

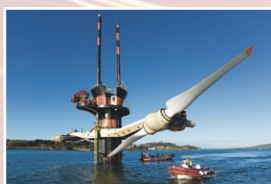
Lernsequenzen

Unterrichtsmaterialien zum Thema Energie | Sekundarstufe 1

Heft 1

Energie

Der Begriff
Die Ressourcen
Der Bedarf



Didaktische Überlegungen

Unterrichtsmaterialien zum Thema Energie für die Sekundarstufe 1

Der steigende Weltenergiebedarf, das Anwachsen der Weltbevölkerung als wichtigster auslösender Faktor dafür, die Endlichkeit der nicht regenerativen, besonders der fossilen, Energieressourcen und die sich immer deutlicher als Begrenzungsfaktor erweisende Umweltbelastung durch den Einsatz von Energie sind heute wichtige Themen gesellschaftspolitischer Diskussionen.

Gerade weil Energie „Leben“ bedeutet und die Basis unseres Lebensstandards, aber auch so gut wie aller wirtschaftlichen Vorgänge bildet, steht die Menschheit auf dem Energiesektor vor Problemen bisher nicht gekannten Ausmaßes. Dem wachsenden Energiebedarf von immer mehr Menschen steht die Notwendigkeit gegenüber, zur Vermeidung möglicher Klimaveränderungen die Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas (die zur Zeit den Weltenergiebedarf überwiegend decken und diese Rolle unweigerlich auch in den nächsten beiden Jahrzehnten spielen werden) kontinuierlich einzudämmen, die regenerativen Energien zunehmend zu nutzen und auf eine möglichst rationelle Energieverwendung hinzuwirken.

Angesichts der Bedeutung dieser Aufgaben – nicht nur für die heutige Generation – kommt insbesondere der Schule die Aufgabe zu, mehr „Licht“ in den „Dschungel“ rund um das Thema Energie zu bringen und den jungen Menschen die Zusammenhänge deutlich zu machen. Für eines der wichtigsten übergeordneten Lernziele halten wir es dabei, beim Schüler die Einsicht in die Notwendigkeit des Energiesparens und der rationellen Energieverwendung zu wecken und ihn zu entsprechendem Handeln zu veranlassen.

Um den vermeintlichen Widerspruch eines Schülerzitats: „Wie kann es eine Energiekrise geben, wenn die Energie doch erhalten bleibt?“ aufzulösen, genügt eine rein physikalische Antwort nicht. Nur eine fächerübergreifende Betrachtungsweise kann dem Gesamtkomplex „Energie“ gerecht werden. Für die Schule heißt das unter anderem: Hier liegt ein ideales Feld für Projektstage und Projektwochen, in denen die verschiedenen Fachrichtungen einen Beitrag zum Thema leisten können.

Die vorliegende Reihe stellt deshalb das Thema Energie in neun Heften, die jeweils wichtigen Teilthemen gewidmet sind, fächerübergreifend dar. Sie wendet sich sowohl an Lehrer naturwissenschaftlicher Fächer wie Physik, Biologie und Chemie als auch an Lehrer der Fächer Gemeinschaftskunde/Geographie, Arbeitslehre und Technik der Klassen 5–10.

Auch wenn dem Thema Energie in der Schule ein bedeutender Stellenwert zukommt, dem die Lehrpläne auf unterschiedliche Weise Rechnung tragen, sind sich die Autoren dieser Reihe bewusst, dass eine Behandlung des gesamten Stoffes aus zeitlichen Gründen im Schulunterricht nicht möglich ist. Die einzelnen Hefte wollen deshalb keinen vollständigen Lehrstoff vermitteln, sondern es vielmehr dem Lehrer überlassen, die bestmögliche Auswahl an aktuellen Sachinformationen, Unterrichtsmitteln und methodischen Anregungen für seinen Unterricht zu treffen.

Bei einer Schwerpunktsetzung sollte jedoch immer Wert auf die Einordnung in den Gesamtzusammenhang gelegt werden. Nur so kann den Schülern die zentrale Bedeutung der Energie für unser gesamtes Lebensumfeld näher gebracht werden.

Die Autoren



**Sehr geehrte
Lehrkräfte,**

die Erziehung und die Ausbildung junger Menschen sind zwei wesentliche Herausforderungen einer jeden Gesellschaft. Ein Großteil der in diesem Bereich erforderlichen Arbeit wird in der Schule geleistet. Um Lehrerinnen und Lehrer bei dieser wichtigen Aufgabe zu unterstützen, hat der

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft die Reihe „Lernsequenzen“ erarbeitet. Mit diesen Materialien für die Sekundarstufe 1 möchte der BDEW einen Beitrag zur Unterrichtsvorbereitung leisten. Ziel unseres Angebots ist es, Verständnis für den Wert unserer Ressourcen zu schaffen und so den bewussten Umgang mit Strom, Erdgas und Trinkwasser im Alltag zu üben.

Die Hefte dieser Reihe wollen Antworten geben auf die wichtigsten Fragen zu unserer künftigen Energieversorgung. Sie bieten zunächst einmal Fakten. Nur wer diese

kennt, kann sich erfolgreich in eine Diskussion einbringen. Diese dreht sich um die Möglichkeiten und Grenzen sowie die Vorzüge und Nachteile der verschiedenen Energiequellen und -techniken, um den „richtigen Mix“, um die Aufgaben von Forschung und Entwicklung. Wie ist die heutige Ausgangslage? Welche Technologien, die wertvolle Beiträge leisten können, stehen uns voraussichtlich morgen zur Verfügung? Welche weiteren zeichnen sich für das dritte Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts ab? Wie sind die langfristigen Perspektiven?

Im vorliegenden Heft werden die Grundlagen der Energieversorgung dargestellt: das Wesen der Energie, ihre Arten und Formen, ihre Entstehung und Umwandlung, Energiebedarf und Energievorräte.

Wir hoffen, Ihnen und Ihren Schülern mit diesem und den folgenden Heften einen differenzierten Einblick in das komplexe Thema Energie und eine Hilfe bei seiner Behandlung im Unterricht geben zu können.

Hildegard Müller

Vorsitzende der BDEW Hauptgeschäftsführung

Inhalt

1 Der Energiebegriff Seite 3

1.1 Geschichte der Energienutzung Seite 3

1.2 Was ist Energie? Seite 6

1.3 Maßeinheiten für Energie..... Seite 9

1.4 Energiearten Seite 9

1.5 Energieumwandlung, Wirkungsgrad und „Energiesparen“ Seite 11

1.6 Energieveredelung Seite 12

2 Entstehung der Energieträger Seite 14

2.1 Entstehung fossiler Energieträger Seite 14

2.2 Ursprung und Entstehung der regenerativen Energien..... Seite 16

2.3 Reserven, Ressourcen und Reichweiten der fossilen Energieträger Seite 21

3 Energiebedarf und Lebensstandard Seite 25

3.1 Energie – Grundlage unseres Lebensstandards Seite 25

3.2 Bruttoinlandsprodukt, Bevölkerung und Energieverbrauch..... Seite 26

3.3 Prognosen und Szenarien der Energieentwicklung Seite 27

3.4 Entwicklung der Weltbevölkerung und des Weltenergieverbrauchs Seite 30

3.5 Anteil der Energieträger am Primärenergieverbrauch Seite 32

3.6 Strukturwandel im Primärenergieverbrauch Seite 33

3.7 Primärenergieverbrauch pro Kopf..... Seite 34

3.8 Inländische Energiegewinnung und Energieimporte Seite 35

Umrechnungstabellen Seite 36

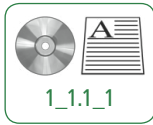
Literaturverzeichnis Seite 36

1 Der Energiebegriff

1.1 Geschichte der Energienutzung

Es begann mit dem Feuer

Die Sonne ist die älteste Energiequelle der Menschheit. Sie war die einzige Wärme- und Lichtspenderin, bis die Menschen vor mindestens 500 000 Jahren mit dem Feuer umzugehen lernten. Das Feuer wärmte, spendete Licht, schützte vor „wilden“ Tieren und erweiterte das Nahrungsspektrum. Historisch betrachtet waren jedoch



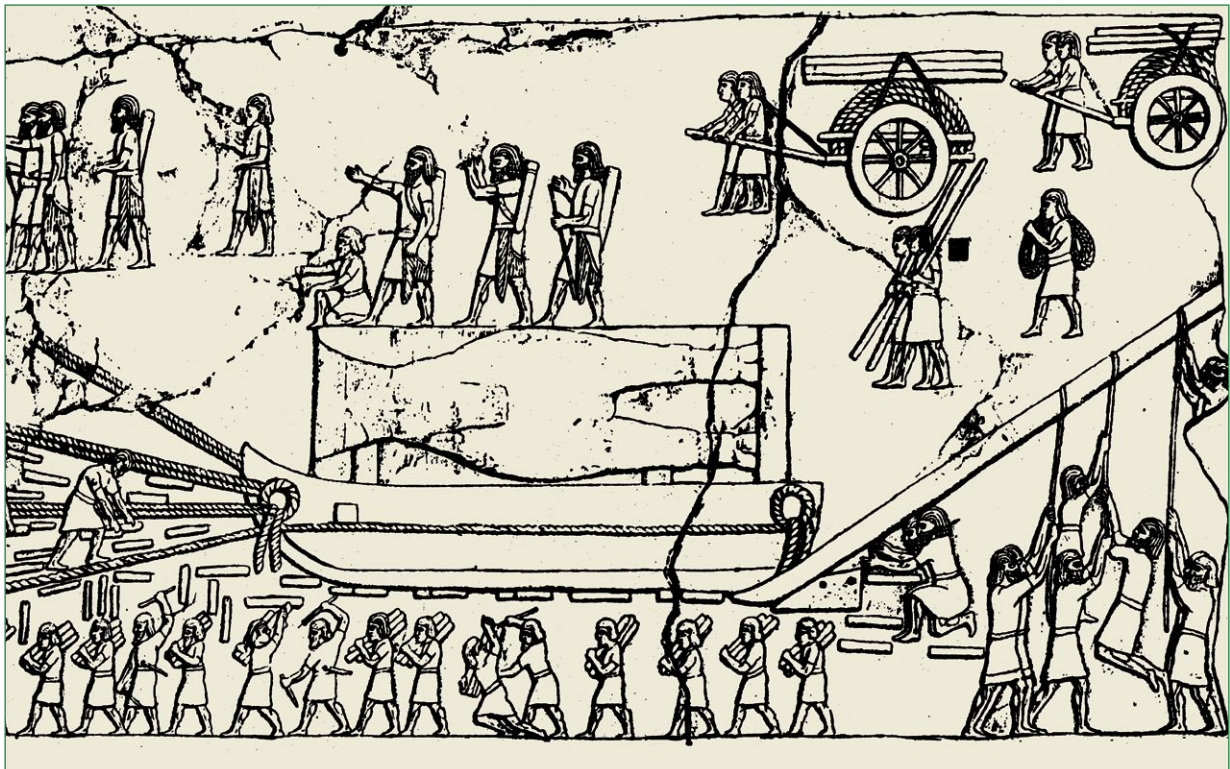
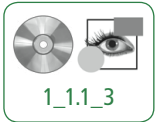
die eigenen Muskeln die erste vom Menschen systematisch eingesetzte Energiequelle. Der Urmensch nutzte die Energie der Nahrungszufuhr (circa 8000 kJ/Tag), um mit seiner Muskelkraft Arbeit zu verrichten. Als der Mensch begann, das Feuer gezielt anzuwenden, diente dieses nicht mehr ausschließlich der Überlebenssicherung: Die Nutzung des Feuers war der Beginn des Einsatzes von zusätzlicher Energie zur Verbesserung der Lebensbedingungen.

Menschliche Muskelkraft als Energiepotenzial

Doch es fehlten Techniken, das Feuer wirksam zu nutzen. Menschliche und – nach der Domestizierung von Rind, Pferd, Esel, Kamel, Lama und Elefant – tierische Arbeitskraft blieben deshalb die wichtigste Energie-

quelle bis hin zur Neuzeit. Größte bautechnische Leistungen der Antike, wie z. B. die Pyramiden der Ägypter vor rund 4500 Jahren, basierten auf gut abgestimmter Organisation und Arbeitsteilung im Einsatz tierischer und menschlicher Muskelkraft. Immer wieder verbesserte Werkzeuge machten den Einsatz der Muskelkraft effizienter.

Auch Aquädukte und Brücken, Paläste und Bäder im Römischen Reich, alles überragende Ingenieurleistungen, wurden mit einfachen mechanischen Hilfsmitteln, wie Keil, Hebel, Schlittenkufen, Rolle und Rad, Flaschenzug und schiefer Ebene verwirklicht. Breite Schichten der Bevölkerung lebten in der Antike als Arbeitssklaven in Unfreiheit und wurden, z. B. nach der Auffassung des Aristoteles (384 – 322 v. Chr.), als eine Art lebendiges Werkzeug angesehen, das jederzeit verfügbar und dem technischen Gerät direkt zugehörig war. Als Maßstab für den persönlichen Wohlstand galt im Rom der Kaiserzeit die Zahl der Sklaven, die jemand für sich arbeiten ließ. Um die Zeitenwende hatte Rom mit der Hafenstadt Ostia circa eine Million Einwohner. Davon waren ein Drittel Sklaven. In Völkern, deren Gesellschaftsstruktur auf Sklavenhaltung und Leibeigenschaft beruhte, fehlten die Impulse zur Ent-



Darstellung des Transportes eines Denkmalquaders in Ninive um 660 v. Chr.

Quelle: Harenberg-Verlag

Der Energiebegriff

4

wicklung einer umfassenden Energietechnik, die den allgemeinen Lebensstandard nachhaltig hätte verbessern können. Menschliche Arbeitskraft war billig. Kriege sorgten für den Nachschub an Sklaven. Bis in die Zeit Ludwig XIV. von Frankreich waren Sklavengaleeren auf den Meeren und Tretmühlen auf dem Lande eine Selbstverständlichkeit.

Nutzung der Naturkräfte in der Antike

Wassermühlen traten erstmals vor rund 2 000 Jahren auf. Das ist erstaunlich, da die Erfindung des Rades schon 5 000 Jahre alt ist und auch die Achse seit langem bekannt war. Die Idee, einen Schaufelkranz am Umfang eines Rades anzubringen, bedeutete einen gewaltigen Entwicklungsschritt. Die älteste Form des Wasserrades ist das **Stoßrad**, das mit seinen Schaufeln horizontal in den Fluss eintaucht. Es nutzt ausschließlich die Bewegungsenergie des Wassers (also nicht das Gefälle = potenzielle Energie).

Sehr früh schon wurden Wasserräder in Mesopotamien zum Schöpfen von Wasser verwendet. Auch Inder, Ägypter und Chinesen kannten diese Technik. Im Römischen Reich fanden Wasserräder, vor allem nördlich der Alpen, vielfältige Verwendung für Getreidemühlen, Schöpfvorrichtungen, Entwässerungsanlagen in Bergwerken und andere Zwecke. Sie erreichten Durchmesser bis zu 30 m.

In größerem Umfang wurden Wassermühlen erst seit dem Mittelalter eingesetzt. Zur Übersetzung der Bewegung der horizontalen Welle in die Vertikale wurde im Mühlenhaus auf der Welle des Wasserrades ein Zahnrad angebracht, das in



1_1.1_4

Quelle: picture-alliance/DeFodi



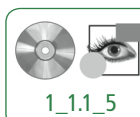
Antike Getreidemühle aus Ägypten



Quelle: akg-images/Hervé Champollion

Barbegal in der Provence, Frankreich: römisches Mühlenwerk aus 16 gestaffelten Mühlen, Ende des 3. Jahrhunderts, Architekturmodell

ein Stockgetriebe mit senkrechter Welle greift. Mit dieser Welle wird der Mahlstein gedreht und so Korn zermahlen.



1_1.1_5

Den Wind anzupapfen und für den Antrieb von Maschinen zu nutzen, erwies sich als schwieriger. Die Windmühle ist deshalb viel später als das Wasserrad konstruiert worden. Windmühlen mit senkrechten Wellen dürften erstmals im Hochland von Persien (8. und 9. Jhr. n. Chr.) gebaut worden sein. Erst ab dem 12. Jahrhundert findet man sie – mit waagerechter Welle – auch in Europa. Die technische Entwicklung von Wasserrädern und Windmühlen war die Voraussetzung für die Mechanisierung vieler Produktionsvorgänge wie Sägen, Gerben, Herstellen von Papier, Erzeugen und Bearbeiten von Eisen u. a.

Von der Dampfmaschine zur Dampfturbine

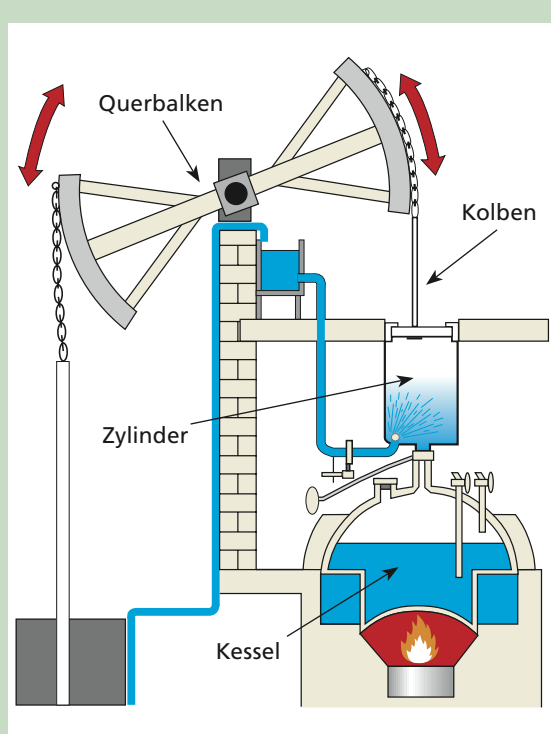
Die mit der Nutzung der Naturkräfte voranschreitende Mechanisierung der Produktion führte zu größeren Produktionseinheiten, die einen erhöhten Bedarf an

Antriebsenergie hervorriefen. Die Nutzungsmöglichkeiten von Wasser und Wind waren jedoch beschränkt, und diese Naturkräfte standen nicht immer zur Verfügung. Die Dampfmaschine bedeutete einen entscheidenden Durchbruch. Ihre Erfindung durch den schottischen Mechaniker James Watt gegen Ende

des 18. Jahrhunderts ermöglichte die Intensivierung der Mechanisierung. Sie konnte zwar auch mit Holz betrieben werden, aber in wachsendem Umfang nutzte man in der Industriellen Revolution einen neuen Energieträger: die Steinkohle.



Quelle: Tessloff-Verlag



Dampfmaschinen

1698: ließ sich T. Savery (GB) die erste Dampfmaschine patentieren. Sie wurde benutzt, um Wasser aus überfluteten Kohlengruben zu pumpen. Dampf aus einem Kessel floss in einen Zylinder und wurde dort mit Wasser abgekühlt. Der so erzeugte Unterdruck im Zylinder sorgte das Grubenwasser empor.

1712: stattete Thomas Newcomen (GB) seine zum Antrieb von Wasserpumpen dienende Dampfmaschine mit einem Kolben aus.

1769: fügte James Watt (GB) einen zusätzlichen Kondensator hinzu, in dem der Dampf kondensiert wurde. So konnte der Arbeitszylinder heiß bleiben und wurde nicht ständig durch kaltes Wasser wieder abgekühlt. Das sparte Heizenergie und Zeit.

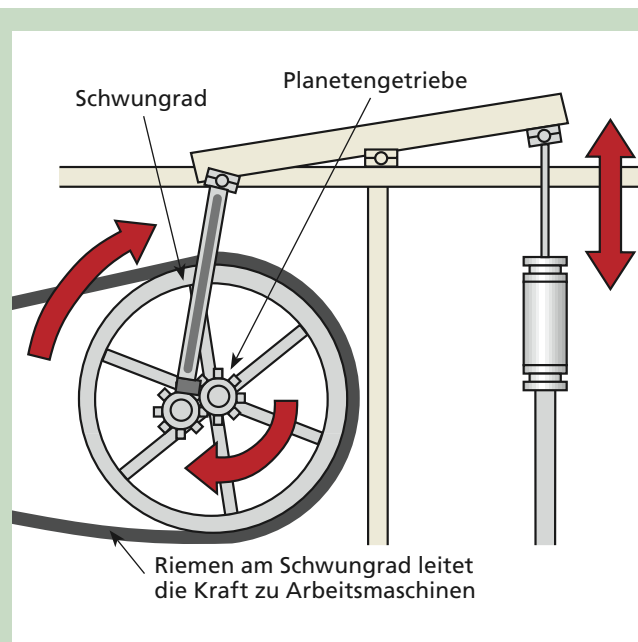
1782: führte James Watt (GB) das Planetengetriebe ein, um die Auf- und Abbewegung der Maschine in eine Drehbewegung umzuwandeln.

Um **1800** baute R. Trevithick (GB) eine kleine Hochdruck-Dampfmaschine. Sie erzeugte fünfmal höheren Druck als Watts Maschine.



1_1.1_7

Um 1900 setzte schließlich das „elektrische Zeitalter“ ein. Die Anwendung der Energieform Elektrizität trägt heute noch maßgeblich den technischen Fortschritt. Die Elektronik beruht auf der Elektrizität. Zur Steigerung des Wirkungsgrades der ursprünglichen Dampfkraftwerke (vgl. LQ Heft 2) bemühte man sich, immer größere Dampfmaschinen zu bauen. Der Baugröße waren aber Grenzen gesetzt. Die Dampfturbine stellte einen Ausweg dar. Durch sie wird die Energie des Dampfes ohne den Umweg über die Hin- und Herbe-



Quelle: Tessloff-Verlag

Newcomens Dampfmaschine

1. Dampf aus dem Kessel strömt in den Zylinder
2. Kaltes Wasser wird in den Zylinder gesprüht und kondensiert den Dampf. Der so entstehende Unterdruck zieht den Kolben herunter.
3. Über eine Querstange wird die Bewegung vom Kolben zur Pumpe geleitet.

Drehbewegung:

Das Planetengetriebe ist am Ende der Antriebsstange angebracht und dreht das Schwungrad.



1_1.1_8

Der Energiebegriff

6

wegung eines Kolbens mittels eines auf der gleichen Welle gelagerten Generators in elektrische Energie umgesetzt.

Ein weiterer Schritt vollzog sich in der Elektrizitätswirtschaft nach dem Ersten Weltkrieg durch die Nutzung der elektrischen Energie in der Großindustrie. Sie leitete die Epoche der Großkraftwerke und der Verbundwirtschaft ein.

Heute kommen wieder verstärkt dezentrale Erzeugungsanlagen auf der Basis regenerativer Energien hinzu. Aber auch bei ihnen (Sonne, Wind, Geothermie, Biomasse) wird ein Trend zu größeren, effizienteren Einheiten erkennbar.

1.2 Was ist Energie?

Die Erhaltung der Energie

Energie kommt aus dem Griechischen: „energeia“ bedeutet so viel wie „Wirkende Kraft“. Sie ist unsichtbar und kann nur an ihren Wirkungen erkannt werden: Energie ist nötig, wenn etwas in Bewegung gesetzt, schneller gemacht, hochgehoben, beleuchtet oder erwärmt werden soll. Sie ist z. B. in Rohstoffen gespeichert. Ohne Energie ist kein Leben möglich! Hinter allen natürlichen Vorgängen steckt Energie.

Physikalisch lassen sich die wichtigsten Kennzeichen des Energiebegriffs in drei Aspekten zusammenfassen: Energieumwandlung, Energieerhaltung und Energieentwertung. Sie können in sehr unterschiedliche Konzepte eingebettet sein. Übliche Definitionen sind: „Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu leisten“, oder allgemeiner, „Energie ist die Fähigkeit, Veränderungen zu bewirken, und Voraussetzung für den Ablauf von Prozessen“. Weitere Merkmale des Energiebegriffs sind:



Energie kann weder erzeugt noch vernichtet, sondern lediglich von einer Form in eine andere umgewandelt werden. Dabei bleibt die Menge der Energie in einem abgeschlossenen System konstant, wobei der nutzbare Anteil der Energie sich verändern kann. Das Prinzip der Energieerhaltung ist bis zum jetzigen Zeitpunkt immer bestätigt worden. Allerdings wissen wir seit Einstein (1905), dass Energie in Materie umgewandelt werden kann und umgekehrt.

Energieerhaltung und Nutzungsminderung werden in zwei Hauptsätzen der Wärmelehre (Thermodynamik) festgehalten:

1. Hauptsatz der Wärmelehre:

Prinzip der Energieerhaltung:

Bei jedem Vorgang bleibt in einem abgeschlossenen System die Energie (mengenmäßig) erhalten. Energie kann nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden.

2. Hauptsatz der Wärmelehre:

Prinzip der Energieentwertung:

Energie wird insofern „verbraucht“, d. h. entwertet, als nach der Umwandlung nur noch ein geringerer Teil genutzt werden kann.

