 Megawatt – und liefert so viel Strom wie zwei der größten Atomkraftwerke Deutschlands. Innerhalb von nur zehn Jahren sind hier 10.000 Arbeitsplätze entstanden. Trotz Konflikten im Einzelfall (Schutz des Landschaftsbildes usw.) ist der weitere Ausbau der Windenergie ein wichtiger Beitrag zum globalen Schutz von Klima und Ressourcen.



Als weltweit erstes Mineralölunternehmen errichtete Shell Windkraftträder auf dem Gelände seiner Raffinerie in Hamburg-Harburg. Zudem war Shell, inzwischen eines der weltweit größten Windenergieunternehmen, an der Errichtung des ersten Offshore-Windparks in Blythe, Großbritannien, beteiligt (www.shell.com/wind).

Was sind erneuerbare Energien?

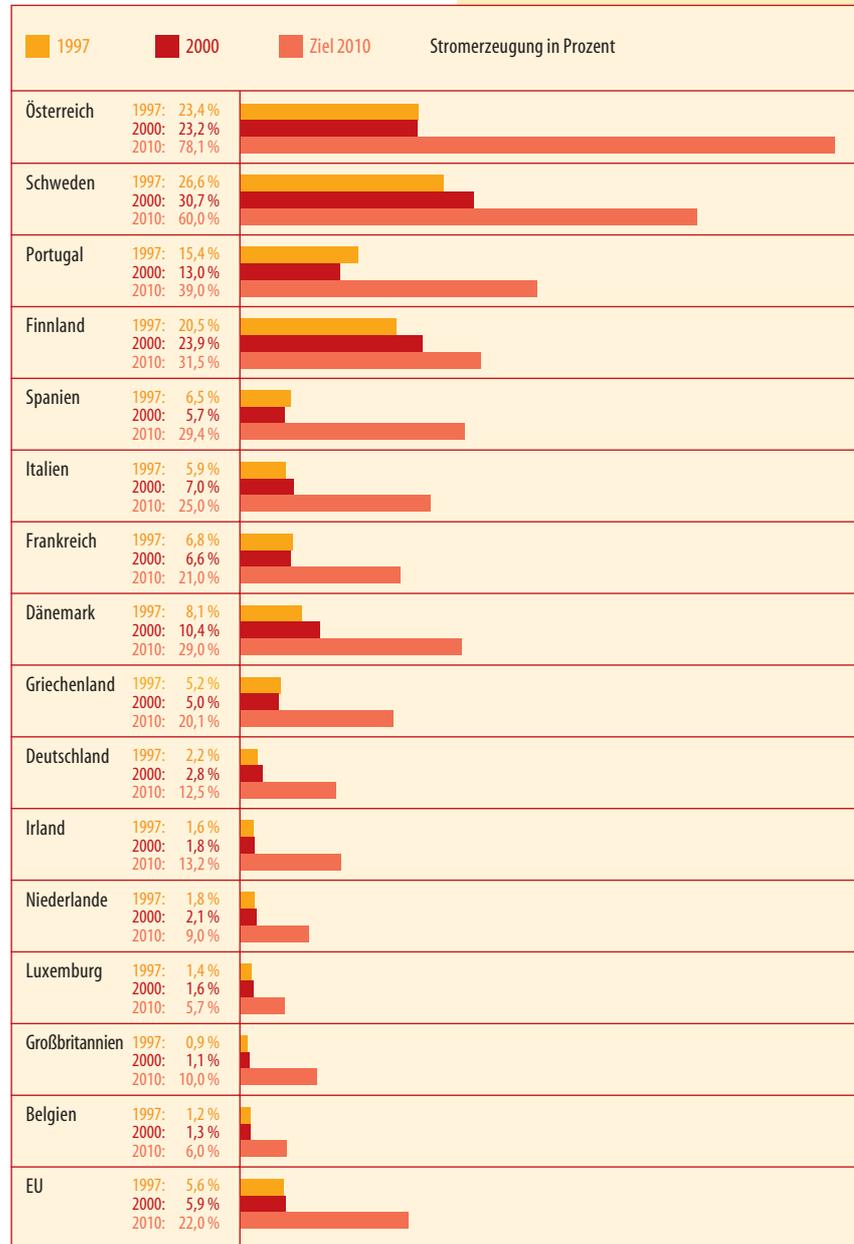
Wasserkraft gehört zu den ältesten vom Menschen genutzten Energiequellen der Erde und leistet unter den erneuerbaren Energiequellen den derzeit größten Beitrag zur Energieversorgung – in einigen Ländern wie beispielsweise Brasilien wird sogar fast der gesamte Strombedarf durch Wasserkraft gedeckt. Die Wasserkraftwerke (Laufwasser- und Speicherkraftwerke) nutzen die Bewegungsenergie des Wassers, die bei der Überwindung natürlicher oder auch künstlicher Höhenunterschiede frei wird. Voraussetzung ist – ähnlich wie bei der Gezeitenenergie – ein geeigneter Standort: Während bei Wasserkraftwerken ein permanent fließender Wasserstrom benötigt wird, beruhen Gezeitenkraftwerke auf dem durch Massenanziehung des Mondes entstandenen Höhenunterschied zwischen Ebbe und Flut der Meere. Im Unterschied zu anderen erneuerbaren Energiequellen ist das wirtschaftlich nutzbare Potenzial dieser Energiequelle in Europa weitgehend ausgeschöpft. Weltweit können ökonomisch sinnvolle und ökologisch vertretbare Potenziale vor allem noch in den Schwellen- und Entwicklungsländern erschlossen werden.

Wo wird fast der gesamte Strombedarf durch Wasserkraft gedeckt?

- Norwegen
- Island
- Kanada
- Venezuela

Eine weitere Technik, die in den letzten Jahren eine fortschrittliche Entwicklung durchlaufen hat, ist die Energiegewinnung aus Erdwärme – dieso genannte **Geothermie**. Hierbei wird das heiße Magma des Erdinneren zur Stromerzeugung oder Warmwasserbereitung genutzt. Technisch und wirtschaftlich nutzbar ist die Geothermie derzeit jedoch nur in vulkanischen Regionen, in denen das Magma dicht an die Erdoberfläche vordringt. Island gilt als das klassische Land der geothermischen Energienutzung – rund 90 Prozent aller Häuser werden dort geothermisch beheizt. Konventionelle (hydrothermale) geothermische Energiegewinnung steuert ca. 0,3 Prozent zur weltweiten Stromerzeugung bei und ist nur begrenzt ausbaufähig. Shell setzt daher auf neueste Technologien: Die „Hot Fractured Rock“-Technologie erzeugt und produziert Heißdampf aus heißem (trockenem) Gestein. Derartiges Gestein ist weltweit in zahlreichen Regionen anzutreffen und könnte zu einer wesentlichen Energiequelle werden.

Anteil der regenerativen Energien am Primärenergieverbrauch in der EU



Quelle: BMU 2003; IEA 2003



Erklären Sie die unterschiedlichen Anteile der erneuerbaren Energien in den verschiedenen europäischen Ländern.

Anfänger: Norwegen und auch Brasilien decken ihren Strombedarf mit Wasserkraft zu über 90 Prozent; Kanada, die Schweiz oder Venezuela bereits zu über 50 Prozent.

Was sind erneuerbare Energien?

Wie in anderen Ländern ist auch in Deutschland das Potenzial erneuerbarer Energien noch sehr groß. Dennoch spielen diese Energiequellen mit fast drei Prozent am Primärenergieverbrauch derzeit noch eine untergeordnete Rolle. Der Hauptanteil in der Stromerzeugung entfällt auf Wasserkraft und Windkraft; in der Wärmeerzeugung ist Biomasse der wichtigste erneuerbare Primärenergieträger. Die übrigen erneuerbaren Energiequellen – insbesondere Sonne und Geothermie – fallen trotz wachsender Nutzung gegenwärtig in der Energiebilanz noch wenig ins Gewicht. Während bei der Wasserenergie das technische und wirtschaftliche Potenzial bereits weitgehend ausgeschöpft ist, stellt vor allem die Photovoltaik eine aussichtsreiche Option dar, in Zukunft einen wichtigen Beitrag zu einer nachhaltigen Energieversorgung zu leisten. Derzeit jedoch ist bei uns eine gesicherte Energieversorgung auf Basis von erneuerbaren Energien nicht möglich.

Das Potenzial an erneuerbaren Energien ist groß, weil diese Energiequellen:

- unerschöpflich und risikoarm sind
- zur Reduzierung der CO₂-Emissionen beitragen
- bei ihrer energetischen Nutzung keine bzw. nur sehr geringe Schadstoffemissionen verursachen
- zur Schonung der endlichen fossilen Energierohstoffe beitragen
- sowie die Energiebasis verbreitern und damit langfristig zur Sicherung der Weltenergieversorgung beitragen

Erneuerbare Energien weisen jedoch auch nicht zu übersehende Handicaps auf:

- niedrige Leistungsdichte und der daraus folgende hohe Flächen- und Investitionsbedarf
- jahreszeitliche und witterungsbedingte Schwankungen der Sonneneinstrahlung
- große Abhängigkeit von klimatischen, geologischen und topografischen Verhältnissen (z. B. beim Anbau von nachwachsenden Rohstoffen wie Raps, Nutzhölzern usw.) sowie Eingriffe in das Landschaftsbild (z. B. durch Windenergietürme)
- derzeit noch mangelnde Wettbewerbsfähigkeit
- mögliche Auswirkungen auf die Artenvielfalt (Biodiversität)

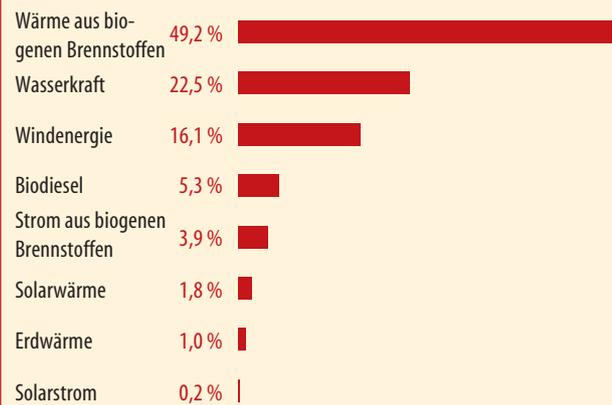
Entwicklung der Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien und der installierten Leistung

Art der Anlage	1990	1996	2002
Wasserkraft			
Stromerzeugung [GWh]	15.908	18.380	23.824
Photovoltaik			
Stromerzeugung [GWh]	1,0	18,0	176
Solarthermie			
Fläche [1.000 m ²]	338	1.453	4.754
Stromerzeugung [GWh]	113	476	1.955

Quelle: BMU

Alternative Energien in Deutschland

Energieerzeugung im Jahr 2002: 106.800 Gigawattstunden
davon in %:



Quelle: BMU



Stellen Sie die Entwicklung verschiedener Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland zwischen 1990 und 2002 dar und interpretieren Sie diese. Erstellen Sie anhand ausgewählter Beispiele eine Liste mit Vor- und Nachteilen erneuerbarer Energien.

Solarenergie: Da strahlt die Sonne!

15

Die Strahlung der Sonne besteht aus diffuser und direkter Strahlung; je nach Standort und Wetterlage ist die Zusammensetzung sehr unterschiedlich: Durch atmosphärische Einflüsse – beispielsweise Spurengase und Wolkenbildung – wird die Sonnenstrahlung teilweise reflektiert und absorbiert. Weltweit kommen daher im Mittel nur etwa zwei Drittel der Sonnenstrahlung auf der Erdoberfläche an.

Das Energieangebot der Sonne ist abhängig von der geografischen Lage, der Tages- und Jahreszeit sowie den meteorologischen Bedingungen (siehe Folie 5): So beträgt z. B. die mittlere jährliche Einstrahlung der Sonne für Glasgow im Norden Großbritanniens mit rund 880 kWh/m² nur etwa ein Drittel des Wertes für Assuan in Ägypten (2.500 kWh/m²).

Die jährlich in Deutschland einfallende Solarenergie beträgt je nach Standort und Jahreszeit ungefähr 1.000 kWh/m². Neben dem Tag-Nacht-Rhythmus ist die Sonnenstrahlung natürlich auch jahreszeitlich bedingt: Erhält man im Januar durchschnittlich eine kWh/m² pro Tag, sind es im Juli bis zu sechs kWh/m² Solarenergie.

Allgemein wird die Sonnenenergie in der Natur, in der Biosphäre und im Bereich der menschlichen Zivilisation genutzt. Doch erst seit den Ölkrisen Ende des 20. Jahrhunderts sowie der Diskussion über globale Klimaveränderungen und die Endlichkeit der Rohstoffvorkommen entwickelt sich die Nutzung der Sonnenenergie zu einer ernsthaften Alternative zu den fossilen Energieträgern.

Will man die Sonnenenergie energetisch – d. h. zur Erzeugung von Strom oder Wärme – nutzen, kann dies direkt durch die einfallende Strahlung oder indirekt durch Nutzung der umgewandelten Strahlung (Biomasse, Windkraft, Wasserkraft) erfolgen.

