Schülerinformation Heft 1 (2012)
www.DLR.de/next

DLR

DLR_School_Info

Energie

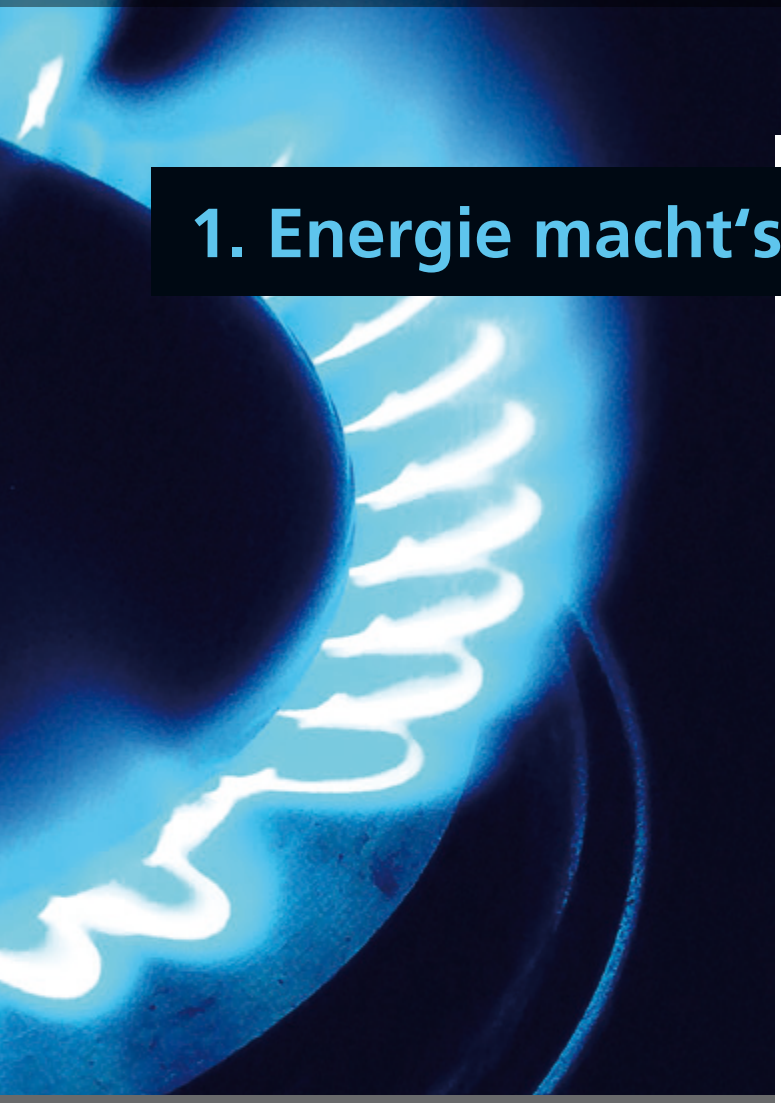
Wie sieht unsere „Energie-Welt“ von morgen aus?

Ohne sie wäre unser Leben nicht denkbar. Sie wärmt im Winter die Wohnung, bewegt Autos und Züge und lässt das Handy und den PC funktionieren. Die Rede ist von der Energie. Ob als Wärme, Kraftstoff oder Strom: Ohne Energie geht in unserem Leben so gut wie gar nichts!

Zugleich wird über das Thema Energie immer wieder heiß diskutiert: Ist die Kernkraft zu gefährlich? Wie stark beeinflussen die Abgase aus Kohlekraftwerken unser Klima? Ist Strom aus Solarzellen eine Alternative? Verbrauchen wir zu viel Energie? Womit fahren Autos, wenn eines Tages Öl und damit Benzin zur Neige gehen? Und wie sollte insgesamt unsere „Energie-Welt“ gestaltet werden?

Viele Fragen, die auch deine Zukunft betreffen! Dieses Heft möchte dir einige Antworten geben – und zudem erste Einblicke in ein spannendes Forschungsgebiet, das übrigens auch faszinierende berufliche Möglichkeiten bietet. Aber der Reihe nach …

Titelseite: Energie kann richtig „elektrisieren"! Hier eine Plasmalampe. Bild: Jan Kopetzky
Unten: Foto eines Gasherds. Auch beim Kochen geht´s um Energie. Bild: cchristof / photocase.com



1. Energie macht‘s möglich

Inhalt

1. Energie macht‘s möglich 2
2. Schnell, süß oder heiß – die Vielfalt der Energie 4
3. So erzeugen wir Strom, die „edle" Energie 10
4. Zu Risiken und Nebenwirkungen 18
5. Da geht sie hin – so verwenden wir Energie 22
6. Der Preis der Energie 26
7. Das geht noch besser! Die Energieforschung bringt‘s 30
8. Das Ziel: ein nachhaltiges Energiesystem 36

Stell dir vor: (d)ein Tag ohne Energie

Nur mal als Gedankenexperiment: Wie würde dein Tag ohne Energie ablaufen? Erst einmal würde er wahrscheinlich mit einer kleinen Verspätung anfangen: Denn ohne Energie klingelt morgens kaum ein Wecker. Wenn‘s Winter ist, dürfte dein Zimmer jetzt ungemütlich kalt sein: keine Heizung heute. Du stolperst durch die dunkle Wohnung in die Küche. Auch das Frühstück fällt ohne Energie eher mittelmäßig aus: heißer Kakao, Kaffee oder Tee – alles Fehlanzeige. Und Toastbrot gibt‘s heute „à la nature": schlapprig weich und weiß. Geduscht wird kalt und der Föhn funktioniert auch nicht. Am besten gar nicht lange in den Spiegel schauen – es brennt ja ohnehin kein Licht. Also gleich in die Schule – und zwar per Fahrrad. Denn Bus oder Bahn kann man an einem Tag ohne Energie ebenfalls vergessen. Wie es wohl deinen Freunden an diesem verrückten Tag geht? Anrufen hat keinen Zweck, denn dein Handy schweigt beharrlich – genauso wie PC und Fernseher …

Beenden wir hier mal das kleine Gedankenspiel. Es dürfte klar geworden sein, dass unser modernes Leben ganz wesentlich auf Energie aufbaut. Wir heizen, wenn es kalt ist, kühlen, wenn es zu warm wird und machen Licht, wenn es dunkel ist. Wir kommunizieren weltweit und transportieren Menschen und Güter über den ganzen Erdball. Und Energie steckt auch „unsichtbar" in vielem drin, ohne dass uns das auffällt: Mit Energie werden Lebensmittel und Maschinen hergestellt, Häuser und Straßen gebaut und die vielen Dinge produziert, die wir täglich nutzen. In einem Satz: Energie ist von zentraler Bedeutung für unser modernes Leben.

Denk mal nach!

Strom aus der Steckdose, Windräder, Energy-Drinks … Was fällt dir spontan zum Thema Energie ein? Notiert alle Begriffe, die euch zum Thema Energie in den Sinn kommen, an der Tafel und sortiert sie mit Hilfe eures Lehrers.

Europa bei Nacht – gesehen von den Astronauten auf der Internationalen Raumstation ISS. Das Weltraum-Foto macht deutlich: Ohne Energie wäre unser modernes Leben nicht vorstellbar. Der Bildausschnitt zeigt übrigens im Vordergrund Norditalien (mit Blick nach Osten). Rechts liegt dunkel das Mittelmeer, links heben sich die Alpen als ebenfalls recht dunkler Bereich ab, nördlich davon liegt Deutschland. Bild: NASA

Es lohnt sich, die Welt der Energie genauer zu betrachten! Was ist Energie überhaupt? Woher kommt sie? Wie gewinnt man sie? Und wie ist das mit der Sicherheit und der Umwelt?

Nach diesen wenigen Zeilen hast du schon eine Idee bekommen, in welch vielfältigen Formen wir Energie nutzen – sei es als Strom, Wärme oder Kraftstoff. In Kapitel 2 betrachten wir die verschiedenen Energieformen mal näher und versuchen, ein Gefühl für die Größenordnungen zu bekommen. Ein paar Formeln helfen uns dabei, Leistung und Energie zu erfassen – das „Handwerkszeug" zu diesem Thema. In Kapitel 3 gehen wir wichtige Techniken zur Stromerzeugung durch, bevor wir in Kapitel 4 die „Schattenseiten" der Energiegewinnung beleuchten: nämlich die Risiken und Nebenwirkungen – ein sehr aktuelles Thema! In Kapitel 5 verschaffen wir uns einen Überblick über die Energieverwendung – mit einem Blick in eure Wohnung und auch in andere Länder. Dein Geldbeutel dürfte neugierig sein auf die Betrachtung der Kosten von Energie in Kapitel 6. In Kapitel 7 erhältst du Einblicke in die aktuelle Forschung. Auch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) befasst sich mit Energieforschung, nicht nur mit Satelliten und Flugzeugen. Und übrigens auch mit Verkehrsforschung, die ebenfalls viel mit Energie zu tun hat. Abschließend rundet die Vision einer nachhaltigen „Energie-Welt" von morgen in Kapitel 8 das Bild ab. Viel Spaß bei diesem Ausflug in die Welt der Energie!

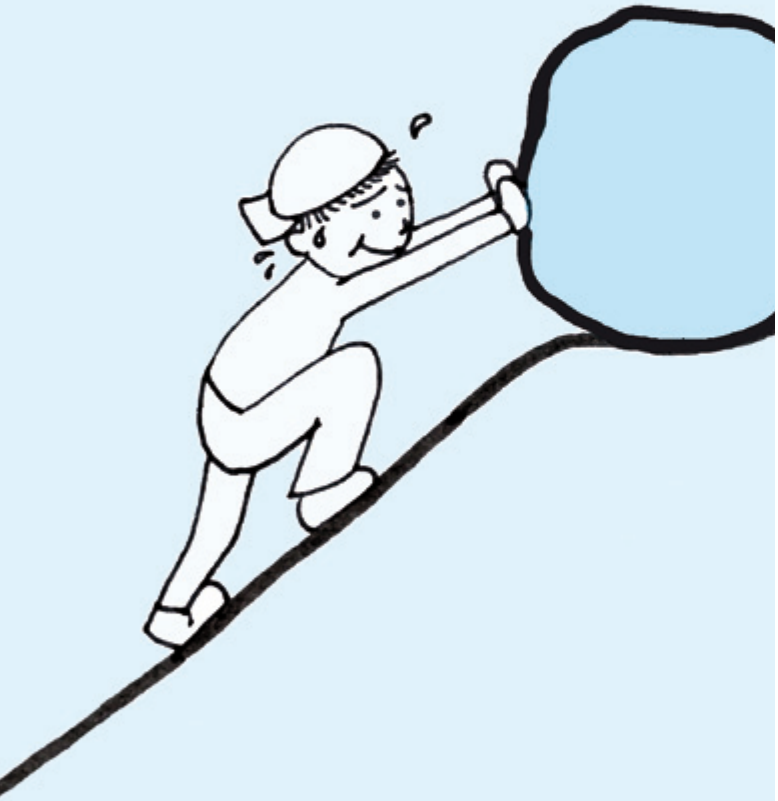
Interessant!

Das Raketen-Triebwerk im Keller

Schau mal zu Hause in eurem Keller nach: Vielleicht brennt da ja ein Raketen-Triebwerk! Nun ja, natürlich nicht gleich ein richtiges Triebwerk. Aber immerhin: Als DLR-Ingenieure vor vielen Jahren besonders leistungsfähige Raketen-Triebwerke entwickelten, stellten sie fest: Mit diesem Know-how lässt sich auch der Verbrennungsprozess in ganz normalen Heizanlagen verbessern. Das Heizöl wird dabei sehr effizient und zugleich schadstoffarm verbrannt. Inzwischen verwenden über eine Million Heizanlagen den sogenannten „Raketenbrenner", der aufgrund seiner charakteristischen blauen Flamme auch „Blaubrenner" genannt wird.

Eine europäische Ariane-Rakete beim Start. Bild: ESA, CNES, Arianespace

2. Schnell, süß oder heiß – die Vielfalt der Energie



Die meisten Leute denken zuerst an Strom, wenn sie den Begriff „Energie“ hören. Strom ist aber nur eine mögliche Form von Energie.

Energie tritt nämlich in vielfältigen Formen auf, die alle miteinander verwandt sind:

- **potenzielle Energie (Lageenergie, Druckenergie),**
- **kinetische Energie (Bewegungsenergie),**
- **elektrische bzw. elektromagnetische Energie (z. B. Strom, Licht),**
- **chemische Energie (z. B. Brennstoff, Nahrung),**
- **thermische Energie (d.h. Wärme).**

Das Spannende ist, dass man eine Form von Energie in andere verwandeln und damit nutzbar machen kann! Dies ist ganz entscheidend für die praktische Bedeutung von Energie.

Betrachten wir ein einfaches Beispiel: Wenn du einen Stein auf einen Berg hoch trägst, setzt du chemische Energie aus der Nahrung ein und erhöhst mit Hilfe deiner Muskelkraft die potenzielle Energie des Steins. Oben hat er die in ihn „investierte“ Energie gewissermaßen gespeichert. Rollt der Stein dann den Berg wieder runter, verliert er diese potenzielle Energie, gewinnt jedoch Bewegungsenergie – sogenannte „kinetische Energie“. Solche Umwandlungen von Energie eröffnen vielfältige Möglichkeiten, die wir tagtäglich nutzen. So kann aus der kinetischen Energie des Windes mit dem Generator einer Windkraftanlage elektrische Energie gewonnen werden und diese kann man zum Beispiel einsetzen, um Wasser zu kochen. Aus Bewegungsenergie wird so Strom – und aus Strom schließlich Wärme.

Denk mal nach!

Warum ist ein „Perpetuum mobile“ nicht möglich? Das ist eine spannende Geschichte! Wenn du nicht genau weißt, was das ist: Schau einfach im Internet auf Wikipedia oder anderen Seiten nach und überlege dann, warum das nicht klappen kann!

Diese Beispiele verdeutlichen, was Energie ist: **Energie ist die Fähigkeit, physikalisch etwas zu bewirken. Etwas zu bewegen, zu erwärmen, auszusenden.** Möchten wir den Stein aus dem eben erwähnten Beispiel etwas bequemer zur Spitze des Berges bringen, so können wir ein Auto einsetzen, das die chemische Energie des Benzins nutzt. Wir können auch mit Strom über einen Elektromotor einen Lift antreiben. In allen Fällen investieren und verbrauchen wir Energie in einer anderen Form, um die gewünschte potenzielle Energie zu gewinnen.

Energie ist so etwas wie ein Guthaben, das man benötigt bzw. „investiert", um eine gewünschte Wirkung zu erzielen. Die verschiedenen Energieformen entsprechen dabei gewissermaßen verschiedenen Währungen. Wenn ich Energie in einer Form „ausgebe", also für meinen Zweck einsetze, ist sie in ihrer ursprünglichen Form nicht mehr vorhanden – wie bei einem Guthaben in einer bestimmten Währung. Aber die Energie existiert weiter – nur eben in anderer Form, also in anderer Währung. In unserem Beispiel: Durch das Hochtragen des Steins habe ich über meine Muskelkraft Energie aus der Nahrung in potenzielle Energie verwandelt, die jetzt im Stein „gespeichert" ist. Einen anderen Teil meines Energie-Guthabens habe ich als Wärme an die Umgebung abgegeben, denn ich komme sicher ins Schwitzen, wenn der Berg steil ist. Die ursprünglich eingesetzte Energie wurde also in verschiedene andere „Energie-Währungen" verwandelt – aber sie ist noch da und nicht einfach aus der Welt verschwunden. Das gleiche gilt auch, wenn ich den bequemeren Weg wähle und den Stein per Auto oder Elektro-Lift nach oben befördere. Benzin und Strom werden dabei in potenzielle Energie und in Wärmeenergie verwandelt. Die Summe an Energie über alle neuen Formen zusammengerechnet entspricht immer exakt der zuerst eingesetzten Energie. Es gilt nämlich das **Gesetz der Energieerhaltung: Die Summe der Energiemengen über die verschiedenen Formen bleibt konstant!**

An unserem Beispiel vom Steintransport können wir nebenbei noch ein weiteres Prinzip verdeutlichen, das für die Praxis wichtig ist: **Bei der Umwandlung von Energieformen erhalten wir immer auch einen Teil in Form von Wärme. Und der zweite**

Schon gewusst?

Energie wird nicht verbraucht!

Ja, das klingt seltsam, ist aber richtig und auch richtig wichtig: Energie kann man nicht „erzeugen" und auch nicht „verbrauchen". Man „erzeugt" und „verbraucht" immer nur eine bestimmte Energieform. So verbraucht man etwa in einem Kohlekraftwerk Energie in chemisch gebundener Form, um Strom zu erzeugen. Zugleich wird ungewollt auch Wärme erzeugt, die an die Umwelt abgegeben wird. Die Menge an Strom und Wärme zusammen entspricht genau der Menge an chemischer Energie, die ursprünglich eingesetzt wurde. Von der zunächst vorhandenen Energie verschwindet also nichts! Auch bei Energie-„Verschwendung" verschwindet die Energie genau genommen nicht, sondern wird nur in wertlose Formen verwandelt.