Für Schüler ist der Energiebegriff in der Alltagssprache mit vielen Assoziationen belegt: z. B. zu geistiger Tätigkeit, Sport, Nahrungsaufnahme, Fortbewegung,



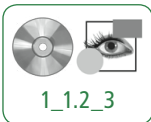
Energieerzeugung und -verbrauch. Die Herleitung des Energiebegriffs im Physikunterricht über die Definitionen Arbeit, Kraft und Leistung können zu Widersprüchen führen. Durch die unterschiedlichen Konzepte des Energiebegriffs in den Fächern Physik, Gemeinschaftskunde oder Geographie können sich im Unterricht Verständnisschwierigkeiten ergeben.

Der von Julius Robert Mayer entdeckte und von James Joule formulierte 1. Hauptsatz der Wärmelehre (Thermodynamik) steht im Gegensatz zu den im allgemeinen Sprachgebrauch benutzten Begriffen „Energieerzeugung“ und „Energieverbrauch“: Bei der Erzeugung von elektrischer Energie in einem Kraftwerk z. B. handelt es sich nur insofern um Erzeugung, als die elektrische Energie als solche zuvor nicht vorhanden war. Sie ist aber auf Grund der Umwandlung anderer Energieformen (z. B. der Verbrennung von Kohle und damit aus chemischer Energie) entstanden und hat nichts mit „Energieerzeugung“ im Sinne von „Neuerschaffung“ von Energie zu tun.

Auch die Redewendung „Energieverbrauch“ führt zu Irritationen. Sie kann über den 2. Hauptsatz der Wärmelehre, das Prinzip der Energieentwertung, aufgefangen werden, wenn „Verbrauch“ im Sinne einer Entwertung von Energie verstanden wird, d. h., dass die Energie nach einer Energieumwandlung an Nutzwert eingebüßt hat, weil ein Teil zu nicht mehr nutzbarer Wärme niedriger Temperatur geworden ist (so genannte Entropie).



Die Erde ist kein in sich geschlossenes System, sondern Teil des Gesamtsystems Weltall



Wichtig ist ebenso die Verdeutlichung, dass sich beide Hauptsätze auf geschlossene Systeme beziehen, über deren Systemgrenze hinaus keine energetische Wechselwirkung stattfindet.

Die Erde ist jedoch kein abgeschlossenes System. Im Gesamtsystem des Weltalls bleibt die Energie erhalten. Unser offenes Teilsystem „Planet Erde“ bezieht Energie von der Sonne. Andererseits geht Energie in den Welt- raum verloren.

Die nachfolgend skizzierten verschiedenen „Charakteristika“ der Energie sollten im Unterricht anhand von Experimenten und Beispielen aus der Erfahrungswelt belegt werden, um damit den oben genannten Widerspruch aufzulösen und zu einem größeren Verständnis der Energiethematik zu gelangen.

1. Energieerhaltung

Energie geht einerseits in einem geschlossenen System nicht verloren und kann andererseits nicht aus dem Nichts erzeugt werden. Bei Energieumwandlungen entsteht aus Energie immer wieder Energie, nur in anderer Form. Bei jedem Vorgang bleibt sie mengenmäßig erhalten (1. Hauptsatz der Wärmelehre).

2. Transport, Übertragung und Speicherung von Energie

Energie kann von einem System auf das andere übertragen werden, z. B. beim Zusammenstoß zweier Kugeln von einer Kugel auf die andere. Sie ist in Rohstoffen gespeichert und wird u. a. durch elektrische Felder übermittelt.

3. Energieumwandlung

Energie kann in vielerlei Erscheinungsformen auftreten:

- **Mechanische Energie**, dazu zählen:
 - kinetische Energie (Bewegungsenergie), z. B. fahrendes Auto, rollende Kugel
 - potenzielle Energie (Energie der Lage, Spannungsenergie), z. B. angehobene Last, Wasser im Stausee, gespannte Feder
- **Chemische Energie** ist z. B. in Nahrungsmitteln und Brennstoffen gespeichert
- **Wärme** wird z. B. beim Verbrennen und bei Reibungsvorgängen frei. Dass Wärme eine Energieform ist, hat der Arzt Julius Robert Mayer erstmals 1826 erkannt.
- **Elektrische Energie** wird durch Energieumwandlungen von chemischer Energie, Kernenergie oder regenerativen Energien in Kraftwerken sowie in Solarzellen erzeugt, aber z. B. auch im Fahrrad-Dynamo
- **Strahlungsenergie** geht von der Sonne aus, aber auch von sichtbarem Licht, UV-Licht, Röntgenstrahlen, Radiowellen oder Wärme
- **Kernenergie** ist die Bindungsenergie der Kernbausteine.

Energieumwandlungen finden zwischen den Erscheinungsformen der Energie statt, z. B. im Kraftwerk von chemischer Energie (Kohle) über Wärmeenergie (Kessel) und mechanische Energie (Turbine) in elektrische Energie (Generator).

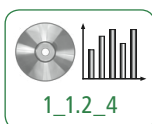
4. Energieentwertung

Nach dem 2. Hauptsatz der Wärmelehre (entdeckt und formuliert von Rudolf Clausius und Lord Kelvin) können die verschiedenen Energieformen nur zum Teil in andere Energieformen umgewandelt werden. Die Wertigkeit einer Energieform bemisst sich nach dem Grad der Umwandelbarkeit in andere Formen („Exergie“). Mechanische und elektrische Energie gehören zu den wertvolleren Energieformen, da sie prinzipiell vollständig

Beispiele für Leistungen

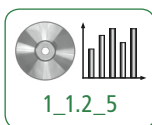
Armbanduhr	0,02 mW
Fahrradbeleuchtung	3 W
Mensch (Dauerleistung)	etwa 100 W
Sportliche Höchstleistung bei längerer Belastung	etwa 340 W
Mittlere Leistung eines Pferdes	etwa 500 W
Mofa	etwa 1000 W = 1 kW
Personenkraftwagen	z.B. 55 kW
Lastkraftwagen (15 t)	etwa 250 kW
Diesellokomotive	bis zu 3000 kW
Kernkraftwerk	1300000 kW = 1300 MW

Quelle: RWE/IZE



in andere Energieformen umgewandelt werden können. Wärme stellt eine weniger wertvolle Energieform dar, da sie nur zu einem Teil umgewandelt werden kann (z. B. in Bewegungsenergie). Den nicht sinnvoll nutzbaren Rest bezeichnet man als „Anergie“. Die Differenzierung nach Exergie und Anergie ermöglicht eine qualitative Bewertung der Energie: je höher der Exergieanteil, desto wertvoller. Elektrische Energie besteht zu 100 % aus Exergie, heißes Wasser (100 °C) nur zu 20 %.

Bei Umwandlungsprozessen, wie sie im täglichen Leben



ablaufen, nimmt der Gebrauchswert der Energie ab; Energie wird so bei jedem ablaufenden Prozess unvermeidlich entwertet, denn die Energieumwandlungen

Beispiele für Energiemengen

- 1 J** Energiemenge, die man braucht, um 1 l Wasser 10 cm anzuheben
- 1 kJ** Energiemenge, die man braucht, um 1 l Wasser um 0,2 °C zu erwärmen
- 0,5 MJ** Energiemenge, um 1 l Wasser von 0 °C zum Kochen zu bringen
- 0,8 MJ** Energiemenge, die ein Bergsteiger braucht, um 1000 m Höhenunterschied zu überwinden
- 22,6 MJ** Energiemenge, um 1 l kochendes Wasser zu verdampfen
- 250 MJ** Energiemenge, die ein Mittelklassewagen braucht, um 100 km auf der Autobahn zurückzulegen
- 9800 MJ** Energiemenge, die ein Intercityexpress (ICE) bei einer Höchstgeschwindigkeit von 250 km/h auf 100 km ebener Strecke benötigt

1 Kilojoule (kJ) = 1000 Joule (J)
1 Megajoule (MJ) = 1000 Kilojoule (kJ)

Quelle: RWE/IZE

laufen immer in einer Richtung von höherwertigen zu niederwertigen Energieformen ab.

Beispiele für Energieentwertung:

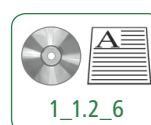
Die als „Energieentwertung“ bezeichneten Veränderungen beruhen darauf, dass von selbst ablaufende Vorgänge stets in einer Richtung und niemals (von selbst) in umgekehrter Richtung ablaufen. Das bedeutet z. B., dass aus chemischer Energie erzeugte Wärme nicht mehr vollständig durch Umwandlung in chemische Energie zurückzuführen ist.

Umwandlungsvorgänge haben daher immer eine „natürliche“ Richtung, in der sie ablaufen. Wärme strömt von einem heißeren zu einem kälteren Körper. Der Vorgang kann verzögert werden, z. B. durch Wärmedämmung von Gebäuden. Die Umkehr dieser Richtung, d. h. eine Energieaufwertung, ist nur durch einen anderen selbsttätigen Vorgang möglich, der seinerseits in natürlicher Richtung abläuft. Darauf beruht die Wärmepumpe. Jede Energieaufwertung wird also durch eine Energieentwertung angetrieben! Die Entwertungsrate ist im Idealfall dabei so groß wie die Aufwertungsrate.

Beispiel:

Erwärmung von Tee auf einem Stövchen

- 1. Selbsttätiger Vorgang:**
Warmer Tee kühlt auf Umgebungstemperatur ab.
- 2. Selbsttätiger Vorgang:**
Kerze brennt unter Energieabgabe an die Umgebung herunter.
- 3. Umkehrung des ersten Vorganges, d. h. Energieaufwertung unter gleichzeitiger Energieentwertung des 2. Vorganges:** Der Tee wird wieder erwärmt, ein Teil der Entwertung wird vermieden.



Aus diesem Beispiel wird deutlich, dass nicht die Energie als Antriebsursache für technische und natürliche Abläufe anzusehen ist. Diese bleibt stets erhalten! Vielmehr ist es die Energieentwertung, durch die Vorgänge in Gang gesetzt und gehalten werden.

Vor dem Hintergrund der Energieumwandlung gelingt die Verknüpfung zu der traditionellen physikalischen Umschreibung von Energie, der „Fähigkeit, Arbeit zu

verrichten“: Arbeit kennzeichnet dabei immer den Vorgang der Energieumwandlung, während Energie einen Zustand charakterisiert.

1.3 Maßeinheiten für Energie

Zur quantitativen Bemessung aller Energieformen wird die Einheit Joule verwendet. Das Joule ist nach dem englischen Physiker James Prescott Joule (1818–1889) benannt, der den von Robert Mayer im Jahr zuvor entdeckten Energieerhaltungssatz 1827 in eine exakte Form brachte:

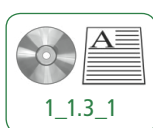
$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ Newtonmeter (Nm)}$$

Als weitere offizielle Einheit wird die Kilowattstunde verwendet, vorwiegend zur Messung von elektrischer Energie:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Kilowattstunde (kWh)} \\ &= 3\,600\,000 \text{ Joule (J)} \\ &= 3,6 \text{ Megajoule (MJ)} \end{aligned}$$

Die kleinere Einheit der kWh ist die Wattsekunde (Ws):

$$\begin{aligned} 1 \text{ kWh} &= 3,6 \cdot 10 \text{ Millionen Ws} = 10^6 \text{ Ws} \\ 1 \text{ Ws} &= 1 \text{ J} \end{aligned}$$



1_1.3_1

Nach dem Gesetz über Einheiten im Messwesen mit seinen Ausführungsverordnungen sind spätestens seit 1977 zahlreiche bis dahin gültige Maßeinheiten für Energie nicht mehr zulässig (z. B. Kalorie für Wärme, PS für Leistung). In der Energiewirtschaft werden Energievorräte, Energieverbrauch und Energiebedarf dennoch weiterhin aus Gründen der Anschaulichkeit häufig in Steinkohleeinheiten (SKE) oder auch in (Roh-)Öleinheiten (ROE) ausgewiesen. Unter 1 t SKE versteht man den mittleren Energieinhalt von 1 t Steinkohle, unter 1 t ROE denjenigen einer Tonne Rohöl (= rund 1,45 t SKE):

$$\begin{aligned} 1 \text{ t SKE} &= 29,3 \text{ Milliarden J} \\ &= 29,3 \text{ Gigajoule (GJ)} \end{aligned}$$

Die Leistung gibt an, welche Energiemengen in einer bestimmten Zeit umgesetzt werden, z. B. wie viel Joule in der Sekunde benötigt werden. Die Einheit der Leistung ist also Joule pro Sekunde (J/s). Diese Einheit wird auch als Watt bezeichnet. Das Watt ist nach dem schot-

tischen Mechaniker und „Erfinder“ der Dampfmaschine James Watt benannt:

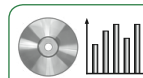
$$1 \text{ Watt (W)} = 1 \text{ J/s}$$

In den Tabelle 1_1.2_4 und 1_1.2_5 ist eine Reihe von Vergleichswerten für Leistungen und Energiemengen angegeben (exakte Umrechnungsfaktoren befinden sich auf Seite 36).

1.4 Energiearten

Primärenergie

Energie ist vielfach an ein Substrat, einen Energieträger, gebunden (Ausnahme: die Energieflüsse der meisten regenerativen Energien). Betrachtet man die Herkunft der Energieträger, so ist ein Großteil der heute genutzten Energie solaren Ursprungs. Das gilt nicht nur für die meisten regenerativen Energien, sondern auch für die festen, flüssigen und gasförmigen Rohstoffe im Erdboden. Denn diese sind letztlich durch Sonnenstrahlung in Millionen von Jahren entstanden. So betrachtet sind Torf, Kohle, Erdöl und Erdgas als durch Photosynthese gespeicherte Sonnenenergie aufzufassen. Man nennt sie „fossile Energien“, weil sie vor Urzeiten auf der



1_1.4_1

Überblick über das Primärenergieangebot

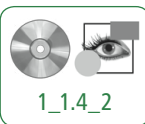
PRIMÄRENERGIE	unerschöpfliche Energien	regenerative Energien	Sonnenenergie
			Windenergie
			Wasserenergie
			Biomasse
			Erdwärme
			Meereswärme
			Gezeitenenergie
	erschöpfliche Energien	fossile Brennstoffe	Kohle
			Erdöl
			Erdgas
			Torf
		Kernbrenn- stoffe	Uran
			Thorium

Der Energiebegriff

Erde entstanden sind. So wie sie in der Natur vorgefunden werden, also unbearbeitet bzw. unveredelt, werden sie als Primärenergien bezeichnet. Zu diesen zählen auch die radioaktiven Schwermetalle Uran und Thorium (mineralische Energieträger) sowie die regenerativen Energien.

Die mineralischen Rohstoffe erneuern sich nicht, die fossilen nicht mehr in Zeiträumen menschlicher Maßstäbe. Beide werden im echten Sinne verbraucht. Ihre Vorräte sind somit prinzipiell erschöpflich. Man spricht von „mengenbegrenzten“ Energieträgern.

Im Unterschied dazu sind die regenerativen bzw. erneuerbaren Energien grundsätzlich unerschöpflich nach menschlichen Maßstäben. Sie werden überwiegend kontinuierlich durch die Sonneneinstrahlung gespeist. Zu den regenerativen Energien zählen Sonnen- und Windenergie, Wasserkraft, Gezeitenenergie, Erd-



und Meereswärme sowie Biomasse. Letztere nimmt eine Zwitterstellung ein. Sie wächst zwar einerseits nach, kann dabei allerdings durch Übernutzung lokal oder regional durchaus knapp werden („Brennholzkrisen“ in einer Reihe von Entwicklungsländern). Andererseits ist sie in einem Substrat verkörpert, eben der Biomasse.

Die Bezeichnung „unerschöpflich“ wird den tatsächlichen Gegebenheiten nicht ganz gerecht. Denn in der Regel können die regenerativen Energien nicht in ihrem Urzustand genutzt werden (Ausnahme u. a. Holz), sondern müssen – wie die fossilen Primärenergieträger – über den Verbrauchern zugeführte Endenergie zunächst von diesen in Nutzenergie überführt werden. Diese Umwandlungen setzen eine Bindung von Arbeit, Kapital und Zeit sowie nicht zuletzt nicht-energetischen Ressourcen (z. B. seltene Metalle) voraus, so dass die unerschöpflichen Energiequellen nur in dem Maße zur Verfügung stehen, wie sie durch Einsatz der genannten Faktoren nutzbar gemacht werden können. Sie sind somit nicht

„umsonst“. Zwar nicht die Sonne, aber die Solaranlagen „schicken eine Rechnung“. Kein Energieträger kostet als solcher etwas, auch die Kohle unter der Erde nicht. Kosten verursacht erst seine Nutzung.

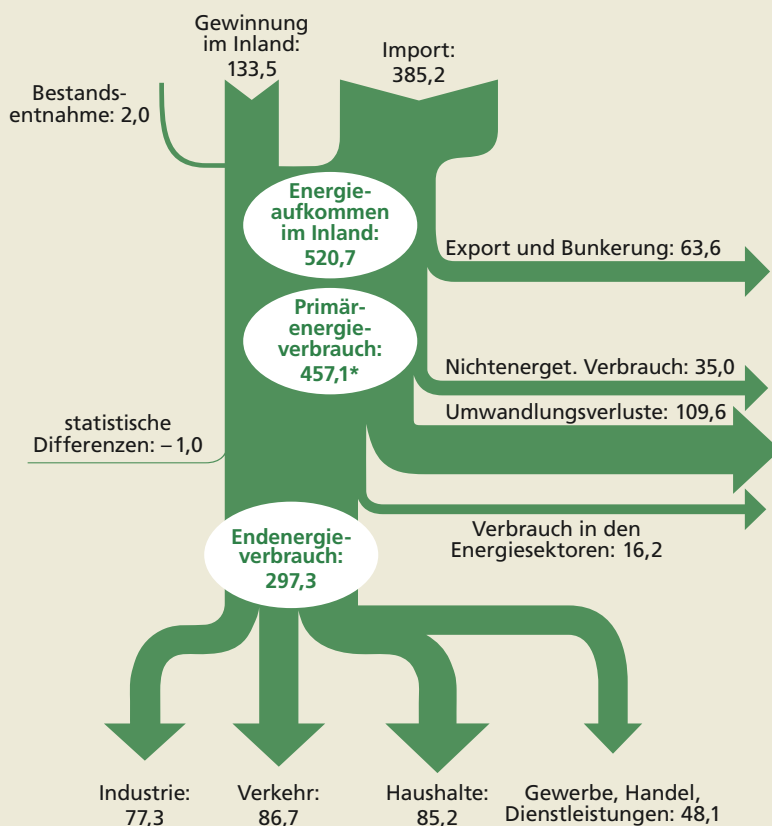
Sekundärenergie

Bei der Betrachtung der Energieumwandlungsketten werden zunächst alle Primärenergieträger auf eine Stufe gestellt und nicht-technische Umwandlungsvorgänge nicht berücksichtigt.

Manche Primärenergieträger können dem Verbraucher direkt zur Verfügung gestellt werden, wie z. B. Erdgas und die früher in den Haushalten häufig verbrannte Anthrazitkohle. Andere, wie Erdöl und Uran, aber auch die regenerativen Energien außer etwa Holz, sind für den Verbraucher so nicht verwendbar. Sie müssen aufbereitet werden. Zum großen Teil wird deshalb die Primärenergie in Sekundärenergie umgewandelt – die überwiegend von den Endverbrauchern eingesetzte Energieform. Koks und

Quelle: AG Energiebilanzen

Energieflussbild für die Bundesrepublik Deutschland in Mio. t SKE (Stand 2009)



Alle Zahlen vorläufig/geschätzt

1 Mio. t SKE = 29,308 Petajoule (PJ)

*der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch liegt bei 8,7%

Briketts sind z. B. Sekundärenergien aus Kohle; Benzin, Heizöl und Dieselkraftstoff solche des Erdöls. Mitunter finden mehrere Umwandlungen hintereinander statt (Sekundärenergien 1. und 2. Stufe: z. B. Erdöl zu Heizöl, Heizöl zu Fernwärme). Aus allen Primärenergien lässt sich das universelle Produkt Strom herstellen.

Nicht nur die Energiewirtschaft wandelt Kohle, Erdöl und Erdgas um und stellt sie dem Verbraucher in veränderter Form zur Verfügung. Diese Rohstoffe werden auch in der chemischen Industrie zur Produktion von Medikamenten, Farben, Körperpflegemitteln, Kunststoffartikeln u. a. eingesetzt (nicht-energetische Verwendung).

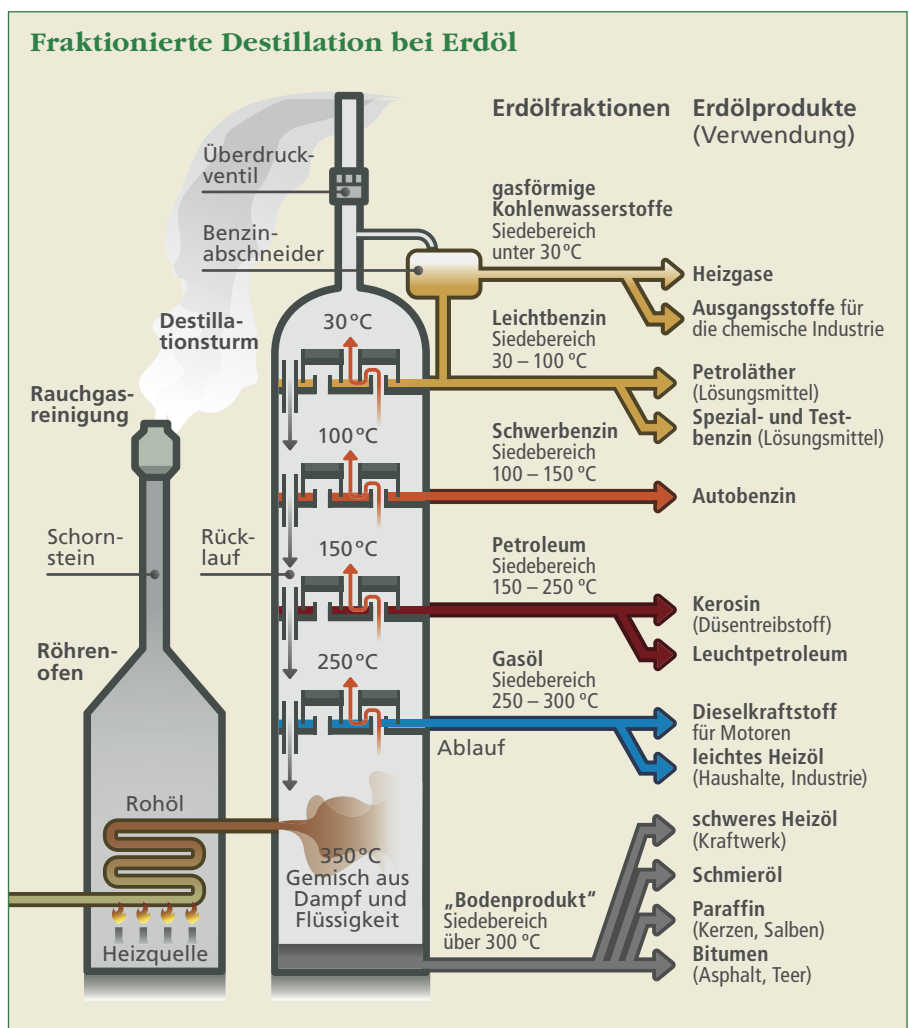
Endenergie und Nutzenergie

Sekundärenergien werden je nach Bedarf von den Endverbrauchern mit Hilfe von Energiewandlern weiter umgewandelt in Endenergie, z. B. Strom im Motor in Bewegungsenergie oder in der Glühlampe in Licht.

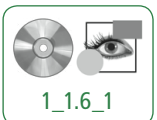
Nicht die gesamte Endenergie, die z. B. in Heizungen eingesetzt wird, kann auch genutzt werden. Bei der Umwandlung entstehen Verluste. Den verbleibenden nutzbaren Anteil bezeichnet man als Nutzenergie. Nutzenergieformen sind Prozess- und Heizwärme, Licht, mechanische Energie und (elektronische) Kommunikation. Erst die Nutzenergie erbringt in allen Sektoren (Haushalt, Gewerbe und Handel, Industrie, Verkehr) die eigentliche Energiedienstleistung, z. B. die warme Stube, die Produktion eines T-Shirts oder die schnelle Fortbewegung im Auto.

1.5 Energieumwandlung, Wirkungsgrad und „Energiesparen“

Bei der Energieumwandlung entstehen Verluste im Sinne einer Energieentwertung, da aus höherwertigen Energieformen (z. B. chemische Energie, elektrische Energie) niederwertige Energieformen wie z. B. Wärme entste-



hen. Als Wirkungsgrad bezeichnet man das Verhältnis der nutzbar abgegebenen Energie (Zielenergie) zur aufgewandten bzw. zugeführten Energie (vgl. LQ Heft 2).