Arten der direkten Gewinnung von Solarenergie:

- Photovoltaik, bei der die Sonnenstrahlung mittels passiver Solarelemente direkt in elektrische Energie umgewandelt wird.
- Solarthermie, bei der die Sonnenstrahlung mit Hilfe von Solarkollektoren in Form von Wärme auf eine Wärmeträgerflüssigkeit übertragen wird.
- Thermische Solarkraftwerke, in denen zur Stromerzeugung das Sonnenlicht mit Hilfe von riesigen Spiegeln auf einen Punkt konzentriert wird und Temperaturen von bis zu 3.300 Grad Celsius entstehen.

To Do

Skizzieren Sie die jahreszeitliche Variation der einfallenden Sonnenstrahlung in Deutschland. Vergleichen Sie diese mit der Variation des Energiebedarfs und bieten Sie Lösungen für das Problem an.

Was versteht man unter direkter und diffuser Sonnenstrahlung?



„Sobald's wieder rausklimmt, fahr ma weiter...“

Zeichnung: Ernst Hürlimann

Solarenergie: Da strahlt die Sonne!

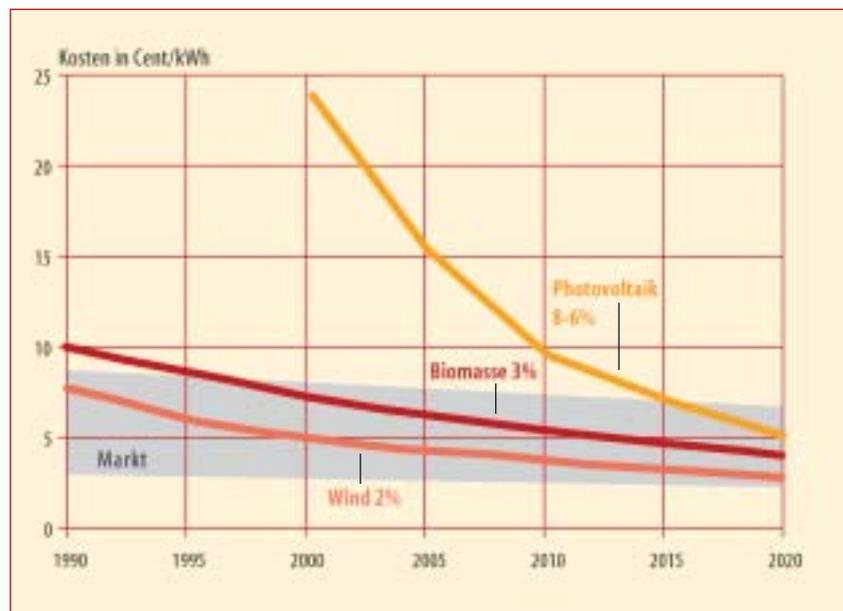
16

Während die indirekten Möglichkeiten in Deutschland aufgrund der natürlichen Gegebenheiten noch an die Grenzen der Wirtschaftlichkeit stoßen, verzeichnet die direkte Nutzung der Sonnenenergie in den letzten Jahren eine deutliche Aufwärtsentwicklung. Ein weiteres Wachstum wird im Wesentlichen davon abhängen, inwieweit durch technologische Fortschritte, Senkung der Produktionskosten sowie staatliche Förderung eine bessere Wirtschaftlichkeit erreicht werden kann.

Ein Ansatzpunkt hierfür war das 100.000-Dächer-Programm der Bundesregierung, das die Investitionsbereitschaft bei Hausbesitzern fördern sollte. 40 Prozent der Kosten einer Photovoltaik-Anlage gab der Staat in Form zinsloser Kredite dazu. Die Kredite haben eine Laufzeit von zehn Jahren; nach neun Jahren ist der Erlass der restlichen Schulden vorgesehen. Für dieses Förderprogramm für Solarenergie stellte die Bundesregierung seit Beginn des Programms 1999 nahezu 500 Millionen Euro bereit. Das Programm ist am 30. Juni 2003 ausgelaufen, weiterhin können Fördergelder über das CO₂-Minderungsprogramm der Bundesregierung beantragt werden. In Ergänzung zum 100.000-Dächer-Programm trat das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) am 1. April 2000 in Kraft. Es regelt die Abnahme und die Vergütung von ausschließlich aus erneuerbaren Energiequellen gewonnenem Strom durch Versorgungsunternehmen, die Netze für die allgemeine Stromversorgung betreiben (Netzbetreiber).

Die energetische Nutzung von Biomasse und Windkraft ist im Vergleich zu konventionellen Energieträgern bereits seit Anfang der 90er Jahre marktfähig; die Kostensenkungspotenziale sind eher gering. Dagegen muss bei der Photovoltaik jährlich bis 2010 noch eine deutliche Kostensenkung von 6 bis 8 Prozent erreicht werden, um Strom aus Sonnenenergie zu diesem Zeitpunkt zu wettbewerbsfähigen Preisen anbieten zu können. Dies lässt sich nach dem heutigen Kenntnisstand u. a. durch eine günstigere Herstellung und einen verbesserten Wirkungsgrad von Solarzellen erreichen.

Newcomer in der Elektrizität



Quelle: Shell Deutschland Oil



Der Wirkungsgrad eines Solarmoduls zur Umwandlung der Sonnenenergie in elektrische Energie beträgt heute knapp 15 Prozent; der Gesamtwirkungsgrad einer netzgekoppelten Photovoltaik-Anlage etwa 10 Prozent. Informieren Sie sich über den Preis pro m² Modulfläche einer Photovoltaik-Anlage und bestimmen Sie daraus für eine Lebensdauer von 20 Jahren näherungsweise den Preis pro erzeugter kWh elektrischer Energie.

Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit der Grafik. Beschaffen Sie sich Informationen zu der preislichen Entwicklung in der Vergangenheit und ergänzen Sie die Grafik.

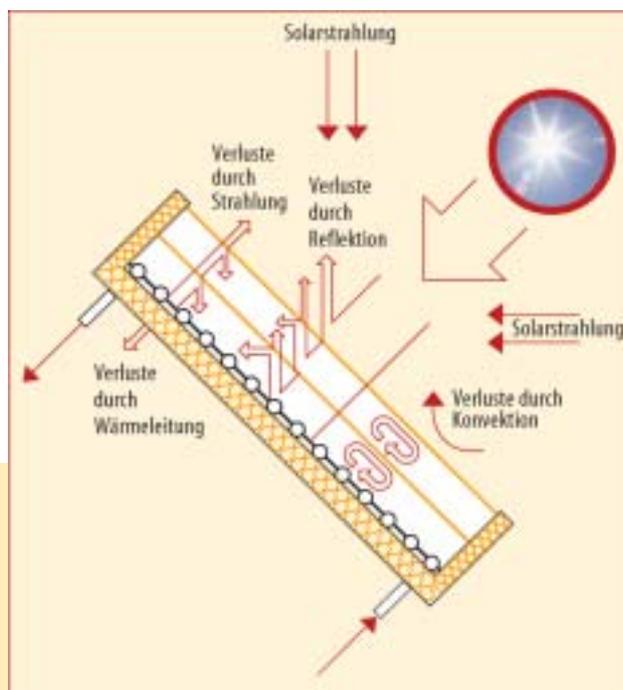
So heizt uns die Sonne ein!

Ein Verfahren zur direkten Nutzung der Strahlungsenergie der Sonne ist die Solarthermie. Sonnenstrahlen fallen auf einen Sonnenkollektor, werden absorbiert und in thermische Energie umgewandelt. So lässt sich mit Hilfe solarthermischer Anlagen die Sonnenenergie in Wärme umwandeln.

Es gibt zwei Verfahren:

- Anlagen im Niedrigtemperaturbereich, bei denen direkte Sonnenstrahlen in ihrer natürlichen Intensität auf einen Kollektor auftreffen. Diese Anlagen werden vorwiegend zur Warmwasserbereitung oder zur Raumbeheizung eingesetzt. Angesichts der zur Verfügung stehenden Strahlungsintensität existieren in Deutschland vorwiegend solarthermische Anlagen im Niedrigtemperaturbereich.
- Anlagen im Hochtemperaturbereich, bei denen durch optische Einrichtungen (Spiegel/Linsen) die direkte Sonnenstrahlung gebündelt und damit deren Intensität erhöht wird. Bei diesen Anlagen geht es um die Umwandlung der Sonnenenergie in elektrischen Strom.

Funktionsweise Solarthermie



Quelle: MOLTER

Wie funktionieren Kollektoren?

Eine Anlage zur solarthermischen Nutzung der Sonnenenergie besteht im Wesentlichen aus drei Teilen: Sonnenkollektor, Wärmeträger sowie Wärmespeicher. Das Herzstück einer jeden Anlage ist der Kollektor. Er hat die Aufgabe, die ankommende Strahlungsenergie der Sonne aufzunehmen, in Wärme umzuwandeln und auf eine Wärmeträgerflüssigkeit zu übertragen.

Vereinfacht kann man sich einen Kollektor als einen Behälter vorstellen, der mit Wasser gefüllt der Sonne ausgesetzt wird. Der Behälter sollte schwarz gefärbt sein, da schwarze Materialien zur Absorption des Sonnenlichts am besten geeignet sind. Durch die Absorption wird Sonnenenergie in Wärme umgewandelt; der Wärmeträger – hier das Wasser – nimmt die im Kollektor absorbierte Wärme auf. Da ein Kollektor jedoch erhebliche Wärmeverluste durch Abstrahlung und Konvektion hat, werden zur Erwärmung von Brauchwasser und zur Beheizung hauptsächlich Flachkollektoren eingesetzt.

Der Flachkollektor sammelt die direkte und diffuse Sonnenstrahlung in einem Absorber. Trifft die Sonnenstrahlung auf den Absorber – beispielsweise eine Metallplatte mit einer dem Licht zugewandten Seite mit schwarzer Beschichtung –, wird sie überwiegend absorbiert, aber auch teilweise reflektiert. Die absorbierte Strahlung wird unmittelbar in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt.



To Do

Beschreiben Sie die Funktionsweise eines thermischen Flachkollektors. Gehen Sie dabei auf die Rolle des schwarzen Absorbers, der Glasplatten und der Wärmedämmung ein.

So heizt uns die Sonne ein!

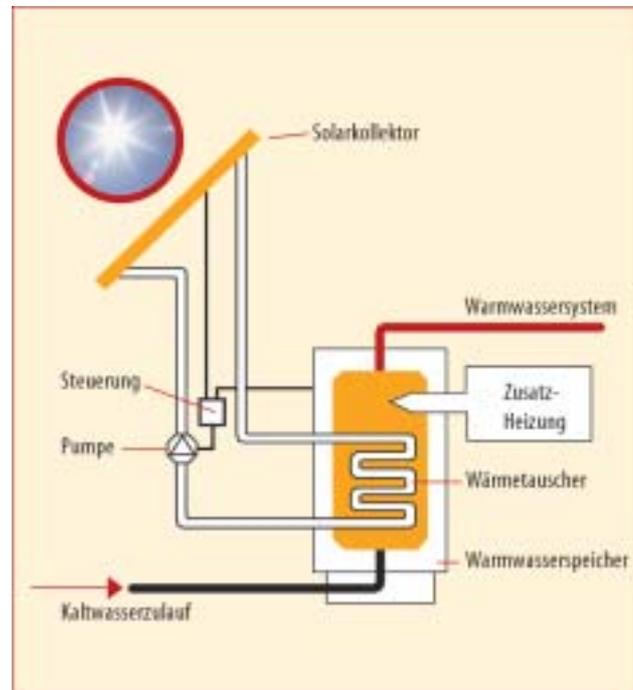
Zur Nutzung der erzeugten Wärme ist in den Sonnenkollektor ein Röhrensystem integriert: Durch die Rohre zirkuliert die Wärmeträgerflüssigkeit (Wasser oder spezielle Thermoöle), die Wärme aufnimmt und zum Speicher oder direkt zum Verbraucher transportiert. Da mit steigender Kollektortemperatur die Wärmeverluste durch Abstrahlung und Konvektion rasch ansteigen, ist ein Flachkollektor im normalen Betrieb für die Gewinnung von Wassertemperaturen bis 100 Grad Celsius geeignet. Will man höhere Arbeitstemperaturen erreichen, empfiehlt sich der Einsatz von Vakuumkollektoren. Bei dieser Kollektorbauart ist der Absorber zur Reduzierung der Wärmeverluste in eine luftleere Glasröhre eingebaut. Da durch das Vakuum nur sehr wenig Wärme an die Umgebung abgegeben wird (ähnlich dem Prinzip einer Thermosflasche), eignen sich Vakuumkollektoren für Temperaturen bis 250 Grad Celsius.

Wie funktionieren thermische Solaranlagen?