Wenn man einen Stein einen Berg nach oben rollt, wird chemische Energie in potenzielle Energie umgewandelt.
Bild: Michele Janin Homrighausen

Hauptsatz der Thermodynamik besagt, dass wir Wärme nie vollständig in mechanische Energie überführen können. Ein Teil der eingesetzten Energie geht immer als Wärme an die Umgebung „verloren".

Das Lichtermeer um den Kölner Dom bei Nacht.
Bild: www.koelntourismus.de

Mit Gummibärchen auf den Kölner Dom

Kommen wir nun zu deinem „Handwerkszeug", mit dem du Energie und Leistung „packen" kannst. Um die verschiedenen Energieformen ineinander umrechnen zu können, werden sie alle in der gleichen Einheit gemessen: dem Joule. Nehmen wir z. B. Energie in Form von gespeicherter mechanischer Arbeit. Trägst du den Stein – wieder mal – den Berg hoch, so arbeitest du gegen die Erdanziehungskraft an. Je schwerer der Stein ist und je weiter du ihn nach oben trägst, desto größer ist die potenzielle Energie, die du dem Stein zuführst. Es gilt:

Energie = Kraft · Weg
in den Einheiten **1 Joule = 1 Newton · 1 Meter**
bzw. **1 J = 1 Nm**

Beachte, dass die Zeit hierbei keine Rolle spielt! Es ist egal, ob du den Stein langsam oder schnell nach oben getragen hast – die gewonnene potenzielle **Energie** ist die gleiche. Natürlich musst du dich mehr anstrengen, um ihn schnell auf den Berg zu tragen, jedoch dauert diese Anstrengung eben nicht so lange. Über den Begriff der **Leistung** können wir diesen Unterschied – also ob langsam oder schnell – erfassen:

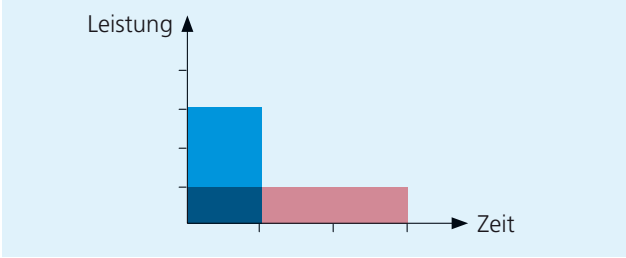
Leistung = Energie(änderung) je Zeit
in den Einheiten **1 Watt = 1 Joule / Sekunde**
bzw. **1 W = 1 J/s**. Damit gilt zugleich: **1 J = 1 Ws**.

Beispiel: Führst du die gleiche Energie in der halben Zeit zu, so erbringst du die doppelte Leistung.

Aus der Formel für die Leistung erkennst du auch, dass gilt: **Energie = Leistung · Zeit**. Je länger eine Leistung aufgebracht wird, desto größer ist die eingesetzte Energie. Läuft ein Föhn mit 1.200 Watt Leistung 5 Minuten lang, so werden 1.200 W · 300 s = 360.000 J an elektrischer Energie „verbraucht". In 15 Minuten ist es das Dreifache.

Bilder: Binchen99 / photocase.com
Carol I / photocase.com

Diesen Zusammenhang findest du im folgenden Diagramm verdeutlicht: Wenn ein Föhn 5 Minuten lang 1.200 Watt leistet, so liefert er die gleiche Wärmemenge wie ein Heizstab mit 400 Watt, der 15 Minuten lang betrieben wird. Die beiden Flächen im Diagramm entsprechen der Energiemenge und sind gleich groß.



Übrigens: Speziell für elektrische Energie wird oft eine weitere Einheit verwendet: die Kilowattstunde, kurz kWh. Wenn ein Gerät von einem Kilowatt Leistung eine Stunde lang läuft, so verbraucht es genau eine kWh an Energie. Die Kilowattstunde lässt sich leicht in Joule umrechnen: **1 kWh = 1.000 W · 3.600 s = 3.600.000 J = 3,6 Megajoule**. Die Stromzähler im Haus geben meist kWh an und im oben genannten Beispiel hat der Föhn 0,1 bzw. 0,3 kWh verbraucht. Achtung: Verwechsle kWh (Energie) nicht mit kW (Leistung)!

All diese Zusammenhänge kannst du im folgenden Experiment gleich anwenden:

Aufgabe 2-1:
Wie groß ist deine Leistung?

Such dir eine Treppe, die mehrere Etagen hoch führt. Miss mit einem Meterstab oder einem Maßband die gesamte Höhe in Metern. Nun misst du die Zeit (in Sekunden), die du benötigst, um die Treppe zügig hochzugehen. Dabei trägst du zur Abwechslung mal keinen Stein nach oben, sondern nur dein eigenes Gewicht. Jetzt kannst du Folgendes berechnen:

- **Welche potenzielle Energie (in Joule) hast du deinem Körper zugeführt?**
  Tipp: Die Kraft der Erdanziehung ist 9,8 m/s^2 · deine Körpermasse und es gilt: 1 N = 1 kg m/s^2

- **Welche mittlere Leistung (in Watt) hast du beim Treppensteigen erbracht?**
  Tipp: Energieänderung je Zeit.

- **Wie groß war deine Leistung beim Treppensteigen in Pferdestärken – abgekürzt PS –, wenn 1 PS 735 Watt entspricht?**

Wir können sogar den Zusammenhang mit dem Energiegehalt der Nahrung herstellen:

- **Wie viele Gummibärchen benötigst du als Energiezufuhr, um die Aussichtsplattform des Kölner Doms auf ca. 100 m Höhe zu Fuß zu erklimmen? Geh davon aus, dass deine Muskeln etwa 25% der Nahrungsenergie in Kraft umwandeln und ein Gummibärchen ca. 30 Kilojoule an chemischer Energie enthält – das ist der sogenannte physiologische Brennwert.**

- **Überlege, was mit den restlichen 75% an Nahrungsenergie geschieht.**

Übrigens: Der Basis-Energieumsatz (bzw. die Wärmeleistung) eines erwachsenen Menschen, der sich nicht körperlich anstrengt, liegt bei etwa 75 Watt, also grob 0,1 PS.

Dynamit oder Schokolade – wo steckt mehr Energie drin?

Schauen wir uns weitere Beispiele an – teils mit überraschenden Erkenntnissen! In Benzin, Holz, Sprengstoff und Lebensmitteln steckt chemisch gebundene Energie. Durch Verbrennung wird sie in mechanische und Wärmeenergie umgewandelt, sei es in einem Motor, einer Explosion, einem Ofen oder im menschlichen Körper. Im Fall von Sprengstoff läuft diese Umwandlung sehr eindrucksvoll ab, sodass man

Energiegehalt: Volle Schokoladenpower! Bild: DLR, K.-A.

glauben könnte, dass dort eine hohe Energiemenge gespeichert ist. Irrtum! Sprengstoff explodiert, weil die Verbrennungsreaktion sehr schnell abläuft. Das sagt aber wenig über den Energiegehalt aus. So enthält Dynamit etwa 3,5 Kilojoule pro Gramm, während es Schokolade auf rund 24 Kilojoule pro Gramm bringt. Ganz schön viel Energie, die da in der Schokolade steckt!

Aufgabe 2-2:
Der Mensch als Energiewandler

Ein durchschnittlicher Mensch hat eine Leistung von etwa 75 Watt als „Grundumsatz". Errechne daraus mal, wie viel Energie in Form von Lebensmitteln – angegeben in Kilojoule – er oder sie hierfür täglich benötigt.
Tipp: Sieh doch mal nach, wie wir weiter vorne Leistung definiert haben.

Der Grundbedarf an Energie ist bei Jugendlichen etwas höher und nimmt mit zunehmendem Alter ab. Männer haben meist einen höheren Bedarf als Frauen. Zum Grundbedarf kommt der von den Aktivitäten abhängige Bedarf hinzu: Körperlich aktive Menschen benötigen deutlich mehr Nahrung als „Stubenhocker". Im Bereich Ernährung wird statt Kilojoule oft auch die Einheit Kilokalorie (kcal) verwendet: 1 kcal = 4,2 kJ. Wie hoch ist der oben berechnete tägliche „Grundumsatz" in Kilokalorien? Eine gute Übersicht zu Energie und Ernährung findest du unter:
http://www.ernaehrung.de/tipps/allgemeine_infos/ernaehr10.php

Fassen wir nochmals kurz das Wichtigste zusammen, denn dieses Kapitel hatte es in sich! Du hast verschiedene Energieformen kennengelernt, die ineinander umgewandelt werden können. Du hast gelernt, dass Energie nicht verloren geht und wie Leistung und Energie zusammenhängen. Zum Abschluss zeigen wir dir hier rechts noch in einer Tabelle, wie unterschiedlich die Größenordnungen von Energie und Leistung sein können. Mit diesem Wissen bist du nun fit für die folgenden Kapitel.

Die Sonne – gesehen vom Satelliten SDO. Bild: NASA

Exkurs: Vom Flug einer Fliege bis zur Strahlung der Sonne

Energie und Leistung kommen in sehr kleinen, aber auch in riesigen Mengen vor. Die folgende Tabelle gibt anhand einiger Beispiele einen Überblick und führt zugleich die üblichen Abkürzungen auf. 0,001 Watt sind z. B. 1 Milliwatt und 1 Million Joule sind 1 Megajoule.

Zahl	Bezeichn.	Abk.	Beispiele Energie (Joule)
0,000001 oder 10^{-6}	Mikro-	µ	kinetische Energie einer Fliege im Flug: 160 µJ
0,001 oder 10^{-3}	Milli-	m	kinetische Energie eines Hagelkorns: 50 mJ – das entspricht der kinetischen Energie von ca. 300 Fliegen
1			thermische Energie, um 1 g Wasser um 1 Grad zu erwärmen: 4,2 J (= 1 Kalorie) – das entspricht der kinetischen Energie von 84 Hagelkörnern
1.000 oder 10^{3}	Kilo-	k	chemische Energie in 1 g Schokolade: 24 kJ – damit könnte man 1 kg Wasser um fast 6 Grad erwärmen
1.000.000 oder 10^{6}	Mega-	M	potenzielle Energie eines Menschen auf dem Mount Everest: 6 MJ – das entspricht der kinetischen Energie von 120 Millionen Hagelkörnern
10^{9}	Giga-	G	chemische Energie in einem Autotank Benzin (46 kg): 2 GJ – das entspricht rund 800 Tafeln Schokolade
10^{12}	Tera-	T	elektrische Kapazität des Wasser-Pumpspeichers Goldisthal (Thüringen): 30 TJ – das entspricht 15.000 Benzintanks
10^{15}	Peta-	P	elektrische Energie aus Windkraft in Deutschland im Jahr 2010: 135 PJ – das entspricht 4.500 Mal der Kapazität von Goldisthal
10^{18}	Exa-	E	gesamter Energiebedarf Deutschlands 2010: 14 EJ – also etwa das Hundertfache des Ertrags an Windenergie Jährlicher Energiebedarf der Menschheit: ca. 500 EJ

Zahl	Bezeichn.	Abk.	Beispiele Leistung (Watt)
0,000001 oder 10^{-6}	Mikro-	µ	Schwingquarz in einer Armbanduhr: 1 µW
0,001 oder 10^{-3}	Milli-	m	Handy im Stand-by-Modus: 10 mW – das entspricht 10.000 Schwingquarzen
1			Handy: 1–2 W – das ist das Hundert- bis Zweihundertfache der Stand-by-Leistung
1.000 oder 10^{3}	Kilo-	k	Automotor: 50 kW – das entspricht über 25.000 Handys
1.000.000 oder 10^{6}	Mega-	M	Gaskraftwerk: 250 MW – das entspricht 5.000 Automotoren
10^{9}	Giga-	G	Wasserkraftwerk Itaipú (Brasilien): 14 GW – das entspricht 56 Gaskraftwerken
10^{12}	Tera-	T	Durchschnittliche elektrische Leistung weltweit: 1,7 TW – hierfür benötigt man 6.800 Gaskraftwerke
10^{15}	Peta-	P	Sonneneinstrahlung auf der Erde: 174 PW – dies entspricht 100.000 Mal dem weltweiten Bedarf an elektrischer Leistung

3. So erzeugen wir Strom, die „edle“ Energie

Und hier ist sie nun, die spannende Frage: Wie kommt eigentlich der Strom in die Steckdose? Im letzten Kapitel haben wir bereits einige Formen von Energie kennengelernt. Dabei ist der Strom für uns sicher die wertvollste Form, denn er lässt sich einfach transportieren und sehr vielfältig nutzen. Denn: **Strom lässt sich leicht umwandeln in:**

- **mechanische Energie**
  (durch Motoren und Pumpen),
- **elektromagnetische Energie**
  (durch Lampen oder Radiosender)
- **chemische Energie**
  (z. B. durch Elektrolyse
  – die Spaltung von Wasser)
- **thermische Energie**
  (durch Heizspiralen, Wärmepumpen
  oder Kühlschränke).

Damit ist die Stromversorgung für moderne Industrieländer von ganz zentraler Bedeutung. Das Problem ist nur: Nutzbarer Strom kommt in der Natur nicht vor, sodass er aus anderen Energieformen erzeugt werden muss. Diese Stromerzeugung ist nicht einfach und sie hat diverse Nebenwirkungen. Schauen wir uns also **die wichtigsten Techniken der Stromerzeugung** einmal näher an.

Zur Erzeugung von Strom werden meist Generatoren verwendet, die von mechanischer Kraft angetrieben werden. Der Fahrraddynamo ist ein einfaches Beispiel hierfür. Im Inneren eines Generators dreht sich eine Spule in einem Magnetfeld und dadurch setzt elektromagnetische Induktion die Elektronen in Bewegung. Aber auch mit Hilfe von bestimmten Halbleitern – das sind ganz besondere Materialien, die sowohl Eigenschaften von Leitern als auch von Nichtleitern haben – kann Strom erzeugt werden. Dabei lassen sich die Elektronen durch Licht in Bewegung versetzen. Genau das wird in der Fotovoltaik ausgenutzt – also in den blau schimmernden Solaranlagen, die man auf vielen Hausdächern sieht. Und schließlich können Elektronen durch chemische Reaktionen in Bewegung gesetzt werden, was in Brennstoffzellen passiert.

Schon gewusst?

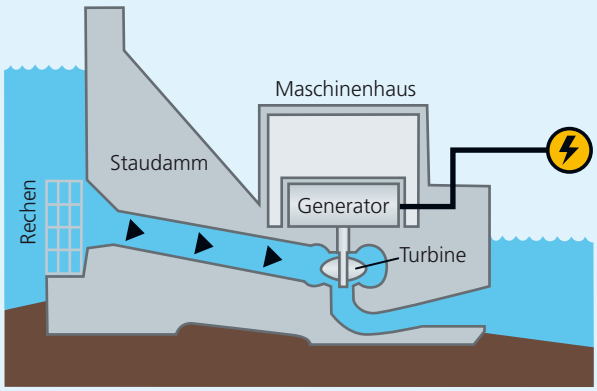
Was ist eigentlich Strom?

Bewegen sich elektrisch geladene Teilchen – meist Elektronen – in eine Richtung, so fließt elektrischer Strom. Über elektrische Leiter wie Metalle (z. B. Kupfer, Aluminium) lässt sich Strom mit geringen Verlusten transportieren. Charakterisiert wird Strom durch seine Spannung und seine Stromstärke.

Ein modernes Gas- und Dampf-Kraftwerk mit hohem Wirkungsgrad. Bild: Siemens

Stromerzeugung aus mechanischer Energie

Schema eines Wasserkraftwerks



In einer Wasserkraftanlage wird aus der potenziellen Energie von Wasser mittels einer Turbine und eines Generators Strom erzeugt. Bild: nach Wikipedia

Betrachten wir zunächst die Stromerzeugung direkt aus mechanischer Energie. Hierzu zählen die Wind- und die Wasserkraft. In **Windkraftanlagen** wird die kinetische Energie – also die Bewegungsenergie – der Luft auf einen Rotor übertragen, der hierdurch die Kraft erhält, einen Generator anzutreiben. Das ist eine recht einfache und elegante sowie umweltfreundliche Art der Stromerzeugung. Weil aber der Wind nicht regelmäßig weht, kann Windkraft nur unregelmäßig Leistung zur Verfügung stellen. Bei der Nutzung der **Wasserkraft** wird die potenzielle bzw. kinetische Energie von Wasser genutzt, um über Turbinen wiederum Generatoren anzutreiben und Strom zu erzeugen. Strom aus Wasserkraft ist zeitlich deutlich

Schon gewusst?