1.1.6.1

Energieeinsparung

Im Laufe der Jahrhunderte wurde Energie immer effizienter genutzt. Neben dem gänzlichen Verzicht auf ihre Nutzung, wenn es auch ohne diese geht (z. B. durch Einkaufen zu Fuß statt mit dem Auto), ist, heute aus Ressourcen- und Umweltgründen die immer rationellere Energienutzung oder Erhöhung der Energie-Produktivität geboten. Der gleiche angestrebte Nutzen soll mit geringerem Einsatz von Energie erzielt werden, bzw. mit der gleichen Energiemenge soll ein höherer Nutzen bewirkt werden. Das gilt umso mehr, je knapper (etwa Erdöl) oder je umweltbelastender (etwa Kohle) ein Energieträger ist (qualitativer Aspekt des „Energiesparens“, siehe auch LQ Heft 5).



In der Aromaten- und Olefinanlage der Ruhr Oel-Raffinerie Gelsenkirchen wird z. B. Plastik produziert.

1.6 Energieveredelung

Erdöl

Erdöl ist ein Gemisch aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen, die unterschiedliche physikalische und chemische Eigenschaften besitzen. In der Raffinerie werden die unterschiedlichen Siedetemperaturen der einzelnen Fraktionen dieses Gemischs zu ihrer Trennung genutzt. Durch fraktionierende Destillation wird somit das Erdöl in eine Reihe von Stoffgruppen aufgeteilt.

Die im niedrigsten Siedebereich angesiedelten Kohlenwasserstoffe (Methan, Äthan, Propan, Butan) werden überwiegend direkt in der Raffinerie als Heizgase eingesetzt. Propan und Butan können darüber hinaus zu Flüssiggasen weiterverarbeitet werden und finden Anwendung im Wärmemarkt. Im mittleren Siedebereich fallen die Treibstoffe (Benzin, Diesel, Kerosin), leichtes Heizöl und Petroleum an. Die höher siedenden Kohlenwasserstoffe werden zu Schmieröl, Paraffin, Chemikalien, Salben u. a. verarbeitet. Die schweren und zähen Rückstände aus der Vakuum-Destillation können in der Raffinerie durch das so genannte „Cracken“ mit Hilfe von Wasserstoff zu Mitteldestillaten, besonders Treibstoffen, umgewandelt werden.

Erdgas

Erdgas ist ein Gemisch aus Methan (bis zu 95 %) und anderen gesättigten Kohlenwasserstoffen (z. B. Äthan, Propan, Butan, Pentan). Daneben sind Kohlendioxid,



Stickstoff, Schwefelwasserstoff, Wasser und Helium darin in geringen Mengen enthalten. Das Verhältnis von Kohlenstoff zu Wasserstoff beträgt etwa 1:4 (bei Erdöl 1:2, bei Kohle 1:0,05). Je höher der Wasserstoff-Anteil, desto umweltverträglicher ist ein fossiler Rohstoff.

Wasserstoff selbst kommt in der Natur allerdings nicht rein vor, ist also kein Primärenergieträger. Sofern das Rohgas nicht direkt verwendet werden kann, weil der Anteil an Schwefelwasserstoff zu hoch ist, muss es zu „Reingas“ aufbereitet werden. Von den Gasquellen wird das Erdgas über unterirdische Rohrleitungen oder in verflüssigter Form über See (Tiefkühl-Tankschiffe) in die Verbraucherländer transportiert.

Ein Großteil des Erdgases wird energetisch genutzt, vor allem zu Heizzwecken. Ein anderer Teil wird vorbehandelt der chemischen Industrie zur Weiterverarbeitung zugeleitet, z. B. zur Herstellung von Wasserstoff. Erdgas kann zu Äthin (Acetylen) veredelt werden. Dieses dient als Basis für die Herstellung von Kunststoffen, Kautschuk, Lösungs- und Frostschutzmitteln.

Stein- und Braunkohle

Zur Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme werden Braun- und Steinkohle in Kraftwerken verfeuert (siehe LQ Heft 2). Die Stahlindustrie setzt Steinkohle in veredelter Form als Koks in ihren Hochöfen ein. Durch Pressen von Feinkohle und Kohlenstaub werden Briketts hergestellt. Jedoch spielen Kohlebriketts im Hausbrand heute nur noch eine geringe Rolle.

Kohle kann auch vergast und verflüssigt werden. Von Anfang des 19. bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts wurde Steinkohlengas zunächst zu Zwecken der Straßen- und Gebäudebeleuchtung, später vor allem zur Beheizung von Häusern eingesetzt (heute Erdgas). In Deutschland wurden zu Beginn des 20. Jahrhunderts zwei Verfahren zur Verflüssigung von Kohle entwickelt.

Das **Fischer-Tropsch-Verfahren** geht dabei den „Umweg“ über die Erzeugung von so genanntem Wassergas, bestehend aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid, das sich bei der Einwirkung von Wasserdampf und Luft auf glühendem Kohlenstoff (Koks, Kohle) bildet. Der Wasserstoff wird mit Kohlenstoff unter mäßigem Druck und Temperaturen von etwa 250 °C zu Kohlenwasserstoffen verbunden (synthetisiert).

Inkohlungsreihe – bezogen auf aschen- und schwefelfreie Substanz (modifiziert nach Bischoff/Gocht)

Inkohlungsreihe	Dichte g/cm ³	Heizwert MJ/kg	Wasser in %	Flüchtige Bestand- teile in % der Trockensubstanz	Kohlenstoff in % der Trocken- substanz
Holz	0,2–1,3	14,65	(trocken)	80	50
Torf	1,0	6,28–8,37	60–90	65	55–65
Weichbraunkohle	1,2	7,54–12,56	30–60	50–60	65–70
Hartbraunkohle	1,25	16,75–29,31	10–30	45–40	70–80
Flamm-Fettkohle	1,3	29,31–33,40	3–10	17–45	80–90
Ess- und Magerkohle	1,35	33,49–35,59	3–10	7–17	90–93
Anthrazit	1,4–1,6	35,59–37,68	1–2	4–7	93–98

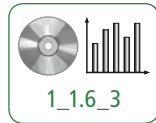
Quelle: GVG Velhagen & Klasing und Hermann Schroedel

Dagegen werden beim **Hydrierverfahren** die Großmoleküle der Kohle bei hoher Temperatur und hohem Druck gespalten und sodann an den Bruchstellen Wasserstoff-Moleküle angelagert. Mit Hilfe der Kohleverflüssigung deckte Deutschland einen Großteil seines Treibstoffbedarfs im 2. Weltkrieg. Beide Techniken sind teuer. Vor allem sind entsprechende Anlagen bei den heutigen Vorschriften zum Umweltschutz zumindest in Europa nicht zu realisieren.



1_1.6_4

Uran



1_1.6_3

Uran ist ein Schwermetall, das ähnlich wie Eisen und Kupfer als Uranerz im Gestein eingeschlossen ist. Die Uranverbindungen werden aus dem Erz herausgelaut und zu Uranoxid weiterverarbeitet (wegen der gelben Farbe des Pulvers „yellow cake“ genannt). In dieser Form ist es noch nicht geeignet, in einem Wärmekraftwerk eingesetzt zu werden:

Spaltbares Uran (U^{235}) hat nur einen Anteil von 0,7 % im Natururan. 99,3 % liegen als nicht-spaltbares U^{238} vor. Der Gehalt an U^{235} muss auf drei bis fünf Prozent angereichert werden, damit es ein für die in Deutschland betriebenen Druck- und Siedewasser-Reaktoren geeigneter Spaltstoff wird (in anderen Ländern, z. B. Kanada, laufen Reaktoren auf Natururan-Basis). Das angereicherte Uran wird sodann zu Urandioxid-Tabletten („Pellets“) gepresst. Mit 22 g angereichertem Uran lassen sich 1000 kWh erzeugen (zum Vergleich: modernste Kohlekraftwerke benötigen dafür rund 250 kg Steinkohle).

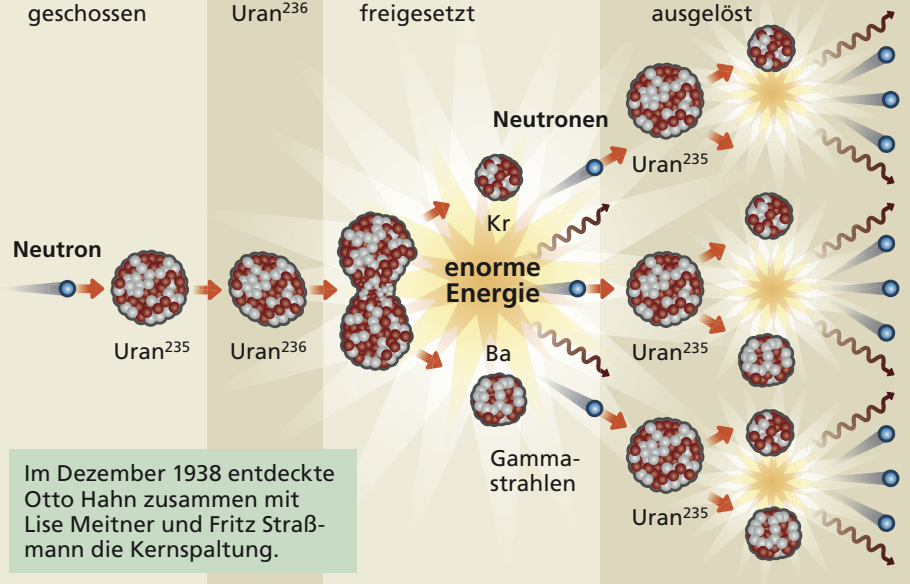
Die Kernspaltung

1 Ein Neutron wird auf den instabilen Kern von U^{235} geschossen

2 Es entsteht kurzlebiges U^{236}

3 Der Kern zerfällt meistens in Krypton (Kr) und Barium (Ba), Neutronen werden freigesetzt

4 Die freien Neutronen bombardieren andere U^{235} -Kerne, eine Kettenreaktion wird ausgelöst



2 Entstehung der Energieträger

2.1 Entstehung fossiler Energieträger

Die Entstehung der Energieträger Kohle, Erdgas und Erdöl ist ursächlich auf die Einstrahlung der Sonne zurückzuführen. Kohle, zum großen Teil auch Erdöl und Erdgas, sind pflanzlichen Ursprungs. Pflanzen sind in der Lage, Sonnenenergie in chemisch gebundene Energie umzuwandeln. Bei dem als Photosynthese bezeichneten biochemischen Prozess nehmen die Pflanzen über die Blätter Kohlendioxid (CO_2) aus der Luft und über die Wurzeln Wasser auf. Unter Sonneneinstrahlung entstehen energiereiche Kohlenhydrate (Zucker), während Sauerstoff freigesetzt wird ($6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$). Auf diese Weise wird der Kohlenstoff der Atmosphäre an die Erdoberfläche gebunden. Somit enthalten die fossilen Energieträger chemisch gebundene Energie, die als über Hunderte von Millionen Jahren gespeicherte Sonnenenergie aufzufassen ist.

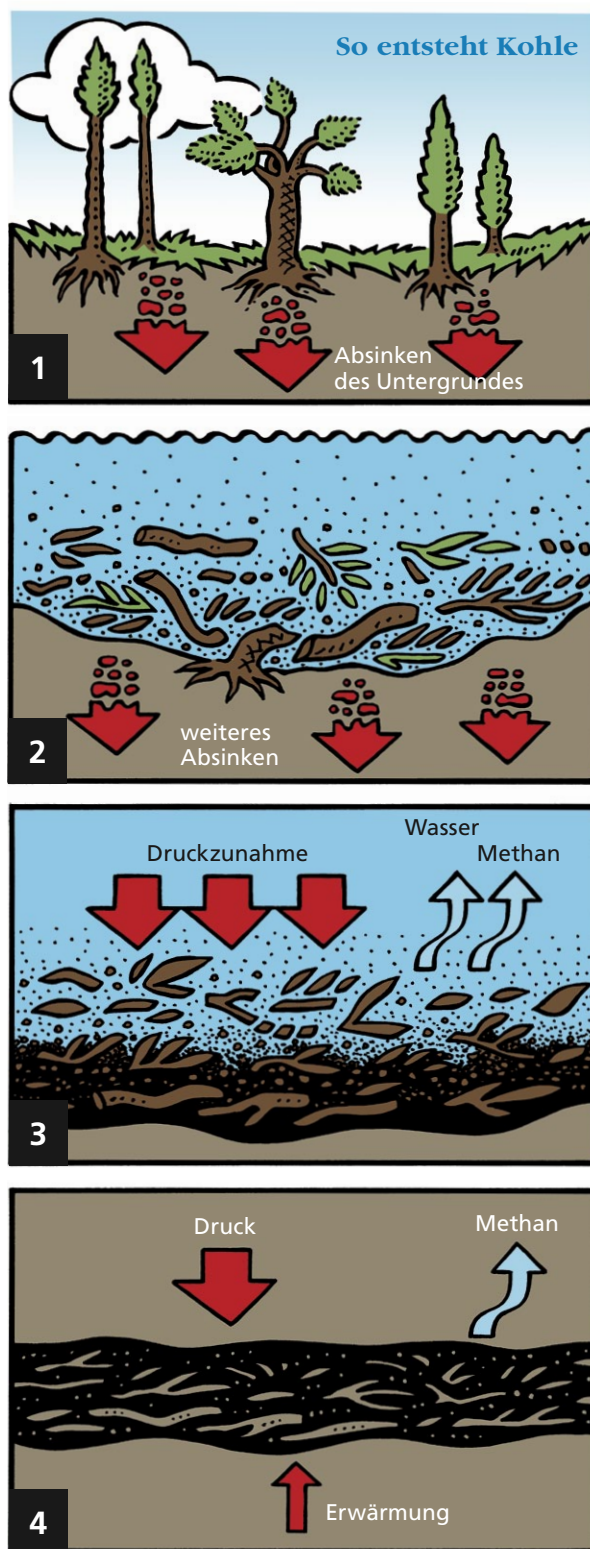
Fossile Energieträger und Umwelt

Heute werden die fossilen Energieträger – wenn man ihre Entstehungsgeschichte von vielen hundert Millionen Jahren berücksichtigt – in „Augenblicken“ ausgebeutet und „entwertet“. Auf diese Weise wird in wenigen Jahrhunderten der Kohlenstoff verbrannt, den die Natur in sehr langen Zeiträumen gesammelt hat.

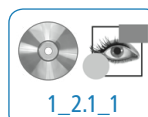
Das wichtigste Verbrennungsprodukt der fossilen Brennstoffe ist Kohlendioxid (CO_2). Derzeit werden weltweit jährlich durch die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas mehr als knapp acht Milliarden Tonnen Kohlenstoff in CO_2 umgewandelt, die zusätzlich in die Atmosphäre abgegeben werden. Dieser vom Menschen ausgelöste oder jedenfalls mit beeinflusste erdgeschichtlich schnelle Anstieg von Kohlendioxid in der Atmosphäre bewirkt, wenn er sich so fortsetzt, nach Ansicht der meisten Klimaforscher eine risikoreiche globale Klimaveränderung. Über die Auswirkungen bestehen noch große Unsicherheiten (siehe auch LQ Heft 6).

Entstehung von Braun- und Steinkohle

Nach dem gängigsten Erklärungsmodell wurden das Erscheinungsbild und die Pflanzenformationen der Erde während der feucht-kühlen Karbon- und der Permzeit vor etwa 350–250 Mio. Jahren durch riesige Sumpfwälder und Moore mit Schachtelhalmen, Bärlappgewächsen und Riesenfarne sowie durch zahlreiche Beckenlandschaften geprägt (Grafik 1_2.1_1 Bild 1).



Die absterbenden Riesenpflanzen, die in das sauerstoffarme Sumpfwasser der Beckenlandschaften fielen, wurden durch folgende Prozesse an der Verrottung gehindert und sukzessive in Kohle umgewandelt:



Die Beckenlandschaften senkten sich über einen längeren Zeitraum hinweg ab, und die Pflanzen wurden von Wasser und Schlamm überdeckt. Unter Luftabschluss wandelten Mikroorganismen das tote Material zunächst zu Torf um (biochemischer Inkohlungsprozess: Grafik 1_2.1_1 Bild 2).



Durch anhaltendes Absinken des Untergrundes bildeten sich neue Vegetationsümpfe aus und viele Pflanzengenerationen konnten sich ablagern. Zahlreiche Schichten Sand und Gestein überdeckten diese. Durch Wiederholung solcher Vorgänge entstanden mehrere Torf- und Kohleschichten, die in größere Tiefen gelangten und damit zunehmendem Druck und steigenden Temperaturen ausgesetzt waren (Grafik 1_2.1_1 Bild 3).

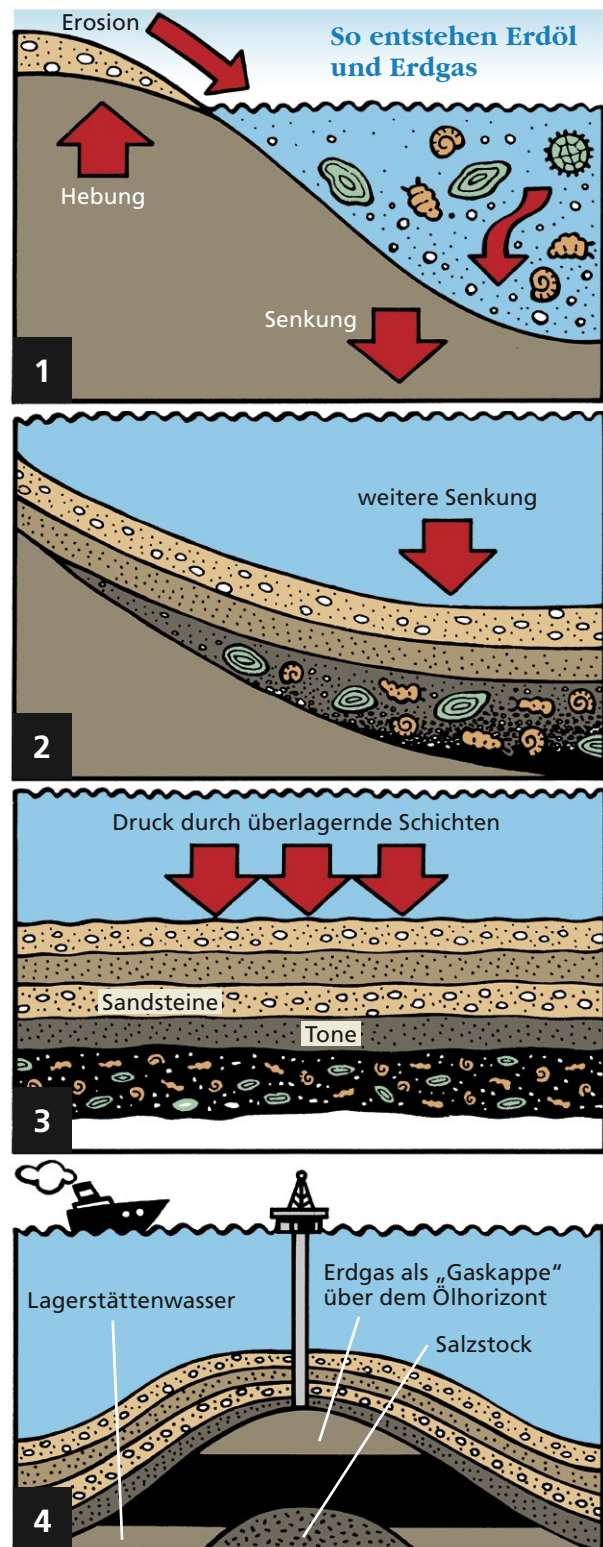
Im Ruhrgebiet z.B. wiederholte sich dieser Vorgang etwa 200-mal. Dieser geochemische Inkohlungsprozess trieb zunächst flüchtige Bestandteile wie Methan, CO_2 und H_2S (Schwefelwasserstoff) aus und je nach vorherrschendem Druck wurden die Schichten gepresst. So entstanden nach dem Torf zunächst Braunkohle (im Tertiär, vor etwa 60 Mio. Jahren) und schließlich Steinkohle oder – noch härter – Anthrazit. In Extremfällen kann dieser zu Graphit (reiner Kohlenstoff) oder Diamant verbacken (Grafik 1_2.1_1 Bild 4).

Der Kohlenstoffgehalt nimmt dabei zu, von etwa 45 % in der abgestorbenen Pflanzensubstanz zunächst auf 55 bis 65 % im Torf. Die in der Inkohlungsreihe an letzter Stelle stehende und damit am meisten gepresste Anthrazitkohle weist den höchsten Kohlenstoffgehalt (bis 98 % und den geringsten Wasserstoffanteil (zwei bis drei Prozent) auf.

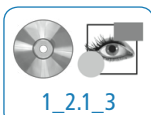
Beispiele für den langwierigen Prozess der Kohleentstehung sind: Ein Torfmoor wächst unter heutigen klimatischen Bedingungen in 100 Jahren zehn Zentimeter. Aus einer 20 m dicken Schicht abgestorbener Pflanzen entstand über einem zehn Meter starken Torflager ein nur zwei Meter mächtiges Steinkohleflöz. Aufgrund tektonischer, d. h. gebirgsbildender, Vorgänge wurden die ursprünglich einheitlich ausgebildeten Kohleflöze häufig in versetzt lagernde Schollen gegliedert. Dadurch wird heute der maschinelle Abbau erschwert.

Entstehung von Erdöl

Kleinste abgestorbene Meereslebewesen, d. h. tierisches und pflanzliches Plankton, bildeten vor etwa 500 Mio. Jahren die Ausgangsbasis für Erdöl. Am Grund flacher



Nebenmeere, die den größten Teil der Erdoberfläche zu dieser Zeit bedeckten, lagerten sich Reste von Meeresorganismen ab (Grafik 1_2.1_3 Bild 1). Flüsse schoben Sand und Geröll darüber. Unter Luftabschluss



zersetzten Bakterien das Gemisch zu Faulschlamm, indem sie Eiweißstoffe, Fette und Kohlenhydrate der Organismen chemisch umlagerten. Der Faulschlamm wurde danach noch von mehreren Schichten von (meist aus Verwitterung stammenden abgelagerten) Sedimentgesteinen überdeckt, verfestigt und durch Erdbebewegungen in immer tiefere Schichten abgesenkt (Grafik 1_2.1_3 Bild 2). Diese als „Erdölmuttergestein“ bezeichnete Schicht geriet unter zunehmenden Druck (Grafik 1_2.1_3 Bild 3).

Durch wachsenden Druck, steigende Temperatur und Wasser wurde das Erdöl ausgetrieben. Es wanderte durch poröse Nachbargesteine (Sandstein, Kalkstein) aufwärts, bis eine undurchlässige Schicht, z. B. Ton, diese Wanderung aufhielt. Unterhalb einer solchen undurchlässigen Schicht sammelte es sich in porösen Speichergesteinen in „Erdölfallen“ an (Grafik 1_2.1_3 Bild 4).

Erdöl ist auch als Ölschiefer und Teersand zu finden. Teersande sind schwarze zähe Substanzen, in denen das Erdöl nicht mehr flüssig vorliegt. Ölschiefer ist quasi das Erdölmuttergestein, in dem Bitumen fest mit Tonschiefer gebunden ist.

Entstehung von Erdgas

Erdgas ist im Zusammenhang mit der Bildung von Erdöl entstanden, oder es geht auf die Bildung von Methan bei der Entstehung von Kohle zurück. Im ersten Fall ist Erdgas in den gleichen Lagerstätten wie Erdöl anzutreffen. Es tritt als „Gaskappe“ über dem Ölhorizont auf oder ist unter Druck in Erdöl gelöst. Bei der Förderung wird es als Gas frei. Im zweiten Fall können sich Lagerstätten über tief liegenden Steinkohleflözen befinden. Die Kohle stellt hierbei quasi das Muttergestein für Erdgas dar, wie z. B. im Untergrund von ganz Norddeutschland, den Niederlanden und der südlichen Nordsee, wo in 3000 bis 8000 m Tiefe gleichartige Kohleflöze wie im Ruhrgebiet lagern, die durch die Abgabe von Methan alle Erdgaslagerstätten der genannten Gebiete speisen. Nach neueren Forschungen kann Methan aber auch rein chemisch (anorganisch), also ohne biologische Prozesse, entstehen.

Uranvorkommen

Uran ist, als Bestandteil von mehr als 150 Mineralien, ein auf der Erde sehr weit verbreitetes Element, verbreiteter z. B. als Silber. Es kommt hauptsächlich als Uranoxid in der Natur vor. Das wichtigste Uranerz ist die Pechblende

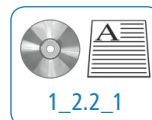
(UO_2). Uran findet sich im Meerwasser, in tieferen Zonen der Erdkruste und in oberen Schichten der Erdoberfläche. Aus einer Tonne verarbeitetem Uranerz erhält man einige Kilogramm Uranoxid. Uran gehört zu den Elementen, die beim Zerfall ionisierende Strahlung aussenden. Die wichtigen Uran-Isotope U^{235} (spaltbar) und U^{238} (nicht spaltbar) haben sehr lange Halbwertszeiten von rund 770 Mio. bzw. 4,5 Mrd. Jahren und strahlen daher nur sehr gering.