Mit solarthermischen Anlagen lässt sich warmes Wasser erzeugen. Doch oft korrelieren das Energieangebot der Sonne und der Energiebedarf nicht direkt. Würde man während der Sonnenscheindauer Wärmeenergie nicht auf Vorrat speichern, könnte die Sonnenenergie nur begrenzt genutzt werden. So wird für Zeiten ohne Sonneneinstrahlung ein Wärmespeicher, der das im Absorber erwärmte Wasser aufnimmt, benötigt. Die einfachste Möglichkeit hierfür ist eine Thermosiphonanlage, die vor allem in sonnenreichen Ländern sehr verbreitet ist. Bei solch einer Solaranlage ist der Warmwasserspeicher oberhalb des Kollektors angebracht. Da das erwärmte Wasser etwas leichter ist als das nachströmende Frischwasser, steigt es selbstständig in den höher gelegenen Speicher.

Die Vorteile dieses Systems: Es ist relativ billig und regelt sich von selbst. In unseren Breiten ist es jedoch wegen der Frostgefahr unmöglich, den Speicher oberhalb des Kollektors im Dach zu installieren – in der kalten Jahreszeit würde eine einkreisige Thermosiphonanlage einfrieren. Normalerweise wird deshalb der Warmwasserspeicher unterhalb des Sonnenkollektors eingebaut; so kann jedoch das Thermosiphon-Prinzip nicht funktionieren. Eine (temperaturgesteuerte) Umwälzpumpe ist erforderlich, bei der die natürliche Zirkulation des Wärmeträgers durch eine elektrische Umwälzpumpe ersetzt wird. Da eine solare Ganzwasserversorgung in unseren Breiten mit der Solarthermie nicht erreicht wird, sorgt eine Zusatzheizung bei ungenügender Sonnenstrahlung für die gewünschte Wärmezufuhr.

Schema einer Solaranlage zur Brauchwassererwärmung



Quelle: Stadtwerke Frankenthal

To Do

Beschreiben Sie die Funktionsweise einer Solaranlage zur Warmwasserbereitung.

Suchen Sie in Ihrer Nähe Gebäude, die mit Warmwasserkollektoren ausgestattet sind. Befragen Sie die Benutzer über die Gründe für den Einbau und ihre Erfahrungen.

Informieren Sie sich bei verschiedenen Herstellern über unterschiedliche Bauformen und ihre Vorteile.

So heizt uns die Sonne ein!

Die Einsatzbereiche der heute weitgehend ausgereiften solarthermischen Anlagen im Niedrigtemperaturbereich, d. h. zwischen 20 und 100 Grad Celsius, erstrecken sich in Europa im Wesentlichen auf folgende Bereiche:

- Brauchwasserbereitung
- Unterstützung der Raumbeheizung
- Schwimmbadheizung

Die Installation von solarthermischen Anlagen bietet die Möglichkeit, den Energiebedarf für die Erwärmung des Brauchwassers deutlich zu reduzieren; an kühlen Tagen kann darüber hinaus die Solarthermie zur Unterstützung der Raumheizung herangezogen werden. Nachdem sich wegen der klimatischen Bedingungen in unseren Breiten der Wärmebedarf bei der Raumheizung und das solare Strahlungsangebot zeitlich nicht decken, muss in der kalten Jahreszeit zusätzlich auf die klassischen Energieträger zurückgegriffen werden.

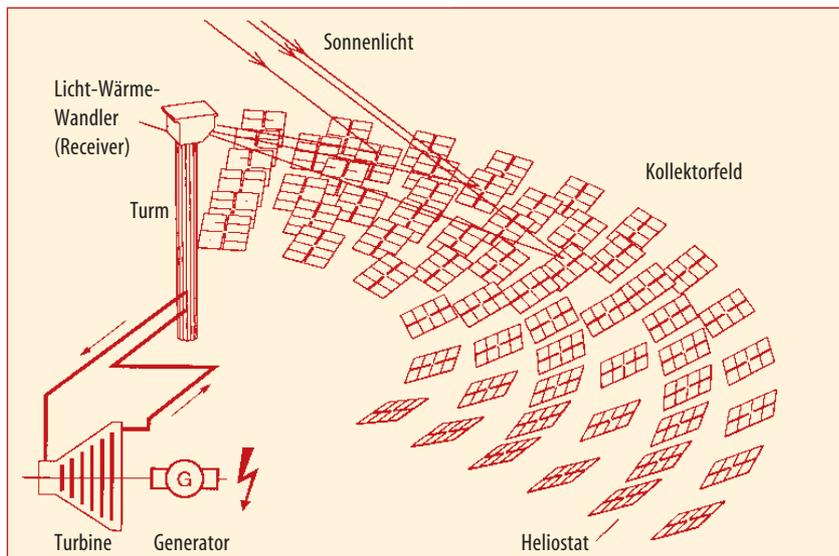
Hingegen kann in Schwimmbädern, die fast ausschließlich im Sommerhalbjahr betrieben werden, Wasser mittels einfacher solarthermischer Anlagen preiswert und umweltfreundlich erwärmt werden. Sonneneinstrahlung und Energiebedarf fallen zeitlich zusammen. Schwimmbadkollektoren sind im Prinzip nichts anderes als ausgelegte schwarze Gartenschläuche, in denen sich bei Sonnenschein das Wasser erwärmt. Da keine hohen Temperaturen benötigt werden, kann auf eine Wärmeisolierung und eine Glasabdeckung verzichtet werden. Das Schwimmbad selbst dient als Wärmespeicher.

Im Gegensatz zur Gewinnung von Niedrigtemperaturwärme bedarf es zur Stromerzeugung mit Hochtemperaturwärme eines Verfahrens, das die einfallende Sonnenstrahlung durch den Einsatz von Spiegeln und Linsen konzentriert. Da durch diese Bündelung die Intensität der Strahlung auf ein Vielfaches der natürlichen Intensität gesteigert wird, spricht

man hier von konzentrierten Kollektoren. Auf diese Weise lassen sich im Absorber sehr hohe Temperaturen erreichen, die zur Erzeugung von Strom verwendet werden können.

Der große Nachteil dieser konzentrierten Kollektoren: Nur direkte Sonnenstrahlung lässt sich in Wärme umwandeln. Der diffuse Strahlungsanteil der Globalstrahlung bleibt energetisch ungenutzt. Damit der Absorber immer im Brennpunkt liegt, müssen außerdem die Spiegel oder Linsen stets dem wechselnden Sonnenstand nachgeführt werden. Die Folge: Thermische Solarkraftwerke sind im Vergleich zu den Anlagen im Niedrigtemperaturbereich aufwändig und sehr teuer. Ein Beispiel für eine Anlage im Hochtemperaturbereich ist der „Sonnenofen“ von Odeillo in den französischen Pyrenäen: Dort wird die einfallende, direkte Sonnenstrahlung durch 63 Fangspiegel auf einen 625 cm² großen Absorber konzentriert. Temperaturen bis zu 4.000 Grad Celsius werden erreicht.

Der Sonnenofen von Odeillo



Quelle: Klaus Heinloth: Die Energiefrage. Vieweg, 1997



To Do

Es gibt solarthermische Anlagen für den Niedrig- oder den Hochtemperaturbereich. Fassen Sie wesentliche Unterschiede und Anwendungsbereiche zusammen.

Photovoltaik: Die Sonne als Stromlieferant

20

Photovoltaik bedeutet Stromerzeugung mittels Sonnenlicht. Die **direkte Umwandlung von Licht in elektrische Energie** findet in einer Solarzelle statt. Bei deren Beleuchtung werden durch die Absorption des Lichtes freie Ladungsträger erzeugt. Eine Grenzschicht verhindert durch ihre Sperrwirkung den Ausgleich dieser elektrischen Ladungen: Eine elektrische Spannung entsteht, die sich über Metallkontakte an der Oberfläche der Solarzelle abgreifen und als Strom nutzen lässt (siehe Folie 6). Der Umwandlungsvorgang beruht auf dem bereits 1839 von Alexander-Edmond Becquerel entdeckten Photoeffekt – der Freisetzung von positiven und negativen Ladungsträgern in einem Festkörper durch Lichteinstrahlung. Die Entdeckung der Photovoltaik geht folglich ins letzte Jahrhundert zurück, als die Grundlagen der Fotografie erforscht wurden. Dieser Effekt wurde jedoch lange Zeit nicht beachtet.

Die ersten Selen-Solarzellen waren wegen der hohen Materialkosten sehr teuer und hatten nur einen Wirkungsgrad von maximal zwei Prozent. Der Wirkungsgrad gibt an, wie viel der eingestrahlten Lichtmenge in nutzbare elek-

trische Energie umgewandelt wird. An eine Verwendung der Solarzellen zur Erzeugung elektrischen Stroms aus Sonnenlicht war damals nicht zu denken. In den 30er Jahren wurde der photovoltaische Effekt in der Fotografie bei der Belichtungsmessung technisch genutzt. Der Durchbruch im Bereich der Photovoltaik gelang 1954, als amerikanische Forscher eine Silizium-Solarzelle entwickelten, die einen Wirkungsgrad von sechs Prozent hatte. Diese Solarzellen wurden zunächst nur in der Raumfahrt verwendet.

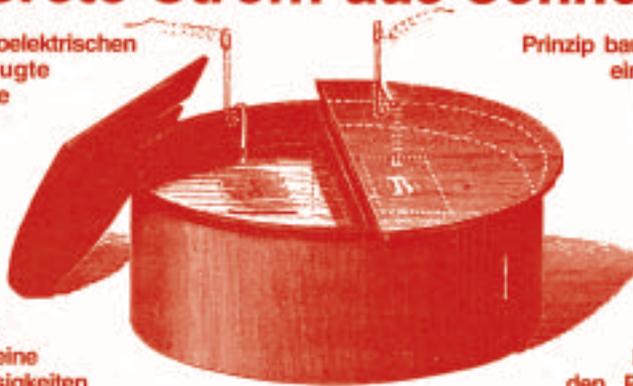
In den letzten Jahren ist die weltweite Nachfrage nach Photovoltaik-Modulen erheblich gestiegen. Obwohl der Beitrag der Photovoltaik zur Stromerzeugung noch gering ist, ist das Interesse an dieser Energiequelle doch sehr groß. Nachdem die technischen Systeme zur photovoltaischen Stromerzeugung heutzutage weitgehend ausgereift, zuverlässig und wartungsarm sind, kann die direkte Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie – sofern die Produktionskosten gesenkt werden – in Zukunft einen Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung leisten.

Info

Der Begriff Photovoltaik setzt sich zusammen aus dem griechischen Wort für Licht (phos) und dem Namen des Physikers Alessandro Volta – dem Entdecker der elektrochemischen Stromquellen.

Der erste Strom aus Sonnenlicht

Mit diesem photoelektrischen Element erzeugte der französische Physiker Alexander-Edmond Becquerel 1839 erstmals Strom aus Licht: Er konstruierte einen Topf, der in der Mitte durch eine dünne, für Flüssigkeiten durchlässige, das Licht aber sperrende Membran halbiert war, so daß praktisch zwei Abteilungen entstanden. Auch den Topfdeckel halbierte er, so daß wahlweise die eine oder andere Hälfte über der jeweiligen Abteilung aufgeklappt werden konnte. Den Topf füllte er mit einer chemischen Lösung, tauchte in jede der beiden Ab-



teilungen eine Platte aus Platin (A, B) hinein und verband die beiden Elektroden mit einem empfindlichen Galvanometer. Öffnete man einen der Deckel, so entstand unter der Einwirkung des Lichts ein Potentialunterschied zum dunkel bleibenden Teil, der am Galvanometer abgelesen werden konnte. Nach demselben

Prinzip baute Becquerel auch ein „Aktinometer“ zur Messung von Lichtstärken. Die heutigen Solarzellen nutzen nicht die Einwirkung des Lichts auf Elektroden in chemischen Lösungen, sondern den Potentialunterschied und Sperrschicht-Effekt, der beim Auftreffen der Lichtquanten auf die unterschiedlich „dotierten“ Teile eines Halbleiters entsteht. Im übrigen basieren sie aber genauso auf dem photoelektrischen Effekt. Es ist deshalb gerechtfertigt, die Geschichte der Photovoltaik mit Becquerels Entdeckung im Jahre 1839 beginnen zu lassen.

Quelle: IZE

Wie funktioniert eine Solarzelle?

Die direkte Gewinnung von elektrischem Strom aus Licht erfolgt in Solarzellen, die in der Regel aus Halbleitermaterialien, wie z. B. kristallinem oder amorphem Silizium, oder aus Verbindungshalbleitern, z. B. CIS (Kupfer-Indium-Selen), bestehen. Die Leitfähigkeit von reinen Halbleitermaterialien lässt sich durch die gezielte Verunreinigung mit geringen Mengen anderen Materials verbessern. Dazu werden Fremdatome in das Grundmaterial eingelagert (Dotierung) – so kommt es zu einer grundlegenden Änderung der elektrischen Eigenschaften.