Der elektrische Wirkungsgrad – die Effizienz der Stromerzeugung

Aus Kapitel 2 weißt du vielleicht noch, dass bei jedem Energiewandlungsprozess auch Wärme anfällt. Daher ist es nicht möglich, eine Energieform vollständig in Strom umzuwandeln: Ein Teil geht immer „verloren“. Nun möchte man aber natürlich einen möglichst hohen Anteil der eingesetzten Leistung in Strom umwandeln. Und diesen Anteil, den eine Anlage wie etwa ein Kraftwerk oder eine Brennstoffzelle wirklich in Strom umwandelt, nennt man den **elektrischen Wirkungsgrad** der Anlage.

Interessant!

Vom Flugzeug zur Windkraftanlage

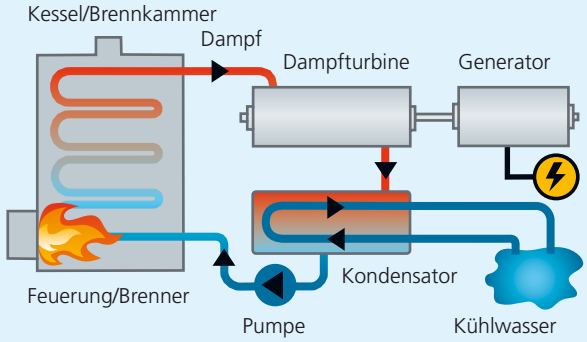
Windkraftanlagen ähneln nicht nur vom Aussehen her den Propellern von Flugzeugen. Es gibt da auch viele technische Fragen, die miteinander verwandt sind. Die Rotoren der Windräder müssen so geformt sein, dass sie die Energie des Windes so wirksam wie möglich aufnehmen können. Dabei sollen sie leise arbeiten. Und elastisch müssen sie sein, um Windböen standzuhalten. Das Material darf auch nicht schnell „ermüden“ – sonst könnte es bei starkem Wind brechen. Das DLR arbeitet seit vielen Jahren erfolgreich daran, Flugzeuge immer sparsamer, leiser und sicherer zu machen. Diese Erfahrungen aus Fachgebieten wie Aerodynamik, Aeroakustik und Strukturmechanik setzt es nun auch ein, um Windkraftanlagen zu verbessern. Ein spannendes Forschungsfeld und ein hervorragendes Beispiel für anspruchsvolle „Ingenieurskunst“!

Flugzeug-Triebwerke haben nicht nur äußerlich Ähnlichkeit mit Windkraftanlagen. Auch viele technische Fragen sind verwandt. Bild: DLR

gleichmäßiger verfügbar. Allerdings ist seine Menge in Deutschland begrenzt, da die Flüsse nicht zu stark mit Kraftwerken verbaut werden sollen und weite Teile des Landes recht flach sind. Übrigens: Der Wirkungsgrad einer Windkraftanlage liegt bei bis zu 50%, eine Wasserkraftanlage erreicht sogar bis zu 80%.

Stromerzeugung aus Wärmeenergie

Schema eines thermischen Kraftwerks



In einem Wärmekraftprozess – wenn beispielsweise Kohle oder Erdgas als Brennstoff genutzt wird – wird Wasser erhitzt und in Dampf verwandelt, der dann eine Turbine antreibt, die wiederum einen Generator in Bewegung setzt.

Auch aus Wärmeenergie kann man Kraft zum Antrieb eines Generators gewinnen – durch einen „Trick", der in den meisten „klassischen" Kraftwerken zum Einsatz kommt. Durch hohe Temperaturen wird Wasser verdampft, wobei sich das Volumen stark ausdehnt. Geschieht das in einem geschlossenen Behälter, so kann sich der Dampf nicht frei ausdehnen und es baut sich hoher Druck auf. Dieser Druck kann eine Maschine antreiben, die wiederum einen Generator in Bewegung setzt. So wird aus Wärmeenergie über den Umweg der mechanischen Energie schließlich Strom.

In heutigen Kraftwerken werden auf diese Weise per Dampf Turbinen angetrieben. Allgemein spricht man hierbei von einem Dampfkraftprozess – und diesen Kraftwerkstyp bezeichnet man als **thermisches Kraftwerk.**

Schon gewusst?

Die erste funktionsfähige Dampfmaschine wurde schon 1712 in England konstruiert. Dampfmaschinen waren eine wichtige Voraussetzung für die sogenannte „industrielle Revolution" im 18. und 19. Jahrhundert.

Und wie wird die Wärme gewonnen, die in solchen Kraftwerken für die hohen Temperaturen und damit für den Dampf sorgt? In vielen Kraftwerken verbrennt man hierzu chemische Energieträger: meistens Kohle oder Erdgas. Manchmal kommen auch Erdöl oder Holz zum Einsatz – aber das ist eher selten. In Kernkraftwerken sind es dagegen kontrollierte Kernspaltungs-Reaktionen, die viel Energie liefern, aber auch auf lange Zeit radioaktive Abfälle hinterlassen. Auch geologische Wärme – vor allem in vulkanisch aktiven Gebieten – oder Wärme von der Sonne können zur Verdampfung genutzt werden. Steht die Wärme dauerhaft zur Verfügung, so kann ein thermisches Kraftwerk kontinuierlich Strom bereitstellen – ein wichtiger Vorteil im Vergleich zur Windkraft.

Im Dampf hinter der Turbine und auch im Abgas der Verbrennung sind noch große Mengen an Wärme enthalten. Lässt man diese Abwärme einfach in die Atmosphäre entweichen, ist sie für die weitere Nutzung verloren. Besser: Man verteilt diese Wärme zumindest teilweise über ein Wärmenetz und verwendet sie etwa zur Beheizung von Häusern. Weil so gleichzeitig Kraft (zur Stromerzeugung) und Wärme bereitgestellt werden, wird dies als **Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)** bezeichnet. Durch KWK werden die eingesetzten Brennstoffe besser ausgenutzt und andere Brennstoffe für die Heizung eingespart.

Aufgabe 3-1:

Wie viel Kohle (in Kilogramm) benötigt ein modernes Steinkohlekraftwerk am Tag, um mit einem Wirkungsgrad von 40% kontinuierlich eine elektrische Leistung von 800 Megawatt bereitstellen zu können?
Tipp: Steinkohle hat einen Heizwert von 30 MJ/kg.

Wie viele Eisenbahnwaggons à 60 Tonnen wären dies?

Finde heraus, welchen Anteil am gesamten Stromverbrauch Deutschlands dieses Kraftwerk deckt. Nimm hierzu vereinfachend an, dass der Stromverbrauch über das Jahr hinweg konstant ist.

Im Süden von Spanien befindet sich die Plataforma Solar de Almería – eine riesige Testanlage für solarthermische Kraftwerke. Hier entwickelt auch das DLR neue Technologien. Bild: DLR, Markus-Steur.de

Interessant!

Solarthermische Kraftwerke – ein Forschungsthema des DLR

Die Sonne liefert uns gigantische Mengen an Strahlungsenergie. In etwa einer Stunde strahlt sie die Energiemenge zur Erde ab, die die gesamte Menschheit in einem Jahr verbraucht. Was liegt näher, als diese kostenlose Energie in sonnenreichen Gebieten für die Stromerzeugung zu nutzen? Um aber Wasserdampf für einen Dampfkraftprozess zu gewinnen, muss das Sonnenlicht konzentriert werden. Dies geschieht mit Hilfe von Spiegelsystemen, die das Sonnenlicht bündeln und dadurch für hohe Temperaturen sorgen. So kann Wasserdampf erzeugt werden, der über Turbinen einen Generator antreibt. Da hierbei die Sonne die Energie liefert, entstehen keine klimaschädlichen Emissionen. Gegenüber Fotovoltaikzellen haben solarthermische Kraftwerke den Vorteil, die „eingesammelte“ Wärme speichern zu können, sodass auch nachts Strom erzeugt werden kann. Derzeit sind weltweit etwa 40 solcher Kraftwerke mit insgesamt ca. 1.300 MW elektrischer Leistung in Betrieb, mehrere tausend Megawatt sind in Bau oder in konkreter Planung. Die Forscher des DLR arbeiten an der Optimierung von technischen Komponenten wie z. B. den Spiegeln, an verbesserten Verfahren etwa zur Steuerung der Spiegel und an ganz neuen Kraftwerkskonzepten. Ziel ist es jeweils, die Kosten der „Sonnenstroms“ zu senken.

Gasturbine in einem Kraftwerk. Bild: Siemens

Kraftwerke und Windleistung in Deutschland

Kraftwerke in Betrieb
Stand 30. Juni 2011,
Installierte Windleistung
Stand 30. Juni 2011,
Kartengrundlage: Umweltbundesamt,
Datenquellen: Umweltbundesamt,
Deutsches Windenergie-Institut

© Umweltbundesamt

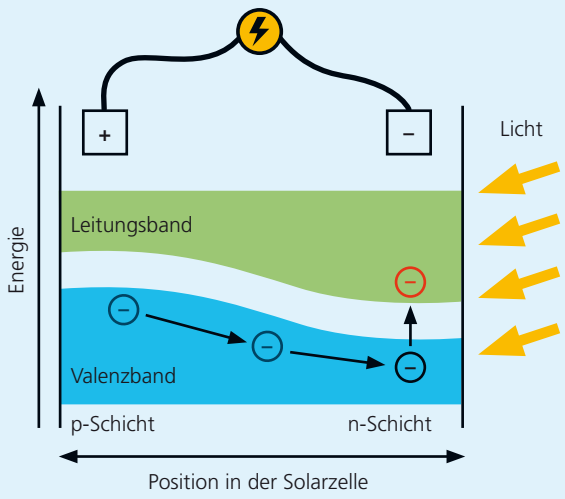
Quelle: Umweltbundesamt 2011

Neben der Wärme aus einer Verbrennung kann man manchmal auch den Druck aus der Verbrennung direkt nutzen – wie das z.B. in Automotoren geschieht. Gase oder fein zerstäubte Flüssigkeiten verbrennen dabei explosionsartig und mit der Kraft der Explosion kann man einen Kolbenmotor antreiben. Solch ein Kolbenmotor setzt dann wiederum das Auto in Bewegung – oder auch einen Generator zur Stromerzeugung. Diese Technik eignet sich besonders für die dezentrale Stromerzeugung in kleineren Anlagen mit Leistungen von ca. 50 bis 5.000 kW, die mit Biogas oder Erdgas betrieben werden. Statt eines Motors lässt sich mit der Kraft der Ausdehnung bei der Verbrennung auch eine Gasturbine antreiben.

In größeren Gasturbinenanlagen lohnt es sich zudem, mit der Wärme des Abgases noch einen „nachgeschalteten“ Dampfkraftprozess zu betreiben. Die Wärme wird also ein zweites Mal zur Stromerzeugung ausgenutzt. **Mit dieser Technik erreichen moderne Gas- und Dampfkraftwerke (GuD) elektrische Wirkungsgrade von bis zu 60% – viel mehr als etwa ein Kohlekraftwerk.**

Stromerzeugung aus Licht

Fotovoltaische Stromerzeugung



In den Halbleiter-Materialien, aus denen Solarzellen bestehen, setzt das auftreffende Sonnenlicht Elektronen in Bewegung, sodass Strom fließt.

Kommen wir nun – nach vielen Prozessen auf der Basis von Wärme – zur **Fotovoltaik**. Hier drehen sich keine Turbinen und kein Generator, hier wird keine Hitze erzeugt und man hört auch nichts. Es reicht aus, Sonnenlicht auf Solarzellen auftreffen zu lassen

Denk mal nach!

Kraftwerke in Deutschland

Diese Grafik (links) des Umweltbundesamtes zeigt die Kraftwerke in Deutschland.

- Überleg mal, aus welchen Gründen in den verschiedenen Regionen Deutschlands die eine oder andere Form der Stromerzeugung – z. B. Kernkraft, Kohle, Wind – überwiegt.
- Wo wird Strom erzeugt und wo ist der Verbrauch am größten? Was bedeutet es also, wenn in Zukunft verstärkt auf Windenergie statt auf Kernkraft oder Kohle gesetzt wird?
- Hat die Art und Weise, wie Energie gewonnen wird, Folgen für die Lebensqualität der Menschen in der Umgebung?
- Warum liegen alle Kernkraftwerke an Flüssen?

Interessant!

Forschung an Gasturbinen

Auch wenn Gasturbinen schon recht hohe Wirkungsgrade erreichen, möchte man diese noch weiter verbessern. Zugleich sollen auch die Schadstoffemissionen reduziert werden. Forscher des DLR untersuchen hierfür die Verbrennungsvorgänge ganz genau – bis ins Innere der Flammen hinein! Durch eine gleichmäßigere Verbrennung, durch Vermeidung ungewünschter Wirbel um die Flamme herum und starker Hitzebelastungen der Wände kann der Ertrag einer Gasturbine noch weiter gesteigert werden. So wird in zukünftigen Gasturbinen aus der gleichen Menge Erdgas mehr Strom gewonnen. Ein weiteres Forschungsfeld ist die Anpassung von Gasturbinen an den Einsatz von Wasserstoff oder Biogas, die umweltfreundlich gewonnen werden können, aber andere Verbrennungseigenschaften haben als Erdgas.

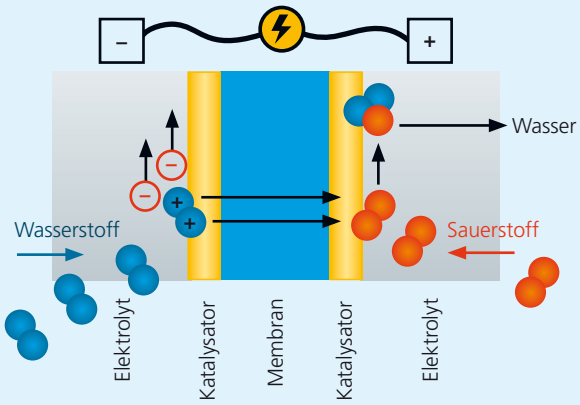
und diese raffiniert aufgebauten Halbleiterplatten oder -schichten erzeugen dann direkt Strom. Vereinfacht beschrieben setzt dabei das Sonnenlicht einer bestimmten Wellenlänge die Elektronen in dem Halbleiter-Material in Bewegung, sodass sie als Strom „geerntet“ werden können. Die meisten Solarzellen nutzen Silizium, aber auch Verbindungen wie Galliumarsenid oder Cadmiumtellurid werden eingesetzt. Typische Solarzellen können etwa 10–20% des Sonnenlichts in Strom umwandeln. Die Wirkungsgrade für Mehrschichtzellen erreichen sogar bis zu 40% – ihre Herstellung ist aber sehr teuer. Da der Energieaufwand zur Herstellung des Halbleitermaterials generell relativ hoch ist, wurden Dünnschichtzellen entwickelt, die mit deutlich weniger Material und damit Energie produziert werden können. Ihr Wirkungsgrad liegt allerdings auch nur bei etwa 10%.

Solarzellen. Bild: Siemens

Stromerzeugung durch chemische Reaktionen

Als letztes Verfahren schauen wir uns die Stromerzeugung durch chemische Reaktionen an. Dies ist in sogenannten **Brennstoffzellen** möglich, die es in verschiedenen Formen gibt. Im einfachsten Fall nutzen sie als Energieträger Wasserstoff, der bei der Oxidation – also der Reaktion mit Sauerstoff aus der Luft – viel Energie freisetzt. Die Besonderheit der Brennstoffzelle liegt nun darin, dass die Gase nicht frei miteinander reagieren können, was explosionsartig ablaufen würde. In besonderen Flüssigkeiten oder Festkörpern reagieren sie nur langsam. Und dort kann die Oxidation so gesteuert werden, dass zugleich Elektronen bewegt werden – also Strom fließt. Ein großer Teil der Verbrennungsenergie der Reaktion lässt sich in die Bewegung der Elektronen lenken, sodass relativ wenig Wärme anfällt und elektrische Wirkungsgrade von bis zu 60% erreicht werden können. Brennstoffzellen sind also sehr effiziente Stromerzeuger, jedoch ist ihre Herstellung aufwändig und sie sind derzeit noch nicht sehr langlebig. Hier besteht also noch Forschungsbedarf.