2.2 Ursprung und Entstehung der regenerativen Energien

Die regenerativen Energien lassen sich auf drei Quellen zurückführen:

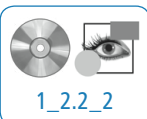
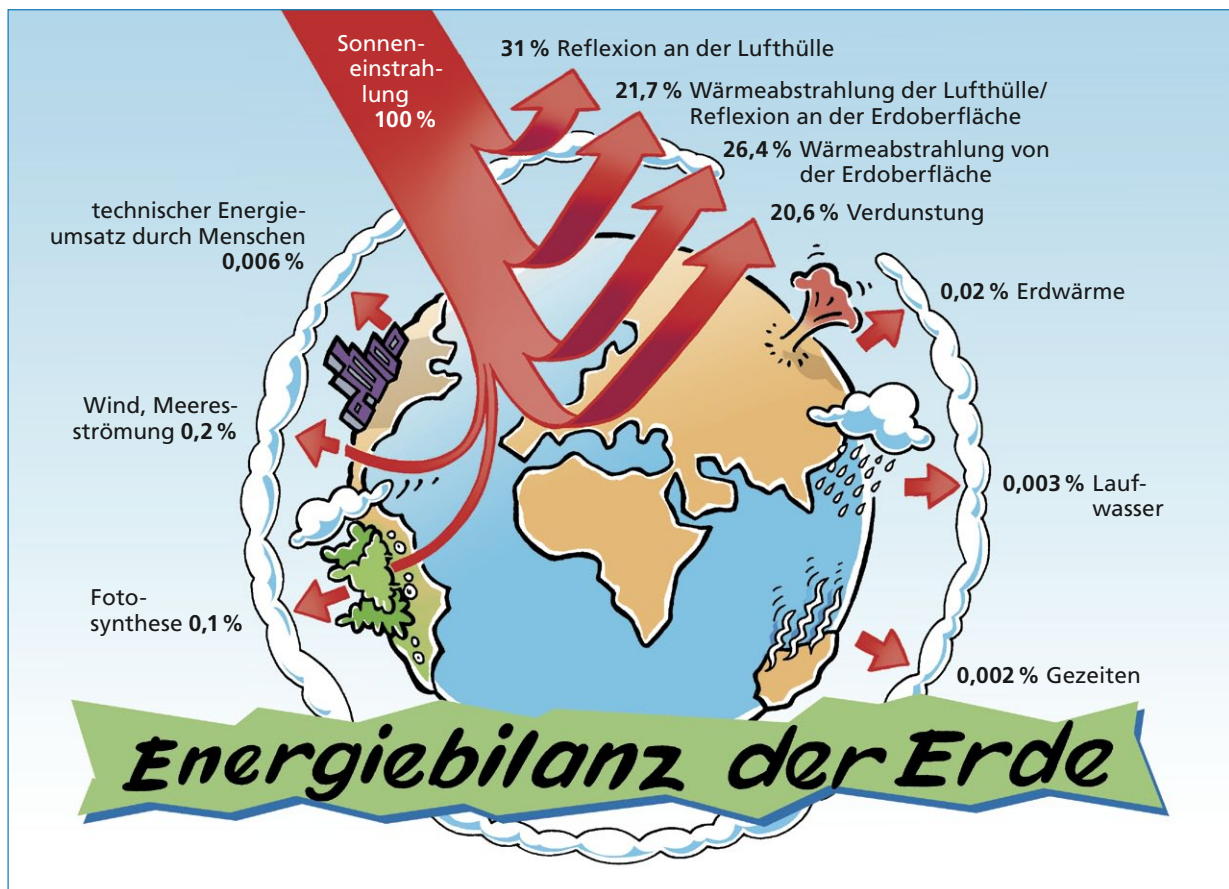
- die Sonnenstrahlung (Solarenergie selbst, Wind, Wasserkraft, Biomasse, Meeresenergien)
- den Zerfall radioaktiver Elemente im Erdinneren und die Resthitze aus der Zeit der Erdentstehung (Erdwärme)
- die Gezeitenkräfte, d. h. die Rotationsenergie der Erde in Verbindung mit der Massenanziehung zwischen ihr und anderen Gestirnen, besonders dem Mond (Gezeitenenergie).

Die bedeutendste unter ihnen ist die Sonnenstrahlung, vor allem ihre Komponenten Infrarot- oder Wärmestrahlung, sichtbares Licht und ultraviolette Strahlung. Sie rührt aus Kernverschmelzungsprozessen im Sonneninneren her. Die Sonne ist ein riesiger natürlicher Fusionsreaktor. Wasserstoffkerne werden zu Helium verschmolzen. Dieser Prozess ist seit etwa fünf Milliarden Jahren im Gange und wird noch mehrere Milliarden Jahre andauern.



1_2.2_1

Die Sonne strahlt ständig mit einer Leistung von 180 Mrd. MW auf die Erde. Das entspricht der Stromerzeugungskapazität von 150 Mio. großen Kraftwerken. Während eines Jahres werden gut 5,6 Mio. EJ eingestrahlt, d. h. in rund 40 Minuten die Energiemenge, die die Menschheit jährlich verbraucht. Die mit Lichtgeschwindigkeit (300 000 km/s) auf die Erde gelangenden elektromagnetischen Wellen werden an der Grenzschicht der Atmosphäre zum Teil direkt, zum Teil durch Vorgänge in der Luftschicht indirekt, in das Weltall zurückgestrahlt (reflektiert). Knapp die Hälfte (47,3 %) steht auf der Erdoberfläche zur Verfügung. Nur ein Bruchteil davon ist allerdings technisch nutzbar. Gerade einmal ein Tausendstel (0,1 %) lässt alle Pflanzen und Lebewesen entstehen und wachsen.



1_2.2_2

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien hat sich in den letzten Jahren sehr dynamisch entwickelt und kam 2010 mit 102,3 Mrd. kWh in Deutschland auf einen Anteil von 16 %. Den größten Anteil hatte dabei die Windenergie mit sechs Prozent, gefolgt von Biomasse mit fünf Prozent und die Wasserkraft mit drei Prozent. Fotovoltaik erreichte knapp zwei Prozent. Aus diesen Zahlen wird deutlich, dass die Erneuerbaren derzeit nur einen Teil der Stromerzeugung übernehmen, der überwiegende Teil wird durch Kohle Erdgas und Kernenergie bereitgestellt. In Zukunft soll sich das Verhältnis jedoch weiter zu Gunsten der Erneuerbaren verschieben. Allerdings setzt dies weitreichende Investitionen und einen grundlegenden Umbau der Netze voraus.

Direkte Nutzung der Sonnenenergie

Die direkte Nutzung der Solarenergie wird begrenzt durch die starken regionalen und zeitbedingten Unterschiede der Einstrahlung. Am längsten scheint die Sonne mit bis zu 3 500 Jahresstunden in den Wüstengürteln der Erde beiderseits des nördlichen und südlichen

30. Breitengrades. In Äquatornähe nimmt die Sonnenscheindauer wegen der häufigen Bewölkung wieder ab.

9,7 Mrd. kWh Strom wurden im ersten Halbjahr 2011 in Deutschland von Fotovoltaikanlagen geliefert. Das sind 3,5 % Anteil an der Stromerzeugung. Obwohl mengenmäßig noch relativ überschaubar, hat die Fotovoltaik aber in den letzten Jahren ein besonders rasantes Wachstum entwickelt. Zum einen aufgrund der staatlichen Förderung, zum anderen sind die Anlagen einfach in der Handhabung und können auch von Privatpersonen betrieben werden. Die Technik hat massive Fortschritte gemacht, was eine immer kostengünstigere Produktion ermöglicht. Der Fotovoltaik wird ein großes Potenzial zugetraut. 234 400 Hektar Gebäudeflächen gelten für die solare Nutzung geeignet. Damit ließe sich die Stromerzeugung aus Fotovoltaik bis zum Jahr 2020 auf rund 40 Mrd. kWh verzehnfachen.

Wasserkraft

Die Wasserkraft, d. h. die Energie des strömenden oder aufgestauten Wassers fließender Gewässer, ist eine indirekte Form der Sonnenenergie. Ihre Umwandlung

Quelle: AREVA Multibrid/Jan Oelker



45 km nördlich von Borkum liegt der deutsche Offshore-Windpark „alpha ventus“. Er liefert Strom für eine Stadt mit rund 50 000 Einwohnern. Für das Pilotprojekt wurde eine Investitionssumme von rund 250 Mio. Euro aufgewandt. 150 m hoch ragen die Windräder über der Wasserlinie in den Himmel – fast so hoch wie der Kölner Dom mit seinen 157 m.



1_2.2_3

in mechanische Antriebsenergie ist – wie beschrieben – seit dem Altertum bekannt. Wasserkraft zählt zu den wichtigsten regenerativen Energiequellen.

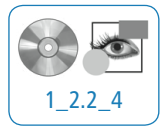
Sie beruht auf dem Wasserkreislauf der Natur. Jede Sekunde verdunsten auf der Erde etwa 14 Mio. m³ Wasser, hauptsächlich aus den Ozeanen, durch die Wärmeeinstrahlung der Sonne. Sie treten als Wasserdampf in die Atmosphäre ein. Ein Teil davon kühlt mit zunehmender Höhe ab und kondensiert. Es bilden sich Wolken, Nebel und Tau. Die Wolken regnen sich ab. Im Winter schneit es. So gelangt das Wasser als Niederschlag wieder zur Erde zurück. Es sammelt sich auf der Erdoberfläche in Flüssen und Seen. Durch den hiermit geschlossenen natürlichen Kreislauf des Wassers mit Verdunstung und Niederschlag regeneriert sich die „Wasserenergie“ ständig. Wenn die Niederschläge nicht auf Meereshöhe fallen, entsteht zugleich ein mehr

oder weniger großes Potenzial an Wasserkraft. So liegt Europa durchschnittlich 300 m über dem Meeresspiegel. In Nordamerika sind es 700 und in Asien sogar 940 m. Gepaart mit ergiebigen Niederschlägen und entsprechenden Wassermassen ergeben sich aus diesen Höhenunterschieden zum Meeresniveau (Gefälle) erhebliche Energiepotenziale.

Windenergie

Auch die Windenergie ist eine indirekte Form der Sonnenenergie. Die Sonne erwärmt die Luft über Erdboden und Wasser. Die Erwärmung der Luftschichten ist jedoch – u. a. aufgrund der Neigung der Erdoberfläche – nicht gleichmäßig. Die Strahlungsintensität der Sonne nimmt von den Polen zum Äquator hin zu. Durch lokale Erwärmungsunterschiede der die Erde umschließenden Luftschichten entstehen Druckunterschiede. In Regionen mit stärkerer Einstrahlung bilden sich Tiefdruckgebiete, in Regionen mit geringer Einstrahlung entstehen Hochdruckgebiete. Diese Druckunterschiede werden großräumig durch Luftbewegungen (Winde) vom Hoch-

ten entstehen Druckunterschiede. In Regionen mit stärkerer Einstrahlung bilden sich Tiefdruckgebiete, in Regionen mit geringer Einstrahlung entstehen Hochdruckgebiete. Diese Druckunterschiede werden großräumig durch Luftbewegungen (Winde) vom Hoch-



1_2.2_4



Quelle: Siemens

Strom aus Gezeitenströmungen: Die Anlage SeaGen in der irischen See liefert 1,2 MW Strom und kann etwa 1 500 Haushalte versorgen. Dabei treiben die Meeresströmungen, die durch Ebbe und Flut entstehen, zwei große Unterwasser-Rotoren an.

druck- zum Tiefdruckgebiet ausgeglichen. Dies erfolgt nicht auf dem direkten Weg, sondern in einer spiralförmigen Bewegung um das Zentrum der jeweiligen Hoch- und Tiefdruckgebiete, weil die Winde durch die Erddrehung um die eigene Achse abgelenkt werden. Kleinräumig (lokal) betrachtet können überlagernde Winde sich verstärken bzw. reduzieren und durch die Beschaffenheit der Erdoberfläche gebremst oder abgelenkt werden. Auf See herrschen stärkere und meist gleichmäßigere Winde, anders als an Land. Deshalb geht die Tendenz zu Offshore-Anlagen.

Meeresströmung und Meereswärme

Meeresströmungen entstehen ähnlich wie die Winde. Infolge der unterschiedlichen Sonneneinstrahlung werden die Meere in Äquatornähe stärker erwärmt als an den Polen. Es bilden sich, auch beeinflusst durch die Erdrotation, ausgleichende Meeresströmungen, die im Allgemeinen vom Äquator zu den Polen verlaufen und von dort abgekühlt wieder zurückkehren, z. B. Europas „Heizung“, der Golfstrom.

Die Bewegungsenergie dieser Meeresströmungen, z. B. des Golfstroms mit seinen 80 Mio. m^3/s , könnte theoretisch genutzt werden. Jedoch ist dies mit großem technischen und finanziellen Aufwand verbunden. Zudem sind die möglichen Umweltauswirkungen unerforscht.

Eine Nutzung der Energie der Meereswärme ist z. B. denkbar beiderseits des Äquators bis etwa zum 20. Breitengrad. Dort bilden die tropischen Meere riesige Wärmespeicher. Die Sonnenstrahlung erwärmt das Oberflächenwasser bis zu einer Tiefe von einigen Metern auf bis zu 28°C . In 100 m Tiefe bleibt die Temperatur dagegen konstant bei circa 4°C . Der Temperaturunterschied von etwa 20°C zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser ließe sich theoretisch mit Meereswärmekraftwerken nutzen. Diese könnten jedoch wegen der noch sehr geringen Wirkungsgrade kaum rentabel betrieben werden. In großtechnischem Maßstab angewandt sind sie zudem als ökologisch nicht unbedenklich einzustufen.



Wellenkraftversuchsanlage in der Nordsee vor der Küste Dänemarks in der Nähe von Hanstholm. Die Anlage steht mit vier Stützen fest auf dem Meeresboden. Überdimensionale Schwimmer werden von den Wellen auf und ab bewegt und produzieren so Strom.

Quelle: picture alliance/dpa

Wellenenergie



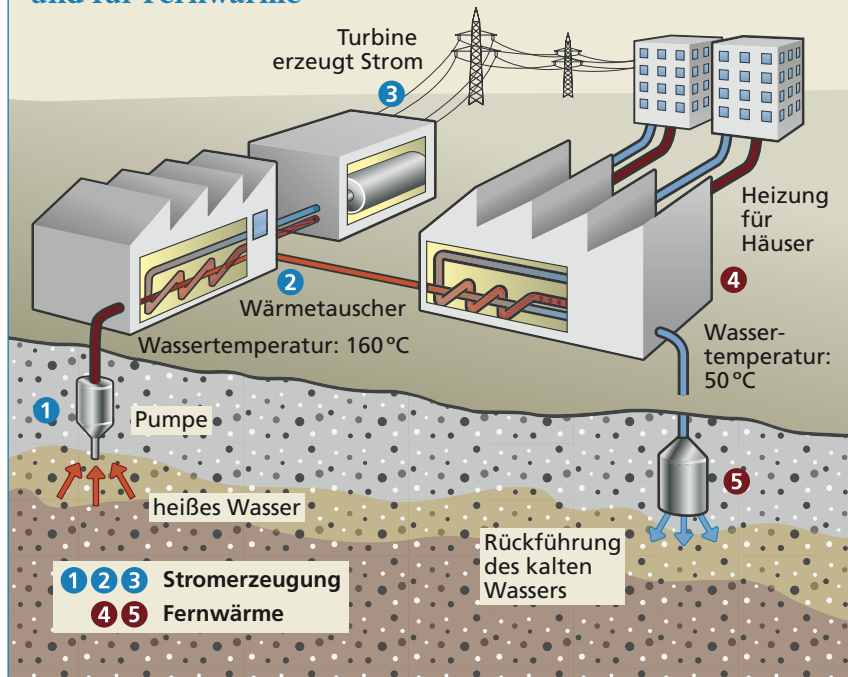
Durch die Windreibung an der Wasseroberfläche entstehen Wasserwellen.

Diese können sich entweder fortbewegen, d. h. sie enthalten kinetische Energie, oder es sind nicht wandernde, sich nur auf und ab bewegendende Wasserteilchen, die zwischen Wellenberg und -tal potenzielle Energie aufweisen. Die Nordseewellen in der Deutschen Bucht haben z. B. eine mittlere Höhe von 1,50 m und eine mittlere Leistung von circa 14 kW/m Wellenfrontbreite. Eine Wellenfront von 250 km Länge beinhaltet damit eine potenzielle Leistung von 3500 MW.

Die Nutzbarmachung dieses Energieangebots durch Wellenenergiewandler wird durch die unterschiedlichen, unregelmäßigen Wellenhöhen erschwert. Die ökologische Belastung in Küstennähe (Behinderung des Sauerstoff- und Planktontransportes) und die ungelöste Frage des Transports der gewonnenen elektrischen Energie bei Standorten auf offenem Meer sind zusätzliche Herausforderungen für die Ingenieure.

Hunderte von Mini-Wellenkraftwerken liefern Leistungen zwischen 50 und 500 W zur Beleuchtung von Seezeichen. In Norwegen und Großbritannien sind größere Prototyp-Anlagen in Betrieb. An den – meist flachen – deutschen Küsten kommt eine Nutzung der Wellen nicht in Betracht.

Die Nutzung von Erdwärme zur Erzeugung von Strom und für Fernwärme

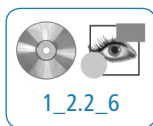


strom deutlich über dem Mittelwert liegt und die Temperatur mit der Tiefe rascher zunimmt. Derartige „Anomalien“, die ihre Ursache z. B. im Aufdringen von geschmolzenen heißen Gesteinsmassen haben können (ehemals vulkanische Gebiete), können zur Warmegewinnung, unter Umständen auch zur Stromerzeugung, genutzt werden (vgl. LQ Heft 3).

Gezeitenenergie

Die Erdumdrehung und die Anziehungskräfte von Mond und Sonne bewirken alle zwölf Stunden und 25 Minuten die Gezeiten Flut und Ebbe und entsprechend einen Höchststand und einen Tiefstand des Wassers. Deren Differenz, der

„Tidenhub“, beträgt auf dem offenen Meer im Durchschnitt etwa einen Meter, an besonderen Küstenformationen jedoch bis zu 20 m. Die in den Gezeiten steckende potenzielle bzw. kinetische Energie kann in Gezeitenkraftwerken in elektrische Energie umgewandelt werden. Für einen wirtschaftlichen Einsatz sind mindestens fünf Meter Tidenhub erforderlich. In Deutschland (Hamburg 2,20 m und Wilhelmshaven 3,80 m) wird ein solcher Tidenhub nicht erreicht. Im Mündungstrichter der Rance bei St. Malo in der Normandie wird ein Gezeitenkraftwerk auf der Grundlage eines durchschnittlichen Tidenhubs von acht Meter betrieben. Es ist allerdings nicht wirtschaftlich. Auch in Kanada und Russland gibt es Prototyp-Gezeitenkraftwerke.



Erdwärme (Geothermie)

Die geothermische Energie wird von zwei Wärmequellen gespeist: Etwa 30 % des Erdwärmestromes dürften von der Restwärme aus dem Erdkern des bei seiner Entstehung vor rund 4,5 Mrd. Jahren glühenden Erdballs entstammen („Ursprungswärme“). Der größere Teil (etwa 70 %) wird durch den permanenten Zerfall der natürlichen radioaktiven Isotope Uran²³⁵, Uran²³⁸, Thorium²³² und Kalium⁴⁰ erzeugt. Diese Elemente sind u. a. in den Granit- und Basaltschichten der Erdkruste in unterschiedlichen Konzentrationen enthalten.

Verglichen mit anderen regenerativen Energieformen, besonders mit Wind und Sonne, weist die Geothermie einen entscheidenden Vorteil auf. Sie ist keinen meteorologischen Schwankungen oder Witterungseinflüssen unterworfen, vielmehr stellt sie ihr Energieangebot stetig und gleichmäßig zur Verfügung.

Die aus der Ursprungswärme und dem radioaktiven Zerfall im Inneren der Erde entstehenden Wärmeströme werden fortwährend zur Erdoberfläche transportiert. In Gebieten mit normalem Wärmefluss nimmt die Temperatur zum Erdinneren durchschnittlich um 30°C/km zu. Damit ist Erdwärme zwar überall vorhanden, ihre Nutzung lohnt sich aber nur an Stellen, wo der Erdwärmestrom

Biomasse

Biomasse ist in chemischer Form gespeicherte Sonnenenergie. Sie hat ihren Ursprung in pflanzlicher Substanz. Pflanzen besitzen die Fähigkeit, über den Prozess der Photosynthese aus den anorganischen Stoffen Kohlendioxid und Wasser mit Hilfe der Sonnenenergie organische Verbindungen aufzubauen und Sauerstoff „auszuatmen“. Ihre Nutzung ist interessant, weil hier eine speicherfähige regenerative Energie vorliegt. Denn die Energie der Sonne wird in überschaubaren Zeiträumen in energiereiche Stoffe wie Zucker, Stärke, Zellulose und Lignin, aber auch in Fette und Proteine eingebunden.

Statistische Reichweite der weltweiten Reserven an fossilen Energierohstoffen und Uran*

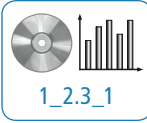
Energie-träger	Weltver-brauch 2009 in Mrd. t SKE	Reserven Ende 2008 in Mrd. t SKE	Reichweite in Jahren
Braunkohle	0,3	105	ca. 350
Steinkohle	4,4	615	ca. 140
Erdöl**	5,4	225	ca. 40
Erdgas	3,7	245	ca. 65
Uran***	1,0	25	ca. 25

* für die Ermittlung der statischen Reichweite werden die nachgewiesenen derzeit technisch und wirtschaftlich gewinnbaren Vorräte geteilt durch den Verbrauch des letzten Jahres

** ohne nicht-konventionelles Erdöl (Schwerstöle, Teersande, Ölschiefer)

*** nur Vorräte mit Förderkosten bis 40 USD je kg; ohne Thorium, ohne Wiederaufbereitung, ohne Brutreaktoren

Quelle: BGR, BP



1_2.3_1

Der Energieinhalt von Biomasse ist beträchtlich: Eine Tonne trockener Biomasse entspricht durchschnittlich dem Energieinhalt von einer halben Tonne Steinkohle. Insgesamt entnehmen die

Pflanzen jährlich rund ein Siebtel der in der Atmosphäre vorhandenen Gesamtmenge an CO₂ und setzen es unter Verwertung von 0,1 % der Solarstrahlung in Biomasse um. Dabei werden etwa 150 Mrd. t Biomasse gebildet. Davon werden weltweit derzeit 4,4 Mrd. t – überwiegend für die Nahrungsmittelerzeugung – genutzt. Biomasse ist demnach in erster Linie als Nahrungslieferant von Bedeutung, an zweiter Stelle als chemischer Rohstoff und erst an dritter als Energieträger. Das Energiepotenzial der Biomasse ist ein Mehrfaches größer als der derzeitige Weltenergiebedarf von rund 510 EJ.

Es gibt eine Vielfalt von Verfahren zur energetischen Nutzung der in der Biomasse gespeicherten Energie mit den Endprodukten Wärme, Strom und Treibstoffe:

- **thermochemische Verfahren:** Verbrennung, Verschweilung oder Pyrolyse (Zersetzung unter hohen Temperaturen), Verflüssigung
- **biologische Verfahren** unter Einwirkung von Bakterien und Pilzen (Vergärung, Verrottung) oder von Enzymen (Fermentation)
- **Extraktion** bei ölhaltigen Pflanzen.

Die Verfeuerung von Abfall-Biomasse ist sehr sinnvoll. Der gezielte Anbau von Energiepflanzen ist zum Teil wirtschaftlich, zum Beispiel bei Plantagen mit schnell wachsenden Bäumen. Ob die Herstellung von Biotreibstoffen aus Zuckerrohr oder Weizen Umweltvorteile

bringt, ist jedoch zweifelhaft. Vor allem aber steht die Inanspruchnahme fruchtbarer Böden (deren Umfang weltweit zurückgeht!) hierfür und der in vielen Regionen bestehenden Wasserknappheit in Konkurrenz zur Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung. Biotreibstoffe sind deshalb ethisch fragwürdig.

2.3 Reserven, Ressourcen und Reichweiten der fossilen Energieträger

Primärenergiebildung und -verbrauch

Gegenwärtig werden circa 80 % des seit 1970 mehr als verdoppelten Weltenergieverbrauchs von rund 17,4 Mrd. t SKE durch fossile Primärenergieträger gedeckt. Das entsprach 2009 einem Verbrauch an Kohle, Erdöl und Erdgas von rund 14 Mrd. t SKE. Die darin gespeicherte Sonnenenergie wurde von der Natur in fast 500 000 Jahren angesammelt. Bei diesem Tempo werden die während der gesamten Erdgeschichte angesammelten Vorräte in relativ kurzer Zeit, womöglich noch in diesem Jahrhundert, weitgehend aufgebraucht sein.