Die in der Praxis gebräuchlichsten Solarzellen bestehen aus kristallinem Silizium (siehe Folie 6). Ein Siliziumatom weist in der äußeren Elektronenschale vier Bindungselektronen auf. Verwendet man nun zur Dotierung fünfwertige Atome, die in der äußersten Elektronenschale fünf Elektronen aufweisen, bleibt ein zusätzliches ungebundenes und somit bewegliches Elektron übrig. Die eingebauten fünfwertigen Atome heißen deshalb Donatoren (Spender). Derart veränderte Halbleiter nennt man n-Halbleiter, da ihre elektrische Leitfähigkeit vorwiegend von den negativ geladenen Donatorelektronen herrührt. Wird der Halbleiter hingegen mit einem dreiwertigen Fremdatom (z. B. Bor) dotiert, entsteht im Kristallgitter ein

Elektronendefizit, ein „Loch“. Da die dreiwertigen Fremdatome somit ein Elektron aufnehmen können, nennt man sie Elektronenempfänger (Akzeptoren). Mit dreiwertigen Atomen dotierte Halbleiter heißen p-Halbleiter, da durch die Dotierung positiv bewegliche Ladungsträger – die „Löcher“ – erzeugt werden.

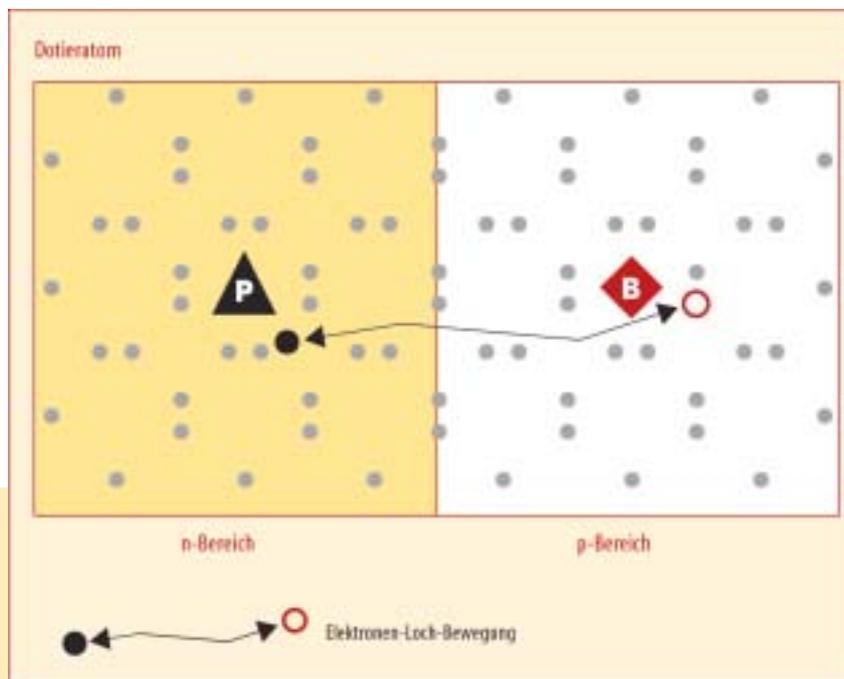
Bringt man zwei unterschiedlich dotierte Halbleiterschichten zusammen, entsteht an der Kontaktfläche ein so genannter p-n-Übergang. Dort dringen Elektronen in die p-Schicht und besetzen ein „Loch“. Man nennt diesen Vorgang „Rekombination“. Ebenso wandern auch „Löcher“ in die n-Schicht und rekombinieren mit den Elektronen. Dadurch baut sich ein elektrisches Feld an diesem p-n-Übergang auf, das ein weiteres Wandern der Ladungsträger ver-

hindert.

Eine spezielle Antireflexschicht ist der Grund für die blaue Farbe von Solarzellen. Sie dient dem Schutz der Zelle und zur Verminderung von Reflexionsverlusten an der Zelloberfläche.

Wird nun eine solche Solarzelle der Sonnenstrahlung ausgesetzt, erzeugt das Licht in der Solarzelle Elektronen-Loch-Paare und bewirkt einen Überschuss bzw. Mangel an Elektronen in den jeweiligen Schichten. Durch das elektrische Feld werden die beiden erzeugten beweglichen Ladungen, Elektronen und Löcher, getrennt, so dass ein Elektronenüberschuss im n-Halbleiter (Minuspol) und ein Elektronenmangel im p-Halbleiter (Pluspol) entsteht. Die Folge: eine elektrische Spannung! Der Spannungsabgriff erfolgt über die Metallkontakte. Da die Vorderseite lichtdurchlässig bleiben muss, kann der Kontakt hier nur in Form von einzelnen Streifen aufgebracht werden. Auf der Rückseite erfolgt die Stromabnahme über eine dünne Metallschicht. Wird der äußere Kreis geschlossen – d. h. ein elektrischer Verbraucher angeschlossen –, fließt durch die Lichteinwirkung ein Gleichstrom.

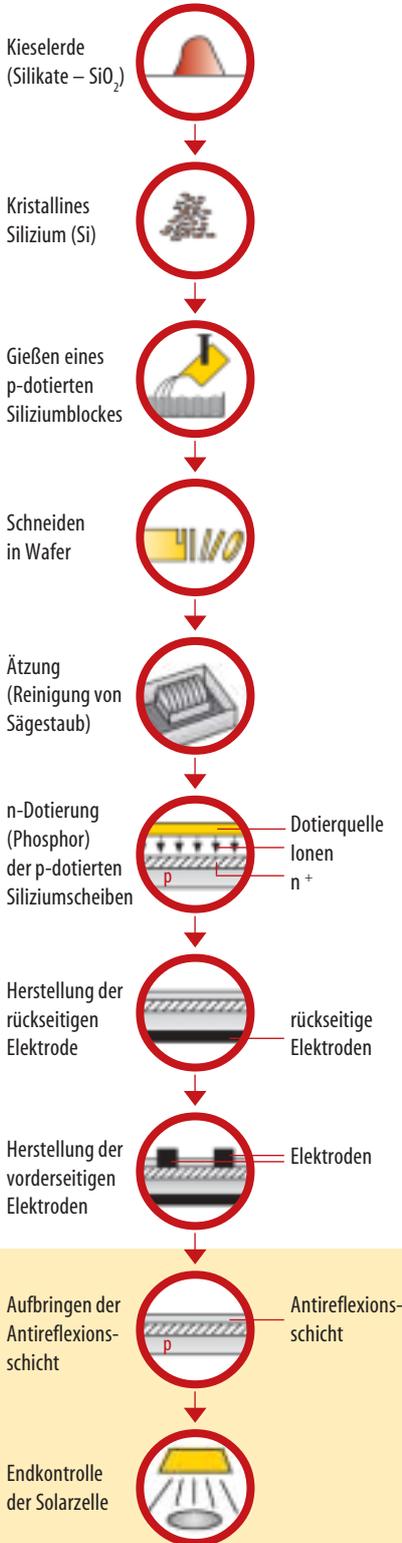
Rekombination einer Solarzelle



Betrachten Sie eine Solarzelle und stellen Sie eine Beziehung zur Abbildung auf Folie 6 her. Erläutern Sie die Funktion der einzelnen Elemente.

So entsteht eine Solarzelle!

Herstellungsprozess einer polykristallinen Solarzelle



Quelle: Shell Deutschland Oil

Als Grundstoff für Solarzellen wird zur Zeit in fast allen Fällen Silizium verwendet – das zweithäufigste Element der Erdkruste. Ausgangsmaterial für den Herstellungsprozess ist z. B. Quarzsand (SiO_2): Daraus wird durch die chemische Reduktion mit Kohle Rohsilizium erzeugt, das für die Herstellung von Solarzellen notwendig ist. Zur Herstellung von Siliziumkristallen oder Siliziumblöcken wird der nachfolgenden Siliziumschmelze eine kleine Menge des Elements Bor beigefügt, um bereits eine Dotierung für den später herzustellenden p-n-Übergang der Solarzellen einzubauen. Je nachdem, wie das Silizium auskristallisiert, unterscheidet man verschiedene Arten von Silizium-Solarzellen:

- **Monokristalline Solarzellen** bestehen – unabhängig von ihrer Größe – aus einem einzigen Siliziumkristall. Derzeit herrscht diese Zellenart in der praktischen Anwendung vor. Ihr Wirkungsgrad liegt zwischen 15 und 20 Prozent. Die Herstellung monokristalliner Siliziumscheiben benötigt allerdings große Mengen an Energie, sodass monokristalline Solarzellen relativ teuer sind.
- **Polykristalline Solarzellen** bestehen aus Siliziumscheiben mit sehr vielen kleinen Si-

liziumkristallen. Ihre Herstellung ist deutlich billiger als die Herstellung von Siliziumscheiben für monokristalline Solarzellen, da man weniger Energie benötigt. Ihr Wirkungsgrad liegt bei 13 bis 16 Prozent.

- **Amorphe Solarzellen**, bei denen die Siliziumatome nicht in kristalliner Form geordnet sind, sondern willkürlich aneinander liegen, bieten die Möglichkeit, bereits in sehr dünnen Schichten das Licht zu absorbieren. Für ihre Herstellung wird somit weniger Material benötigt: Das Silizium wird direkt auf ein Trägermaterial (meistens Glas) aufgedampft. Der Wirkungsgrad liegt gegenwärtig nur zwischen fünf und acht Prozent, was den Preisvorteil relativiert. Angewendet werden amorphe Solarzellen zumeist bei Kleingeräten wie Uhren und Taschenrechnern.

Für die Herstellung von polykristallinen Solarzellen wird flüssiges Silizium in eine Form gegossen. Das erhaltene Silizium wird anschließend in dünne Scheiben – sogenannte Wafer – gesägt. Jedoch bilden sich bei der Erstarrung des Materials Kristalldefekte heraus, die einen niedrigen Wirkungsgrad der Solarzelle zur Folge haben.

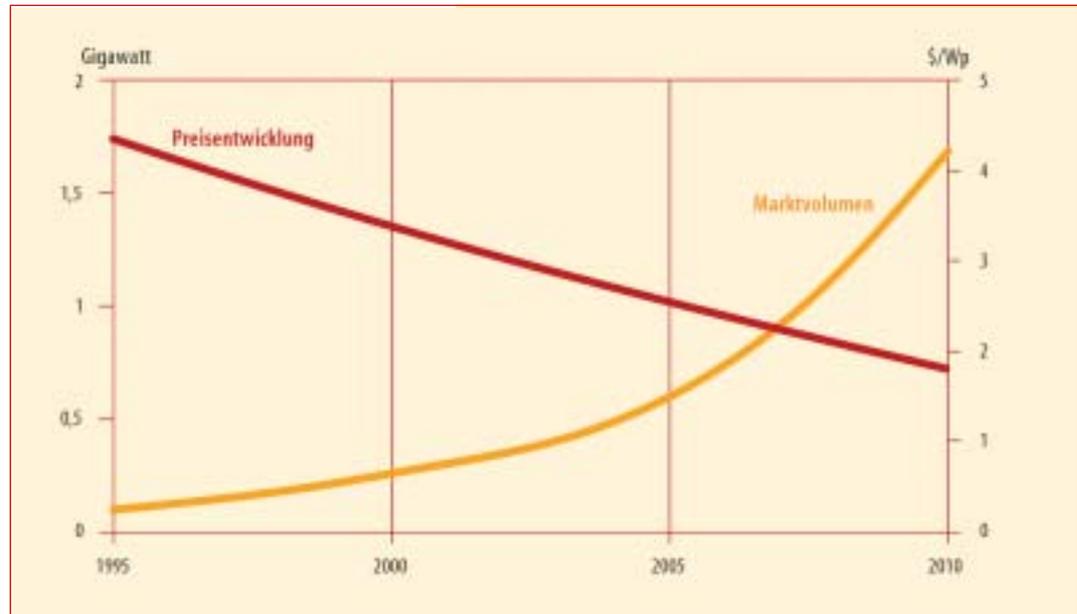


Beschreiben Sie die wesentlichen Schritte für die Fertigung einer Solarzelle.

So entsteht eine Solarzelle!

23

Globales Marktvolumen und Preisentwicklung der Photovoltaik



Quelle: Shell Deutschland Oil

Teurer hingegen ist die Herstellung von monokristallinem Silizium im Ziehverfahren. Aus der Schmelze von hochreinem Silizium wird unter ständiger Rotation ein Einkristallstab gezogen. Dieses Verfahren benötigt sehr viel Energie, ermöglicht aber auch relativ hohe Wirkungsgrade der Solarzellen.

Für die Herstellung eines p-n-Übergangs muss eine Seite jedes Wafers aus p-dotiertem Silizium mit einem fünfwertigen Element dotiert werden; zumeist findet eine n-Dotierung mit Phosphor statt. Zur n-Dotierung lagert man in einem Ofen bei hohen Temperaturen (800 bis 900 Grad Celsius) Phosphor in die Siliziumscheibe ein. Damit das Licht möglichst in der Umgebung des p-n-Übergangs und nicht in der hochdotierten n-Schicht absorbiert wird, sollte diese n-Schicht sehr dünn sein. In der Praxis liegt die n-Schichtdicke bei etwa 0,2 Tausendstel Millimeter. Zum Schluss werden die elektrischen Kontakte angebracht.