Schema einer Brennstoffzelle



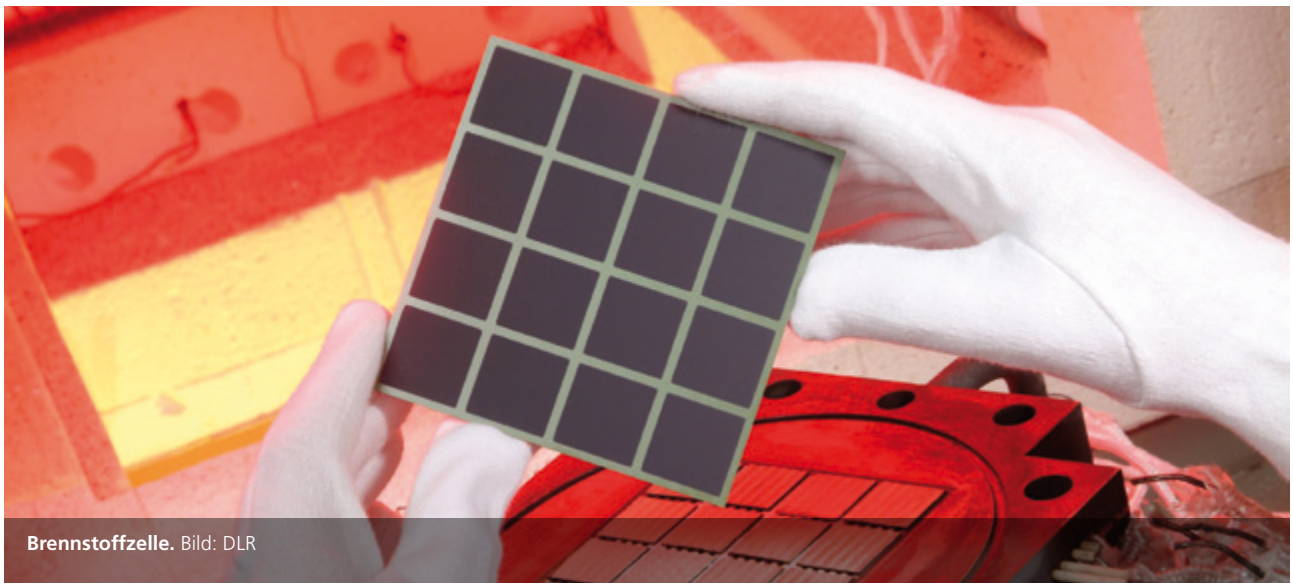
In Brennstoffzellen reagiert Wasserstoff mit Sauerstoff. Da jedoch nur einzelne Protonen die Membran durchdringen können, muss der Wasserstoff Elektronen abgeben, um reagieren zu können. Der komplizierte chemische Prozess erzeugt so Strom und das harmlose „Abfallprodukt“ Wasser.

Aufgabe 3-2:

Recherchiere, welche Anteile der Stromerzeugung in Deutschland aktuell auf welcher Energiequelle basieren (Aufteilung in Kohle, Gas, Uran, erneuerbare Energien).

Anhand der genannten Beispiele siehst du, was alles nötig ist, um den Strom zu erzeugen, der zu Hause jederzeit so selbstverständlich aus der Steckdose kommt. Im nächsten Kapitel betrachten wir die Risiken und Nebenwirkungen, die mit der Stromerzeugung verbunden sind. Und dort wartet auch ein spannendes Analysespiel auf euch.

„Tanzende Flammen“ in einem der zahlreichen DLR-Schülerlabore, wo Jugendliche selbst experimentieren und so die Forschungsprojekte des DLR und viele spannende Berufe kennenlernen können. Diese Bildfolge aus dem DLR_School_Lab in Lampoldshausen zeigt das Thema Flammenforschung. Sie dient dazu, den Verbrennungsprozess in herkömmlichen Kraftwerken zu verbessern. Denn je besser die Verbrennung gestaltet wird, desto mehr Strom kann man aus der eingesetzten Menge Kohle oder Gas „herausholen.“
Bild: DLR, K.-A.



Brennstoffzelle. Bild: DLR

Schon gewusst?

Erneuerbar und nicht erneuerbar

Lass uns abschließend nochmals ansehen, aus welchen Energiequellen Strom gewonnen werden kann. Es gibt Quellen, die praktisch unendlich, also in menschlichen Zeiträumen nicht erschöpflich sind, weil sie sich wieder auffüllen. Und es gibt andere Quellen, die durch die Nutzung verbraucht werden.

Die Quellen des ersten Typs werden als erneuerbar oder regenerativ bezeichnet. Zu ihnen zählen z. B. die Sonnenstrahlung, Windkraft, Wasserkraft, Holz oder Biogas. Auch geothermische Energie – also die Wärme aus dem Erdinneren – wird zu den erneuerbaren Energiequellen gezählt, da das Reservoir der Erde riesig ist.

Erschöpfliche Quellen sind genau genommen Energiespeicher, die wir nur einmalig nutzen können und die danach endgültig „verbraucht“ sind. Hierzu zählen Kohle, Erdgas und Erdöl sowie radioaktives Uran. Wir profitieren von den nur begrenzt auf der Erde vorhandenen Vorräten, verbrauchen sie derzeit jedoch mit großer Geschwindigkeit.

Weißt du eigentlich, warum man Kohle, Erdgas und Erdöl „fossile“ Energieträger nennt? Wie bei Fossilien, also Versteinerungen, handelt sich um die Überreste von Pflanzen und Kleinstlebewesen, die im Laufe von Millionen von Jahren durch chemische Umwandlung in den verschiedenen Erdschichten zu Kohle, Gas oder Öl wurden.

4. Zu Risiken und Nebenwirkungen …

Früher hat man neue Techniken oft einfach ausprobiert und erst im Laufe der Zeit oder durch Unfälle gemerkt, welche gefährlichen Effekte sie teilweise hatten. Durch explodierende Dampfmaschinen sind Menschen gestorben, Chemikalien haben Flüsse verseucht oder Schwefelabgase den Wald geschädigt.

Heute wissen wir viel besser, welche negativen oder sogar gefährlichen Folgen Techniken haben können. Schon in der Entwicklung und in Entscheidungen zum Einsatz von bestimmten Techniken sollten diese Risiken und Nebenwirkungen bedacht und möglichst vermieden werden. Verantwortungsvolle Forschung, Wirtschaft und Politik sollten darauf abzielen, möglichst nur Techniken zu entwickeln und anzuwenden, die für Mensch und Umwelt verträglich sind und unsere natürlichen Lebensgrundlagen nicht unwiederbringlich verbrauchen oder schädigen.

Ganzheitliche Betrachtung

Um ein vollständiges Bild zu erhalten, sollten wir versuchen, alle Nebenwirkungen zu erfassen. Es kommt nämlich nicht nur auf die Effekte beim Einsatz einer Technik an. Auch viel früher, nämlich schon bei der Herstellung eines Produkts, und auch bei seiner späteren Entsorgung können unerwünschte Folgen auftreten. Ein einfaches Beispiel: Ein Auto aus Kunststoff-Materialien spart wegen seines geringen Gewichts Sprit, was gut für die Umwelt ist. Aber es kann schwierig sein, die Materialen später wiederzuverwenden oder zu entsorgen. Das bedeutet: Um Techniken bewerten zu können, müssen wir eine „ganzheitliche" Betrachtung anstellen!

Bei einer ganzheitlichen Betrachtung gilt es, den gesamten „Lebenszyklus" einer Anlage zur Energiegewinnung zu untersuchen: also Herstellung, Nutzung und Entsorgung. Das nennt man eine „Lebenszyklusanalyse" oder auch „Ökobilanz". Solch eine Ökobilanz erfasst alle Einsätze („Inputs") und Ausstöße („Outputs") über die „Lebensphasen": vom Bau der Anlage (Gewinnung der Materialien) über den Betrieb (mit den Eingangsstoffen und den Emissionen) bis zum Abriss und zur Entsorgung. Für jede Technik – ob Kohle- oder Kernkraftwerk, Solar- oder Windkraftanlage – kann so eine Art „Steckbrief" erstellt werden.

Kohlekraftwerke erzeugen Abgase, die die Atmosphäre belasten. Bild: DLR, K.-A.

Denk mal nach!

Wie „bio" sind Biokraftstoffe?

Wenn wir „Biodiesel" oder „Bioethanol" tanken, die aus Pflanzen hergestellt werden, klingt das prima. Wir ersetzen fossile Kraftstoffe durch nachwachsende Rohstoffe und schonen dadurch das Klima. Aber: Um Energiepflanzen in großem Umfang anzubauen, werden eventuell Naturflächen geopfert oder sogar Regenwälder abgeholzt. Oder der Anbau von Getreide und anderen Lebensmitteln wird verdrängt. Und außerdem: Der Begriff „bio" klingt zwar nach ökologischer Landwirtschaft, die Felder werden aber ganz „konventionell" bewirtschaftet. Das heißt, hier kommen Pestizide und Kunstdünger zum Einsatz. Fazit: Mit der Nutzung von „Biokraftstoffen", die eigentlich besser „Agro-Kraftstoffe" genannt werden sollten, handeln wir uns möglicherweise Probleme an ganz anderer Stelle ein!

Um all diese Aspekte geht es in der folgenden Aufgabe, bei der ihr verschiedene Energietechniken untersucht. Das muss keine wissenschaftlich perfekte Analyse werden – dafür benötigen selbst Fachleute unzählige Daten! Und man müsste eigentlich auch noch andere Dinge wie die sogenannte Versorgungssicherheit betrachten: Schließlich soll der Strom ja rund um die Uhr verfügbar sein. Aber ihr schafft es mit eurem bisherigen Wissen und einigen weiteren Hintergrund-Informationen (siehe S. 21/22) bestimmt, die wichtigsten Vor- und Nachteile der verschiedenen Techniken in einem solchen „Steckbrief" gut darzustellen!

Projekt: Analysespiel

„Umwelt-Detektive"

Nun seid ihr gefordert! Stellt euch vor: Ihr seid die „Energie-Experten" einer Regierung, die über die künftige Energieversorgung entscheiden muss. Eure Meinung als Berater ist jetzt gefragt. Bildet vier Gruppen, von denen jede jeweils eine Technik zur Stromerzeugung analysiert. Recherchiert, diskutiert und erstellt einen Steckbrief. Welches sind die Vor- und Nachteile? Welche Nebenwirkungen und Risiken gibt es? Zu welchen Problemen und offenen Fragen sollte noch mehr Forschung betrieben werden? Was müsste verbessert werden? Empfehlt ihr, dass die Technik, die ihr untersucht habt, überhaupt eingesetzt wird? Besprecht das alles in eurer Gruppe, recherchiert wie „Umwelt-Detektive" und bildet euch eine Meinung. Anschließend präsentieren die vier Gruppen nacheinander allen Mitschülern die Ergebnisse und ihr diskutiert sie alle gemeinsam.

Gruppen:

Per Los oder nach freier Wahl wird entschieden, wer in welche Gruppe geht:

- **Gruppe 1: Kohlekraftwerk**
- **Gruppe 2: Kernkraftwerk**
- **Gruppe 3: Fotovoltaikanlage**
- **Gruppe 4: Windkraftanlage vor der Küste**

Hier noch einige wichtige Fragen, die ihr Punkt für Punkt untersuchen könnt, um die verschiedenen Aspekte für den „Steckbrief" zu analysieren. Dabei taucht übrigens häufiger der Begriff „Effekte" auf – und damit ist immer gemeint: Umweltbelastungen, Ressourcenverbrauch und Gefahren für die Gesundheit. Denn das sind die wichtigen Auswirkungen und Folgen, die man bei einer Entscheidung über künftige Energietechniken berücksichtigen muss.

Die Fragen zum „Steckbrief":

Phase 1 – Herstellung:

- **Welche Materialien werden für den Bau einer Anlage benötigt?**
- **Wie viel Energie wird für die Gewinnung der Materialien benötigt?**
- **Welche weiteren Effekte hat die Gewinnung der Materialien?**

Phase 2 – Nutzung/Betrieb:

- **Welche „Eingangsstoffe" werden für den Betrieb der Anlage benötigt – sowohl Energieträger als auch Betriebsmittel wie Kühlwasser?**
- **Welche Effekte hat die Gewinnung der Eingangsstoffe und wie viel Energie wird hierfür benötigt?**
- **Woher kommen die Eingangsstoffe und wie sicher und zuverlässig stehen sie zur Verfügung?**
- **Welche Vorkehrungen müssen getroffen werden, um einen Ausfall der Eingangsstoffe aufzufangen?**
- **Welche Emissionen treten beim Betrieb der Anlage auf?**
- **Welche Abfälle fallen an?**
- **Wie werden die Emissionen und Abfälle entsorgt und welche Effekte hat dies?**
- **Welche Risiken und Gefahren bestehen beim Betrieb für Umwelt und Menschen?**

Phase 3 – Rückbau und Entsorgung:

- **Wie lange wird die Anlage betrieben?**
- **Welche Materialien fallen beim Abbau der Anlage an und wie werden diese entsorgt?**

Raps ist eine der Pflanzen, die zu Biosprit verarbeitet werden. Aber was genau heißt hier „bio"? Bild: DLR, K.-A.

Bevor ihr nun startet, solltet ihr noch die folgenden Hintergrund-Informationen lesen …

Hintergrund-Informationen:

Zu Phase 1 – Herstellung:

In der Phase der Herstellung sind vor allem der Energieaufwand und die Nebenwirkungen bei der Gewinnung von Materialien zu beachten. Die Gewinnung der Materialien, beispielsweise für den Bau eines Kraftwerks, kann aufwändig sein und oft zumindest regional deutliche Nebenwirkungen haben. Zudem können Materialien auch giftig oder gefährlich sein. In der Datenbank „ProBas" des Umweltbundesamtes sind tausende von Datensätzen zur Gewinnung von Materialien zu finden.

Für den Bau von Heizungen, Kraftwerken und Verkehrsmitteln aller Art benötigt man vor allem Metalle. Im Bergbau werden Metall-Erze gewonnen, aus denen in Hochöfen schließlich das eigentliche Metall erzeugt wird. Aufwand und Nebenwirkungen unterscheiden sich je nach Art des Metalls. Speziell Aluminium benötigt viel Energie in der Herstellung: Während man zur Herstellung eines Kilos Stahl etwa 25 MJ benötigt, sind es für ein Kilo Aluminium ca. 200 MJ. Metall-Erze sind endliche Ressourcen, aber oft wird auch wiederverwendetes Metall eingesetzt.

Eine zweite Gruppe verwendeter Materialien sind Kunststoffe: vor allem in Fahrzeugen, aber auch in Windkraftanlagen. Kunststoffe werden unter Zugabe verschiedener weiterer Chemikalien aus Erdöl erzeugt. Bei der Herstellung ist z. B. auf die Vermeidung giftiger Substanzen zu achten. Der Energieaufwand je Volumen ist geringer als bei Metallen, aber meist ist auch die Nutzungsdauer geringer. Ein besonderer Vorteil von Kunststoffen speziell im Verkehrsbereich ist das geringe Gewicht, das den Energiebedarf im Betrieb senkt.

Halbleiter wie Silizium, die in der Fotovoltaik eingesetzt werden, benötigen bei der Herstellung sehr viel Energie – fast 500 MJ/kg – jedoch sind die benötigten Mengen eher gering. Eine Besonderheit mancher Fotovoltaik-Materialien ist die Verwendung giftiger Eingangsstoffe. Zellen auf der Basis von Cadmiumtellurid verwenden das giftige Element Cadmium und deshalb ist der Herstellungsprozess nicht ganz ungefährlich. Diese Materialien sind jedoch nicht verboten, da das Material in der fertigen Zelle in Form einer ungiftigen Verbindung vorliegt.

Zu Phase 2 – Nutzung/Betrieb:

Da Energieanlagen meist über Jahrzehnte genutzt werden, ist die Nutzungsphase besonders wichtig. In dieser Phase sind zu betrachten: die verwendeten Eingangsstoffe wie z. B. Kohle und Betriebsstoffe wie z. B. Kühlwasser, die anfallenden Emissionen und Abfallstoffe und schließlich die Risiken des Betriebs und der Versorgung.

Bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen – also fossilen Energieträgern wie Kohle, Öl, Gas oder auch Biomasse – werden das klimaschädliche Gas Kohlendioxid (CO_2) und in geringen Mengen auch Ruß, Staub, Stickoxide und Kohlenmonoxid erzeugt. Mit einer modernen Verbrennungs- und Filtertechnik lassen sich Ruß usw. recht weit reduzieren (siehe z. B. DLR-Blaubrenner in Kapitel 1). Ein „Sonderfall" ist die Verbrennung von Holz oder anderer Biomasse: Hier wird nur CO_2 freigesetzt, das die Pflanzen zuvor beim Wachsen aus der Atmosphäre aufgenommen haben. Die Gewinnung der Biomasse ist jedoch mit weiteren CO_2-Emissionen verbunden.

Die Verbrennung fossiler Energieträger führt unweigerlich zu einer „Deponierung" von zusätzlichem CO_2 in der Atmosphäre und dies ist das zentrale Problem. CO_2 verstärkt die Erwärmung unserer Atmosphäre durch den sogenannten Treibhauseffekt. Die Verbren-

Denk mal nach!

Kennst du die weltgrößte Deponie? Du lebst in ihr! Und du atmest sie sogar ein! Es ist die Atmosphäre. Die Lufthülle unseres Planeten nimmt nämlich gigantische Mengen an Kohlendioxid auf – einem unsichtbaren und geruchsfreien Gas, das zur Erwärmung des Klimas auf der Erde beiträgt. Vor der Industrialisierung im 18. Jahrhundert betrug der Anteil an CO_2 in der Luft 0,29 Promille. Durch die Verbrennung fossiler Energieträger ist er bis heute auf 0,39 Promille angestiegen. Das klingt nach geringen Mengen – aber die Veränderung ist groß! Eine globale Erwärmung ist bereits messbar. Klimaforscher schätzen, dass der Klimaeffekt bei mehr als 0,45 Promille so groß wird, dass er weltweit schwerwiegende Folgen haben wird. Mensch und Natur können durch Dürren, aber auch durch Überflutungen leiden, Stürme können große Schäden anrichten und ein steigender Meeresspiegel kann weltweit Küstenstädte gefährden. Daher versuchen die Staaten der Welt in Klimaschutzverhandlungen, sich auf eine Begrenzung der Emissionen zu einigen.

nung fossiler Energieträger kann das Klimagefüge der Erde so sehr verändern, dass unsere Lebensgrundlagen gefährdet sind.