Fossile Energieträger sind überdies nicht nur energetisch nutzbar. Sie sind zugleich wichtige Rohstoffe für die Industrie. Werden sie verbrannt, gehen sie der Menschheit für immer verloren. Vor diesem Hintergrund und dem des Klimarisikos müssen die beiden Hauptforderungen auf dem Energiegebiet an unsere Gesellschaft – unabhängig von den Reichweiten insbesondere für Erdöl und Erdgas – heißen: Immer bessere Ausnutzung der aufgewandten Energie, also immer höhere „Energie-Effizienz“ oder „Energie-Produktivität“ durch das Verhalten der Verbraucher („Energiesparen“) und weitere technische Verbesserungen, sowie eine wirtschaftlich vertretbare Ablösung der fossilen durch erneuerbare Energien. Nur so kann die Forderung nach Nachhaltigkeit, d. h. ökonomischer, ökologischer und sozialer Chancengleichheit der heute lebenden und der künftig geborenen Menschen bei Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen, erfüllt werden.

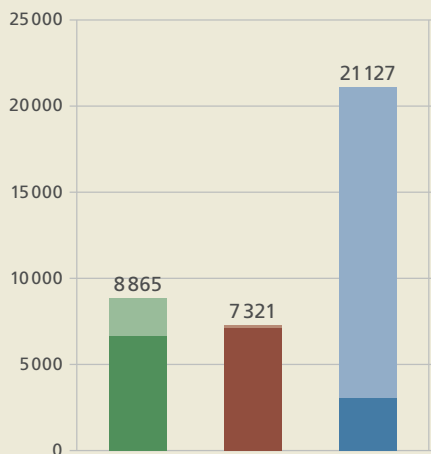
Reserven, Ressourcen und Reichweiten

Bei der Höhe der Primärenergievorräte wird zwischen Reserven und Ressourcen unterschieden. Die genauen Definitionen sind dabei für die einzelnen Energieträger unterschiedlich. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe legt die folgenden Abgrenzungen zugrunde:

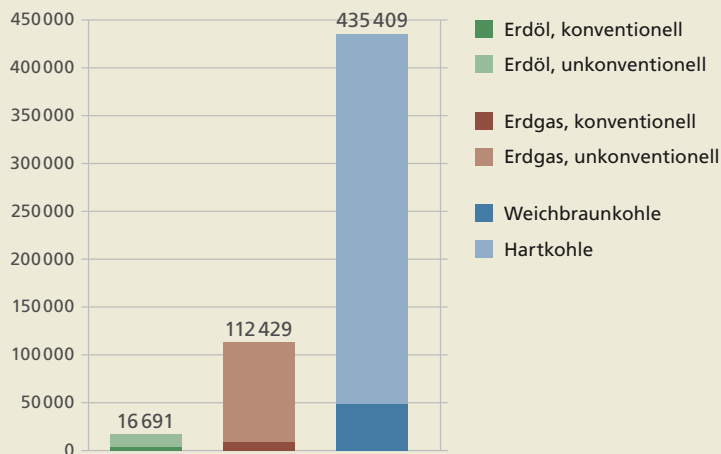
Quelle: BGR

Weltweite Reserven und Ressourcen fossiler Energierohstoffe 2008

Reserven in EJ (gesamt: 37 313 EJ)



Ressourcen in EJ (gesamt: 564 529 EJ)



- „Reserven sind die Mengen eines Rohstoffes, die mit großer Genauigkeit erfasst wurden und mit den derzeitigen technischen Möglichkeiten wirtschaftlich gewonnen werden können.“
- „Ressourcen sind die Mengen eines Rohstoffes, die geologisch nachgewiesen sind, aber derzeit nicht wirtschaftlich gewonnen werden können und die Mengen, die nicht nachgewiesen sind, aber aus geologischen Gründen in dem betreffenden Gebiet erwartet werden können.“

(Quelle: BGR, Energierohstoffe 2009, Reserven, Ressourcen, Verfügbarkeit, Stand 10.11.2009)

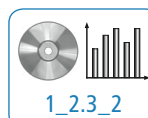
Durch verbesserte Fördertechniken oder höhere Weltmarktpreise für Energie einerseits und zusätzliche Erkundung andererseits können sie zu Reserven werden. Demnach bilden Reserven den aktuell gewinnbaren Teil der Gesamtmenge der Ressourcen.

Reichweite der fossilen Primärenergieträger

Zur Veranschaulichung der Endlichkeit der fossilen Primärenergieträger wird häufig deren „statische Reichweite“ in Jahren herangezogen. Man erhält sie, indem man die Reserven bzw. Ressourcen durch den Verbrauch des jeweils letzten Jahres dividiert. Wie oben gesehen, sind aber weder die Reserven noch der Weltjahresverbrauch unveränderliche Größen.

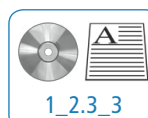
Eine andere Betrachtungsweise ergibt die „dynamische Reichweite“. Für ihre Errechnung werden Annahmen über das Wachstum des zukünftigen Verbrauchs getroffen. Ebenso kann die Menge der Reserven – etwa auf Grund von Annahmen einer bestimmten Höhe der

Investitionen zur besseren Ausbeutung vorhandener oder Erschließung neuer Lagerstätten – verändert werden. Legt man den derzeitigen Weltenergieverbrauch (2009) von 17,4 Mrd. t SKE (circa 510 EJ) zu Grunde, so ergeben sich für die nach heutigem Stand wirtschaftlich gewinnbaren Reserven der fossilen Primärenergieträger die aus der Tabelle ersichtlichen statischen Reichweiten.



1_2.3_2

Der Berechnung statischer Reichweiten liegen zwei vereinfachende Annahmen zugrunde: zum einen, dass die Reserven und Ressourcen unverändert bleiben, weil keine Erkundung und Erschließungen mehr unternommen werden, zum anderen, dass der Energieverbrauch nicht mehr zunimmt. Diese vereinfachenden Annahmen schränken die Aussagekraft ermittelter „statischer Reichweiten“, zumal in einer sich dynamisch entwickelnden Weltenergiewirtschaft, stark ein. Deshalb versucht man, sich realistischen Aussagen zu nähern, indem man die wahrscheinliche weitere Entwicklung des weltweiten Energieverbrauchs und die Erschließung von Ressourcen in die Überlegungen einbezieht.

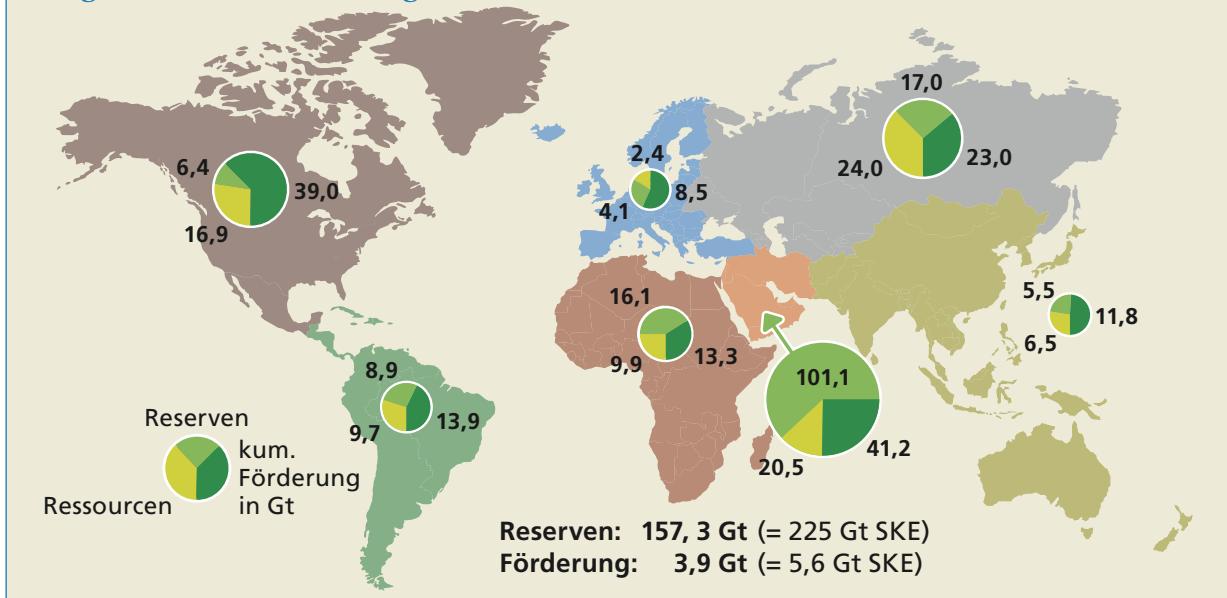


1_2.3_3

Die Ressourcen der fossilen Energierohstoffe wurden für Ende 2008 auf etwa 19 000 Mrd. t SKE, das entspricht etwa dem 15-fachen der zum gleichen Zeitpunkt geschätzten Reserven, veranschlagt. Bei den fossilen weltweiten Energieressourcen dominieren die Kohlen mit einem Anteil von mehr als 75 % vor den konventionellen und nicht-konventionellen Erdgasen mit rund 20 % und den Erdölen mit gerade einmal drei Prozent.

Regionale Verteilung des Gesamtpotenzials von konventionellem Erdöl 2007 (insgesamt 400 Gt) nach Regionen

Quelle: BGR

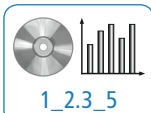


Bei einem weltweiten Vergleich für alle fossilen Energierohstoffe der Jahresförderung von rund 14 Mrd. t SKE, der Reserven von rund 1300 Mrd. t SKE

und der Ressourcen von rund 19000 Mrd. t SKE ergibt sich eine Relation von 1 zu 90 zu 1350. Unter Berücksichtigung der Anteile der einzelnen Energierohstoffe folgt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und

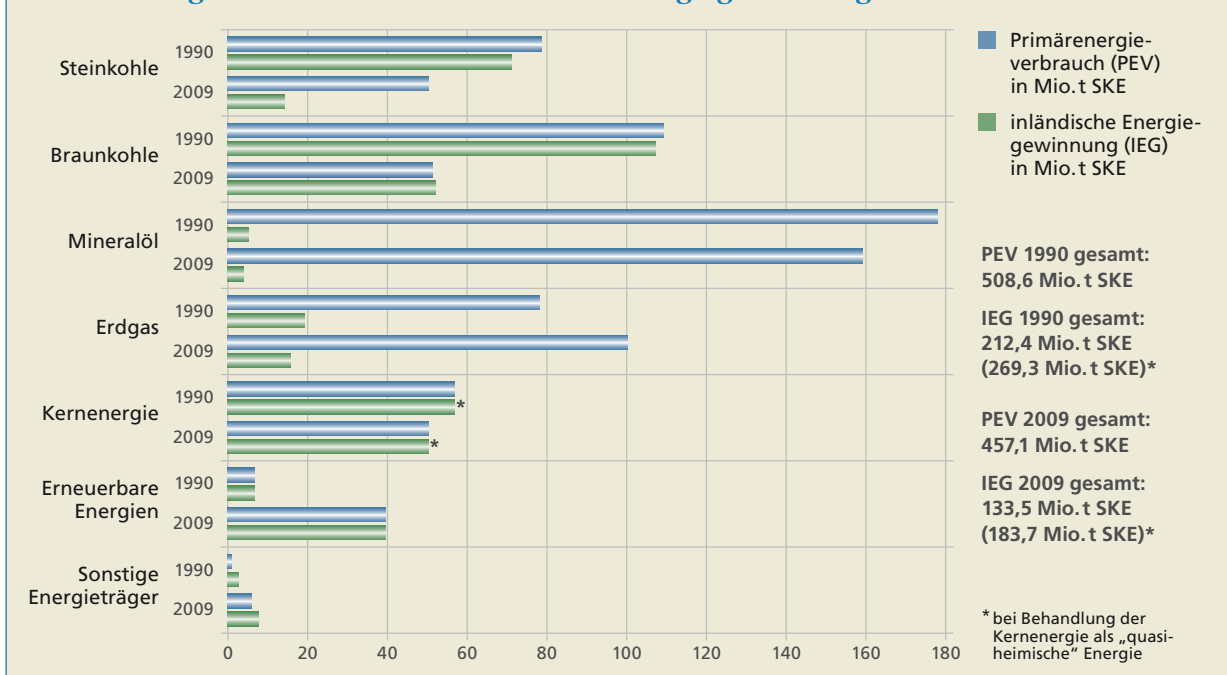
Rohstoffe daraus, dass die globalen Reserven auch längerfristig grundsätzlich eine ausreichende Deckung des weltweiten Energiebedarfs erwarten lassen.

Ausgenommen hiervon ist allerdings das Erdöl. Zwar ist aus geologischer Sicht dessen verbleibendes Potenzial bei einem moderaten Verbrauchsan-



Primärenergieverbrauch und inländische Energiegewinnung in Deutschland

Quelle: AG Energiebilanzen



Entstehung der Energieträger

stieg ausreichend, um die Versorgung für die überschaubare Zukunft zu sichern. Aber der Zeitpunkt einer weltweit maximal möglichen Förderung kann selbst durch verstärkte Nutzung unkonventioneller Erdöle (Ölsande, Schwerstöle) aufgrund des damit verbundenen Anstiegs der Förderkosten nur begrenzt hinausgezögert werden. Eine im Vergleich zum Erdöl günstigere Entwicklung ist beim Erdgas zu erwarten. Insbesondere bei den Ressourcen übertrifft das Erdgas das Erdöl deutlich. Unter Berücksichtigung der weiteren Erschließung unkonventioneller Erdgasvorkommen wird unterstellt, dass ein steigender weltweiter Erdgasbedarf über die Jahrhundertmitte hinaus sicher gedeckt werden kann. Dabei hat die in den letzten Jahren eingetretene rasche Entwicklung unkonventioneller Erdgasressourcen, insbesondere von Gas aus Schiefergestein (shale gas) in den USA, die Aussichten für den Erdgasmarkt verbessert.

Mit einem Anteil von mehr als 50 % bei den Reserven und gut 75 % bei den Ressourcen verfügt die Kohle über die größten Potenziale bei den fossilen Energierohstoffen. Es wird deshalb erwartet, dass die Kohle insbesondere im Zusammenhang mit dem sich fortsetzenden wirtschaftlichen Aufholprozess der Schwellenländer (China, Indien, Brasilien etc.) einen wachsenden Beitrag zur Weltenergieversorgung übernehmen wird.



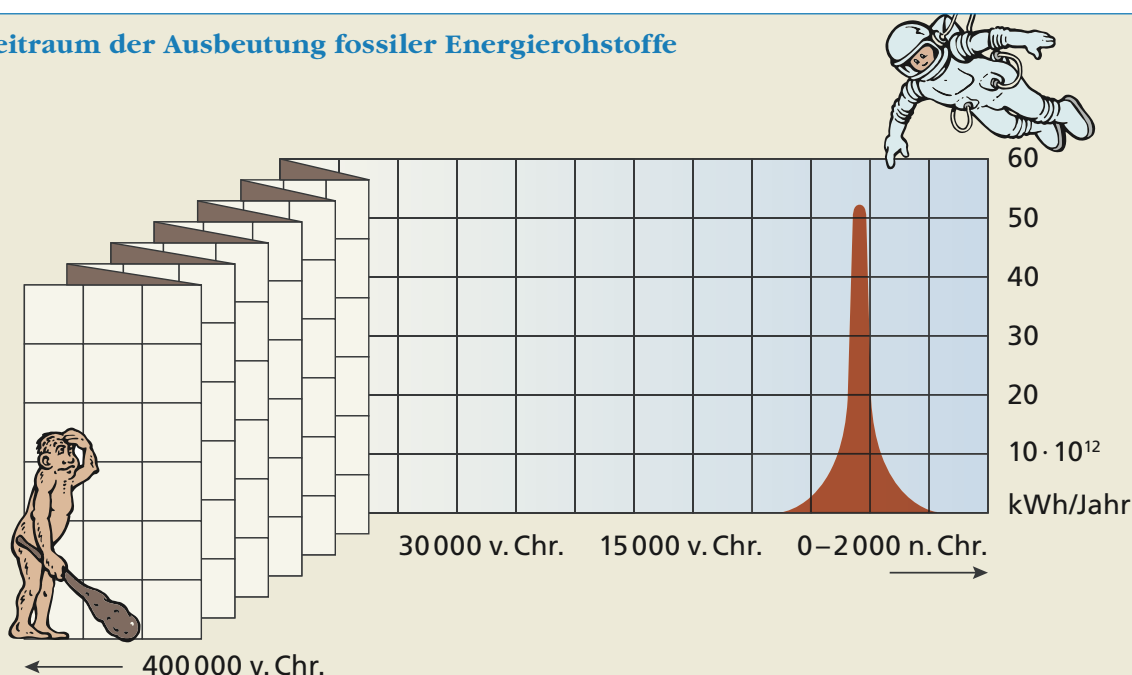
1_2.3_6

Auch die Nutzung der Kernenergie, deren Ausbau überwiegend außerhalb Europas und Nordamerikas verfolgt wird, wird in Zukunft nicht durch die Verfügbarkeit von Kernbrennstoffen begrenzt werden. Von wesentlicher Bedeutung sind hierfür andere Faktoren wie die Akzeptanz dieser Technologie in der Öffentlichkeit und die Lösung der Endlagerungsproblematik für hoch radioaktive Abfälle. Jüngste Szenarien und Prognosen kommen überwiegend zu dem Ergebnis, dass der Weltenergieverbrauch trotz einer verstärkt auf Energieeffizienz und Energiesparen ausgerichteten Energiepolitik in der überschaubaren Zukunft weiter steigen wird. Dies ist maßgeblich bedingt durch die Zunahme der Weltbevölkerung auf rund neun Milliarden Menschen zur Mitte des Jahrhunderts und die fortschreitende Industrialisierung der Entwicklungs- und Schwellenländer mit entsprechendem Wirtschaftswachstum (siehe Kapitel 3).

Lage und Vorkommen

Neben der Höhe der Reserven und Ressourcen an nicht-erneuerbaren Energierohstoffen, spielt aus geopolitischen Gründen auch deren regionale Verteilung eine wichtige Rolle. Diese zeigt für die einzelnen Energieträger große Unterschiede.

Zeitraum der Ausbeutung fossiler Energierohstoffe



Seit vor etwa 400 000 Jahren der Mensch das Feuer für seinen Wärmebedarf einzusetzen begann, sind bis vor circa 200 Jahren kaum nennenswerte Mengen an fossilen Energieträgern verbraucht worden. Seit Erfindung der Dampfmaschine (1769) und des Ottomotors (1866) werden zunächst die Kohle, dann auch verstärkt das Erdöl in großem Umfang genutzt.

3 Energiebedarf und Lebensstandard

3.1 Energie – Grundlage unseres Lebensstandards

Energie ist Leben. Schon im Alten Testament der Bibel erscheint Energie in der Form des Lichts in der Schöpfungsgeschichte als Ursprung des Lebens. In der griechischen Mythologie beginnt die menschliche Entwicklung mit dem Raub des Feuers durch Prometheus. Gemäß den Erkenntnissen der Physik ist jede Form des Lebens auf die Zufuhr und Nutzung von Energie angewiesen.

Insbesondere der Mensch, erst recht der moderne Mensch, ist für seinen Lebensstandard und seine Lebensqualität auf Energie angewiesen. Für die Gesamtgesellschaft ist Energieeinsatz letztlich die Grundlage der Zivilisation. Es wäre allerdings verfehlt, geistige und materielle (auf Energieeinsatz beruhende) Werte gegeneinander auszuspielen. Ohne den Einsatz von Kapital gäbe es keine Schulgebäude, ohne die Zahlung von Gehältern keine Lehrer. Das entsprechende Kapital bzw. die finanziellen Mittel müssen erwirtschaftet werden.

Energienutzung ist kein Selbstzweck. Sie ist in modernen Gesellschaften praktisch an allen industriellen, gewerblichen und landwirtschaftlichen Produktionsprozessen sowie an der Bereitstellung von Dienstleistungen, wie z. B. eines wohl temperierten oder klimatisierten Raumes, einer warmen Dusche, eines gekühlten Getränks, einer warmen Mahlzeit, der Beförderung von A nach B, beteiligt. Wegen ihrer herausragenden Bedeutung für wirtschaftliche Stabilität und nachhaltiges Wirtschaftswachstum ist eine ausreichende, preiswerte und umweltschonende Energiebereitstellung für jede Volkswirtschaft unverzichtbar. Nur auf dieser Grundlage können der hohe Lebensstandard in den Industrieländern erhalten und die Lebensbedingungen in den Schwellen- und Entwicklungsländern verbessert werden.

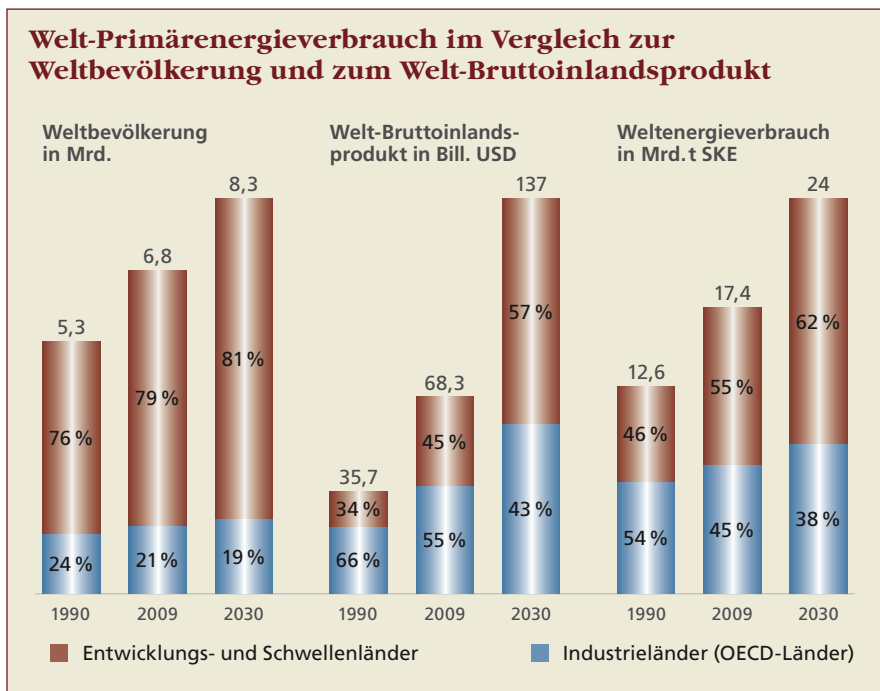
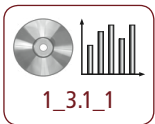
Durch den Einsatz von Energie und Maschinen kann wesentlich mehr Arbeit verrichtet werden als durch die pure menschliche Arbeitskraft. Die Entlastung von körperlicher

Arbeit und das Mehr an Freizeit sind wesentliche Elemente des Lebensstandards und der Lebensqualität in modernen Gesellschaften.

Aktuell bestehen noch erhebliche Unterschiede im Anteil an der Weltbevölkerung, am Welt-Bruttoinlandsprodukt sowie am Weltenergieverbrauch und an den mit diesem Energieverbrauch verbundenen CO₂-Emissionen. Zwar verbraucht ein Einwohner in den Industrieländern im Durchschnitt pro Jahr immer noch mehr als das Dreifache an Energie als ein Mensch in den Schwellen- und Entwicklungsländern.

Diese Diskrepanz ist einerseits durch die rasante Entwicklung in einzelnen Entwicklungs- und Schwellenländern, insbesondere in China, gesunken. Andererseits haben viele Menschen in den wirtschaftlich schwachen Ländern nach wie vor keinen Zugang zu einer ausreichenden Energieversorgung und vor allen Dingen Stromversorgung.

Die erforderliche Verbesserung der Lebensbedingungen und ganz allgemein die unmittelbare Abhängigkeit vieler Lebensbereiche, insbesondere der Bildung, in diesen Ländern vom Energie- und Stromeinsatz stellen die zukünftige Energieversorgung vor große technische, wirtschaftliche und politische, d.h. neben allgemein politischen nicht nur energiepolitische, sondern auch umweltpolitische Herausforderungen.



3.2 Bruttoinlandsprodukt, Bevölkerung und Energieverbrauch

Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) gibt den Gesamtwert aller Güter (Waren und Dienstleistungen) an, die – meist innerhalb eines Jahres – in den Landesgrenzen einer Volkswirtschaft hergestellt werden und dem Endverbrauch dienen.

Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) dient als Maßstab für die Wirtschaftsleistung eines Landes. Die Veränderungsrate des realen (um die Preissteigerungsrate bereinigten) BIP dient als Messgröße für das Wirtschaftswachstum von Volkswirtschaften.

Der Primärenergieverbrauch steht in einem mehr oder weniger engen Zusammenhang mit dem BIP. Allerdings ist Letzteres nicht die einzige Einflussgröße auf den Energieverbrauch. Dass beide voneinander abhängen, kann so verdeutlicht werden: Länder mit hohem Bruttoinlandsprodukt pro Einwohner (auf Grund fortgeschrittener Industrialisierung) haben zugleich einen hohen Energieverbrauch pro Einwohner; Länder mit einem niedrigen Sozialprodukt pro Einwohner weisen in der Regel auch einen niedrigen spezifischen Energieverbrauch auf.