Durch die vergrößerten Kapazitäten wächst die weltweite Produktion von Solarzellen und -modulen seit Jahren stetig. Gleichzeitig verringert sich der Preis für diese Systeme aufgrund verbesserter Herstellungsverfahren sowie eines höheren Wirkungsgrads der neu entwickelten Zellen kontinuierlich.

To Do

Vergleichen Sie die drei wichtigen Typen von Silizium-Solarzellen hinsichtlich Herstellung, Wirkungsgrad und Preis.

Informieren Sie sich über aktuelle Preise von Solarmodulen. Bestimmen Sie den Preis pro angegebener Spitzenleistung W_p und vergleichen Sie diese mit der Grafik. Nennen Sie Gründe für die dargestellte Preisentwicklung.

Die Produktionskapazitäten von Solarzellen werden derzeit weltweit ausgebaut. Mitten im Ruhrgebiet, wo früher Kohle gefördert wurde, baute Shell bereits 1999 eine der größten Solarzellenfabriken Europas. Im Oktober 2003 wurde dort eine zweite Produktionslinie in Betrieb genommen, die hochautomatisiert und mit den neuesten Fertigungstechnologien ausgestattet ist. So betreibt Shell Solar heute die modernste Solarzellenfabrik der Welt. Dort werden jährlich Solarzellen in der Größenordnung von 25 Megawatt produziert. Dies entspricht einer Fertigungsleistung von etwa 2.500 Solarzellen pro Stunde. Das Investitionsvolumen für beide Fertigungslinien beträgt ca. 30 Mio. Euro. Durch den Einsatz modernster Fertigungstechniken können die Kosten zur Herstellung hochwertiger Solarzellen deutlich gesenkt werden.

Dieses Projekt ist ein Bestandteil des Geschäftsbereichs „Erneuerbare Energien“ der Royal Dutch/Shell Gruppe: Hier werden die Aktivitäten auf den Gebieten Solarenergie, Forstwirtschaft und Windenergie zusammengefasst und ausgebaut. Damit trägt die Shell Gruppe ihrem eigenen, in den Unternehmensgrundsätzen verankerten Anspruch Rechnung, sich verstärkt für die nachhaltige Entwicklung einzusetzen.

Pressemeldung – 2. Internationales Symposium vom 1. bis 3. April 2003

Zukunftsenergien für den Süden dienen der Vorbeugung weltweiter Krisen

Wissenschaftspark Gelsenkirchen intensiviert den Technologiedialog mit Entwicklungsländern

Gelsenkirchen, 1. April 2003 – „Die Sicherung elementarer Lebensbedingungen überall auf der Welt dient der Prävention künftiger globaler Krisen.“ Mit diesen Worten eröffnete Dr. Heinz-Peter Schmitz-Borchert, Wissenschaftspark Gelsenkirchen, heute das hochrangige internationale Symposium „Zukunftsenergien für den Süden“. Ziel des Symposiums mit über 200 Teilnehmern und Referenten aus dreizehn Ländern ist der Transfer erneuerbarer Energietechnologien, wie Solarenergie und Biomassenutzung, in Entwicklungsländer. Der Wissenschaftspark Gelsenkirchen hat seine seit Jahren rund um die Welt geknüpften Kontakte zur Organisation der Konferenz eingesetzt. So sind aus Peking etwa die Stadtplaner der Olympischen Spiele 2008 angereist, aus Sao Paulo ist der Staatssekretär für Umwelt, Prof. Dr. José Goldemberg, gekommen und für die Weltbank der Direktor für Energie und Wasser, Jamal Saghir.

Immer noch hemmt „Energiearmut“ die Entwicklung in vielen ländlichen Regionen. Weltweit haben 1,6 Milliarden Menschen keinen Zugang zu Elektrizität; 2,4 Milliarden sind auf die umweltschädigende Verbrennung von Holz, Stroh oder Viehdung angewiesen. In vielen Metropolen des Südens verschlechtert sich durch steigenden Energiebedarf die städtische Luftqualität.

Am dritten Tag stehen Exkursionen zu Energiestandorten (Solar, Biomasse, Brennstoffzelle) im Ruhrgebiet auf dem Programm. Unter anderem werden Europas modernste Solarzellenfabrik und das Photovoltaik Informationszentrum von Shell, drei Kilometer entfernt vom Wissenschaftspark Gelsenkirchen, besichtigt.

Ein aktuelles Beispiel für eine Technologiepartnerschaft wurde mit der Fortbildungsmaßnahme „Solar Energy Systems Manager“ für Solarunternehmer aus dem südlichen Afrika präsentiert. Gemeinsam mit deutschen Firmen haben so 15 Solarunternehmer(innen) aus Namibia, Botswana und der Republik Südafrika in englischer Sprache gelernt, wie sie erneuerbare Technologien praktisch in ihren Heimatländern nutzen können. „Theoretisch war uns bereits vieles bekannt, aber in der Praxis sind wir nun viel sicherer, wie wir Solarenergie tatsächlich einsetzen können“, fasste eine Teilnehmerin ihre Erfahrungen zusammen.

Pressestelle Wissenschaftspark Gelsenkirchen, April 2003 (gekürzt)

Shell Solarzellenfabrik Gelsenkirchen



Quelle: Shell Deutschland Oil

Wie wird die Photovoltaik eingesetzt?

25

Um für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche geeignete Leistungen bereitstellen zu können, werden einzelne Solarzellen – meist 72, oft auch 54 Zellen – zu größeren Einheiten miteinander verschaltet, den so genannten Solarmodulen. Die Solarmodule wiederum werden zu einem Solargenerator zusammengeschaltet. Eine Serienschaltung der Zellen hat eine höhere Spannung zur Folge, eine Parallelschaltung einen höheren Strom.

Die Spitzenleistung einer Photovoltaik-Anlage wird in Watt Peak [W_p] gemessen; das entspricht der Leistung, die erreicht werden kann, wenn Sonnenstrahlen mit einer Intensität von 1.000 W/m^2 senkrecht auf ein Modul fallen und die Temperatur der Solarzellen 25 Grad Celsius beträgt. Die typischen Nennleistungen von Solarmodulen liegen gegenwärtig zwischen 10 und $160 W_p$. Die zusammengeschlossenen So-

larzellen werden meist mit einem Rahmen aus Aluminium oder Edelstahl versehen. Um das Solarmodul vor Beschädigung und Witterungseinflüssen zu schützen, wird es an der Vorderseite transparent mit Glas abgedeckt.

Wird also Strom fernab von öffentlichen Stromnetzen oder beim mobilen Einsatz benötigt, so kann dieser mit Hilfe von Solarmodulen erzeugt werden (siehe Folie 7). Diese liefern auch in unseren Breiten für einige wirtschaftliche Anwendungen genügend Strom, z. B. für solarbetriebene Parkscheinautomaten oder Verkehrssignalanlagen.

Die Gesamtheit aller Systeme kann in die Kategorien netzfern, netzfrei und netzgekoppelt aufgeteilt werden:

Eine netzferne Solaranlage liefert für einen elektrischen Verbraucher Strom unabhängig vom Versorgungsnetz. Eine Anbindung an das öffentliche Stromnetz ist wirtschaftlich nicht sinnvoll bzw. technisch nicht möglich. Größe-

re netzferne photovoltaische Solaranlagen werden auch als Inselssysteme bezeichnet. Charakteristisch für diese Inselssysteme ist neben dem fehlenden Netzanschluss die Batterie zur Speicherung der erzeugten Energie. Somit ist auch in Zeiten, in denen Sonneneinstrahlung und Energiebedarf zeitlich nicht zusammenfallen, wie z. B. bei schlechtem Wetter oder in der Nacht, Energie verfügbar. Ein Beispiel für eine solche Inselanlage ist die Elektrizitätsversorgung von entlegenen Seezeichen, Almhütten oder Wochenendhäusern. Besondere Chancen für den Einsatz von netzfernen Photovoltaik-Anlagen bieten die Entwicklungs- und Schwellenländer, die größtenteils im Sonnengürtel der Erde liegen: Einerseits ist dort die mittlere jährliche Einstrahlung der Sonne sehr hoch (siehe Folie 5), andererseits besteht ein großer – und angesichts des prognostizierten Bevölkerungswachstums steigender – Bedarf an dezentralen Stromversorgungseinrichtungen.

To Do



Wie entsteht aus Solarzellen ein Solarmodul? Was bewirkt die Parallel- bzw. Serienschaltung von Zellen?

Was versteht man genau unter der Leistungsangabe Watt Peak (W_p) eines Solarmoduls?

Interpretieren Sie die Karikatur und erklären Sie, welche Bedeutung die Photovoltaik für die Menschen in den Entwicklungsländern haben kann.



Wie wird die Photovoltaik eingesetzt?

26

Anders als in Westeuropa, wo eine nahezu flächendeckende Stromversorgungs-Infrastruktur besteht, hat ein Drittel der heutigen Weltbevölkerung überhaupt noch keinen Zugang zur Stromversorgung und wird auch auf absehbare Zeit keinen Stromanschluss erhalten. Vor diesem Hintergrund hat Shell mit seinem Solar Control System (siehe Folie 8) Elektrifizierungsprogramme für ganze Dörfer und Regionen in Entwicklungs- und Schwellenländern gestartet. Sri Lanka ist einer der ländlichen Märkte, in denen Shell Solar Home Systems installiert werden. Mit ihnen lassen sich z. B. fünf Lichtquellen betreiben.

Ein solches System besteht aus einem Solarpanel, einer Batterie für die Stromspeicherung sowie einem Sicherungs- und einem Abgabemodul und liefert Strom für Beleuchtung, Ventilatoren, Fernsehen, Radio und Telefon. Im Rahmen eines Weltbankprogramms wird der Erwerb über die Umweltorganisation Global Environment Facility (GEF) in Form von Zuschüssen beim Kauf eines Solar-Home-System sowie Darlehen an teilnehmende Kreditinstitute unterstützt. Aus Kundensicht bedeutet dies einen monatlichen Beitrag von rund zehn US-Dollar (rund neun Euro) über einen Zeitraum von vier bis fünf Jahren. Dies entspricht den Kosten für die einstigen Brennstoffausgaben, in der Regel für Kerosin oder Batterien.

Neben dem Komfort für die privaten Haushalte kommt die Solarenergie auch der lokalen Wirtschaft zugute. Dorfläden oder kleine häusliche Handwerksbetriebe haben durch die Beleuchtung ein höheres Einkommen. Es entstehen darüber hinaus qualifizierte Arbeitsplätze in der Einrichtung der Infrastruktur für den Verkauf von Solarheimanlagen, einschließlich Installation und Service sowie den Kapazitätsausbau der ländlichen Finanzinstitute. Dies kann auch der Abwanderung in die Städte entgegenwirken.

Weitere Projekte für Haushalte in entlegenen Regionen laufen in Südafrika, den Philippinen, China, Indien und Marokko. Insgesamt werden Shell-Solarprodukte in rund 90 Ländern vertrieben.



To Do

Nennen Sie Gründe, warum der Einsatz von Photovoltaik in Entwicklungsländern einfacher und wirkungsvoller ist als bei uns.

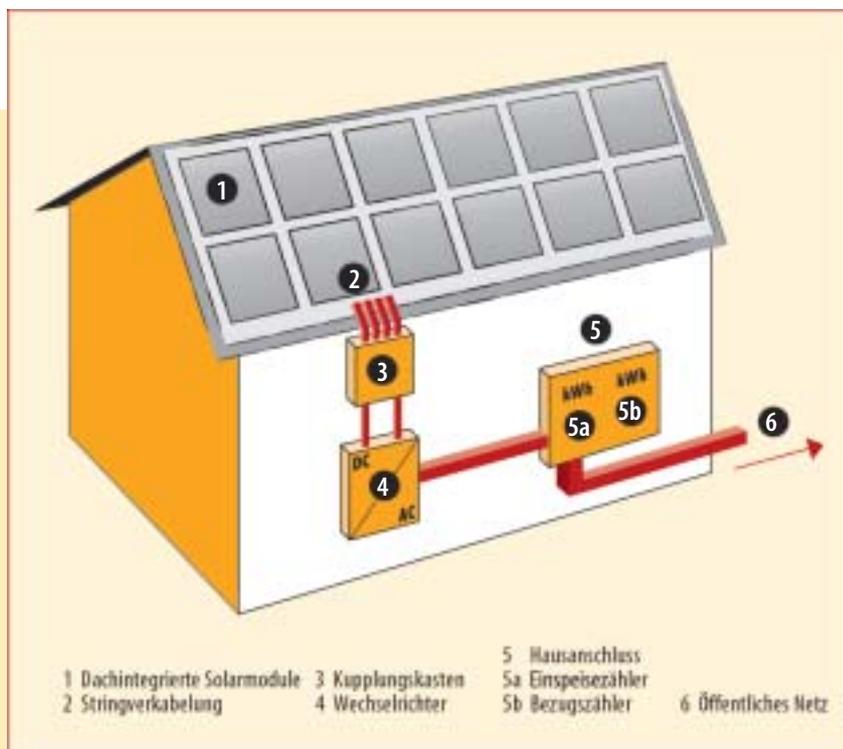
Informieren Sie sich im Internet über weitere Projekte, die den Einsatz von Photovoltaik in Entwicklungsländern fördern. Wie beurteilen Sie das Potenzial für einen weitergehenden Einsatz? Welche Formen sind zukünftig vorstellbar? www.search.shell.com/cgi-bin/rsearch.cgi / Our Projects, www.vistaverde.de/news/POLITIK/0302/20_keniasolar.htm, www.aee.at/verz/entw.html

Wie wird die Photovoltaik eingesetzt?