Die Nutzung des Energieträgers Uran zur Stromerzeugung in Kernkraftwerken hat deutlich andere Nebenwirkungen. Kohlendioxid wird nur bei Abbau, Transport und Verarbeitung von Uran emittiert, nicht aber bei der Stromerzeugung selbst. Jedoch muss die Handhabung des radioaktiven Brennstoffs über die gesamte Nutzungskette unter sehr hohen Sicherheitsstandards erfolgen, damit im Betrieb keine Radioaktivität austritt und Menschen oder die Umwelt schädigt. Darüber hinaus bergen Kernkraftwerke aber eben auch das Risiko schwerer Störfälle, die riesige Ausmaße annehmen können – bis hin zum **GAU**, dem **G**rößten **A**nzunehmenden **U**nfall. Die Unglücke von Fukushima und Tschernobyl haben dies leider auf dramatische Weise bestätigt. Schließlich stellen die „abgebrannten" Kernbrennstäbe gefährlichen, hoch radioaktiven Müll dar, der über Jahrtausende strahlt und für den bislang weltweit keine sichere Endlagerung zur Verfügung steht.

Erneuerbare Energiequellen wie Wind- und Wasserkraft, Fotovoltaik oder solarthermische Kraftwerke und Geothermie zeichnen sich durch praktisch unerschöpfliche Energiequellen aus. Zugleich setzt ihre Nutzung weder Kohlendioxid noch Radioaktivität frei.

Dennoch sind auch sie nicht frei von Nebenwirkungen: Windkraftanlagen können durch Schall und Schattenwurf Anwohner oder – wenn sie vor der Küste auf See installiert sind – Meerestiere stören und Vögel gefährden. Wasserkraftanlagen beeinflussen den Lebensraum von Fischen. Solarthermische Kraftwerke arbeiten effizienter, wenn sie Kühlwasser zur Verfügung haben, man errichtet sie aber bevorzugt in der Wüste. Geothermische Kraftwerke können möglicherweise kleine Erdbeben auslösen oder auch radioaktive Substanzen aus der Tiefe an die Oberfläche befördern. Diese Nebenwirkungen sind im Vergleich jedoch relativ gering und oft auch vermeidbar. Hier zeigt sich ein wesentlicher Vorteil der erneuerbaren Energiequellen. Ein viel diskutierter Nachteil ist, dass sie nicht kontinuierlich Strom zur Verfügung stellen können, da der Wind nicht immer weht und die Sonne nicht immer scheint. Also sind Energiespeicher und neue Stromleitungen für eine großräumige Vernetzung von Regionen nötig, um Schwankungen auszugleichen. Ein weiteres Problem: Alle erneuerbaren Energien weisen geringe Energiedichten auf, sodass die Anlagen meist viel Platz beanspruchen. Ein Vorteil der Erneuerbaren ist wiederum, dass sie überwiegend in Deutschland zur Verfügung stehen, sodass keine Risiken des Imports bestehen.

Zu Phase 3 – Rückbau und Entsorgung:

Der Aufwand und die Risiken beim Rückbau von Energieanlagen werden weitgehend von den verbauten Materialien bestimmt. Wie schon bei der Herstellung erwähnt, lassen sich Metalle gut wiederverwenden, auch Betonschutt kann als Baumaterial dienen, aber Kunststoffe können meist nur noch in speziellen Anlagen verbrannt werden (und so wenigstens noch Energie liefern).

Ein kritisches Beispiel ist die Entsorgung von Bauteilen mit giftigen Substanzen wie Fotovoltaikmodulen aus Cadmiumtellurid. Hier muss eine sachgerechte Entsorgung sichergestellt sein. Ein zweites kritisches Beispiel ist der Rückbau von Kernkraftwerken: Durch den Betrieb des Reaktors wird nämlich recht viel Beton und Metall schwach radioaktiv, sodass diese Stoffe entsprechend sicher und über lange Zeit deponiert werden müssen. Die Frage der Endlagerung der hoch radioaktiven Brennelemente wurde ja schon thematisiert, da sie sich bereits während der Betriebsphase stellt.

Nach diesen Erläuterungen solltet ihr nun gut für das „Analysespiel" gerüstet sein. Macht euch jetzt also an den „Steckbrief" und fahndet – gerne auch mit Hilfe des Internets und anderer Quellen – nach den Vor- und Nachteilen der verschiedenen Stromerzeugungstechniken!

Interessant!

It's payback time

Für Anlagen, die erneuerbare Energiequellen nutzen, gilt eine Besonderheit: Sie können im Laufe ihres Betriebs deutlich mehr Energie gewinnen, als zu ihrer Herstellung nötig war. Die Zeit, die nötig ist, um den Energieaufwand der Herstellung auszugleichen, wird „energetische Amortisationszeit" genannt. Je kürzer diese Zeit, desto größer ist der Netto-Nutzen der Anlage über ihre Lebensdauer. Kraftwerke, die fossile Energieträger oder Uran als Energiequelle nutzen, können den Energieaufwand zu ihrer Herstellung nie ausgleichen, da sie ständig neue Energiespeicher (Kohle, Gas, Uran) „anzapfen".

5. Da geht sie hin – so verwenden wir Energie

In den bisherigen Kapiteln hast du viel über die Herkunft von nutzbarer Energie, über Techniken der Stromerzeugung und ihre Vor- und Nachteile gelernt. Jetzt betrachten wir, wofür diese Energie eingesetzt wird.

Die ursprünglich verfügbare Energie in der Form von Kohle, Gas oder Uran, aber auch Sonnen- oder Windenergie wird übrigens „Primärenergie" genannt. Der Anteil, der hiervon beim Endverbraucher ankommt, z. B. in Form von Strom, heißt „Endenergie" – und die Energie für den eigentlichen Zweck der Nutzung „Nutzenergie". Zur Nutzenergie zählen zum Beispiel Licht, Raumwärme oder Bewegung (etwa im Straßenverkehr).

In Deutschland setzen wir jährlich 12.500 Petajoule (PJ) an Primärenergie ein, um Nutzenergie zu erhalten. Davon dienen etwa 5.500 PJ der Stromerzeugung: Wir gewinnen daraus etwa 2.000 PJ an Strom, der Rest sind Umwandlungsverluste in Kraftwerken, der Eigenbedarf der Kraftwerke sowie Verluste im Stromnetz. 2.500 PJ an Mineralöl werden als Kraftstoffe verwendet und 1.000 PJ zur Wärmegewinnung (Heizöl). Weitere 3.500 PJ aus anderen Primärenergieträgern (vor allem Erdgas, aber auch Kohle, Holz und Sonnenenergie) werden ebenfalls in Form von Wärme eingesetzt. **Zusammengefasst: Die Stromerzeugung benötigt den größten Anteil an Primärenergie (ca. 45%), es folgen die Wärme mit ca. 35% und der Verkehr mit ca. 20 %.** Zusätzlich werden Erdöl und Erdgas übrigens im Umfang von ca. 1.000 PJ auch stofflich genutzt – vor allem zur Kunststoffherstellung.

Aufgabe 5-1:

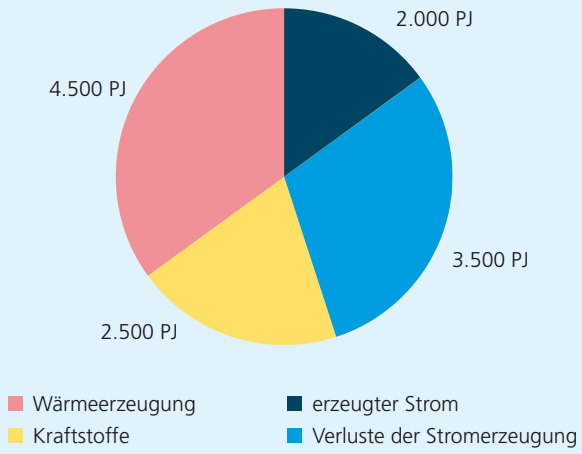
Die Zahlenangaben in Petajoule sind ziemlich abstrakt und man kann sich nicht recht vorstellen, wie viel dies ist. Rechne mal aus, wie viele Tonnen Kohle (= 1.000 Kilogramm) 5.500 PJ an Energie liefern und wie viele Eisenbahnwaggons à 60 Tonnen dies wären. Und wie viele Kubikmeter (= 1.000 Liter) Erdöl liefern 2.500 PJ? Tipp: Den Heizwert von Steinkohle findest du in der Aufgabe 3-1 auf Seite 12 und ein Liter Erdöl liefert etwa 36 MJ.

Über Hochspannungsnetze und weitere Leitungen kommt der Strom bei uns zu Hause an. Bild: DLR, K.-A.

Schweizer Forscher haben errechnet, dass man den Energieverbrauch in einem Land wie Deutschland ohne Einbußen an Lebensqualität um etwa 60% reduzieren könnte. Wie das möglich wäre? **Wir müssten nur konsequent die heute schon verfügbare Technik einsetzen, die uns mit weniger Energie den gleichen Nutzen bieten würde!** Zunächst einmal müssten viele Häuser gedämmt werden, wodurch deren Wärmebedarf auf ein Viertel oder noch weniger sinken kann. Es gibt sogar schon gut gedämmte Häuser, die über den Sommer hinweg so viel Sonnenwärme gewinnen und speichern, dass sie damit im Winter ihren gesamten Heizbedarf decken!

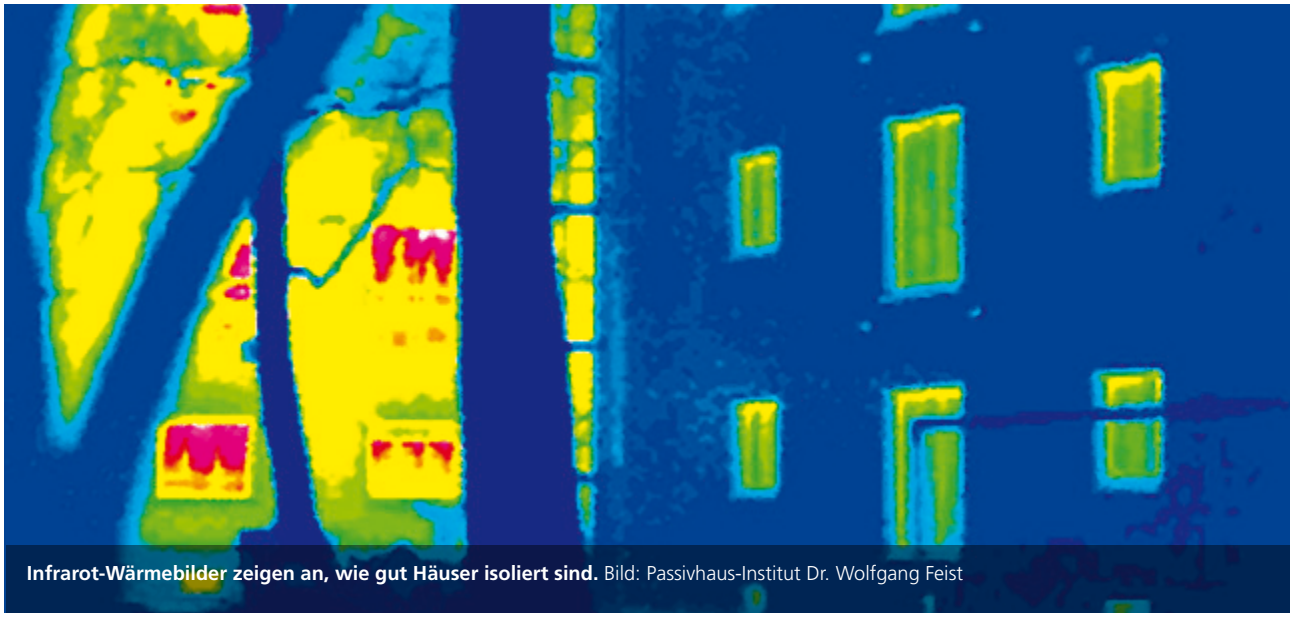
Weiterhin müssten überall nur noch sparsame Elektrogeräte eingesetzt werden – vom Kühlschrank bis zum Computer. Auch hier sind nämlich noch gewaltige Einsparungen möglich – oft kann der Strombedarf mehr als halbiert werden! Natürlich müssten auch Autos ersetzt werden, die viel Sprit verbrauchen. Und es müsste die wohl unsinnigste Form der Energieverschwendung beendet werden: Elektrogeräte, die im sogenannten Stand-by-Betrieb laufen. Ein solches Gerät – sei es ein Fernseher oder eine Stereoanlage – kann permanent bis zu 20 Watt oder mehr verbrauchen, ohne dass wir es nutzen! Und das 24 Stunden am Tag, 365 Tage im Jahr! **Das Umweltbundesamt hat ausgerechnet, dass in Deutschland zwei große Kraftwerke von je 800 Megawatt Leistung allein für die Deckung von Stand-by-Verlusten nötig sind!** Seit 2010 gelten für bestimmte Geräte Höchstgrenzen für den Stand-by-Verbrauch.

Einsatz von Primärenergie in Deutschland



Aufgabe 5-2:

Glühlampen verbrauchen im Vergleich zu anderen Lichttechniken recht viel Strom. Berechne mal, um wie viele Megawatt der deutsche Strombedarf sinkt, wenn alle Glühlampen durch hoch effiziente LED-Lampen ersetzt werden, die 85% weniger Strom benötigen. Nimm hierbei an, dass für jeden Bürger in Deutschland permanent 1 Glühlampe à 40 Watt Leistung leuchtet. Wie viele Kraftwerke von 800 MW Leistung könnte man einsparen? Welche Folgen hat es, wenn wir weniger Kraftwerke benötigen?



Infrarot-Wärmebilder zeigen an, wie gut Häuser isoliert sind. Bild: Passivhaus-Institut Dr. Wolfgang Feist

Um die Effizienz von Elektrogeräten, also den Stromverbrauch je Nutzen, für die Kunden sichtbar zu machen, wurden in Europa sogenannte „Energie-Label“ eingeführt. Waschmaschinen, Kühlschränke, Wäschetrockner und seit kurzem z. B. auch Fernseher werden nach ihren Verbrauchswerten in Klassen eingeteilt und mit Aufklebern gekennzeichnet. Buchstaben und Farben von A+++/grün (geringster Verbrauch) bis D/rot (höchster Verbrauch) zeigen, zu welcher Klasse das Gerät gehört. So ist schnell erkennbar, ob es sich um ein energieeffizientes Gerät handelt, das entsprechend geringere Betriebskosten hat. Eine ähnliche Kennzeichnung gibt es für Häuser und inzwischen auch für Autos, wobei es hier natürlich um den Wärme- bzw. um den Spritverbrauch geht.

Aufgabe 5-3:

Wie Energie bei dir zu Hause eingesetzt wird

Die Stromfresser-Fahndung

Wir beginnen mit elektrischen Geräten. Kennst du die „Stromfresser“ in eurem Haus? Schau mal zu Hause nach oder frag deine Eltern:

a) Welches sind die 5 Geräte mit der höchsten elektrischen Leistung? Wie hoch ist ihre Leistung und wie viele Stunden sind sie pro Jahr etwa in Betrieb?

b) Nutzt ihr Geräte, die eine Kennzeichnung für ihren Energieverbrauch („Energie-Label“) haben, z. B. der Kühlschrank oder die Waschmaschine?

c) Findest du Geräte, die im Stand-by-Betrieb laufen? Kannst du herausfinden, wie groß ihre Leistungsaufnahme im Stand-by ist?

Pro-Kopf-Verbrauch von Strom, Wärme und Kraftstoff

Und wie groß ist nun der Pro-Kopf-Verbrauch in eurem Haushalt, was Strom, Wärme und Kraftstoff – also alle wichtigen Energieformen – betrifft? Recherchiere oder frag deine Eltern:

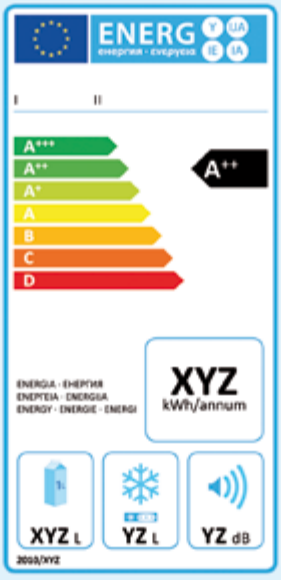
d) Wie hoch ist euer jährlicher Stromverbrauch pro Person – also geteilt durch die Anzahl der Personen?

e) Wie hoch ist euer jährlicher Heizwärmebedarf pro Person in Kilowattstunden, Litern Öl oder Kubikmetern Erdgas? (Dies kann z. B. auf der Heizkostenabrechnung des Vermieters aufgeführt sein.)

f) Und wie viel Benzin oder Diesel benötigen alle Autos eurer Familie zusammen im Jahr – wiederum umgerechnet pro Person?