Dieser Zusammenhang gilt im Allgemeinen, auch wenn das Verhältnis in Folge unterschiedlicher geografischer Gegebenheiten, räumlicher Ausdehnung, des regionalen Klimas, unterschiedlicher Industriestrukturen und Energievorkommen im eigenen Land sowie erheblicher Unterschiede bei der rationellen Anwendung von Energie schwankt.

Als dritte Größe, die unmittelbar sowohl das BIP als auch den Primärenergieverbrauch beeinflusst, kann der Grad der Technisierung herangezogen werden. Dies sei an folgender Entwicklungslinie eines Industrialisierungsprozesses verdeutlicht:

1. Nicht industrialisiert, geringes Bruttoinlandsprodukt

Beispiel: Viele besonders arme Entwicklungsländer.

2. Niedriger kommerzieller, d. h. vermarktbarer, Anteil an der Deckung des Energieverbrauchs und entsprechend hoher Anteil nicht kommerzieller Energie am Eigenverbrauch, niedriges Brutto-sozialprodukt

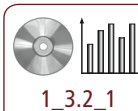
Beispiel: Die Entwicklungsländer Afrikas und Südasiens verfügen kaum über nennenswerte eigene Energiequellen. Bei schwacher Kaufkraft sind sie deshalb vor allem auf die landesüblichen Brennstoffe wie Holz, Dung und Pflanzenabfälle angewiesen. Diese Brennstoffe machen heute in den armen Entwicklungsländern bis zu einem Drittel an der Energiebedarfsdeckung aus.

3. Mit zunehmender Industrialisierung und steigendem Bruttoinlandsprodukt auch zunehmender kommerzieller Anteil an der Deckung des Energieverbrauchs

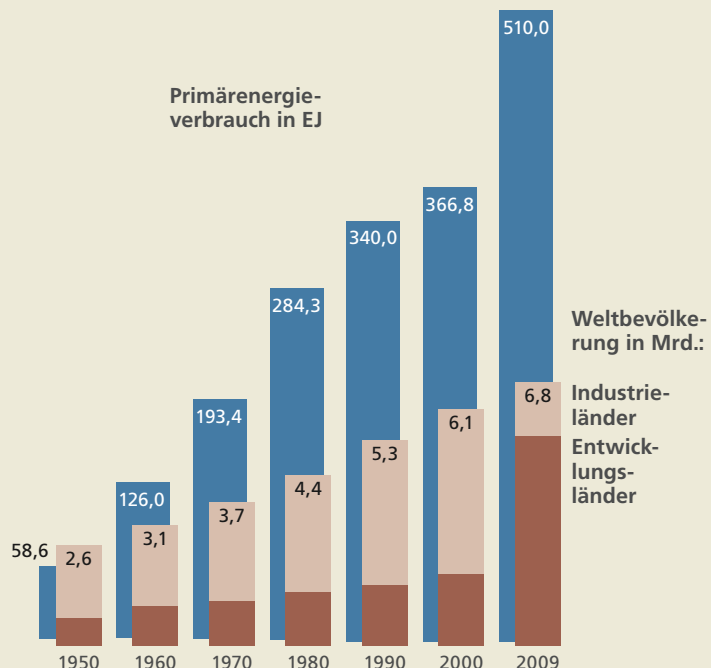
Beispiel: Die Länder Westeuropas von etwa 1800 bis zum letzten Viertel des 20. Jahrhunderts.

4. Mit Weiterentwicklung zur Dienstleistungsgesellschaft auf hohem Niveau stagnierender bzw. längerfristig sinkender Energieverbrauch

Beispiel: In Deutschland koppelte sich nach den Ölpreiskrisen der Energieverbrauch vom Bruttoinlandsprodukt ab; er stieg langsamer als dieses oder ging sogar zeitweise zurück. Mehrere Faktoren haben zur Entkoppelung beigetragen: vor allem der Einsatz energiesparender Techniken (der durch die beiden Ölpreiskrisen 1973/74 und 1979/80 mit ihren hohen Preissprüngen des Öls sowie die dadurch ausgelösten Maßnahmen zur Einschränkung des Öl- und Energieverbrauchs angereizt

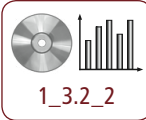
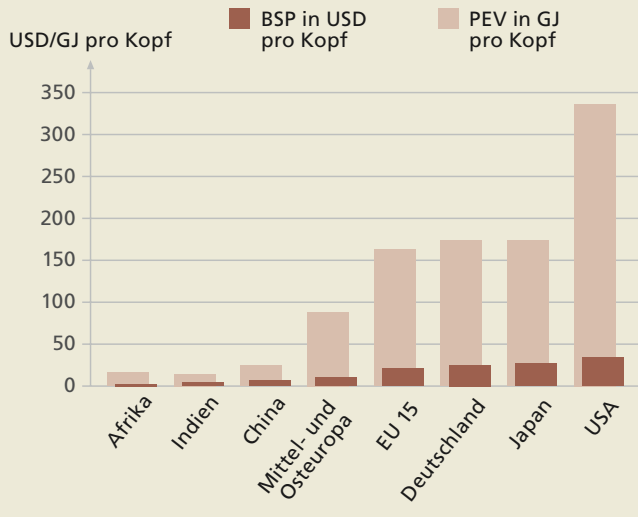


Entwicklung der Weltbevölkerung und des Weltverbrauchs an Primärenergie



Quelle: Weltenergieatlas, BP, eigene Berechnungen

Bruttoinlandsprodukt und Energieverbrauch pro Kopf 2000



wurde), das wachsende Energiebewusstsein der Verbraucher und Veränderungen der Wirtschaftsstruktur (Rückgang der energieintensiven Grundstoff- und Produktionsgüterindustrien und wachsende Bedeutung der Dienstleistungen in der Volkswirtschaft).

Insgesamt bieten die vorhandenen Einsparpotenziale in wohlhabenden Volkswirtschaften wie der deutschen Spielraum für weiteres Wirtschaftswachstum ohne Mehrverbrauch an Energie insgesamt, aber bei Verschiebungen zwischen den Energieträgern (energiewirtschaftlicher Strukturwandel).

Allerdings ist in hochentwickelten Volkswirtschaften zu beobachten, dass die Verbraucher auf Einsparungen durch Steigerung der Energiedienstleistungsansprüche (z. B. größere Wohnflächen, PKW mit leistungsstärkeren Motoren) reagieren und auf diese Weise einen Teil der Energieeinsparungen zunichtemachen.

Auch wegen der wachsenden Auflagen für den Umweltschutz und des damit verbundenen Technikeinsatzes wird ein Teil der Einsparungen durch zusätzlichen Energiebedarf kompensiert (z. B. Kläranlagen, Entschwefelungsanlagen). Dennoch sind in diesen Volkswirtschaften durch eine zielstrebige Energie- und Umweltpolitik erhebliche Einsparpotenziale realisierbar. Anders sieht es in den Entwicklungs- und Schwellenländern aus. Dort ist das Maß der zunehmenden Industrialisierung eine wichtige Einflussgröße für einen zu erwartenden deutlichen Anstieg des Energieverbrauchs.

3.3 Prognosen und Szenarien der Energieentwicklung

Nachfolgend seien aktuelle Prognosen für die Entwicklung der Weltbevölkerung und den zukünftigen Energiebedarf vorgestellt. Das Wissen um die Begrenztheit der Aussagekraft solcher Vorausschätzungen und die Schwierigkeiten ihrer Interpretation sollten den Schülern unbedingt vermittelt werden. Die Begrenztheit rührt daher, dass die Entwicklung der Energieversorgung von unterschiedlichen technischen, ökonomischen und politischen Bedingungen abhängt. Die wichtigsten Einflussfaktoren sind dabei mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

In früheren Energieverbrauchsprognosen wurde oft nur eine Entwicklungslinie untersucht, nämlich jene, welche die Autoren für die wahrscheinlichste hielten. Dabei wurden regelmäßig Entwicklungen fortgeschrieben. Zwangsläufig konnten grundlegende (z. B. politische) Veränderungen, die sich noch nicht abzeichneten, nicht einkalkuliert werden.

Aktuelle Untersuchungen verwenden meist die „Szenarien-Technik“. Dabei werden mindestens zwei in sich konsistente Zukunftsbilder (Szenarien) als Grundlinien eines ganzen Spektrums vielfältiger denkbarer Entwicklungsmöglichkeiten erarbeitet. Ziel solcher Modelle ist es nicht, den zukünftigen Energiebedarf exakt vorauszusagen. Vielmehr soll die Bandbreite möglicher Entwicklungen ermittelt werden mit dem Ziel, daraus Folgerungen für technische, wirtschaftliche und politische Entscheidungen zu ziehen.

Aber auch hier kommt es entscheidend auf die Prämissen an. Manche Verfasser „normativer Szenarien“ legen Wunschvorgaben zu Grunde, mit denen die Möglichkeit eines bestimmten Ergebnisses rechnerisch dargetan werden soll. Im Übrigen handelt es sich auch (und erst recht) bei Szenarien um „Wenn-Dann-Aussagen“. Über deren Brauchbarkeit entscheidet neben der Konsistenz vor allem die Realitätsnähe der Grundannahmen.

Aus einer Vielzahl von Bestimmungsfaktoren unterschiedlicher Gewichtung für den zukünftigen globalen Energiebedarf werden als die wichtigsten angesehen:

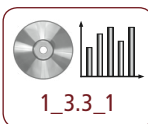
- das Wachstum der Weltbevölkerung
- die Höhe und Struktur des Wirtschaftswachstums
- die Effizienz beim Einsatz der Energieträger
- die Umweltbelastungen, die der Einsatz der einzelnen Energieträger hervorruft.

Energiebedarf und Lebensstandard

Hierbei spielen nationale Verpflichtungen und weltweite Ziele zur CO₂-Minderung eine dominierende Rolle. Dies gilt insbesondere für den seit vielen Jahren regelmäßig von der Internationalen Energieagentur (IEA) erstellten Weltenergieausblick (World Energy Outlook) über die weltweite Entwicklung des Energiebedarfs über einen längeren Zeithorizont. Unter dem Eindruck der dramatischen Auswirkungen der weltweiten Wirtschafts- und Finanzkrise auf die Welt-Energiemärkte hat der Ende 2009 von der IEA veröffentlichte Weltenergieausblick bis zum Jahr 2030 besondere Aufmerksamkeit gefunden.

Ziel des Ausblicks war es darzustellen, wie mit einer Erholung der Welt-Energiemärkte von der Wirtschafts- und Finanzkrise den langfristigen Herausforderungen begegnet werden kann, die mit einer weiteren Zunahme der CO₂-Emissionen auf das Klima verbunden sind.

Die IEA hat hierfür zwei Szenarien mit dem Zeithorizont 2030 entwickelt:



1_3.3_1

Das erste Szenario soll aufzeigen, wie sich die weltweiten Energiemärkte entwickeln würden, wenn die Regierungen ihre bisherigen Maßnahmen und Politi-

ken unverändert fortsetzten. Die IEA bezeichnet dieses Szenario als „Referenz-Szenario“.

Dem zweiten Szenario wird als Ziel vorgegeben, einen globalen Temperaturanstieg von 2 °C nicht zu überschreiten, was einer langfristigen Begrenzung des Treibhausgasausstoßes in der Atmosphäre auf 450 Mio. Einheiten CO₂-Äquivalent entspricht. Dieses Szenario trägt den Namen „450-Szenario“. Die IEA legt diesem Szenario die Vereinbarung eines internationalen Klimaschutzabkommens sowie eine umfassende und schnelle Veränderung der Art und Weise, wie weltweit produziert, transportiert und Energie genutzt wird, zugrunde.

Die Ergebnisse der beiden Szenarien zeigen folgende Bilder:

Im **Referenz-Szenario** wächst der weltweite Primärenergieverbrauch von 17,1 Mrd. t SKE im Basisjahr 2007 auf rund 24,0 Mrd. t SKE im Zieljahr 2030, das entspricht einer Steigerung um 40 %. Der Verbrauchsanstieg wird zu mehr als 90 % von den aufstrebenden, stark wachsenden Volkswirtschaften Asiens, insbesondere Chinas und Indiens, sowie des Nahen Ostens verursacht. Der Verbrauch in den Industrieländern (OECD) stagniert dagegen eher oder ist sogar rückläufig.

Entwicklung des globalen Primärenergieverbrauchs bis 2030 in Mrd. t SKE



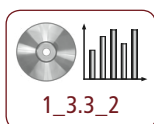
	2007	2030	
		Referenz	450
Andere Erneuerbare	1 %	2 %	5 %
Biomasse	10 %	10 %	14 %
Wasserkraft	2 %	2 %	3 %
Kernenergie	6 %	6 %	10 %
Gas	21 %	21 %	20 %
Öl	34 %	30 %	30 %
Kohle	26 %	29 %	18 %

Quelle: International Energy Agency

Auswirkungen der Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre

Angestrebtes Stabilisierungsniveau von CO ₂ in der Atmosphäre in ppm	Zeitfenster, in dem die CO ₂ -Emissionen spätestens sinken müssen in Jahren	Notwendige Veränderung der CO ₂ -Emissionen in 2050 gegenüber 2000 in Prozent	Durchschnittlicher Temperaturanstieg im Vergleich zur vorindustriellen Zeit in °C	Durchschnittlicher Anstieg der Meeresspiegel im Vergleich zur vorindustriellen Zeit in Metern
350 – 400	2000 – 2015	– 85 bis – 50	2,0 – 2,4	0,4 – 1,4
400 – 440	2000 – 2020	– 60 bis – 30	2,4 – 2,8	0,5 – 1,7
440 – 485	2010 – 2030	– 30 bis + 5	2,8 – 3,2	0,6 – 1,9
485 – 570	2020 – 2060	+ 10 bis + 60	3,2 – 4,0	0,6 – 2,4
570 – 660	2050 – 2080	+ 25 bis + 85	4,0 – 4,9	0,8 – 2,9
660 – 790	2060 – 2090	+ 90 bis + 140	4,9 – 6,1	1,0 – 3,7

Quelle: IPCC



Im Referenz-Szenario bleibt die Vorherrschaft der fossilen Brennstoffe bei der Deckung des weltweiten Primärenergiebedarfs ungebrochen. Auf sie entfallen mehr als drei Viertel des Gesamtanstiegs des Weltenergieverbrauchs im Referenz-Zeitraum. Dabei dominiert die Kohle vor Gas und Öl. Gleichwohl bleibt das Erdöl auch im Jahre 2030 bei einem Anteil von 30 % (2007: 34 %) der Energieträger mit dem größten Marktanteil.

Diese Entwicklung wird durch den Verkehrssektor getrieben, dessen Verbrauchszuwachs zu 97 % vom Öl gedeckt wird. Die Kohle erreicht in 2030 mit 29 % (2007: 26 %) beinahe den Anteil des Öls. Der Marktanteil des Gases wird bei 21 % verharren. Bei den CO₂-freien Energien wird der Beitrag der Kernenergie mit sechs Prozent und der erneuerbaren Energien – bei deutlichem Rückgang des Anteils der Wasserkraft und überdurchschnittlicher Zunahme der neuen erneuerbaren Energien (Wind, Sonne, Geothermie) – mit 14 % nahezu unverändert bleiben.

Die CO₂-Emissionen werden im Referenz-Szenario von 28,8 Mrd. t CO₂-eq. im Jahre 2007 über 34,5 Mrd. t im Jahre 2020 auf 40,2 Mrd. t im Jahre 2030 deutlich zunehmen. Der Anstieg von elf bis zwölf Milliarden Tonnen, entsprechend 40 %, wird ausschließlich durch die Entwicklungs- und Schwellenländer verursacht. Dabei entfällt mit sechs Milliarden Tonnen mehr als die Hälfte des Zuwachses auf China.

Als Konsequenz dieser drastischen Steigerung ergibt sich im Referenz-Szenario eine Zunahme der Treibhausgas-

konzentration in der Atmosphäre auf mehr als 1 000 ppm CO₂-eq. Dies würde nach dem heutigen Stand der Wissenschaft zu einem globalen Temperaturanstieg von bis zu sechs Grad Celcius führen und damit weit über dem von Klimawissenschaftlern geschätzten, noch gerade vertretbaren Maximum von zwei Grad Celcius liegen.

Im **450-Szenario**, dem eine weltweite Ausrichtung aller Volkswirtschaften auf sparsame und rationelle Energieverwendung zugrunde liegt, ergibt sich im Vergleich zum Referenz-Szenario ein stark vermindertes Wachstum des Welt-Primärenergieverbrauchs. Dessen Zunahme liegt im Prognosezeitraum 2007 bis 2030 nur noch bei 20 %. Der Welt-Primärenergieverbrauch steigt bis 2030 lediglich noch um die Hälfte auf 20,6 Mrd. t SKE.

Mit der Verminderung des Verbrauchsanstiegs ist zugleich ein deutlicher Strukturwandel im Energiemix verbunden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass CO₂-reiche Energien zurückgedrängt und durch CO₂-arme bzw. CO₂-freie Energien ersetzt werden.

Für die fossilen Energieträger ergibt das 450-Szenario im Zieljahr 2030 im Vergleich zum Referenz-Szenario einen konstanten Anteil bei Öl und Gas mit 30 bzw. 20 %, während die Kohle von knapp 30 % auf unter die 20-Prozent-Marke zurückgedrängt wird. Der Anteil der fossilen Energieträger sinkt damit deutlich von rund 80 % auf unter 70 %.

Entsprechend steigt der Anteil der CO₂-armen bzw. CO₂-freien Energieträger auf nahezu ein Drittel. Davon entfällt mit zehn Prozentpunkten knapp ein Drittel auf

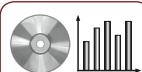
Energiebedarf und Lebensstandard

die Kernenergie. Von der Biomasse wird mit 14 Prozentpunkten der größte Anteil gestellt, gefolgt von den anderen erneuerbaren Energien (Wind-, Sonnenenergie etc.) mit fünf Prozentpunkten und der Wasserkraft mit drei Prozentpunkten.

Die energiebezogenen CO₂-Emissionen werden im 450-Szenario, nachdem sie kurz vor dem Jahr 2020 mit 30,9 Mrd. t den Höchststand erreicht haben, bis zum Zieljahr 2030 um 34 % auf 26,4 Mrd. t reduziert.

Die Untersuchung zeigt, dass die angestrebte CO₂-Minderung nur mit einem Maßnahmenbündel erreicht werden kann. Zur Reduktion trägt die Forcierung der Energieeffizienz mit 55 % mehr als die Hälfte bei. Den zweitgrößten Beitrag leistet der Ausbau der erneuerbaren Energien und der Biokraftstoffe mit knapp einem Viertel. Die Kernenergie und die Technik der CO₂-Abscheidung und CO₂-Speicherung steuern je rund zehn Prozent zur CO₂-Reduzierung bei.

In ihrem neuen Energieausblick 2010 hat die IEA auf Wunsch der Staats- und Regierungschefs der G20-Länder das „Szenario der neuen energiepolitischen Rahmenbedingungen“ entwickelt, in dem sie die von den



1_3.4_1

Ländern der ganzen Welt gemachten generellen politischen Zusagen und angekündigten Pläne zur Verringerung der Treibhausgase berücksichtigt hat.

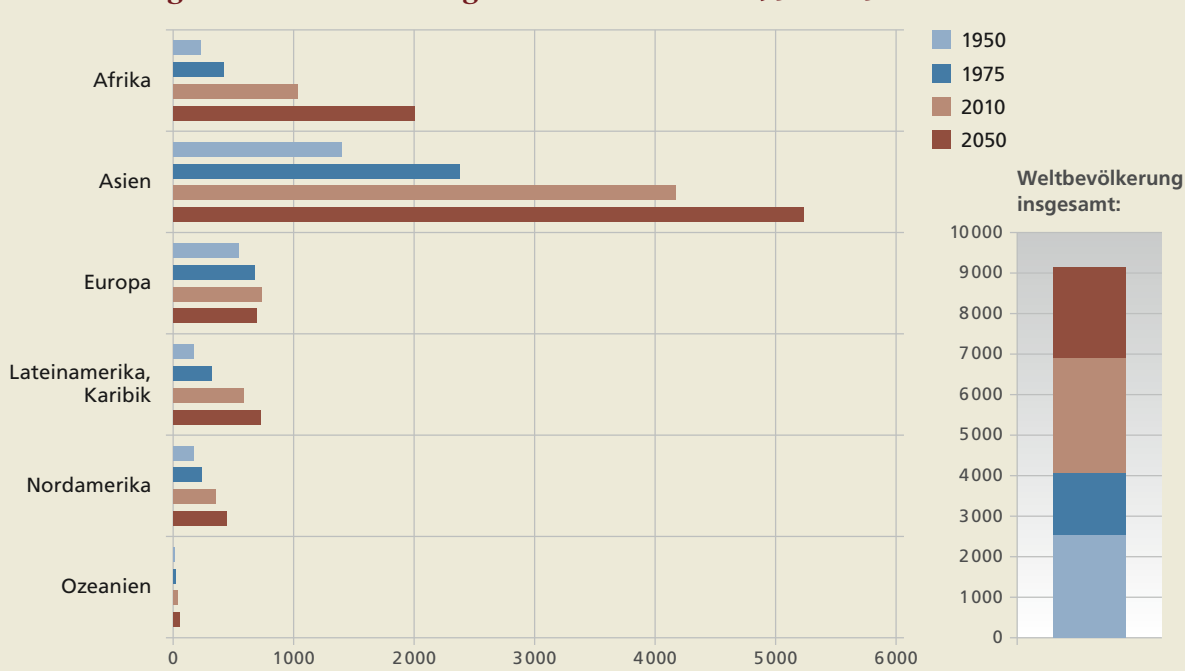
In diesem steigt der weltweite Primärenergieverbrauch in der gewählten Zeitspanne von 2008 bis 2035 um rund 36 % von 17,6 Mrd. t SKE auf 23,9 Mrd. t SKE. Dieser Wert liegt leicht unter dem im Referenz-Szenario 2009 für 2030 ermittelten weltweiten Primärenergieverbrauch.

Im Szenario 2010 entfallen zwischen 90 und 95 % des Verbrauchsanstieges auf die Entwicklungs- und Schwellenländer. China, das 2009 die USA als weltweit größten Energieverbraucher abgelöst hat, wird seinen Energieverbrauch zwischen 2008 und 2035 nochmals um 75 % erhöhen und dabei mehr als ein Drittel des weltweiten Bedarfszuwachses beanspruchen. Indien wird seinen Energieverbrauch in dieser Zeitspanne sogar mehr als verdoppeln und vom weltweiten Zuwachs 20 % auf sich vereinigen.

Das „Szenario der neuen energiepolitischen Rahmenbedingungen“ wird zu Verschiebungen in der Struktur des Energieverbrauchs führen. Das Öl bleibt gleichwohl bis zum Ende des Szenariozeitraums der wichtigste Energieträger. Sein Anteil wird von 33 % auf 28 % sinken. Beim Erdgas wird der Verbrauch schneller zunehmen als bei den fossilen Energieträgern insgesamt, so dass sein Marktanteil am weltweiten Primärenergieverbrauch auf 22 % steigen wird. Der Verbrauch an Kohle wird zunächst noch wachsen, dann aber deutlich zurückgehen, wobei sich sein Marktanteil auf etwa ein Viertel verringert.

Quelle: Wikipedia, UN

Entwicklung der Weltbevölkerung nach Kontinenten 1950 – 2050 in Tsd. Einwohner

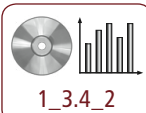


Entwicklung des Welt-Primärenergieverbrauchs nach ausgewählten Ländern und Regionen in Mio. t SKE*

Land/Region	1970	1985	2000	2009*
USA	2 308	2 519	3 299	3 117
Afrika	105	276	399	526
China	332	762	1 382	3 110
Indien	93	190	422	670
Russische Föderation	n. a.	1 163	878	908
EU	1 836	2 281	2 435	2 318
Deutschland	442	512	471	414
Welt	7 082	10 215	13 228	15 949

* nur kommerziell gehandelte Energie, **2009 geschätzt

Quelle: BP



1_3.4_2

Bei den CO₂-armen bzw. CO₂-freien Energieträgern wird sich der Marktanteil auf rund ein Viertel erhöhen. Die modernen erneuerbaren Energien (Wind, Sonne etc.) werden ihren Verbrauch bis 2035 verdreifachen, ihren Marktanteil von sieben Prozent auf 14 % verdoppeln. Der Anteil der Wasserkraft wird bei etwa drei Prozent verharren, während der Anteil der Kernenergie von sechs Prozent auf acht Prozent zunehmen wird.

3.4 Entwicklung der Weltbevölkerung und des Weltenergieverbrauchs

Das weitere Wachstum der Weltbevölkerung ist ein wesentlicher Einflussfaktor für das Ausmaß des zukünftigen globalen Energiebedarfs. Die Prognose der UN 2008 für 2050 kommt zu Bevölkerungszahlen zwischen 7,8 und 11,9 Mrd. Menschen mit 9,2 Mrd. als mittlerer (wahrscheinlichster) Wert. Die IEA-Prognose 2009 für 2030 legt 8,2 Mrd. Menschen zugrunde.