Bei netzfernen Anwendungen ist der Einsatz der photovoltaischen Energieversorgung auch dann interessant, wenn ein elektrischer Verbraucher in der Nähe des öffentlichen Stromversorgungsnetzes betrieben wird. Bekannte Beispiele für netzfreie photovoltaisch versorgte Anwendungen sind Taschenrechner, Küchenwaagen, Notrufsäulen an Autobahnen und Straßen sowie Parkscheinautomaten, bei denen ein Anschluss an das öffentliche Stromnetz überflüssig ist (siehe Folie 7).

Bei netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen lässt sich der erzeugte Gleichstrom durch einen nachgeschalteten Wechselrichter in netzkonformen Wechselstrom transformieren. Im Hausnetz angeschlossene Verbraucher werden zuerst versorgt. Der überschüssige Strom kann in das öffentliche Stromversorgungsnetz eingespeist werden, wo er auch anderen Abnehmern zur Verfügung steht. Wird mehr Energie benötigt, als das Solarmodul liefert, wird Strom aus dem Netz bezogen. Auch bei uns lässt sich mit diesen Anlagen ein Teil des benötigten Stromes durch Solarenergie umweltfreundlich erzeugen. Vor allem durch die Nutzung von Dachflächen für eine Photovoltaik-Anlage kann das Potenzial erneuerbarer Energiequellen sinnvoll genutzt werden.

Netzgekoppelte Photovoltaik-Anlage



Quelle: Shell Deutschland Oil



To Do

Erläutern Sie die Unterschiede zwischen netzfernen, netzfreien und netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen.

Gehen Sie von einem Gesamtwirkungsgrad einer Photovoltaik-Anlage von zehn Prozent aus und benutzen Sie die Informationen von Folie 5. Welche Solarmodulfläche bräuchten Sie, um den Bedarf einer deutschen Durchschnittsfamilie von ca. 3.500 kWh zu decken? Erläutern Sie, warum es selbst bei dieser Fläche zu Versorgungsengpässen kommt.

Wie kann man durch eine netzgekoppelte Photovoltaik-Anlage diese Probleme lösen?

Zur Biomasse zählen alle Pflanzen und Tiere, ihre Abfall- und Reststoffe sowie im weiteren Sinne durch Umwandlung entstehende Stoffe (wie Papier und Zellstoffe), organische Rückstände der Lebensmittelindustrie und organischer Haus- und Industriemüll. Hinzu kommen noch die bei Umsetzungsprozessen entstehenden Biogase: So wird beispielsweise in der Landwirtschaft die anfallende Gülle zur Gewinnung von Biogas verwendet. Die Abgrenzung gegenüber fossilen Energieträgern beginnt beim Torf. Die wichtigsten Energieträger auf der Basis von Biomasse sind:

- Festbrennstoffe (Stroh, Holz und Holzreste) zur Strom- und Wärmegegewinnung in Biomasse-Kraftwerken
- Bioalkohole aus Mais, Getreide, Rüben und Zuckerrohr als Kraftstoffe
- Pflanzenöle aus Raps oder Sonnenblumen als Biodiesel oder Schmierstoffe

Weltweit entstehen jährlich zwischen 100 und 150 Milliarden Tonnen Biomasse – ein gewaltiges Energiepotenzial. Die weitaus größten Biomasse-Produzenten sind mit einem Anteil von 90 Prozent die Wälder. Unter den Reststoffen aus der Landwirtschaft hat Stroh den größten Anteil. Vom Energiegehalt betrachtet, ist das Potenzial von Biomasse sehr viel größer als der derzeitige Energieverbrauch von ca. 13,1 Mrd. t SKE (2002). Zudem wird bei der Verbrennung von Biomasse nur so viel CO₂ freigesetzt, wie die Pflanze während des Wachstums aufgenommen und gespeichert hat.

Allerdings müssen auch für die energetische Nutzung der Biomasse Hilfsenergien (beispielsweise Kraftstoff für die landwirtschaftlichen Maschinen, Strom für die Ölpresen etc.) aufgewendet werden. Im Gegensatz zu den meisten erneuerbaren Energiequellen kann jedoch das Energieangebot der Biomasse gespeichert werden. Eine Anpassung der Energiegewinnung an den zeitlich schwankenden Bedarf ist ohne größere Probleme möglich (siehe Folie 9).

Umwandlung/Nutzung der Energie aus Biomasse

Biomasse		Definition Biomasse: Gesamtheit der anfallenden organischen Substanz durch Tiere und Pflanzen	
Bioenergieträger Ausgangsstoffe	nachwachsende Rohstoffe: Bäume, Zucker, stärke- und lignozellulosehaltige Pflanzen, Ölpflanzen C ₄ -Pflanzen (Chinaschilf)	organische Reststoffe: Stroh, Restholz, Hausmüll Gülle, Mist Gras, Laub, Dung	
Umwandlungsverfahren	physikalisch: Verdichtung zu festen Brennstoffen, Gewinnung flüssiger Energieträger durch Extraktionsverfahren	thermochemisch: Verbrennung von Biomasse, Verflüssigung von Biomasse, Vergasung von Biomasse	biologisch: aerobe Verfahren, anaerobe Verfahren, Vergrünung der Biomasse zu Alkohol, Gewinnung von Kurgas, Biogasgewinnung aus Tierexkrementen
Bioenergieträger Endprodukte	feste Energieträger flüssige Energieträger Alkohol und Pflanzenöle gasförmige Energieträger Biogas, Heizgas, Schwelgas Wärme- und Stromgewinnung		

Quelle: Shell Deutschland Oil



Nennen Sie einige Beispiele für die energetische Nutzung von Biomasse.

Inwiefern ist die Nutzung von Biomasse eine indirekte Nutzung der Sonnenenergie?

Wieso kann durch Verbrennung von Biomasse der Treibhauseffekt bekämpft werden?

In den Entwicklungsländern hat die energetische Nutzung von Biomasse (Holz zum Kochen und Heizen) eine große Bedeutung. Dagegen liegt der Anteil der Biomasse am Energieverbrauch in den Industrieländern nur bei drei Prozent – vorwiegend aus der Holznutzung sowie Müll- und Klärschlammverbrennung (siehe Folie 9) in Heizkraftwerken. Der Einsatz von „neuer Biomasse“ für die Stromerzeugung – aber auch im Mobilitätsbereich – wird in Zukunft weltweit ansteigen.

Kraftstoffe aus Biomasse

Biokraftstoffe werden aus Getreide (Ethanol) oder pflanzlichen Ölen (Biodiesel) gewonnen. Sie können in reiner Form verwendet oder mit konventionellen Kraftstoffen gemischt werden. Biogene Kraftstoffe können einen Beitrag zur Senkung der CO₂-Emissionen leisten, da sie bei ihrer Verbrennung nur so viel CO₂ an die Atmosphäre abgeben, wie sie dieser während des Wachstums der Pflanzen entzogen haben.

Ethanol kann synthetisch oder durch Fermentation zucker- oder stärkehaltiger Pflanzen gewonnen werden – in Deutschland insbesondere aus Zuckerrüben oder Getreide. Er wird gewöhnlich Ottokraftstoffen zugesetzt. So treiben Ethanol oder Ethanol-Benzingemische in Brasilien Millionen von Fahrzeugen an, aber auch in den USA und Schweden bietet Shell Ethanol-Benzingemische an.

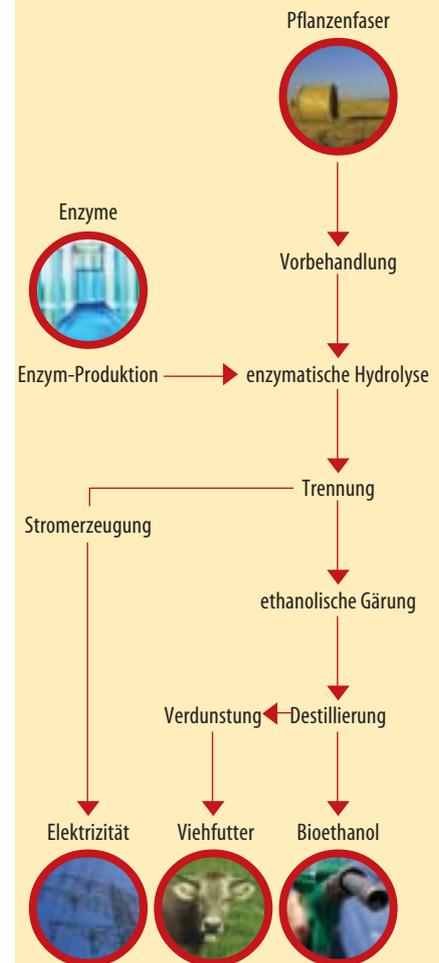
Biodiesel aus Raps-, Palm-, Kokosnuss- oder Sonnenblumenöl können direkt als Kraftstoffe genutzt werden, ihre Leistung wird aber durch eine chemische Behandlung (Veresterung) verbessert. Bei diesem Verfahren werden die Pflanzenöle mit Alkoholen (z. B. Methanol oder Ethanol) chemisch verbunden. Der

entstandene Kraftstoff kann z. B. mit Diesel für den kommerziellen Einsatz gemischt werden.

Ein wesentlicher Nachteil von herkömmlichem Bio-Ethanol und Biodiesel ist ihre Gewinnung aus wertvollen, auch als Lebensmittel genutzten Teilen der Pflanze. Herkömmliche Biokraftstoffe sind daher rund 2- bis 4-mal teurer als konventionelle Otto- und Dieselmotorkraftstoffe und heute nur durch staatliche Maßnahmen wettbewerbsfähig. Ihrer Verwendung sind damit Grenzen gesetzt. Eine vermehrte Nachfrage würde zudem Auswirkungen auf den Nahrungsmittelmarkt haben.

Shell arbeitet daher an Produktionsverfahren, die landwirtschaftliche Abfälle wie etwa Stroh als Rohstoff zur Erzeugung von **Eco-Ethanol** verwenden. Als Anteilhaber der kanadischen Iogen Energy Corporation ist Shell im **enzymatischen Abbau** der Zelluloseanteile von Stroh aktiv. Die Enzyme wandeln die Zellulose in Zucker um, der anschließend in einem Fermentierungsprozess zu Alkohol (Eco-Ethanol) umgewandelt wird. Die hierfür benötigte Energie wird innerhalb des Verfahrens gewonnen. Verglichen mit anderen Biokraftstoffverfahren weist diese Technologie eine überlegene CO₂-Bilanz aus. Die CO₂-Neutralität ist bis zu 90 Prozent höher als bei Benzin und deutlich positiver als bei herkömmlichem Bio-Ethanol. Zudem entfällt die Problematik, Nahrungsmittelrohstoffe für die Ethanolerzeugung einsetzen zu müssen oder der Nahrungsmittelproduktion Anbauflächen zu entziehen.

Eine erste kommerzielle Demonstrationsanlage wird in Kürze den Betrieb aufnehmen. Iogen und Shell sind überzeugt, dass dieser neue Prozess zur Herstellung von Eco-Ethanol den kostengünstigsten und verbraucherfreundlichsten Weg darstellt, Treibhausgase zu vermindern. Prinzipiell können auch andere organische Ausgangsstoffe als Stroh eingesetzt werden.



To Do

Informieren Sie sich über Biokraftstoffe: www.shell.com/rw-br/Suchfunktion/Biofuels

Welche Potenziale für die energetische Nutzung bietet die Biomasse weltweit, wie wird das Prinzip der Nachhaltigkeit verwirklicht?

Was versteht man unter „traditioneller“, was unter „neuer“ Biomasse?

Windenergie – Es geht voran!

30

Die Windenergie ist im Bereich der zukünftigen Nutzung regenerativer Energiequellen von großer Bedeutung, es besteht ein großes Potenzial für den weiteren Ausbau.

In Deutschland hat die Nutzung der Windenergie in den vergangenen Jahren eine rasante Entwicklung gezeigt. Fast 14.000 Windenergieanlagen erzielen eine Jahresproduktion, die 3,5 Prozent des bundesweiten Strombedarfs entspricht. International ist Deutschland heute mit großem Abstand das „Windland Nr. 1“ auf der Welt. In den letzten zehn Jahren sind hierdurch fast 10.000 Arbeitsplätze entstanden.