Schon gewusst?

Wie bei der Erzeugung von Strom muss man auch bei seiner Nutzung auf Nebenwirkungen achten. Beispielsweise enthalten Energiesparlampen, die rund 80% weniger Strom als Glühlampen benötigen, geringe Mengen an giftigem Quecksilber. Daher dürfen Energiesparlampen nicht in den Hausmüll wandern, sondern müssen separat entsorgt werden. Auch wenn eine Energiesparlampe zerbricht, sollte man die Bruchstücke sofort vorsichtig in eine Tüte packen und zu einer Sammelstelle bringen. Das gilt wie gesagt für Energiesparlampen, die man nicht mit LEDs verwechseln darf. Infos: http://www.lightcycle.de



Energie-Label (Muster). Bild: Europäische Kommission

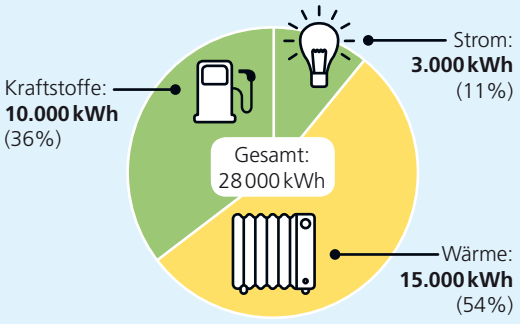
Zu den Punkten a) bis c) könnt ihr anschließend in der Klasse zusammentragen, welche Geräte ihr gefunden habt und wie sehr sie sich unterscheiden.

Die Daten von d) bis f) schreibst du ohne Namen auf einen Zettel. Euer Lehrer sammelt die Daten für die ganze Klasse und gemeinsam macht ihr eine Auswertung des Verbrauchs. Wenn die Werte einheitlich z. B. auf Kilowattstunden umgerechnet werden, könnt ihr eure eigene Version der unten gezeigten Grafik zeichnen.

Natürlich musst du dir bewusst sein, dass dies nur der direkte Verbrauch zu Hause ist. Nicht berücksichtigt sind dabei der Strom- und Wärmeverbrauch in der Schule bzw. bei der Arbeit sowie der Energiebedarf für Bus, Bahn und Flugzeug. Weiterhin fehlt hier die für die Herstellung von Lebensmitteln, Kleidung und anderen Produkten benötigte Energie. Diese in Produkten „versteckte" Energie nennt man auch „Graue Energie".

Energieverbrauch im Privathaushalt

Jährlicher Energieverbrauch eines Zwei-Personen-Haushalts. Die meiste Energie wird für Wärme benötigt.



Quelle:
Agentur für Erneuerbare Energien
Stand: 2/2008

Schon gewusst?

Seit 2009 müssen in öffentlichen Gebäuden wie Rathäusern oder Schulen Energieausweise sichtbar ausgehängt sein, die den Energiebedarf des Gebäudes zeigen. Wo hängt der Energieausweis deiner Schule und was zeigt er dir? Ihr könnt ja mal „Akteneinsicht" fordern.

Der Energieverbrauch ist ein Spiegelbild unseres Lebensstils – sowohl was die Nutzungsarten angeht als auch was die Menge betrifft. Es ist sehr aufschlussreich zu betrachten, wie hoch der durchschnittliche Energieverbrauch je Einwohner in verschiedenen Ländern ist. Für das Jahr 2006 finden sich folgende Zahlen zum jährlichen Primärenergieverbrauch je Einwohner:

Vereinigte Arabische Emirate	609 GJ
Singapur	503 GJ
USA	353 GJ
Deutschland	187 GJ
Polen	106 GJ
China	59 GJ
Marokko	16 GJ
Bangladesch	5 GJ

Die Unterschiede sind riesig: Ein Einwohner Singapurs verbraucht statistisch 100 Mal so viel Energie wie ein Einwohner von Bangladesch! Und ein Amerikaner verbraucht immerhin fast doppelt so viel wie ein Deutscher. Diese Zahlen haben natürlich auch mit den klimatischen Bedingungen in den einzelnen Ländern zu tun. Sie bilden aber trotzdem vor allem den Grad der Industrialisierung und die Intensität des Konsums und damit auch unterschiedliche Lebensgewohnheiten ab.

Denk mal nach!

Viele Menschen halten diese großen Unterschiede im Energieverbrauch für ungerecht. Denn der Energieverbrauch beruht weitgehend auf fossilen Quellen, sodass er zwei Konsequenzen hat: Erstens werden endliche Ressourcen der Erde unwiederbringlich verbraucht. Zweitens trägt das erzeugte Kohlendioxid zum Klimawandel bei. Warum aber sollen die Bewohner mancher Länder viel mehr verbrauchen und die Umwelt viel stärker belasten dürfen als andere? Diese große Frage der sozialen Gerechtigkeit spielt auch in internationalen Klimaschutzverhandlungen eine wichtige Rolle. Die sogenannten Entwicklungsländer argumentieren, dass die Industrieländer bereits sehr viel Schaden angerichtet haben, sodass sie nun endlich ihre Energieversorgung radikal umweltfreundlich umgestalten müssten. Viele Entwicklungsländer möchten jedoch selbst Öl, Kohle und Gas nutzen, um hieraus wirtschaftliche Vorteile ziehen zu können. Was meinst du: Warum sollten die reicheren Länder Vorbild sein beim Umbau ihres Energiesystems? Und warum sollten sich auch die ärmeren Staaten umweltfreundlich verhalten? Wie könnte die Weltgemeinschaft hier eine faire Lösung finden?

6. Der Preis der Energie

Ob an der Tankstelle oder beim Stromversorger: Für Energie müssen wir bezahlen. Immer wieder hört man dabei die Meinung, dass der Preis zu hoch ist. Aber mal abgesehen davon, dass vor den Ferien plötzlich die Benzinpreise nach oben klettern und wir uns auch manchmal über die eine oder andere Strompreiserhöhung wundern: Welcher Preis ist für Energie denn eigentlich angemessen? Aus welchen Anteilen setzt er sich zusammen? Gibt es vielleicht sogar Kosten, die nicht in die Preise eingehen? Und wenn ja: Wer zahlt dafür am Ende die Rechnung?

Als Beispiel betrachten wir mal den Strom aus einem Kohlekraftwerk über die gesamte Erzeugungskette:

In Kohleminen holen Arbeiter mit Maschinen die Kohle aus ihren Lagerstätten heraus. Es folgt ein Transport mit Schiffen oder Zügen zu den Kraftwerken – natürlich mit entsprechenden Kosten. Der Preis der Kohle enthält also die Kosten der technischen Gewinnung und des Transports.

Das Kohlekraftwerk, in dem aus der Kohle Strom gewonnen wird, wurde mit einem großen Aufwand an Arbeit und Material gebaut. Diese Investitionen schlägt der Betreiber über die Laufzeit auf den Preis auf. Und auch der Betrieb verursacht natürlich Kosten z. B. in Form von Löhnen für die Angestellten. Abfälle – z. B. aus der Rauchgasreinigung – müssen sachgerecht entsorgt werden, was den Betreiber ebenfalls Geld kostet.

Die „Entsorgung" des CO_2 in der Atmosphäre ist allerdings kostenlos (erst seit wenigen Jahren wird von wenigen Staaten eine Art von Gebühr verlangt, durch die CO_2-Emissionen reduziert werden sollen).

Zuletzt muss der erzeugte Strom über kilometerlange Leitungen zu dir nach Hause transportiert werden – und auch diese Leitungen mussten gebaut und müssen unterhalten werden. Aus all diesen Posten ergeben sich die Bereitstellungskosten des Stroms, zu denen vom Staat noch verschiedene Steuern und Abgaben aufgeschlagen werden.

Viele Großstädte verwandeln sich nachts in ein Lichtermeer – hier Berlin. Bild: istockphoto

Insgesamt setzen sich die Stromkosten also folgendermaßen zusammen:

Brennstoffgewinnung:
Maschinen, Löhne, Transport, Abgaben
– aber nicht der Ressourcenverbrauch

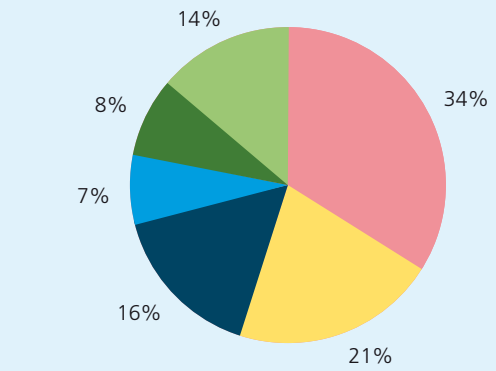
Stromerzeugung:
Maschinen, Löhne, Betriebsstoffe, Abfallentsorgung
– aber nicht die Nutzung der Atmosphäre als „CO_2-Deponie“

Stromverteilung:
Leitungsnetz, Löhne

Staat:
Steuern und Abgaben

Weitere Beiträge zu den Kosten entlang der gesamten Kette sind etwa Versicherungen, Zinsen für Kredite sowie Gewinne für die beteiligten Unternehmen, die ja nicht nur ihre Kosten decken wollen. Das folgende Schaubild zeigt die Zusammensetzung des Strompreises in Deutschland 2011.

Strompreis – Zusammensetzung 2011



Quelle: BDEW

Aufgabe 6-1:

Stell dir vor, du würdest eine Windkraftanlage aufbauen und betreiben. Du investierst dabei anfangs eine Million Euro in die Anlage, die 1 Megawatt elektrische Leistung erbringt. Dieses Geld hast du dir für eine feste jährliche Zinszahlung von 40.000 Euro für 20 Jahre von der Bank geliehen. Jährlich musst du nun 50.000 Euro des Kredits tilgen. Die Anlage liefert im Jahr 1.500 Megawattstunden Strom und kostet 20.000 Euro an Wartung. Welchen Preis musst du für eine Kilowattstunde Strom verlangen, um aus dem Ertrag Zinsen und Tilgung an die Bank zu zahlen? Wie viel musst du für eine Kilowattstunde erhalten, wenn du zudem für mögliche Reparaturen eine jährliche Rücklage in Höhe von 50.000 Euro einplanst? Beachte: Die berechneten Stromkosten sind nur deine Erzeugungskosten. Für den Endverbraucher kommen noch dein erwarteter Gewinn sowie Transportkosten und Steuern hinzu.

Versteckte Kosten

Eine Besonderheit im Energiesektor sind staatliche Subventionen. Viele Staaten unterstützen bestimmte Energieträger oder Erzeugungstechniken aus politischen Gründen. So subventionieren beispielsweise manche Länder fossile Energieträger wie Kohle, um so den Strompreis niedrig zu halten – etwa weil damit Arbeitsplätze im eigenen Land verbunden sind. Da diese Subventionen aber über Steuern finanziert werden, zahlt letztlich doch wieder die Bevölkerung den Preis. Auf besondere Weise wird die Kernenergie subventioniert. Denn bei großen Störfällen zahlt der Staat – soweit überhaupt möglich. Keine Versicherung der Welt ist bereit, das Risiko einer atomaren Katastrophe zu versichern, sodass Staaten wie Russland oder Japan die gigantischen Schäden aus den Reaktorunglücken von Tschernobyl bzw. Fukushima übernehmen müssen. Am Ende zahlen also die Bürger – und zwar nicht nur den Preis für den Strom selbst.

Ein zweiter Beitrag sind die „wirklichen" Kosten für die Entnahme von endlichen Ressourcen. In vielen Fällen verlangen die Staaten zwar Gebühren für die Förderung von Rohstoffen auf ihrem Territorium – sogenannte Konzessionsabgaben. Diese sind jedoch meist niedrig – und das Geld wird oft gleich wieder für ganz andere Dinge ausgegeben.

Ein dritter Kostenbeitrag, der noch nicht im Preis enthalten ist, sind die **Kosten für die „Entsorgung" von CO_2** – etwa in der Atmosphäre. Auf jeder Mülldeponie muss man Gebühren zahlen, wenn man dort besonderen Abfall entsorgen möchte. Nur die große „Mülldeponie" unserer Atmosphäre gibt's gratis. Müsste es für die „Deponierung" von CO_2 in der Atmosphäre nicht auch eine Art Gebühr geben? Mit dem steigenden CO_2-Gehalt in unserer Lufthülle beeinflussen wir schließlich das Klima. Und zwar mit Folgen, die richtig teuer werden können. Denkt hier nur mal an schwere Unwetter, die teilweise enorme Schäden verursachen, oder landwirtschaftliche Regionen, die vertrocknen. Aber wie kann man das beziffern? Und wer sollte hier an wen wie viel Geld zahlen?

Ein englischer Wissenschaftler hat 2006 in einer Studie versucht, das alles einmal zu berechnen: Sir Nicholas Stern kam zu dem Ergebnis, dass ohne Klimaschutzmaßnahmen in einigen Jahrzehnten jährliche Schäden in Höhe von 5% des Sozialprodukts der Welt entstehen würden. Dies könnten wir vermeiden, wenn ab sofort jährlich etwa 1% des Sozialprodukts der Welt in Klimaschutzmaßnahmen investiert würde. Hiermit hat er zwar keine echte „Deponiegebühr" für CO_2 in der Atmosphäre ermittelt, aber dennoch eindrucksvoll verdeutlicht, dass es sich auch wirtschaftlich lohnt, Energie klimaschonend bereitzustellen und zu nutzen. Ebenfalls 2006 hat das DLR diverse Studien zu den sogenannten „externen Kosten" der CO_2-Emissionen ausgewertet. **Unter externen Kosten versteht man Kosten, die zwar verursacht, aber vom Verursacher nicht bezahlt werden.** Die Experten empfehlen, einen Wert von 70 Euro je Tonne CO_2 als mittleren Schätzwert für die externen Kosten von CO_2-Emissionen anzunehmen.

Aufgabe 6-2:

Berechne einmal, um wie viele Cent der Erzeugungspreis einer Kilowattstunde Strom aus den fossilen Energieträgern Steinkohle und Erdgas jeweils teurer würde, wenn die Kraftwerksbetreiber eine „Deponiegebühr" von 70 Euro je Tonne CO_2 bezahlen müssten. Tipp: Nimm hierzu an, dass die Erzeugung von 1 kWh Strom in einem typischen Steinkohlekraftwerk zur Emission von 1 kg CO_2 führt; bei einem Erdgas-GuD-Kraftwerk sind es 450 g CO_2.

Ihr seht, wie kompliziert es ist, die „echten" Kosten von Energie zu ermitteln. Und dennoch: Wenn man verschiedene Energietechniken vergleichen und beurteilen will, dürfen all diese wichtigen Aspekte nicht unbeachtet bleiben. Der Preis, den wir am Ende zahlen müssen, sieht jedenfalls ganz anders aus, wenn man auch an die langfristigen Folgen denkt. Ein solches Umdenken in Richtung einer nachhaltigen Energiepolitik hat gerade erst eingesetzt.

Denk mal nach!

Welchen fairen Preis müsste man für das unwiederbringliche Verbrauchen von Erdöl verlangen? Wer sollte hierfür Geld erhalten? Und wofür müsste dieses Geld eigentlich verwendet werden?

**Leitungen müssen gewartet und repariert werden.
Auch diese Kosten sind im Strompreis enthalten.** Bild: DLR, K.-A.

7. Das geht noch besser! Die Energieforschung bringt‘s

Techniken zur Bereitstellung und Nutzung von Energie wurden schon immer durch Erforschen und Ausprobieren entwickelt. Das begann mit Holzöfen, führte über Windmühlen und Dampfmaschinen hin zum Automotor, zum Gas- und Dampfkraftwerk, zur Fotovoltaikanlage und zur LED-Lampe. Das Ziel der Forschung war und ist, verfügbare Energiequellen besser zu nutzen, neue Energiequellen zu erschließen und aus der Energie den größten Nutzen zu gewinnen. Heute sind dabei Kostensenkung, Sicherheit und Umweltschutz immer ganz zentrale Aspekte.

Wir wissen heute recht gut, welche Umweltfolgen unsere Energiegewinnung hat und was wir erreichen müssen, um diese Folgen zu vermeiden. Zudem ist heute der Preis der endlichen fossilen Energieträger kaum vorherzusagen.

Damit ist Energieforschung in öffentlichen Forschungseinrichtungen und Unternehmen jetzt und in der Zukunft von großer Wichtigkeit. Sie muss ganz wesentlich dazu beitragen, dass uns künftig bezahlbare Energie mit geringen Risiken und deutlich geringeren Belastungen für Mensch und Natur zur Verfügung steht. Und dass wir effiziente Nutzungstechniken zur Verfügung haben, die möglichst wenig Energie benötigen.