Rund 99 % des in der Zeitspanne 2010 bis 2050 erwarteten Zuwachses wird auf Afrika, Asien und Lateinamerika entfallen. Dabei wird Afrika seine Bevölkerung von aktuell etwa einer Milliarde Menschen auf knapp zwei Milliarden Menschen im Jahre 2050 etwa verdoppeln. Ebenfalls um rund eine Milliarde Menschen wird die Bevölkerungszahl in Asien von knapp 4,2 Mrd. auf mehr als 5,2 Mrd. in 2050 steigen.

Eine für die Energieversorgung relevante Entwicklung ist die weltweit zunehmende Urbanisierung mit einer stark

wachsenden Zahl von Megastädten. Diese ist mit einer stärkeren Wirtschaftsleistung und Konsumorientierung als in ländlichen Gebieten verbunden, die einer massiven Landflucht unterliegen. Während 1950 nur knapp 30 % der Weltbevölkerung in Städten wohnte, ist deren Anteil inzwischen auf mehr als 50 % gestiegen. Der Anteil der Stadtbevölkerung wird bis zum Jahr 2030 voraussichtlich auf über 60 % steigen und im Jahr 2050 rund 70 % erreichen.

Heute leben rund 80 % der 6,9 Mrd. Menschen in den Entwicklungsländern. Der Bevölkerungszuwachs beträgt dort derzeit rund 1,4 % pro Jahr. Von rund 370 000 weltweit jeden Tag geborenen Kindern werden etwa 330 000 in diesen Ländern zur Welt gebracht. Viele davon leiden Hunger. Nicht wenige müssen früh sterben. Eine der Ursachen – jedenfalls regional – ist Wasser- oder Energiemangel.

Damit ist eine der zentralen Zukunftsaufgaben der Energieversorgung benannt, nämlich die Bereitstellung kostengünstiger Energie zur Sicherung der Ernährungsbasis und zur Verbesserung der materiellen Lebensumstände einer wachsenden Bevölkerung in den Schwellen- und Entwicklungsländern bei größtmöglicher Energieeffizienz und mit möglichst geringen Umweltbelastungen. Je schneller und je besser das gelingt, umso stärker wird die Geburtenrate sinken.

Ein enger – reziproker – Zusammenhang zwischen der Wachstumsrate der Bevölkerung und dem erreichten materiellen Wohlstand ist historisch nachweisbar. In einigen Schwellenländern ist der Rückgang aufgrund u. a. der besseren Lebensbedingungen (aber z. B. auch der Bildung und Mitspracherechte der Frauen) schon spürbar. Zum Vergleich: In der EU 27 lag der Primärenergieverbrauch pro Einwohner bei rund fünf Tonnen SKE. Wollten alle Erdbewohner im Jahr 2030 das heutige europäische Niveau des Energieverbrauchs erreichen, müsste der Welt-Primärenergieverbrauch auf dann mehr als 40 Mrd. t SKE steigen, also auf einen weit höheren als den von der IEA (International Energy Agency) für 2030 in ihrem Referenz-Szenario, geschweige denn in ihrem 450-Szenario geschätzten Wert von 24,0 bzw. 20,6 Mrd. t SKE.

Entwicklung des Weltprimärenergieverbrauchs 1970 – 2009

Der Welt-Primärenergieverbrauch stieg in den letzten drei Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts und im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts von rund 7,9 Mrd. t SKE (1970) über

rund 14,0 Mrd. t SKE (2000) auf etwa 17,4 Mrd. t SKE (2009). Das entspricht einer Zunahme um rund 45 %. Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate betrug von 1970 bis 1980 2,9 %, von 1980 bis 1990 2,0 %, von 1990 bis 2000 1,1 % und von 2000 bis 2009 2,4 %. Dabei gab es deutliche regionale Unterschiede in der absoluten und prozentualen Höhe des Zuwachses.

In den Nachfolgestaaten der Sowjetunion (GUS) und Osteuropa ging der Energieverbrauch wegen des Zusammenbruchs der alten Industrien in den 1990er Jahren deutlich zurück. Einige Schwellenländer, vor allem China, verzeichnen hohe Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts und des Energieverbrauchs. Beispielsweise ist der Anteil Chinas am Welt-Primärenergieverbrauch zwischen 1970 und 2009 von knapp fünf auf nahezu 20 % gestiegen. Im gleichen Zeitraum ist der Anteil der USA von rund einem Drittel auf knapp 20 % gesunken.

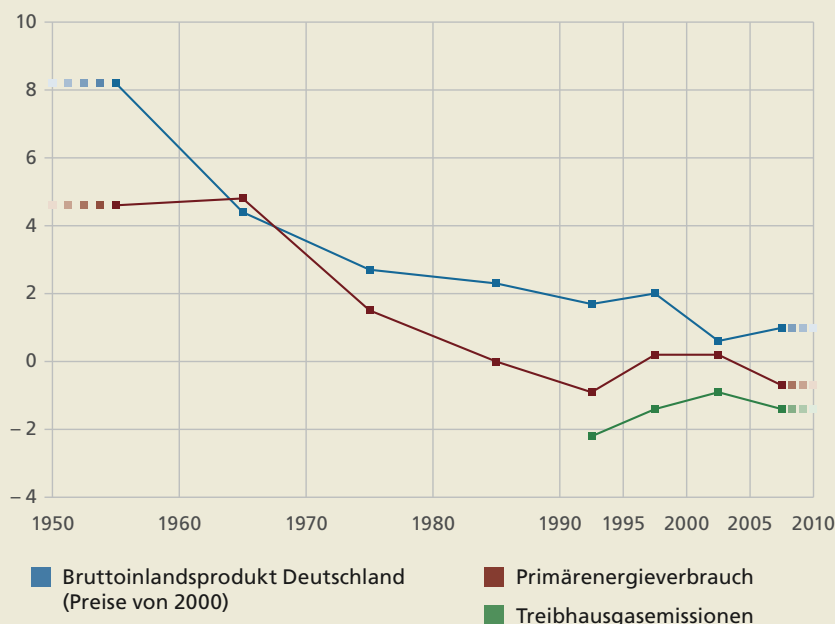
Im Jahr 2000 beanspruchten die Länder der OECD (Europa, Nordamerika, Japan und Australien) rund 60 % der weltweit verbrauchten Energie. In diesen Regionen lebt jedoch nur rund ein Sechstel der Weltbevölkerung. Bis 2009 nahm der Welt-Primärenergieverbrauch weiter zu, um etwa ein Viertel auf rund 510 EJ. Zum Vergleich: Seit 1880 ist der Weltprimärenergieverbrauch von damals 8,8 EJ bis 2009 auf das knapp 60-fache (also um rund 5900 % !) gestiegen.

3.5 Anteil der Energieträger am Primärenergieverbrauch

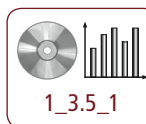
Weltweit 2009

Der weltweite Primärenergieverbrauch erreichte 2009 17,4 Mrd. t SKE. Davon hatten die fossilen Brennstoffe einen Anteil von knapp 80 %. Mineralöl ist mit rund 31 % nach wie vor die weltweit bedeutendste Energiequelle und zwar in praktisch allen Regionen. Der Anteil der Kohle am Weltenergieverbrauch beträgt knapp 27 %. Erdgas liegt seit Beginn des Jahrhunderts bei rund 22 %. Die verbleibenden rund 20 % werden gut zur Hälfte durch traditionelle Energien wie Biomasse

Wachstumsraten von realem Bruttoinlandsprodukt, Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen in Prozent



gedeckt. Der Rest entfällt mit knapp sechs Prozentpunkten auf Kernenergie, deren Beitrag seit der Jahrhundertwende leicht zurückgegangen ist, sowie auf Wasserkraft und neue erneuerbare Energien wie Wind, die mit einem Anteil von 2,5 % den Anteil der Wasserkraft bereits übertreffen.

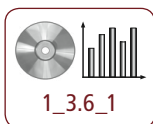
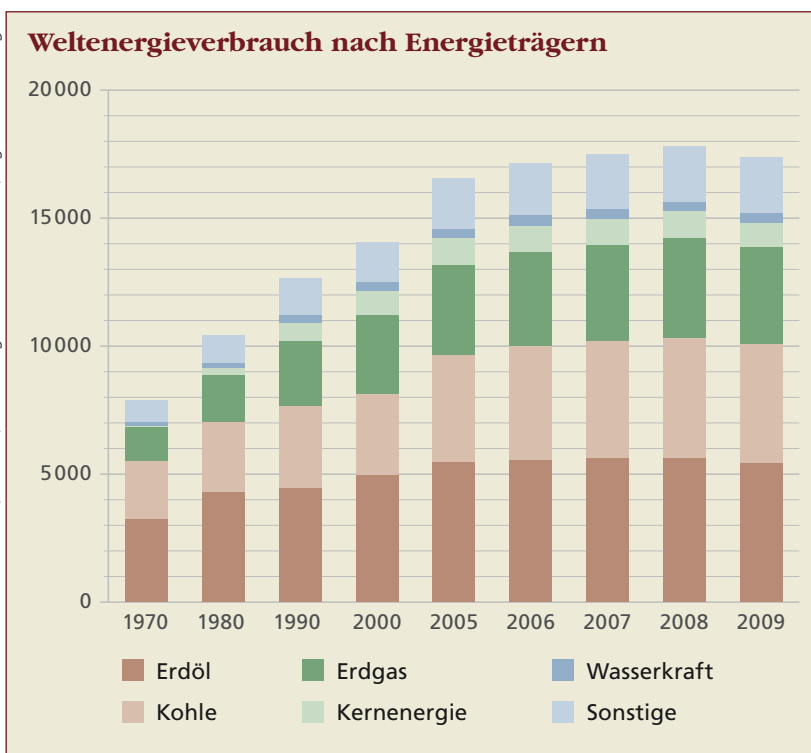


In Deutschland 2009

Der Primärenergieverbrauch in Deutschland belief sich 2010 auf 14 012 PJ. Exakte Vergleichszahlen gibt es erst seit der Wiedervereinigung. Von 1990 bis 2010 ist der Primärenergieverbrauch von 14 905 PJ auf 14 012 PJ, also um rund sechs Prozent, gesunken. Im gleichen Zeitraum nahm das Bruttoinlandsprodukt real (in Preisen von 2000) von 1 720 Mrd. Euro um rund 30 % auf rund 2 240 Mrd. Euro zu.

Die langfristige Entwicklung zeigt eine Entkoppelung des Wirtschaftswachstums, in den letzten beiden Jahrzehnten auch eine Entkopplung der Treibhausgasemissionen vom Energieverbrauch. Während in den 50er Jahren der Zuwachs des Bruttoinlandsprodukts deutlich über dem Anstieg des Primärenergieverbrauchs lag, kehrte sich diese Relation in den „Wirtschaftswunder“-Jahren um. Der Primärenergieverbrauch wuchs stärker als das BIP. Ab den 1970er Jahren, nicht zuletzt aufgrund der beiden „Ölpreiskrisen“ blieb die Entwicklung des Primärenergie-

Quelle: BP, Weltenergieatlas – Deutschland, eigene Schätzungen



verbrauchs deutlich hinter dem des Brutto-
sozialprodukts zurück. Diese Entwick-
lung ist seit den 1990er Jahren für die
Treibhausgasemissionen zu beobachten.

3.6 Strukturwandel im Primär- energieverbrauch

Die Zusammensetzung des Primärenergieverbrauchs wandelt sich im Lauf der Zeit. Allerdings vollziehen sich solche Veränderungen im Energiebereich langsam. Mit großen Investitionsmitteln geschaffene Einrichtungen wie Braunkohlengruben, Steinkohlenbergwerke, erschlossene Öl- und Gasfelder, Kraftwerke etc. werden mehrere Jahrzehnte lang genutzt. Noch 1880 war Holz der wichtigste Energieträger der Menschheit. Die ihm folgende Kohle wurde ihrerseits in den 1950er Jahren vom Erdöl abgelöst. Inzwischen sind Erdgas und in den letzten Jahren die erneuerbaren Energien, insbesondere die Windenergie vorgedrungen. Die Wasserkraft stagniert wegen ihrer in Deutschland weitgehend ausgeschöpften Potenziale. Der Beitrag der Kernenergie ist in den letzten Jahren leicht gesunken.

Seit 1970 hat sich der Welt-Primärenergieverbrauch mehr als verdoppelt. Dabei gab es Anteilsgewinner und -verlierer.

Die Kohle hat aufgrund ihrer Bedeutung für die Stromerzeugung ihren Anteil nahezu gehalten. Sie deckt fast unverändert zwischen 25 und 30 % des Welt-Primärenergieverbrauchs.

Trotz seiner dominanten Rolle im Verkehrsbereich hat das Öl seinen Marktanteil am Welt-Primärenergieverbrauch seit 1970 von gut 40 % auf nur noch etwas mehr als 30 % verringert.

Nach einem starken Anstieg bis zur Jahrhundertwende ist seitdem auch der Marktanteil der Kernenergie von knapp sieben Prozent auf aktuell noch fünf bis sechs Prozent rückläufig.

Klarer Marktanteilsgewinner ist das Erdgas, dessen Verbrauch sich seit 1970 nahezu verdreifacht und dessen Marktanteil von 17 auf knapp 22 % gestiegen ist.

Ihren Marktanteil leicht erhöht haben die erneuerbaren Energien. Die Wasserkraft hat ihren Beitrag mit rund zwei Prozent behauptet. Die sonstigen Energien, unter ihnen die neuen erneuerbaren Energien, wie Wind, Biomasse und Sonne, haben ihren Anteil leicht vergrößert.

Auch in Deutschland hat sich in den letzten Jahrzehnten ein deutlicher Strukturwandel im Primärenergieverbrauch vollzogen. In den 1950er Jahren bildeten noch – wie in den Jahrzehnten zuvor – Stein- und Braunkohle mit einem Anteil von 85 bis 90 % die Basis der Energieversorgung. Ab Anfang der 1960er Jahre eroberte die Importenergie Erdöl mit der zunehmenden Motorisierung, ab Mitte der 1960er Jahre durch zunehmende Ablösung der Kohle auf dem Heizungsmarkt wachsende Marktanteile.

Dadurch überrundete das Öl Mitte der 1960er Jahre Stein- und Braunkohle und wurde Anfang der 1970er Jahre mit einem Anteil von 55 % Marktführer. Die damit verbundenen Gefahren für die Sicherheit der Versorgung wurden in den Ölpreiskrisen der 1970er Jahre deutlich. Zahlreiche Maßnahmen der Energiepolitik führten vor allem zu einem Rückgang des Ölanteils am Primärenergieverbrauch auf rund 38 % im Jahr 2000 und knapp 35 % im Jahr 2009.

Auf das Marktsegment der Wärmebereitstellung zielte ab Ende der 1960er Jahre auch das Erdgas, das im Laufe der Jahre aufgrund seiner Anwendungsvorteile seinerseits das Heizöl ersetzte. Sein Marktanteil stieg von rund fünf Prozent im Jahr 1970 kontinuierlich auf gut 22 % in 2009.

Die Kernenergie hatte ihren höchsten Anteil mit rund 13 % um das Jahr 2000 erreicht. In den Jahren danach trat eine Stagnation ein, die ab 2007 von einem Rückgang abgelöst wurde. 2011 hat die Bundesregierung nach der Erdbebenkatastrophe in Fukushima den Ausstieg aus der Kernenergie bis spätestens 2023 beschlossen.

Dank massiver Subventionen konnten die regenerativen Energien nach 1990 signifikant zulegen von knapp drei Prozent in 2000 auf knapp neun Prozent im Jahr 2009. Dabei verzeichnete die Windenergie mit einer Verfünffachung ihres Anteils seit 2000 den größten Zuwachs, gefolgt von der Biomasse mit einer Steigerung ihres Beitrags von 1,7 % im Jahr 2000 auf 6,0 % in 2009.

Die Fotovoltaik trug trotz Subventionen, die nach Einschätzung von Fachleuten deutlich überhöht sind, im Jahr 2009 erst lediglich 0,2 % zur Deckung des Primärenergieverbrauchs bei. Der Anteil der Wasserkraft, deren Potenzial in Deutschland praktisch ausgeschöpft sein dürfte, schwankt seit 2000 um 0,5 %.

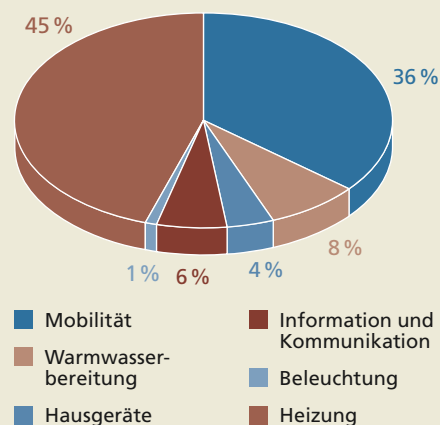
Im Vergleich zum Anteil am Primärenergieverbrauch ist der Beitrag der erneuerbaren Energien zur Deckung des inländischen deutschen Stromverbrauchs im Jahr 2009 mit 16,3 % deutlich größer gewesen. Zur gesamten Nettostromverbrauch trug die Windenergie mit sieben Prozent am meisten bei, gefolgt von den biogenen Energieträgern mit 5,1 %, der Wasserkraft mit 3,4 % und der Fotovoltaik mit 1,2 %.

3.7 Primärenergieverbrauch pro Kopf

Weltweit 2009

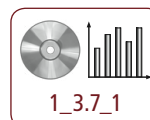
Von 1980 bis 2009 stieg die Weltbevölkerung weiter an um mehr als 40 % von 4,8 Mrd. auf 6,8 Mrd. Menschen. Bei einer Steigerung des Weltenergieverbrauchs in diesem Zeitraum um knapp 70 % von 10,4 auf 17,4 Mrd. t SKE hat der Energieverbrauch je Einwohner leicht zugenommen von 2,2 t SKE im Jahr 1980 auf 2,6 t SKE im Jahr 2009.

Endenergieverbrauch im Haushalt in Deutschland 2010



Quelle: BDEW

Bei Betrachtung der einzelnen Länder mit unterschiedlichem Bruttoinlandsprodukt je Einwohner zeigt sich eine starke Abhängigkeit des Primärenergieverbrauchs je Einwohner vom Wohlstandsniveau.



In Deutschland 2009

Deutschland vereinigt 1,2 % der Weltbevölkerung und 2,6 % des Welt-Primärenergieverbrauchs auf sich. Der Pro-Kopf-Verbrauch an Energie ist hierzulande ebenfalls gesunken. Er belief sich für die alten Bundesländer 1980 auf 6,3 t SKE. Die damalige DDR wies einen um rund 15 % höheren Wert auf. Gesamtdeutschland kommt heute (2009) auf 5,6 t SKE pro Einwohner. Das liegt unter dem Durchschnitt der EU.

Für fortgeschrittene Volkswirtschaften bedeutet ein rückläufiger Pro-Kopf-Verbrauch an Energie keineswegs einen wirtschaftlichen Rückgang. Er spiegelt vielmehr den gesunkenen Anteil an Bergbau und Schwerindustrie und zugleich wachsenden Anteil an Dienstleistungen (gesamtwirtschaftlicher Strukturwandel) sowie die Erfolge beim effizienteren Energie-Einsatz (Erhöhung der Energie-Produktivität) wider.

Noch deutlicher zeigt sich dieser Effekt an der Energie-Intensität der einzelnen Länder, d. h. dem Energieaufwand zur Erzeugung von 1 000 Euro oder US-Dollar des Bruttoinlandsprodukts. Je kleiner dieser Wert ist, umso effizienter wird die Energie genutzt. In Deutschland hat sich die Energie-Intensität seit 1973 nahezu halbiert. So stark ist sie in keinem anderen Industrieland zurückgegangen.

3.8 Inländische Energiegewinnung und Energieimporte

Weltweite Energieproduktion

Die Nutzung der einzelnen Energieträger und dementsprechend ihr Anteil am Energieverbrauch werden in erster Linie durch den industriellen Entwicklungsstand eines Landes und seine Wirtschaftsstruktur bestimmt. Aber auch andere Faktoren wie die räumliche Ausdehnung (Folge: hohes Verkehrsaufkommen, damit hoher Verbrauch an Mineralölerzeugnissen in den USA) und das Vorhandensein heimischer Ressourcen (z.B. Braunkohle in Deutschland, Erdöl im Nahen Osten, Erdgas in Russland) spielen eine Rolle. Weltweit betrachtet ergeben sich große regionale Unterschiede.

Bei der Steinkohlegewinnung dominiert die Region Asien/Pazifik mit einem Anteil von rund 65 % (größtes Kohleland China mit 45 %). Es folgen Nordamerika mit 17 % (USA 15,8 %) sowie Europa/Eurasien mit gut zwölf Prozent. Beim Erdgas steht die Region Europa/Eurasien mit rund einem Drittel an der Spitze (größter Produzent Russische Föderation 18 %). Die Plätze nehmen ein Nordamerika mit gut 27 % (USA 20 % und Asien/Pazifik mit knapp 15 %). Beim Erdöl steht der Mittlere Osten mit gut 30 % an erster Stelle (größter Produzent Saudi-Arabien mit zwölf Prozent) vor Europa und Eurasien mit gut 22 %, (größter Produzent Russische Föderation mit knapp 13 %) und Nordamerika mit gut 16 % (USA 8,5 %).

Deutschland verfügt über ausreichende, wirtschaftlich gewinnbare Vorräte nur an Braunkohle. Zwar gibt es auch ergiebige Steinkohle-Lagerstätten an Ruhr und Saar. Aber die Flöze liegen tief, sind meist nur schmal bzw. flach und gewunden. Das bedingt hohe Förder- bzw. Personalkosten trotz fortschreitender Mechanisierung und guter Erfolge bei der Förderleistung pro Mann und Schicht. Mangels Wettbewerbsfähigkeit ist deshalb die Förderung seit ihrem Höhepunkt in den 1950er Jahren ständig zurückgegangen. Inzwischen ist es politisch beschlossene Sache, dass der Steinkohlebergbau in Deutschland im Jahre 2018 beendet werden wird.

Deutschland muss heute den weitaus größten Teil an wichtigen Energieträgern wie Erdöl und Erdgas sowie Uran einführen. Insgesamt wurden 2009 mehr als 70 % der Energie importiert. Dieser Anteil wird nach allen Prognosen weiter steigen, weil die inländische Förderung an Erdgas (weiter) sinkt und die inländische Steinkohleförderung eingestellt werden wird.

Das Verhältnis zwischen inländischem Aufkommen und Energieeinfuhr bei den einzelnen Energieträgern ist sehr unterschiedlich. Erdöl und Kernbrennstoffe werden zu nahezu 100 % importiert. Demgegenüber wird Braunkohle praktisch ausschließlich im Inland gefördert. Beim Erdgas beträgt der Einfuhr-Anteil 84 % mit weiter steigender Tendenz. Steinkohle erreicht inzwischen eine Importquote von mehr als 70 %. Uran wird im Inland (derzeit) nicht gewonnen.

Herkunftsländer der Energieimporte Deutschlands

Für die Energieträger Erdöl und Erdgas stellten Russland und Norwegen 2009 die für Deutschland wichtigsten Bezugsquellen dar. Dabei stellte Russland beim Erdöl 35 % und beim Erdgas rund 37 % der Einfuhren. Bei Norwegen betrugen die Anteile 14 bzw. 33 %. Beim Rohöl folgen als Lieferanten Großbritannien mit knapp elf Prozent, Libyen mit gut acht Prozent und Kasachstan mit sieben Prozent. Beim Erdgas sind die Niederlande mit 23 % drittgrößter Lieferant. Bei den Steinkohlenimporten war Russland mit knapp 26 % der größte Partner vor Südafrika mit 15 %, Kolumbien mit gut 14 % und den USA mit knapp 14 %.

Seit der ersten Ölpreiskrise 1973/74 haben sich vor allem beim Import von Erdöl starke Verschiebungen ergeben: 1973 waren Libyen mit rund 24 % und Saudi-Arabien mit rund 23 % die wichtigsten Rohöl-Bezugsquellen für Deutschland. Auch 1980 lagen beide Staaten noch an der Spitze, aber schon dicht gefolgt von Großbritannien (Nordsee-Öl). Heute (2009) haben diese beiden OPEC-Länder deutlich an Bedeutung verloren. Aus dieser Entwicklung wird deutlich, dass die Diversifizierung der Lieferländer sehr erfolgreich betrieben wurde. Dies wird auch in Zukunft die Richtschnur für die Bundesrepublik sein müssen.

Umrechnungstabellen

Definierte Einheiten für Energie und Leistung*

Joule (J) für Energie, Arbeit, Wärmemenge

Watt (W) für Leistung, Energiestrom, Wärmestrom

1 Joule (J) = 1 Newtonmeter (Nm) = 1 Wattsekunde (Ws)

* Für die Bundesrepublik Deutschland als gesetzliche Einheiten verbindlich ab 1.1.1978. Die Kalorie (cal) und davon abgeleitete Einheiten wie Steinkohleeinheit (SKE) und Rohöleeinheit (RÖE) können für eine Übergangszeit nur noch hilfsweise zusätzlich verwendet werden.