Der bisherige Einsatz der Windenergieanlagen erfolgte zunächst an windreichen Küstenstandorten, später auch im Binnenland. Die Aufmerksamkeit richtet sich zunehmend auch auf die Flachwassergebiete der Meere (Offshore). Im Vergleich zum Festland herrscht hier ein stärkeres und gleichmäßigeres Windangebot. Windenergieanlagen an diesen Standorten produzieren kontinuierlich größere Strommengen. Diesen Vorteilen gegenüber stehen jedoch die höheren technischen Anforderungen an die Anlagen, z. B. höhere Windlasten, aufwändige Fundamente, aggressive salzhaltige Luft.

Die Kosten für den Anschluss an das Stromnetz sind höher als an Land. In Zukunft werden Offshore-Windparks zu wirtschaftlich akzeptablen Kosten einen wesentlichen Beitrag zur Windstromproduktion leisten können.

Pressemeldung – Hamburg, 30/10/2000

Deutsche Shell bekommt Flügel – Inbetriebnahme der größten serienmäßigen Windkraftanlagen Norddeutschlands „Grüner Strom“ für 2000 Hamburg-Haushalte

Die Deutsche Shell, Hamburg, nimmt Ende Oktober als erstes Mineralölunternehmen zwei Windkraftträder mit einer Leistung von insgesamt 3,6 Megawatt in Betrieb. Damit ist das Unternehmen der Betreiber der größten serienmäßigen Windkraftanlagen Norddeutschlands. Nach der Inbetriebnahme der Solarzellenfabrik in Gelsenkirchen im vergangenen Jahr vollzieht Shell damit einen weiteren wichtigen Schritt zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Shell hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2005 im globalen Offshore-Windenergiemarkt eine führende Position einzunehmen.

Die Windkraftanlage: Sie besteht aus dem Windrad oder Rotor und dem Generator, der mit dem Rotor über eine gemeinsame Achse verbunden ist. Der Rotor ist ein Energiewandler, der die Bewegungsenergie der Luft in Rotationsenergie umwandelt und als Drehbewegung zur Verfügung stellt.

Der Turm: Meistens ist die Rotorwelle waagrecht auf einem Turm installiert, ähnlich den klassischen Windmühlen. An der Spitze des Turmes befindet sich der Turmkopf. Er ist mitsamt dem Rotor um 360 Grad drehbar.

Der Rotor: Rotorblätter ähneln dem Profil einer Flugzeugtragfläche: Die Oberfläche ist stärker gewölbt als die Unterseite. Luft, die über den Tragflügel streicht, wird an der Oberseite zusammengedrückt. Dadurch entsteht ein Unterdruck. An der Unterseite strömt die Luft mit geringerer Geschwindigkeit, wodurch ein Überdruck entsteht. Das Rotorblatt wird in Drehrichtung beschleunigt.

Generator und Getriebe: Für die Windkraftnutzung wurden Generatoren entwickelt, die ohne Getriebe angetrieben werden und so elektrische Energie erzeugen.

Ausbau der Windenergienutzung in Deutschland



Quelle: Jahrbuch Erneuerbare Energien



Wie sieht die Energiebilanz eines Windkraftwerks aus? Sie finden Informationen unter www.fesa.de/gmbh/download/Regiowind_Flyer.pdf

Welche der Fördermaßnahmen hat entscheidend dazu beigetragen, dass Deutschland das „Windland Nr. 1“ auf der Welt geworden ist? [www.bmu.de/Glossar/Erneuerbare Energien](http://www.bmu.de/Glossar/Erneuerbare_Energien)

Wasserkraft: Energie im Fluss

Die Geschichte der Energieanwendung des Wassers geht weit zurück. Die großen Flusskulturen an Nil, Euphrat und Tigris, am Gelben Fluss und am Indus nutzten Wasser als Antriebsmittel für Arbeitsmaschinen vielfältigster Art. Im Mittelalter entstanden die bedeutendsten Gewerbezentren Europas dort, wo Wasserkraft reichlich vorhanden war. Die schnelle Entwicklung der Industrialisierung im 19. Jahrhundert ist auch der Wasserkraft zu verdanken. In der weiteren Entwicklung wurde die Wasserkraft zugunsten der damals vermeintlich billigeren Energiequellen Kohle, Öl und Kernkraft verdrängt. Doch inzwischen zahlen wir den Preis mit einer belasteten Umwelt und einer Verknappung der fossilen Rohstoffe.

Für den Erhalt und den weiteren Ausbau von Wasserkraft sprechen die hohe natürliche Stetigkeit und die sehr hohen Wirkungsgrade bei der Nutzung. Wasserkraft ist eine regenerative und nahezu unerschöpfliche Energiequelle. In der Bundesrepublik beträgt der Anteil der Wasserkraft an der Stromerzeugung ca. fünf Prozent. Von allen erneuerbaren Energien leistet die Wasserkraft heute den mit Abstand größten Beitrag zur Stromversorgung. In Deutschland liegen die südlichen Länder Baden-Württemberg und Bayern dank höherer Gefälle und stärkerer Niederschläge in den Bergregionen an der Spitze in der Stromerzeugung mit Wasserkraft. Es dominieren hier die über 400 Großanlagen, die in erster Linie von Energieversorgungsunternehmen betrieben werden, darüber hinaus existieren aber noch rund 5.500 Kleinanlagen, die sich in der Hand von kleinen und mittleren Unternehmen befinden.

Erstes Offshore-Gezeiten-Kraftwerk gelauncht

London (pte, 16. Juni 2003) – Eineinhalb Kilometer vor der Küste von Lynmouth/Devon entsteht das erste Offshore-Gezeiten-Kraftwerk der Welt. Projektträger sind die beiden britischen Unternehmen Marine Current Turbines und Seacore. Die Betreiber schätzten, dass die Kapazität solcher Anlagen in Großbritannien bei etwa zehn Gigawatt liegt, der Hälfte der Kapazität aller Atomkraftwerke Großbritanniens. Die Unterwasserturbine sieht aus wie die Windräder moderner Windanlagen. Während die Windräder durch die Windkraft betätigt werden, nutzen die Turbinen unter Wasser die Strömung der Gezeiten aus. Gezeitenkraftwerke könnten Windparks sogar den Rang ablaufen. Die Gezeiten kommen – anders als der Wind – regelmäßig, Tag für Tag. Außerdem gibt es die optischen Vorteile: Anlagen, die am Meeresgrund verankert sind, ragen nur einige Meter aus dem Wasser empor und zerstören daher nicht das Landschaftsbild. Eine Gefahr für die Meeresfauna sehen die Betreiber nicht, da sich die Propeller nur etwa 20 Mal pro Minute drehen. Das Gezeitenkraftwerk vor der Küste von Devon ist revolutionär und das erste fest verankerte Kraftwerk dieser Art. Nach seinem Vorbild soll, ähnlich wie bei Windparks, ein gesamter Gezeitenpark entstehen. Finanzielle Unterstützung haben die Betreiber vom britischen Department of Trade and Industry und von der Europäischen Kommission erhalten. (gekürzt)

www.news.bbc.co.uk, www.marineturbines.com, www.seacore.co.uk



Quelle: Marine Current Turbines



Es gibt Gegner und Befürworter der Nutzung von Wasserkraft. Stellen Sie eine Sammlung mit Argumenten beider Seiten zusammen und vergleichen Sie. Orientieren Sie sich dabei an den Schlagwörtern Klimaschutz, Naturschutz und Landschaftsschutz.
www.ak-wasser.de/start.htm,
www.wasserkraft.org

Geothermie: Bohren nach Energie

32

Geothermische Energie – auch als Erdwärme bezeichnet – ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Erdoberfläche. Im Erdinnern sind immense Wärmemengen gespeichert, deren Ursprung in der Zerfallsenergie natürlich radioaktiver Isotope liegt. Im Erdkern werden Temperaturen von über 6.000 Grad Celsius vermutet, im oberen Erdmantel noch ca. 1.300 Grad Celsius. Im Schnitt nimmt die Temperatur ab der Erdoberfläche pro 100 Meter Tiefe um etwa drei Grad Celsius zu. vielerorts auf der Welt jedoch finden sich Gebiete mit wesentlich höheren Temperaturgradienten, beispielsweise in Island, Italien, Indonesien oder Neuseeland.

Die geothermische Energienutzung will Wärme mit Hilfe von geeigneten Technologien aus der Tiefe an die Erdoberfläche befördern. An einigen Stellen liefert die Natur selbst das notwendige Zirkulationssystem (z. B. Thermalquellen). Anderswo müssen Erschließungsbohrungen oder Erdwärmesonden eingesetzt werden. Die Wärmeenergienutzung erfolgt bis zu einer Tiefe von etwa 5.000 Metern. Wärme aus diesen Tiefenbereichen kann auch zur Produktion von Elektrizität verwendet werden (Deep Heat Mining oder Hot-Dry-Rock-Technologie).

Für die Nutzung von Erdwärme gibt es vier gute Gründe:

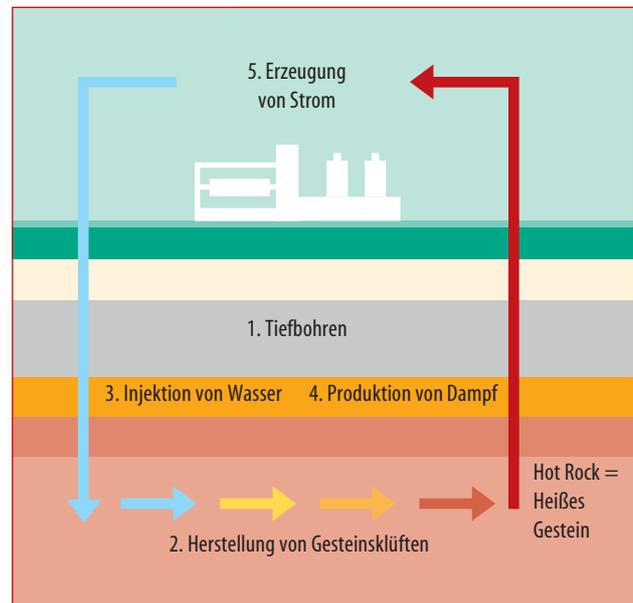
- Geothermie ist eine umweltfreundliche Energiequelle. Sie erzeugt weder Luftschadstoffe noch CO₂ und ist somit ein idealer Ersatz für fossile Energieträger.
- Geothermie ist ständig verfügbar. Sie hängt nicht von klimatischen Verhältnissen oder von der Jahres- oder Tageszeit ab.
- Da in menschlichen Zeiträumen unerschöpflich, wird Geothermie zu den erneuerbaren Energien gerechnet.
- An der Erdoberfläche sind geothermische Anlagen kaum sichtbar. Sie beanspruchen wenig Platz am Kopf des Bohrloches.

Shell testet neue Formen der Energiegewinnung

In El Salvador wird hochentwickelte Geothermie-Technologie eingesetzt. Ziel ist es, ein „Hot Fractured Rock“-Reservoir zu schaffen, das Dampf zur Wärme- und Stromerzeugung liefert. In einem ersten Schritt wird „heißes“ Gestein im Umfeld einer Tiefbohrung (rund 5.000 Meter) aufgebrochen („gefract“). Anschließend wird eine zweite Bohrung in das aufgebrochene Gestein abgeteuft. Durch eine der Bohrungen wird nun Wasser in den Untergrund gepumpt (Injektionsbohrung), das sich auf seinem Weg durch das bis zu mehrere hundert Grad Celsius heiße, künstlich zerklüftete Gestein erhitzt. Als Heißdampf wird es aus der zweiten Bohrung (Produktionsbohrung) zurückgewonnen. Der Wasserdampf soll zur Erzeugung von Strom genutzt werden, der in das örtliche Netz fließt. Das Projekt in El Salvador ist das erste geothermische Projekt von Shell.

Die konventionelle geothermische Energiegewinnung, bei der im Untergrund natürlich vorkommender Dampf oder heißes Wasser genutzt wird, ist nur begrenzt ausbaufähig. Heißes (trockenes) Gestein jedoch, bei dem durch die „Hot Fractured Rock“-Technologie Heißdampf erzeugt und produziert werden kann, ist weltweit in zahlreichen Regionen anzutreffen und könnte zu einer wesentlichen Energiequelle werden.