Da die Energieforschung ein sehr weites Feld umfasst, verschaffen wir uns zunächst einmal einen Überblick, bevor wir einige Forschungsthemen näher ansehen.

Die folgende stichwortartige Liste zeigt dir, an welchen vielfältigen Themen gerade in der Energieforschung gearbeitet wird – sei es in Unternehmen, Forschungseinrichtungen oder an Hochschulen:

Auch an den Erneuerbaren Energien muss noch viel geforscht werden. Hier die Spiegel der großen Testanlage in Almería (Spanien). Sie bündeln das Licht der Sonne und werfen es auf die Spitze eines Turms, wo ein Receiver – also Empfänger – die hohen Temperaturen ins Innere des Solar-Kraftwerks leitet. Bild: DLR, Markus-Steur.de

Themen der Energieforschung

Gewinnung von Energie aus	
fossilen Quellen	Effiziente Kraftwerke für Gas und Kohle, Nutzung der Abwärme, Senkung der Schadstoffemissionen, Abscheidung und Speicherung von CO_2, …
erneuerbaren Quellen	Kostengünstige Windkraftanlagen mit hohem Ertrag, Wasserkraftanlagen, Fotovoltaik, solarthermische Kraftwerke, Heizwärme von der Sonne, solare Wasserstofferzeugung, Biogasanlagen, Holzöfen, Holzheizkraftwerke, Agro-Kraftstoffe, Wellen- und Strömungskraftwerke, Osmosekraftwerke, …
nuklearen Quellen	Erhöhung der Sicherheit von Kernkraftwerken, sichere Lagerung von radioaktiven Abfällen, Umwandlung von radioaktiven Abfällen in weniger gefährliche Stoffe, …
Kernfusion	Realisierung einer kontrollierten Kernfusion (sehr langfristig) – gepulst oder kontinuierlich, hitzebeständige Materialien, Entnahme der erzeugten Wärme, …
Speicherung von Energie in Form von	
Strom	Batterien/Akkumulatoren für den mobilen und stationären Einsatz, Superkondensatoren zur Kurzzeitspeicherung, Druckluftspeicher mit Wärmerückgewinnung, Schwungmassenspeicher, …
Wärme	Hochtemperaturspeicher für Kraftwerke und industrielle Prozesse, saisonale Niedertemperaturspeicher, Phasenwechselspeicher, thermochemische Speicher, …
Kraftstoffen	Agro-Kraftstoffe, Wasserstoff, Ersatz von Erdgas durch Biogas und Methan aus Wasserstoff, Methanol aus erneuerbaren Quellen, …
Effiziente **Nutzungstechniken** für	
Strom	hocheffiziente Lichterzeugung, Elektromotoren, Pumpen, Elektrogeräte, Kühlkreisläufe und Wärmepumpen, Informationstechnik, …
Wärme	hochwirksame Wärmedämmung in diversen Temperaturbereichen, Solararchitektur, effiziente Wärmepumpen, …
Verkehr	effiziente Motoren in diversen Leistungsklassen, effiziente und langlebige Brennstoffzellen für Wasserstoff und andere Brennstoffe, Leichtbau von Fahrzeugen, …
Optimierung des **Gesamtsystems**	
Strom	Ausgleich von Bedarfsspitzen durch Lastmanagement, intelligente Vernetzung von dezentralen Anlagen, bessere Regelbarkeit von Kraftwerken, effizienter Einsatz von Speichern, Erzeugung von Wasserstoff aus überschüssigem Strom, …
Wärme	Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, effiziente Wärmenetze bei reduziertem Wärmebedarf, Kaskadennutzung nach Temperaturniveau, …
Verkehr	Realisierung eines effizienten Infrastruktur für Elektromobilität, neue Modelle der gemeinsamen Nutzung von Fahrzeugen, Anbindung verschiedener Verkehrsträger, …
Gesellschaft	Akzeptanz von Techniken, Verfahren zur Verteilung von Lasten und Kosten, Beteiligung der Bürger, Innovationsbereitschaft, …

An dieser langen Liste, die sicher nicht einmal vollständig ist, siehst du: Es gibt hier sehr viel zu tun und zu verbessern! Dafür ist Energieforschung nötig. Und zwar umso mehr, je konsequenter und schneller wir unser Energiesystem wirklich umweltfreundlich und risikoarm gestalten wollen. Es ist davon auszugehen, dass wir nur durch Nutzung und Kombination aller umweltfreundlichen Techniken ein relativ kostengünstiges, nachhaltiges Energiesystem erreichen können – siehe auch Kapitel 8.

In Kapitel 3 hattest du ja bereits ein paar Forschungsthemen kennengelernt, an denen das DLR arbeitet: die Optimierung von Windkraftanlagen und Gasturbinen sowie solarthermischen Kraftwerken. Einige weitere Forschungsthemen anderer Einrichtungen, die besonders aktuell sind und zugleich einen Eindruck von der Vielfalt der Arbeiten vermitteln, schauen wir uns nun einmal näher an.

An Techniken zur **Energiegewinnung** wird viel geforscht, da wir unsere Versorgung langfristig weitgehend umstellen müssen.

Ein eleganter Ansatz zur umweltfreundlichen Stromgewinnung ist die **Dünnschicht-Fotovoltaik**. Im Gegensatz zur klassischen Fotovoltaik, bei der Scheiben aus Halbleitermaterial verwendet werden, genügen hier hauchdünne, aufgedampfte Schichten zur Stromerzeugung. Damit benötigt die Dünnschichttechnik wesentlich weniger Material und ist in der Herstellung deutlich günstiger. Jedoch weisen Dünnschichtmodule leider auch eine geringere Effizienz auf. Die Forschung versucht, durch Auswahl von besonderen Materialien und durch einen raffinierten Aufbau der aufgedampften Schichten den Wirkungsgrad zu erhöhen, ohne die Produktion deutlich teurer zu machen. Hierfür sind umfassende Kenntnisse von Festkörperphysik und -chemie erforderlich. Da sich Dünnschichtmodule flexibel und sogar auch durchsichtig bauen lassen, könnten sie künftig für viele neue Anwendungen interessant sein. Warum soll nicht der Rucksack Strom für Handy und Laptop erzeugen? Und die Fensterscheiben von Autos oder Häusern liefern dann vielleicht Strom wie heute die Fotovoltaikmodule auf den Dächern!

Auch mit **kontrollierter Kernfusion**, die die Abläufe in der Sonne nachahmt, möchte man Strom erzeugen. Deutschland beteiligt sich in einer führenden Rolle an den internationalen Bemühungen zur Fusionsforschung. Wenn schwere Isotope von Wasserstoff-Atomkernen so nahe zusammengebracht werden, dass sie verschmelzen, bildet sich unter Abgabe von viel Wärmeenergie Helium – genau wie in der Sonne. Mit der Wärmeenergie lässt sich über einen Dampfkraftprozess dann Strom erzeugen. Da sich die Atomkerne aufgrund ihrer positiven Ladung jedoch elektrisch abstoßen, ist es sehr schwierig, sie so weit anzunähern. Auf der Erde gelingt dies nur in einem extrem heißen Plasma, das mit großem Energieaufwand erzeugt werden muss. Der internationale Testreaktor ITER in Südfrankreich soll in einigen Jahren erstmals ein Plasma erzeugen, das mehr Energie liefert, als es benötigt. Dennoch ist der Weg zu einem Beitrag zur Stromversorgung noch weit – Experten hoffen auf den Betrieb eines ersten Kraftwerks in 40 Jahren. Aber es gibt auch Kritiker, die diese Technologie ablehnen. Sie meinen, dass die Entwicklung zu viel Geld kosten würde und die technischen Probleme zu groß seien.

Interessant!

Wasserstoff aus Sonnenlicht

Du kennst vielleicht das Verfahren der Elektrolyse, bei dem Wasser durch Strom in seine Elemente Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt wird. Mit diesem Verfahren lässt sich Strom – z. B. aus Fotovoltaik – in Form des Energieträgers Wasserstoff speichern. Aus dem Wasserstoff kann dann bei Bedarf wieder Strom gewonnen werden oder er kann z. B. als Kraftstoff dienen. Bei diesem zweistufigen Vorgehen – erst Strom gewinnen und dann Wasserstoff erzeugen – gehen jedoch ca. 85% der Sonnenenergie verloren.

Forscher des DLR arbeiten deshalb daran, effizientere Wege zur Erzeugung von Wasserstoff aus Sonnenlicht zu erschließen. Sie haben einen Reaktor entwickelt, der mit Hilfe von Sonnenenergie in einem Wechsel-Zyklus Wasserdampf spaltet. Zuerst wird ein poröses metallisches Material mit konzentrierter Solarstrahlung auf etwa 800 °C erhitzt. Das heiße Material entreißt den Wassermolekülen den Sauerstoff und oxidiert. Übrig bleibt der Wasserstoff, den man dann als Gas entnehmen und speichern kann. Anschließend wird das oxidierte Material zur „Reinigung" auf etwa 1.200 °C erhitzt, weil es bei dieser Temperatur den Sauerstoff wieder abgibt. Nach Abführen des Sauerstoffs kann der Zyklus dann von vorne beginnen. Diese Form der Wasserstofferzeugung ist effizienter als Elektrolyse mit solarem Strom zu betreiben, aber noch ganz am Anfang der Entwicklung.

Kommen wir nun zu einer **Speichertechnik**, nämlich zur Entwicklung effizienter **Batterien**. Genau genommen müssten wir von Akkumulatoren sprechen, oder kurz: Akkus. Denn es geht um Stromspeicher, die elektrische Energie wiederholt aufnehmen und wieder abgeben können. Du kennst sicher verschiedene Formen von Akkus wie den Blei-Akku im Auto oder den Lithium-Ionen-Akku im Handy. Warum sind gerade Akkus so wichtig? In einem zukunftsfähigen Energiesystem werden sie dringend benötigt! Z. B. um den Strom aus Windkraft oder Fotovoltaik zwischenzuspeichern, der ja nicht regelmäßig produziert werden kann, da Wind und Sonne nicht permanent zur Verfügung stehen. Oder um Autos nicht mehr mit Benzin oder Diesel betreiben zu müssen, sondern mit Strom und Elektromotoren. Die Forschung arbeitet mit Hochdruck daran, Materialien und elektrochemische Prozesse zu identifizieren und nutzbar zu machen, mit denen man möglichst viel Strom in einem kleinen Volumen speichern kann. Aber nicht nur das! Zugleich sollen diese Akkus auch schnell aufladbar sein, sie müssen viele Lade- und Entladezyklen ohne Verschlechterung durchlaufen können und natürlich möglichst günstig sein. Aktuell wird viel an Kombinationen von Lithium mit anderen Stoffen geforscht: Lithium-Ionen-, Lithium-Schwefel- oder Lithium-Luft-Akkus. Denn auch wenn heutige Handy-Akkus bereits beeindruckende Benutzungszeiten aufweisen, sind noch große Fortschritte nötig, um z. B. Elektroautos eine gute Reichweite zu ermöglichen.

Eine DLR-Forscherin in Almería (Spanien) prüft die Reflexionseigenschaften eines Parabolspiegels. Solche Spiegel werden bereits in großen solarthermischen Kraftwerken eingesetzt. Die Forscher arbeiten daran, sie weiter zu verbessern und die Lebensdauer der Bauteile zu erhöhen. Bild: DLR

Als Beispiel der Forschung zur **effizienten Nutzung** betrachten wir abschließend hoch wirksame Materialien zur **Dämmung**. Viele Gebäude geben heute aufgrund ihrer schlechten Dämmung unnötig viel Wärme ab und benötigen daher viel Heizenergie. Ähnlich ist es bei vielen technischen Prozessen, wobei hier in der Regel sehr hitzebeständige Dämmmaterialien benötigt werden. Für Gebäude haben Forscher Vakuum-Isolations-Paneele entwickelt, die die hohe Dämmwirkung von Vakuum ausnutzen – ähnlich wie in einer Thermoskanne. Denk mal darüber nach, warum Vakuum so gut isoliert. Und weitere neue Verfahren sind in der Entwicklung: Im Bereich hoher Temperaturen bieten sogenannte Aerogele neue Möglichkeiten der Dämmung. Das sind extrem poröse Festkörper, die bis zu 99% Poren und nur 1% Material enthalten. Man kann sich das vorstellen wie ein Schaumbad: viel Luft, wenig Material, nur eben fest statt flüssig. Manche Typen können geschmolzenen Metallen widerstehen und zugleich besser dämmen als Styropor. Sie können sogar lichtdurchlässig sein. Die Forschung – auch im DLR – arbeitet aktuell zum einen daran, die Herstellungskosten von Aerogelen zu senken, zum anderen versucht man, ihre Eigenschaften weiter zu optimieren.

Keine Angst vor Technik-Berufen. Auch Frauen können in der Forschung Karriere machen. Bild: DLR

Ob in Forschung oder Industrie – Energie-Experten haben gute Chancen. Bild: DLR

Zwei DLR-Mitarbeiter am Sonnenofen in Köln. Bild: DLR

In der Forschung gibt es viele interessante Berufe. Bild: DLR

Interessant!

Berufe voller Energie

In der Forschung, aber auch anderswo gibt es eine Vielfalt von „Energie-Berufen", die richtig gute Perspektiven bieten. Es handelt sich um spannende Tätigkeiten, die Spaß machen – und bei denen man sogar einen persönlichen Beitrag zu einer besseren „Energie-Welt" leisten kann.

Energieforscher gibt es sowohl in der Industrie – viele Firmen haben eigene Forschungsabteilungen – als auch in öffentlichen Instituten. In der Industrie geht es um die Verbesserung oder Neuentwicklung von Produkten, die mit Energie zu tun haben. Das können Elektrogeräte sein, Computer und Software-Entwicklungen, Motoren für sparsame Autos, Wärmedämmung für Häuser oder Kraftwerke im ganz großen Stil. Öffentliche Einrichtungen untersuchen all jene Fragen, die etwas weiter von konkreten Produkten entfernt sind. Oder man packt Dinge an und entwickelt neue visionäre Konzepte, von denen man anfangs noch nicht sicher weiß, ob sie funktionieren. Industrielle und öffentliche Forschung ergänzen sich gut und arbeiten häufig auch zusammen. Natürlich wechseln auch Forscher zwischen den beiden Bereichen.

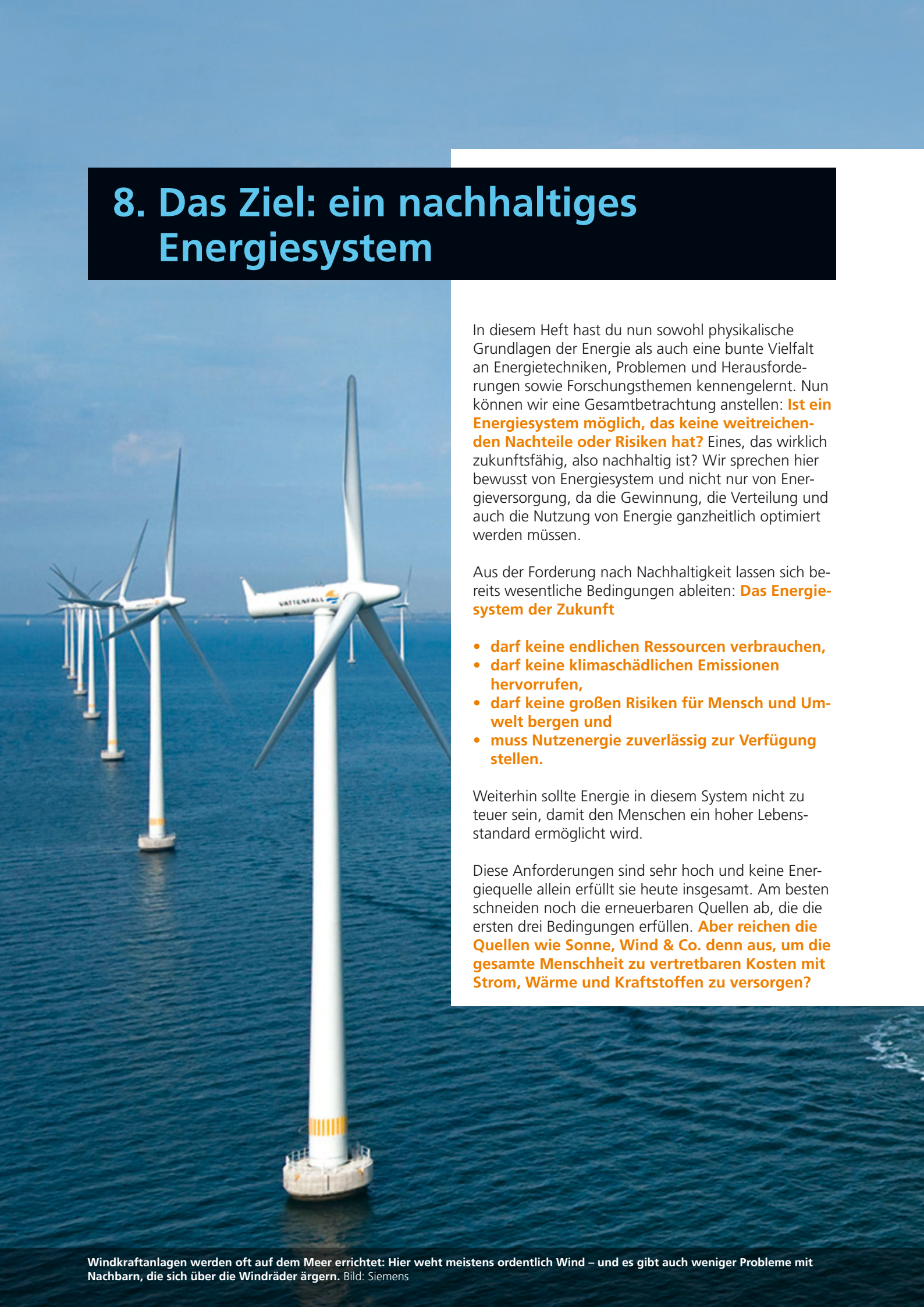
Ein Energieforscher im DLR. Bild: DLR

Architekten und Bauingenieure haben auf den ersten Blick gar nicht viel mit Energie zu tun; sie planen und konstruieren Wohnhäuser oder Büros. Da geht's doch vor allem um Gestaltung und Design und raffinierte Grundrisse, oder? Ja, das ist richtig, reicht aber schon lange nicht mehr aus. Heute müssen sich Architekten und Bauingenieure auch in energetischen Fragen sehr gut auskennen. Sowohl neue als auch sanierte Häuser sollen nämlich wenig Heizenergie benötigen – schließlich führen hohe Wärmeverluste zu unnötig hohen Heizkosten. Ein guter Architekt versteht es also, Gebäude zu planen, die sowohl gut zu nutzen und schön anzusehen als auch umweltfreundlich sind!

Der Energieberuf des **Solarteurs** ist noch ziemlich jung. Die Bezeichnung setzt sich aus den Worten „Solar" und „Installateur" zusammen und beschreibt damit ganz treffend, worum es geht. Ein Solarteur beherrscht die Elektro- und Heizungstechnik für die Wärme- und Stromgewinnung aus Solarenergie – teilweise auch im Bereich Bioenergie. Mit dieser kombinierten Ausbildung sind Solarteure gefragte Fachleute und werden in den kommenden Jahrzehnten viel zu tun haben. Sie sind ein gutes Beispiel dafür, dass neue Techniken auch neue Kompetenzen erfordern und ganz neue Berufsbilder hervorbringen.

Ein Energie-Beruf mit viel Kundenkontakt ist der **Energieberater** – für Gebäude, Industriebetriebe oder für den Haushaltsbereich. Einen Energieberater zieht man hinzu, wenn man z. B. sein Haus dämmen möchte oder wenn Unternehmen ihre Energiekosten senken wollen. Energieberater kennen sehr viele Möglichkeiten und Techniken zur effizienten Energienutzung und haben zugleich einen guten Überblick über die Kosten für Änderungen oder Investitionen. Sowohl Handwerker als auch Ingenieure oder Architekten können die Ausbildung zum Energieberater als Zusatzausbildung absolvieren.

8. Das Ziel: ein nachhaltiges Energiesystem



In diesem Heft hast du nun sowohl physikalische Grundlagen der Energie als auch eine bunte Vielfalt an Energietechniken, Problemen und Herausforderungen sowie Forschungsthemen kennengelernt. Nun können wir eine Gesamtbetrachtung anstellen: **Ist ein Energiesystem möglich, das keine weitreichenden Nachteile oder Risiken hat?** Eines, das wirklich zukunftsfähig, also nachhaltig ist? Wir sprechen hier bewusst von Energiesystem und nicht nur von Energieversorgung, da die Gewinnung, die Verteilung und auch die Nutzung von Energie ganzheitlich optimiert werden müssen.

Aus der Forderung nach Nachhaltigkeit lassen sich bereits wesentliche Bedingungen ableiten: **Das Energiesystem der Zukunft**

- **darf keine endlichen Ressourcen verbrauchen,**
- **darf keine klimaschädlichen Emissionen hervorrufen,**
- **darf keine großen Risiken für Mensch und Umwelt bergen und**
- **muss Nutzenergie zuverlässig zur Verfügung stellen.**

Weiterhin sollte Energie in diesem System nicht zu teuer sein, damit den Menschen ein hoher Lebensstandard ermöglicht wird.

Diese Anforderungen sind sehr hoch und keine Energiequelle allein erfüllt sie heute insgesamt. Am besten schneiden noch die erneuerbaren Quellen ab, die die ersten drei Bedingungen erfüllen. **Aber reichen die Quellen wie Sonne, Wind & Co. denn aus, um die gesamte Menschheit zu vertretbaren Kosten mit Strom, Wärme und Kraftstoffen zu versorgen?**

Windkraftanlagen werden oft auf dem Meer errichtet: Hier weht meistens ordentlich Wind – und es gibt auch weniger Probleme mit Nachbarn, die sich über die Windräder ärgern. Bild: Siemens

Da sowohl die Wind- als auch die Wasserkraft sowie letztlich auch die Bioenergie auf die Zufuhr an Sonnenenergie zurückgehen, ist schon mal beruhigend, was wir in Kapitel 3 gesehen haben: Rein physikalisch liefert uns allein die Sonne ein Vielfaches der von der Menschheit benötigten Energiemenge! Nun ist zu prüfen, ob wir die Energie technisch auch einigermaßen kostengünstig und ohne negative Nebenwirkungen nutzen können.

Beginnen wir mit dem **Strom**.

Mehrere Forschergruppen haben bereits die verfügbaren Mengen und auch die Kosten verschiedener erneuerbarer Quellen analysiert. **Sie kommen zu dem Ergebnis, dass das weltweite Angebot an Wind, Sonne & Co. gut ausreicht, um uns sicher zu versorgen, wenn wir Speicherkapazitäten und Stromnetze ausbauen. Zugleich müssen wir Strom viel effizienter anwenden, um den Bedarf zu senken.** Decken werden den Strombedarf insbesondere die Windkraft, die Solarenergie – solarthermische Kraftwerke plus Fotovoltaik – und die Geothermie.

Das klappt aber nur mit einem umfassenden Umbau des Elektrizitätssystems: Zum ersten benötigen wir mehr Hochspannungsnetze, denn die Energie muss da gewonnen werden, wo am meisten Sonne und Wind zur Verfügung stehen – etwa in Wüsten bzw. auf dem Meer. Und von dort muss man den Strom dahin befördern, wo er tatsächlich gebraucht wird. Zum zweiten benötigen wir in wesentlich größerem Umfang Energiespeicher, um Schwankungen ausgleichen zu können. Eine gute internationale Vernetzung reduziert dabei den Bedarf an Speichern, da sie ein gegenseitiges „Aushelfen" ermöglicht. Und wie sieht es mit den Kosten aus? Der Bau der Anlagen zur Stromerzeugung, der Netze und der Speicher wird große Investitionen erfordern, jedoch sind die erneuerbaren Energiequellen wie Sonne und Wind gratis. Die Experten gehen daher davon aus, dass der Strompreis nur leicht steigen wird. Dieser Anstieg ist recht gut vorhersehbar und damit planbar – was für die Preise der fossilen Energieträger nicht gilt.

Aufgabe 8-1:

In der Sahara liefert uns die Sonne pro Quadratmeter jährlich eine Energiemenge von ca. 2.200 kWh. Ein solarthermisches Kraftwerk fängt diese Energie mit Spiegeln auf etwa 30% der Fläche ein und wandelt sie mit einem Wirkungsgrad von 15% in Strom um.

Wie viele Gigawattstunden Strom liefert uns demnach ein solarthermisches Kraftwerk mit einer Größe von einem Quadratkilometer jährlich? Und welche Fläche in Form eines Quadrats wäre nötig, um den jährlichen Strombedarf eines ganzen Landes wie z. B. Ägyptens – ca. 120 Terawattstunden – zu decken? Wie groß wäre schließlich das Quadrat, mit dem man den europäischen Strombedarf von 3.400 TWh decken könnte?

Schon gewusst?

Nachhaltigkeit

Der Begriff „Nachhaltigkeit" (auf Englisch: Sustainability) wurde 1992 von der UNO, also den Vereinten Nationen, weltweit bekannt gemacht. Unter „nachhaltig" versteht man „dauerhaft" und „zukunftsfähig" – und zwar unter mehreren Gesichtspunkten: wirtschaftlich, mit Blick auf die Umwelt und auch sozial. Das heißt: Wenn wir nachhaltig handeln, können wir dies auch auf Dauer tun, ohne Schaden anzurichten. Wir erzeugen damit also keine Probleme für die Zukunft.

Schon gewusst?

Nachhaltige Energieversorgung für Europa

Seit 2005 analysieren Forscher des DLR für Greenpeace, ob und wie sich die Welt, Europa oder einzelne Länder bis 2050 nachhaltig mit Energie versorgen können. Die Studien der Reihe „Energy [R]Evolution" kannst du im Internet herunterladen: http://www.energyblueprint.info

Seit vielen Jahren erstellt das DLR auch für das Bundesumweltministerium Szenarien, wie Deutschland bis 2050 eine nachhaltige Energieversorgung erreichen kann. Jährlich wird aktualisiert, wie sich die Versorgung, der Verbrauch und die Kosten entwickeln können. Diese Studien werden in der aktuellen energiepolitischen Diskussion oft verwendet. http://www.bmu.de/energiewende/downloads/doc/48591.php

Die Sonne kann zu einer nachhaltigen Energieversorgung beitragen. Bild: NASA, Martin Stojanovski

Wie sieht es nun bei der Versorgung mit **Wärme** zum Wohnen und für die Industrie aus? Hier ist der größte Fortschritt durch Einsparung zu erwarten. Die Dämmung von Gebäuden und die Nutzung von „Abwärme" können den Bedarf drastisch reduzieren, sodass deutlich weniger Wärme bereitgestellt werden muss, womit zugleich die Nachteile der Wärmeerzeugung entfallen. Als wichtige Wärmequelle wird die Sonne genutzt werden – auch in Verbindung mit saisonalen Speichern. Den verbleibenden Bedarf können die Geothermie, Holz und elektrisch betriebene Wärmepumpen decken – und zwar ebenfalls umweltfreundlich, da der Strom ja aus erneuerbaren Energien kommt. Fossile Brennstoffe zur Wärmeerzeugung werden dann der Vergangenheit angehören.

Kommen wir abschließend zum **Verkehr**. Hier stützen wir uns heute überwiegend auf klimaschädliche Energieträger – vor allem Erdöl. Wie kann das verbessert werden, ohne auf die Vorteile der Mobilität zu verzichten? Du erinnerst dich an die Diskussion zu „Agro-Kraftstoffen" in Kapitel 4? Wegen ihrer Nebenwirkungen bei der Erzeugung sollten sie nur da eingesetzt werden, wo keine realistische Alternative besteht: etwa im Flugverkehr. Der Straßenverkehr muss dagegen nach und nach auf elektrische Antriebe umgestellt werden, die mit Strom aus erneuerbaren Quellen versorgt werden. Dabei sind leistungsfähige Akkus und Brennstoffzellen wichtig, um hohe Reichweiten zu ermöglichen. Und die Fahrzeuge müssen auch leichter werden, um weniger Energie zu benötigen. Zugleich muss eine ganz neue Versorgungsstruktur aufgebaut werden – einschließlich vieler „Tankstellen" für Elektroautos. Es besteht also großer Forschungsbedarf – aber dann wäre auch ein nachhaltiger Verkehr mittels erneuerbarer Quellen möglich.

Aus diesen drei Bereichen können wir nun das wichtige Fazit ziehen: **Ja, es ist möglich, den Energiebedarf der Menschheit aus erneuerbaren Quellen zu decken!** Aufgrund der erforderlichen Investitionen wird Energie zunächst etwas teurer werden, aber das wird erträglich bleiben. Immerhin vermeiden wir zugleich große globale Risiken und damit langfristige Kosten! Würde man die in die Rechnung einbeziehen, kämen uns die „alten" Energietechniken nämlich deutlich teurer.

Der Umbau des Energiesystems wird Jahrzehnte in Anspruch nehmen, aber viele Vorteile mit sich bringen. Länder, die als erste diese neuen Techniken beherrschen, können die neuen Technologien exportieren und damit zukunftsfähige Jobs aufbauen. In jedem Fall gilt: **Eine nachhaltige „Energie-Welt" ist machbar!**

Technologien für eine nachhaltige „Energie-Welt" von morgen – das ist eines der Forschungsziele des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). In seinen Schülerlaboren, den DLR_School_Labs, macht das DLR Kinder und Jugendliche mit dem Thema bekannt. Hier haben die Schüler gleich mal losgelegt und mit Wärmebildkameras alles fotografiert, was ihnen vor die Linse kam …
Bild: DLR

DLR School_Info

Impressum

Herausgeber	**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt** e.V. Linder Höhe 51147 Köln www.DLR.de
Autor	Dr. Stephan Saupe (LogiText)
Redaktion	Dr. Volker Kratzenberg-Annies (DLR), Kathrin Rohnert, Janos Burghardt (Yaez Verlag GmbH)
Gestaltung	Andreas Dietz, Nena Dietz (Yaez Verlag GmbH), CD Werbeagentur
Druck	Bechtle Druck & Service GmbH & Co. KG, Esslingen
Herstellung und Vertrieb	Yaez Verlag GmbH Kornbergstr. 44 70176 Stuttgart
Bestellung E-Mail Telefon	www.DLR.de/next DLR_School_Info@yaez-verlag.de 0711 99 79 83 - 25
ISSN:	2194-0924

Haftungsausschluss

Die in dieser Broschüre beschriebenen Mitmach-Experimente wurden sorgfältig ausgearbeitet. Sie können jedoch auch bei ordnungsgemäßer Durchführung und Handhabung mit Gefahren verbunden sein. Die hier vorgeschlagenen Mitmach-Experimente sind ausschließlich für den Einsatz im Schulunterricht vorgesehen. Ihre Durchführung sollte in jedem Fall durch eine Lehrkraft betreut werden. Die Richtlinien zur Sicherheit im Schulunterricht sind dabei einzuhalten. Das DLR kann keine Garantie für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Durchführbarkeit der hier beschriebenen Experimente geben. Das DLR übernimmt keine Haftung für Schäden, die bei Durchführung der hier vorgeschlagenen Mitmach-Experimente entstehen.

Das DLR übernimmt keine Verantwortung oder Gewähr für die Richtigkeit der Inhalte aufgenannten Webseiten Dritter.

Hinweis zur Genehmigung des Nachdrucks

Für nicht-kommerzielle schulische Zwecke ist das Kopieren der Materialien erlaubt und erwünscht. Kopieren, Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, außerhalb des Unterrichtseinsatzes nur mit schriftlicher Genehmigung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR).

Gender-Hinweis

Im Interesse der erleichterten Lesbarkeit und damit der Verständlichkeit der Inhalte der DLR_School_Info wird nur die verallgemeinerte männliche Sprachform verwendet. Hierbei sind aber immer ausdrücklich beide Geschlechter angesprochen.

Diese Broschüre wurde auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

DLR **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt** e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) …

… ist mit rund 7.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern eine der größten und modernsten Forschungseinrichtungen Europas. In unseren 16 Standorten werden unter anderem die Flugzeuge der nächsten Generation entwickelt, Raketen-Triebwerke getestet oder auch Bilder von fernen Planeten ausgewertet. Außerdem beschäftigt sich das DLR mit umweltfreundlichen Verfahren zur Energiegewinnung, Technologien für die mobile Gesellschaft von morgen und vielen anderen spannenden Zukunftsthemen.

Unsere Begeisterung für die Forschung geben wir gerne an junge Menschen weiter. So können Schulklassen bzw. -kurse nach Voranmeldung unsere Schülerlabore, die DLR_School_Labs, besuchen – Infos unter www.DLR.de/dlrschoollab

Daneben bieten wir auf unserem Jugendportal DLR_next – siehe www.DLR.de/next – altersgerechte Informationen für junge Leute an. Und mit Unterrichtsmaterialien wie der DLR_School_Info wollen wir die Behandlung aktueller Forschungsthemen im Unterricht unterstützen.

DLR_next

Was erleben Astronauten im Weltraum? Warum können Flugzeuge überhaupt abheben und fliegen? Wie sieht die „Energie-Welt" der Zukunft aus? Und was tanken wir, wenn's eines Tages kein Öl und Benzin mehr gibt? Diese und viele andere Fragen rund um die Forschung beantworten wir im Internet auf DLR_next. Neben spannenden Infos gibt es da auch jede Menge Bilder und Videos. Und noch viel mehr! Da könnt ihr eine virtuelle Reise durchs Sonnensystem unternehmen, selbst das Zukunfts-Auto konstruieren, euer Geschick als Fluglotse testen oder beim Energie-Quiz mitmachen. Schaut mal rein unter www.DLR.de/next – Infos mit garantiertem Spaßfaktor ;-)