„Hot Fractured Rock“-Verfahren



Quelle: Shell Deutschland Oil

To Do

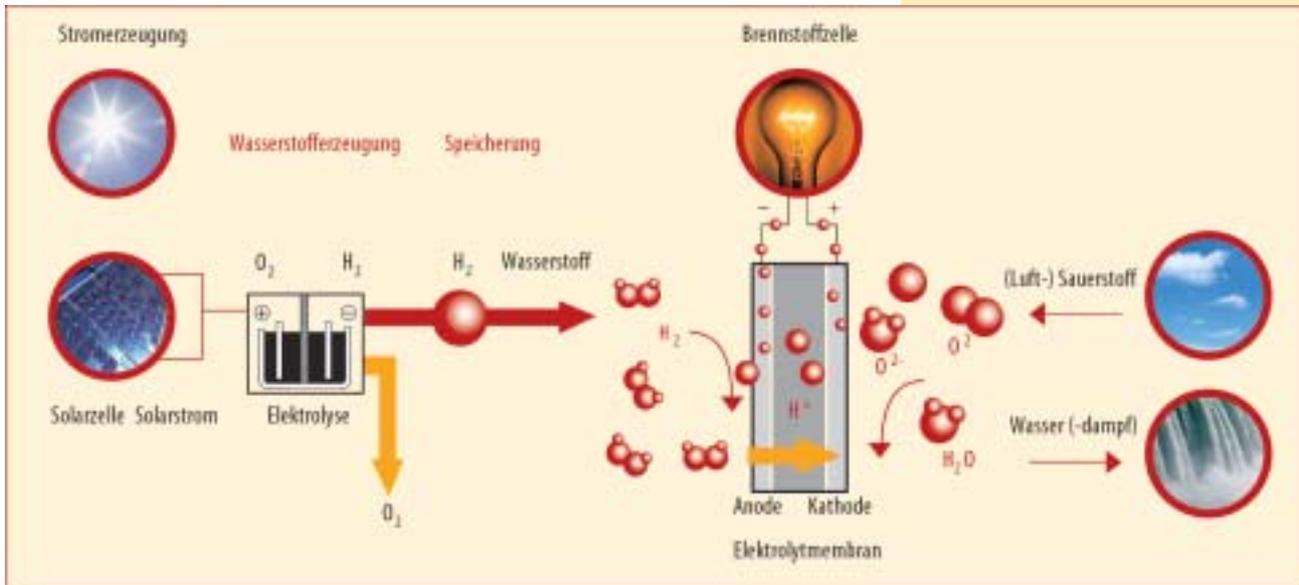
Für die Nutzung von Erdwärme gibt es unterschiedliche Techniken je nach vorhandener Temperatur im Gestein und geologischen Verhältnissen. Welche Gebiete bieten die besten Voraussetzungen für eine sinnvolle Nutzung der Geothermie?

www.energynet.de/geothermie/geotechnik.html, www.igfsek2.de/ressourc/geotherm.htm, www.geothermie.de

Wasserstoff – Speichermedium der Zukunft

33

Prinzip: Nutzung solaren Wasserstoffs in Brennstoffzellen



Quelle: RWE

Um eine kontinuierliche Energieversorgung mit erneuerbaren Energieträgern wie Wasser, Wind und Sonnenlicht anbieten zu können, sind Speicher erforderlich – nur so kann das täglich und jahreszeitlich schwankende Angebot der Natur (z. B. der Sonne) an unseren Strombedarf angepasst werden. Nach Meinung von Shell spielt Wasserstoff als Speichermedium hierbei in Zukunft eine Schlüsselrolle. Mit einem eigenen Geschäftsbereich, der sich ausschließlich mit dem Energieträger Wasserstoff beschäftigt, setzt sich das Unternehmen für die verstärkte Förderung dieser zukunftsweisenden Technologien ein.

Wasserstoff (H_2) ist eines der häufigsten Elemente der Erde. In der Natur liegt er stets chemisch gebunden vor, z. B. in Form von Wasser. Um Wasserstoff energetisch nutzen zu können, muss er zunächst unter Aufwendung von Energie hergestellt werden. Eine Möglichkeit ist die Elektrolyse von Wasser: Dabei wird elektrischer

Strom durch Wasser geleitet und spaltet die Wasserstoffmoleküle (H_2O) in je zwei Wasserstoff- und ein Sauerstoffatom. Der gewonnene Wasserstoff – ein farb- und geruchloses Gas – lässt sich in Tanks speichern und auf verschiedene Weise wieder energetisch nutzen. Wasserstoff ist also keine Primärenergiequelle, sondern ein Speichermedium. Im Fall der Wasserelektrolyse wird der aufgewandte elektrische Strom im erzeugten Wasserstoff gespeichert.

In einer so genannten Brennstoffzelle wird dieser Prozess der Elektrolyse wieder rückgängig gemacht. Durch die chemische Reaktion von Wasserstoff mit Luftsauerstoff wird mit einem hohen Wirkungsgrad von bis zu 70 Prozent elektrischer Strom erzeugt, d. h. in der Brennstoffzelle findet die direkte Umwandlung von chemischer in elektrische Energie statt. Bei dieser Verbrennung entsteht im Idealfall reiner Wasserdampf: Es fallen weder Luftschadstoffe noch das Klimagas Kohlendioxid an, das bei der Nutzung fossiler Energieträger unvermeidlich freigesetzt wird.

To Do

Die Entwicklung der Brennstoffzelle hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Erläutern Sie das Prinzip und vergleichen Sie den Wirkungsgrad der Energiewandlung mit Wärmekraftmaschinen wie dem Verbrennungsmotor.

Wasserstoff – Speichermedium der Zukunft

34

Für die Brennstoffzellentechnik gibt es ein weites Anwendungsspektrum, das von Großkraftwerken über dezentrale Energieversorgungseinrichtungen bis zum Antrieb von Fahrzeugen reicht. Langfristig kann Wasserstoff als so genannter Sekundärenergieträger also die Rolle der heutigen fossilen Energieträger zum Teil übernehmen.

Die erste Generation von Brennstoffzellen auf dem Markt wird allerdings zwangsläufig mit Wasserstoff arbeiten, der aus fossilen Brennstoffen, insbesondere Erdgas stammt. Später könnte jedoch auch die Vision von großen Solarkraftwerken in der Wüste Realität werden. In Küstennähe würden dann Meerwasserentsalzungsanlagen den Rohstoff Wasser zur direkten hydrolytischen Wasserstoffgewinnung bereitstellen. Alternativ könnte auch über ein interkontinentales Hochspannungs-

netz der Strom zu den energieintensiven Märkten der Industrieländer transportiert und dort der Wasserstoff durch elektrolytische Spaltung von Wasser gewonnen werden. Auf diese Weise kann die durch den Solarstrom erzeugte Energie für weitere Nutzung gespeichert werden.

Shell hat 1999 eine eigenständige Gesellschaft „Shell Hydrogen“ gegründet, die sich ausschließlich mit Wasserstoff und der Brennstoffzellentechnologie beschäftigt. Zu den Herausforderungen für die Wasserstoffwirtschaft zählen unter anderem die Entwicklung einer neuen Generation von Brennstoff-Prozessoren, die Passagierfahrzeugen gute Fahreigenschaften und Streckenleistungen verleihen, sowie die Entwicklung eines praktischen Wasserstoff-Speichersystems. Hierfür beteiligt sich Shell Hydrogen an einer Reihe wichtiger Joint-Ventures, Partnerschaften und Demonstrationsprojekten. So wurde im März 2003 die erste Shell-Wasserstofftankstelle auf Island eröffnet.



Quelle: Shell Deutschland Oil

Island auf dem Weg zu einer Wasserstoffwirtschaft

Shell eröffnet Wasserstofftankstelle

Shell Hydrogen hat heute die erste Wasserstoff-Straßentankstelle unter der Marke Shell in Reykjavik, Island, eröffnet. Sie soll zunächst von drei DaimlerChrysler-Brennstoffzellen-Bussen genutzt werden, die das lokale Busunternehmen Straeto auf den Straßen Reykjaviks einsetzt. In Zukunft sollen auch Privatfahrzeuge mit Wasserstoffantrieb auf Islands Straßen fahren. Zur Wasserstofftankstelle in Reykjavik gehören auch die technischen Anlagen, die benötigt werden, um durch Elektrolyse Wasserstoff herzustellen. Island deckt seinen gesamten Bedarf an Elektrizität mit Wasserkraft und Erdwärme. Im Laufe des Jahres 2003 wird Shell Hydrogen in den USA eine weitere Wasserstoff-Betankungsanlage installieren, außerdem eine Wasserstofftankstelle in Tokio einrichten. Shell Hydrogen ist auch an Wasserstoff-Demonstrationsvorhaben zum Thema nachhaltige Mobilität in Kalifornien, den Niederlanden und in Luxemburg beteiligt. Der Betrieb der Wasserstofftankstelle und der Brennstoffzellen-Busse auf Island ist Teil eines Forschungsprojekts, das sich mit einer veränderten Energiewirtschaft für die moderne Gesellschaft befasst.

Hamburg, 24.03.2003 (gekürzt)

Der ungekürzte Text findet sich unter: www.shell.de/Wasserstoff-Tankstelle

To Do

Warum wird die Solar-Wasserstoff-Technologie in einer zukünftigen Energieversorgung eine Schlüsselrolle spielen?

www.ftd.de/ub/in/1075310.html,
www.solarenergy-berlin.de

Sammeln Sie aktuelles Informationsmaterial zur Wasserstofftechnologie und gestalten Sie in der Klasse eine Wandtafel. Berücksichtigen Sie dabei auch Entwicklungen im Bereich der Automobilindustrie.

www.bmwgroup.com / Suchbegriff: Wasserstoff; www.bundesverband-pflanzenoel.de/pdf/Wasserstoff.pdf

Wie sieht die Energieversorgung morgen aus?

35

Trotz zunehmender Verbreitung hat sich die Photovoltaik noch nicht in größerem Umfang auf den Energiemärkten durchsetzen können. Wie in vielen anderen Ländern muss auch in Deutschland neben einer verbesserten Wirtschaftlichkeit das Problem der tages- bzw. jahreszeitlichen Gegenläufigkeit zwischen Sonneneinstrahlung und Strombedarf gelöst werden. Gerade in unseren Breitengraden besteht der größte Energiebedarf im Winter. Eine Photovoltaik-Anlage liefert aber ihr Maximum an Energie im Sommer. Doch die gewaltigen Fortschritte im Bereich der Wasserstofftechnologie lassen hoffen, bald einen idealen Speicher für photovoltaisch erzeugte Energie zu finden.

Aufgrund der derzeit niedrigen Preise bei der konventionellen Stromerzeugung ist in Europa eine Nutzung erneuerbarer Energiequellen ohne staatliche Finanzhilfen in größerem Ausmaß nicht vorstellbar. So unterstützte die Bundesregierung seit 1999 den Kauf von umweltfreundlichen Photovoltaik-Anlagen durch zinslose Kredite. Das 100.000-Dächer-Programm hatte ein Fördervolumen von mehr als 500 Millionen Euro und endete am 30. Juni 2003.

Nach dem Willen der Bundesregierung soll die auslaufende Förderung aus dem 100.000-Dächer-Programm durch das CO₂-Minderungsprogramm kompensiert werden. Das Bundesumweltministerium beabsichtigt, die zukünftige Vergütung für Solarstrom entsprechend anzupassen. In Ergänzung zum 100.000-Dächer-Programm trat das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) am 1. April 2000 in Kraft. Es regelt die Abnahme und die Vergütung von ausschließlich aus erneuerbaren Energiequellen gewonnenem Strom durch Versorgungsunternehmen, die Netze für die allgemeine Stromversorgung betreiben (Netzbetreiber). Gleichzeitig will man über eine Verteuerung der fossilen Energien eine Wettbewerbsfähigkeit der erneuerbaren Energien erreichen.



Betrachten Sie die Karikatur und nehmen Sie Stellung zu folgenden Thesenpaaren:

A) Die Industrieländer haben die Verpflichtung, Energie einzusparen und moderne Technologien zu entwickeln, die weltweit einsetzbar sind.

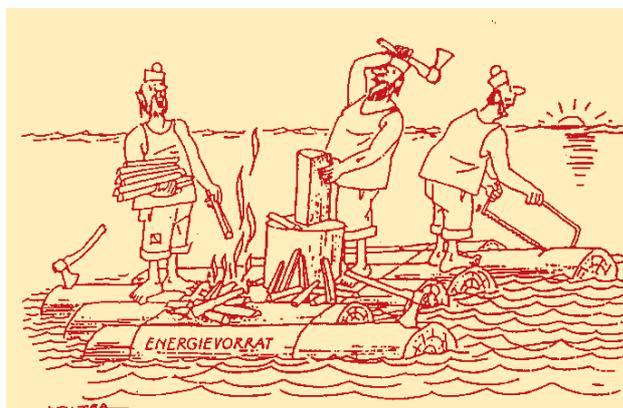
B) In Zukunft wird der Anteil der Entwicklungsländer am Energieverbrauch größer sein, daraus folgt eine gewisse Eigenverantwortung.

A) Jeder Einzelne kann durch bewussten Umgang mit Energie viel zum Schutz der Umwelt beitragen.

B) Gegenüber den globalen Problemen der Energieversorgung und des Treibhauseffektes ist der Einzelne machtlos.

A) Klimaschutz ist die wichtigste Herausforderung für das nächste Jahrhundert, weil selbst eine geringe Erwärmung der Erde katastrophale Folgen haben wird.

B) Es gab schon immer Schwankungen der Jahresmitteltemperatur; vom Treibhauseffekt reden nur einige Wichtiguer.



„So leben wir, so leben wir, so leben wir alle Tage ...“

Fazit