Heizwerte ausgewählter Energieträger

Energieträger	Heizwert in kJ/kg	SKE-Faktor
Steinkohlen	29 308	1
Braunkohlen	9 180	0,313
Erdöl (roh)	42 695	1,457
Motorenbenzin	45 543	1,486
Heizöl leicht	42 733	1,458
Brennholz (1 m ³ = 0,7 t)	14 654	0,5

Quelle: BMWA

Umrechnungsfaktoren

Ausgangseinheit \ Zieleinheit	PJ	Mio. t SKE	Mio. t RÖE	Mrd. kcal	TWh
1 Petajoule (PJ)	—	0,034	0,024	238,80	0,278
1 Mio. t Steinkohleeinheiten (SKE)	29 308,00	—	0,7	7 000,00	8,14
1 Mio. t Rohöleeinheiten (RÖE)	41 869,00	1,429	—	10 000,00	11,63
1 Mrd. Kilokalorien (kcal)	0,0041868	0,000143	0,0001	—	0,001163
1 Terawattstunde (TWh)	3,60	0,123	0,0861	859,80	—

Quelle: BMWA

Literaturverzeichnis

Till Böhmer u. a., Energiesparen mit Strom, Olzog Verlag München, 2. Aufl. 2001

Achim Dittmann/Joachim Zschernig (Hrsg.), Energiewirtschaft, Verlag Teubner Stuttgart 1998

Elektrizität, Text von Steve Parker, Reihe „Sehen – Staunen – Wissen“, Gerstenberg Verlag Hildesheim 2002

Energie – Ursprung, Formen und Nutzung, Text von Jack Challoner, Reihe „Sehen – Staunen – Wissen“, Gerstenberg Verlag Hildesheim 2002

Wolfram Fischer (Hrsg.), Die Geschichte der Stromversorgung, VVEW-Verlag Frankfurt a. M. 1992 (vergriffen, in Bibliotheken vorhanden)

Joachim Grawe/Jean-Paul Picaper (Hrsg.), Streit ums Atom, Piper Verlag München 2000

Harald zur Hausen (Hrsg.), Energie, Nova Acta Leopoldina, Bd. 91, Nr. 339, Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina Halle 2004

Klaus Heinloth, Die Energiefrage, Verlag Vieweg Braunschweig 1997

Martin Kaltschmitt/Andreas Wiese (Hrsg.), Erneuerbare Energien, Springer Verlag Heidelberg, 2. Aufl. 1997

Friedrich Klemm, Geschichte der Technik, Rororo-Paperback Nr. 7714, Verlag Rowohlt Reinbek 1983 (erhältlich im modernen Antiquariat)

Eike Roth, Globale Umweltprobleme, Friedmann Verlag München 2004

Hans-Wilhelm Schiffer, Energiemarkt Deutschland, Verlag TÜV Rheinland Köln, 8. Aufl. 2004

Dieter Schmitt/Heinz Heck (Hrsg.), Handbuch Energie, Verlag Neske Pfullingen 1990

Joachim Varchim/Joachim Radkau, Kraft, Energie und Arbeit, Rororo-Paperback, Verlag Rowohlt 1984 (erhältlich im modernen Antiquariat)

Alfred Voß (Hrsg.), Die Zukunft der Stromversorgung, VVEW-Verlag Frankfurt a. M. 1992 (vergriffen, in Bibliotheken vorhanden)

Daten zur Energie bieten:

- die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen unter www.ag-energiebilanzen.de
- das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit unter www.bmwa.bund.de und (zu den regenerativen Energien) das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter www.bmu.bund.de
- die zuständigen Ministerien der großen Flächenländer wie z. B. das Wirtschaftsministerium Baden- Württemberg unter www.wm.baden-wuerttemberg.de, das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie unter www.stmwivt.bayern.de und das Ministerium für Wirtschaft und Arbeit des Landes Nordrhein-Westfalen unter www.mwa.nrw.de.

Detaillierte lexikalische Darstellungen finden sich in dem Internet-Lexikon Wikipedia unter www.wikipedia.de.

Kurz gefasste und gut verständliche Beiträge von Fachleuten zu praktisch allen aktuellen Themen aus den Bereichen „Energie“ und „Umwelt“ können kostenlos herunter geladen werden von der Website des Informationsforums „Energie-Fakten“ (www.energie-fakten.de).

Die großen Forschungsinstitute, z. B.:

- das Forschungszentrum Jülich (www.fz-juelich.de)
- das Forschungszentrum Karlsruhe (www.fzk.de)
- das Energiewirtschaftliche Institut der Universität Köln (www.ewi.uni-koeln.de)
- das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart (www.ier.uni-stuttgart.de)
- das Bremer Energieinstitut (www.bei.uni-bremen.de)
- das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (www.diw.de)

stellen vielfach Ergebnisse von Forschungen und Gutachten in das Internet.

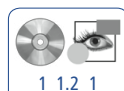
Die Verbände der einzelnen Zweige der Energiewirtschaft erteilen Schulen in der Regel bereitwillig Auskünfte (www.strom.de).

Anmerkungen

Die Abkürzung „LQ“ steht für „Lernsequenzen“.

Im Text des Heftes finden Sie Symbole, die auf ergänzende Materialien hinweisen und deren Nummerierung folgendermaßen zu lesen ist:

Die erste Ziffer steht für die Nummer des Heftes, die mittlere für das Kapitel und die letzte für die laufende Nummerierung innerhalb des Kapitels (z. B. 1_1.2_1: Heft 1, Kapitel 1.2, Abbildung 1).



1_1.2_1

Grafiken und Abbildungen



1_1.2_1

Tabellen und Diagramme



1_1.2_1

Arbeitsblätter und Aufgaben



1_1.2_1

Zusätzliche Texte und weiterführendes Material

Impressum

Herausgeber

bdew

Energie. Wasser. Leben.

BDEW
Bundesverband der Energie- und
Wasserwirtschaft e. V.
Reinhardtstraße 32
10117 Berlin

Ansprechpartnerin

Birgit Henrichs
Tel.: 030/300 199-11 65
Fax: 030/300 100-31 65
E-Mail: birgit.henrichs@bdew.de

Autoren

Prof. Dr. Joachim Grawe wurde 1933 in Stettin geboren. Er studierte Rechts-, Wirtschafts- und politische Wissenschaften in Köln, Heidelberg und Paris. Fast sein gesamtes Berufsleben hat sich Prof. Grawe mit Energiefragen befasst: als Ministerialbeamter in Stuttgart und Bonn, freier Experte, Leiter eines weltweit tätigen Energieberatungs-Unternehmens für dezentrale Projekte, Verbandsgeschäftsführer sowie in zahlreichen nationalen und internationalen Gremien. Von 1981 bis 2001 lehrte er Energiewirtschaft an der Universität Stuttgart. Nach Eintritt in den Ruhestand ist er weiterhin als Autor sowie Vortragender tätig. Prof. Grawe ist Verfasser bzw. Mitverfasser mehrerer Bücher, u. a. „Zukunftsenergien“, „Energiesparen mit Strom“ und „Streit ums Atom“ sowie zahlreicher Beiträge zu Sammelbänden und Aufsätze in Fachzeitschriften. Für seine Verdienste um die Kernenergie und die regenerativen Energien erhielt Prof. Grawe das Bundesverdienstkreuz.

Eckhard Schulz, Diplom-Volkswirt, sammelte reichhaltige Erfahrungen in der Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung (HEA) und später in der Geschäftsstelle der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW), heute Teil des Bundesverbandes der Energie- und Wasserversorgung (BDEW). Im VDEW war er seit 1994 bis zu seiner Pensionierung 2004 für den Bereich „Energiewirtschaft und Energiepolitik“ zuständig. Er publizierte für ein breites Spektrum

von Themen aus diesem Bereich Artikel in Fachzeitschriften sowie Beiträge zu nationalen und internationalen Fachkongressen.

Redaktion

Birgit Henrichs
BDEW, Berlin
Tatjana Holzenhauer
EW Medien und Kongresse GmbH, Essen

Produktion

INKA Medialine, Frankfurt am Main

Illustrationen

Atelier Lothar Reinhardt, Biebesheim am Rhein

Druck

Nino Druck GmbH, Neustadt an der Weinstraße

Copyright und Verlag

EW Medien und Kongresse GmbH
Kleyerstraße 88
60326 Frankfurt am Main
www.ew-online.de

Ansprechpartnerin

Bildung und Schule
Tatjana Holzenhauer
Tel.: 020 54/924-120
Fax: 020 54/924-159
E-Mail: tatjana.holzenhauer@ew-online.de

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt vor allem für Vervielfältigungen in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikroskopy oder ein anderes Verfahren). Weiterhin sind Übersetzungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen verboten.

4. Auflage, November 2011

Bestell-Nr. 6750 01
ISBN 3-8022-0819-6

Wir danken der Arbeitsgruppe „Lernsequenzen“ des Fachausschusses „Schulkommunikation“ des BDEW für ihre Unterstützung.

Diese von Fachleuten aus der Energiewirtschaft zusammen mit Pädagogen entwickelte Reihe zum Thema Energie ist für einen fächerübergreifenden Unterricht konzipiert. Die große Komplexität des Themenkreises Energie wird in neun Heften mit Begleitmaterial dargestellt, um wichtige Teilaspekte gesondert herauszuarbeiten.

Heft 1 Energie: Der Begriff. Die Ressourcen. Der Bedarf

(auch in englischer Fassung erhältlich)

Heft 2 Wärmekraftwerke

(auch in englischer Fassung erhältlich)

Heft 3 Erneuerbare Energien

Heft 4 Struktur der Energieversorgung

Heft 5 Energieeffizienz

Heft 6 Energie und Umweltschutz

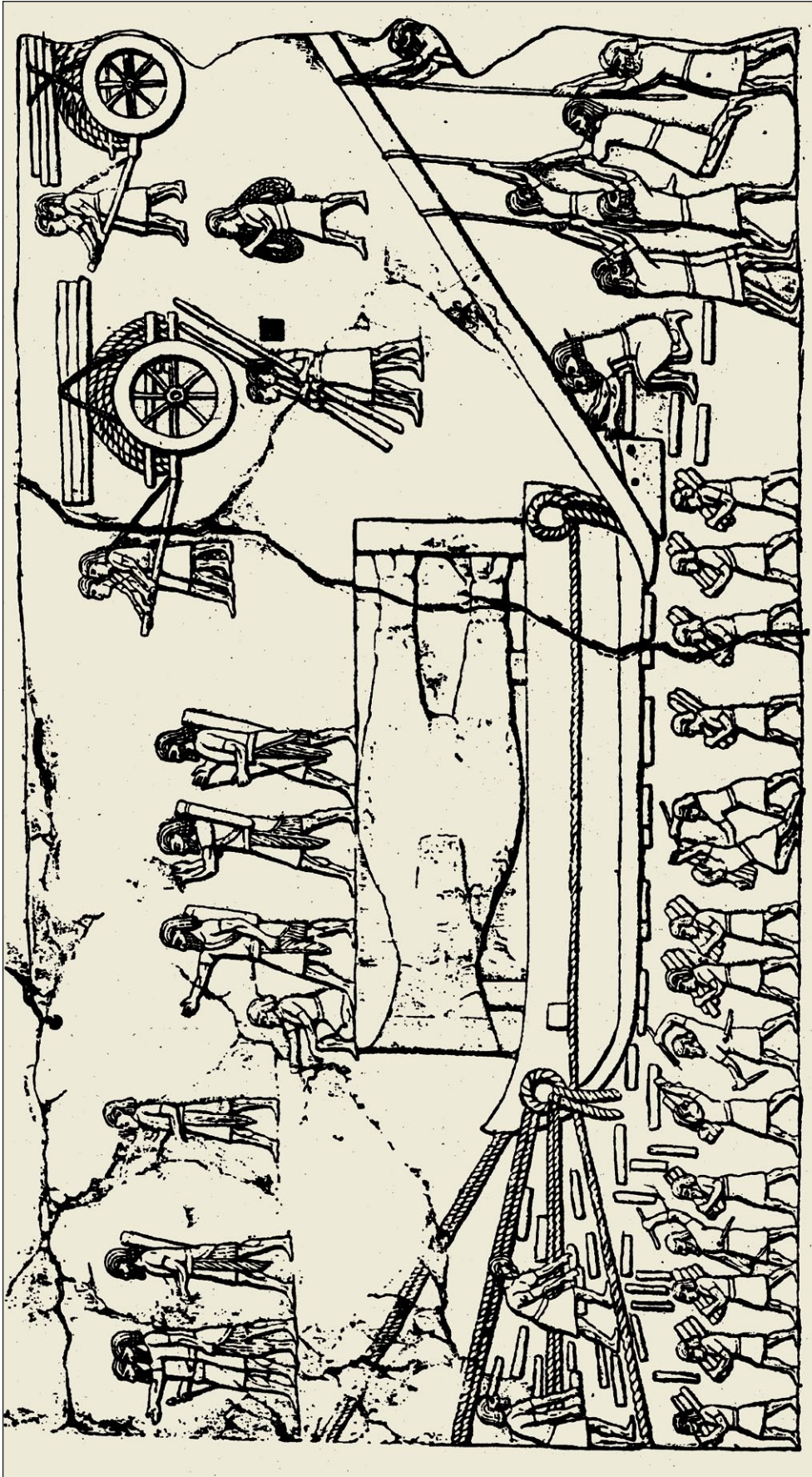
Heft 7 Ökonomie der Energiewirtschaft

Heft 8 Zukunft der Stromversorgung

Heft 9 Gaswirtschaft

Perspektiven der Energieversorgung

Der Ordner zu den Lernsequenzen mit 17 Lernstationen



Darstellung des Transportes eines Denkmalquaders in Ninive um 660 v. Chr.

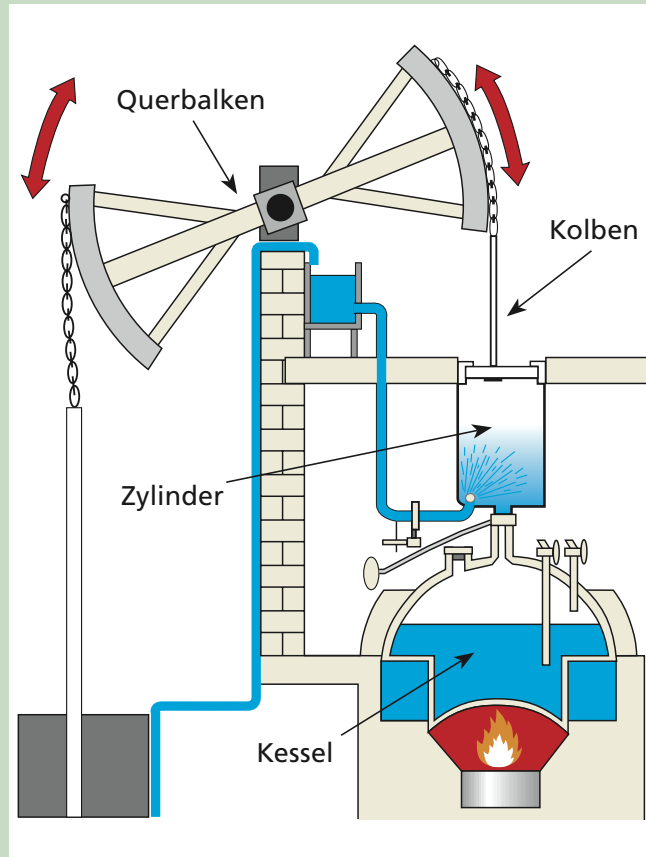


Antike Getreidemühle aus Ägypten



Quelle: akg-images/Hervé Champollion

Barbegal in der Provence, Frankreich: römisches Mühlenwerk aus 16 gestaffelten Mühlen, Ende des 3. Jahrhunderts, Architekturmodell



Quelle: Tessloff-Verlag

Dampfmaschinen

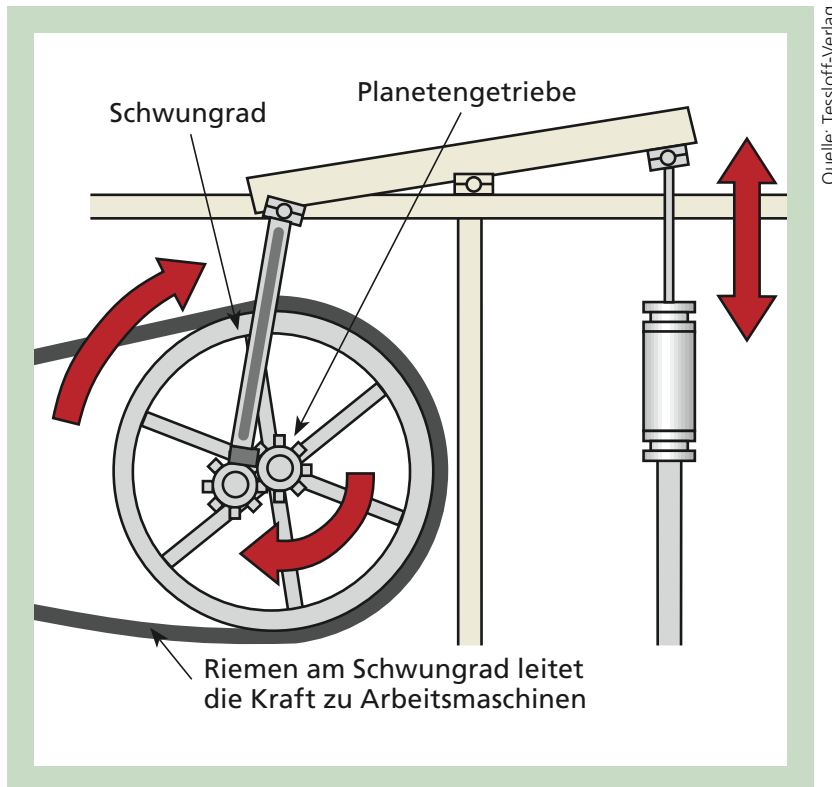
1698: ließ sich T. Savery (GB) die erste Dampfmaschine patentieren. Sie wurde benutzt, um Wasser aus überfluteten Kohlengruben zu pumpen. Dampf aus einem Kessel floss in einen Zylinder und wurde dort mit Wasser abgekühlt. Der so erzeugte Unterdruck im Zylinder saugte das Grubenwasser empor.

1712: stattete Thomas Newcomen (GB) seine zum Antrieb von Wasserpumpen dienende Dampfmaschine mit einem Kolben aus.

1769: fügte James Watt (GB) einen zusätzlichen Kondensator hinzu, in dem der Dampf kondensiert wurde. So konnte der Arbeitszylinder heiß bleiben und wurde nicht ständig durch kaltes Wasser wieder abgekühlt. Das sparte Heizenergie und Zeit.

1782: führte James Watt (GB) das Planetengetriebe ein, um die Auf- und Abbewegung der Maschine in eine Drehbewegung umzuwandeln.

Um **1800** baute R. Trevithick (GB) eine kleine Hochdruck-Dampfmaschine. Sie erzeugte fünfmal höheren Druck als Watts Maschine.

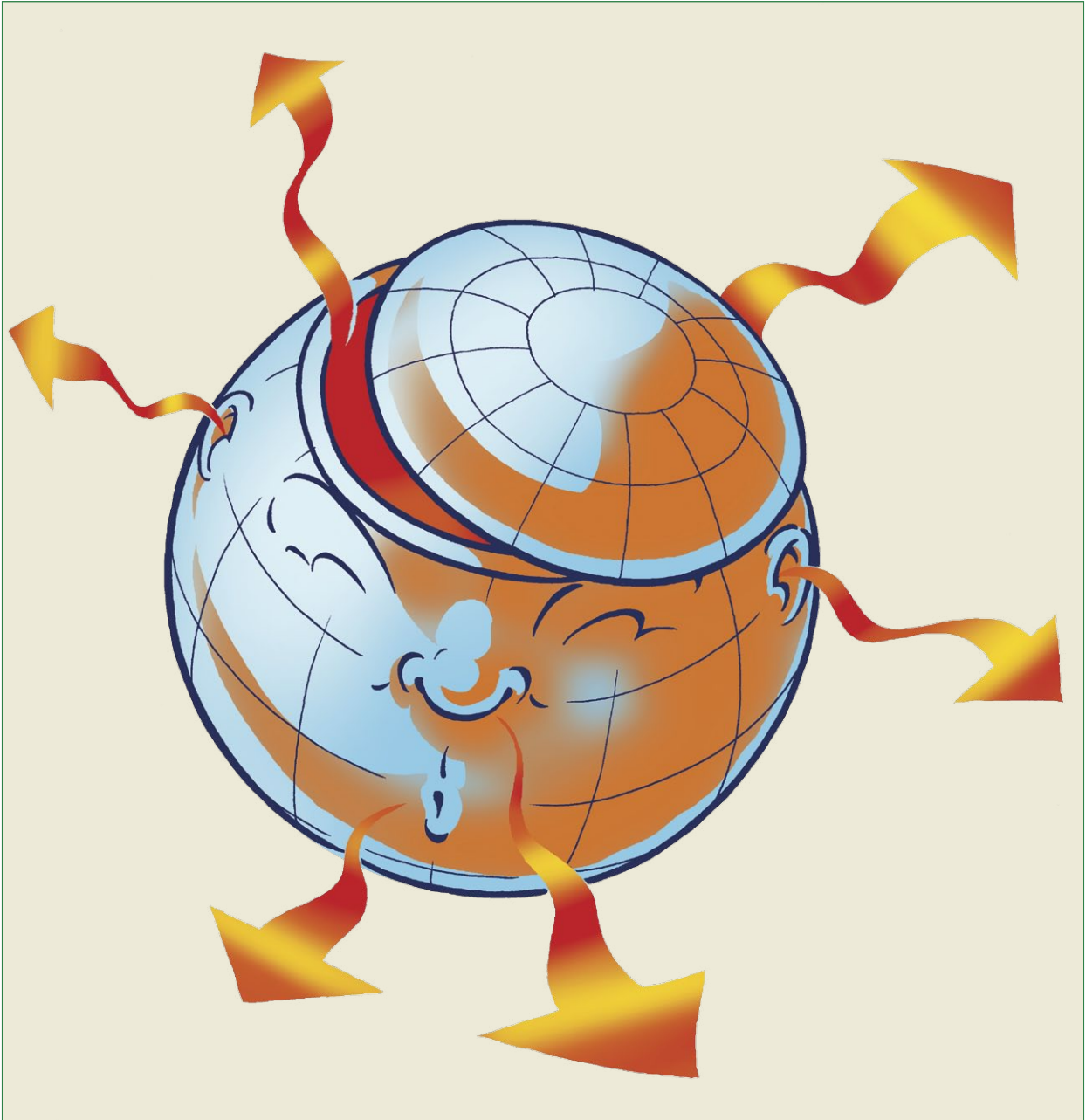


Newcomens Dampfmaschine

1. Dampf aus dem Kessel strömt in den Zylinder
2. Kaltes Wasser wird in den Zylinder gesprüht und kondensiert den Dampf. Der so entstehende Unterdruck zieht den Kolben herunter.
3. Über eine Querstange wird die Bewegung vom Kolben zur Pumpe geleitet.

Drehbewegung:

Das Planetengetriebe ist am Ende der Antriebsstange angebracht und dreht das Schwungrad.



Die Erde ist kein in sich geschlossenes System, sondern Teil des Gesamtsystems Weltall



Beispiele für Leistungen

Armbanduhr	0,02 mW
Fahrradbeleuchtung	3 W
Mensch (Dauerleistung)	etwa 100 W
Sportliche Höchstleistung bei längerer Belastung	etwa 340 W
Mittlere Leistung eines Pferdes	etwa 500 W
Mofa	etwa 1 000 W = 1 kW
Personenkraftwagen	z. B. 55 kW
Lastkraftwagen (15 t)	etwa 250 kW
Diesellokomotive	bis zu 3 000 kW
Kernkraftwerk	1 300 000 kW = 1 300 MW



Beispiele für Energiemengen

- 1 J** Energiemenge, die man braucht, um 1 l Wasser 10 cm anzuheben
- 1 kJ** Energiemenge, die man braucht, um 1 l Wasser um 0,2 °C zu erwärmen
- 0,5 MJ** Energiemenge, um 1 l Wasser von 0 °C zum Kochen zu bringen
- 0,8 MJ** Energiemenge, die ein Bergsteiger braucht, um 1 000 m Höhenunterschied zu überwinden
- 22,6 MJ** Energiemenge, um 1 l kochendes Wasser zu verdampfen
- 250 MJ** Energiemenge, die ein Mittelklassewagen braucht, um 100 km auf der Autobahn zurückzulegen
- 9 800 MJ** Energiemenge, die ein Intercityexpress (ICE) bei einer Höchstgeschwindigkeit von 250 km/h auf 100 km ebener Strecke benötigt

1 Kilojoule (kJ) = 1 000 Joule (J)

1 Megajoule (MJ) = 1 000 Kilojoule (kJ)

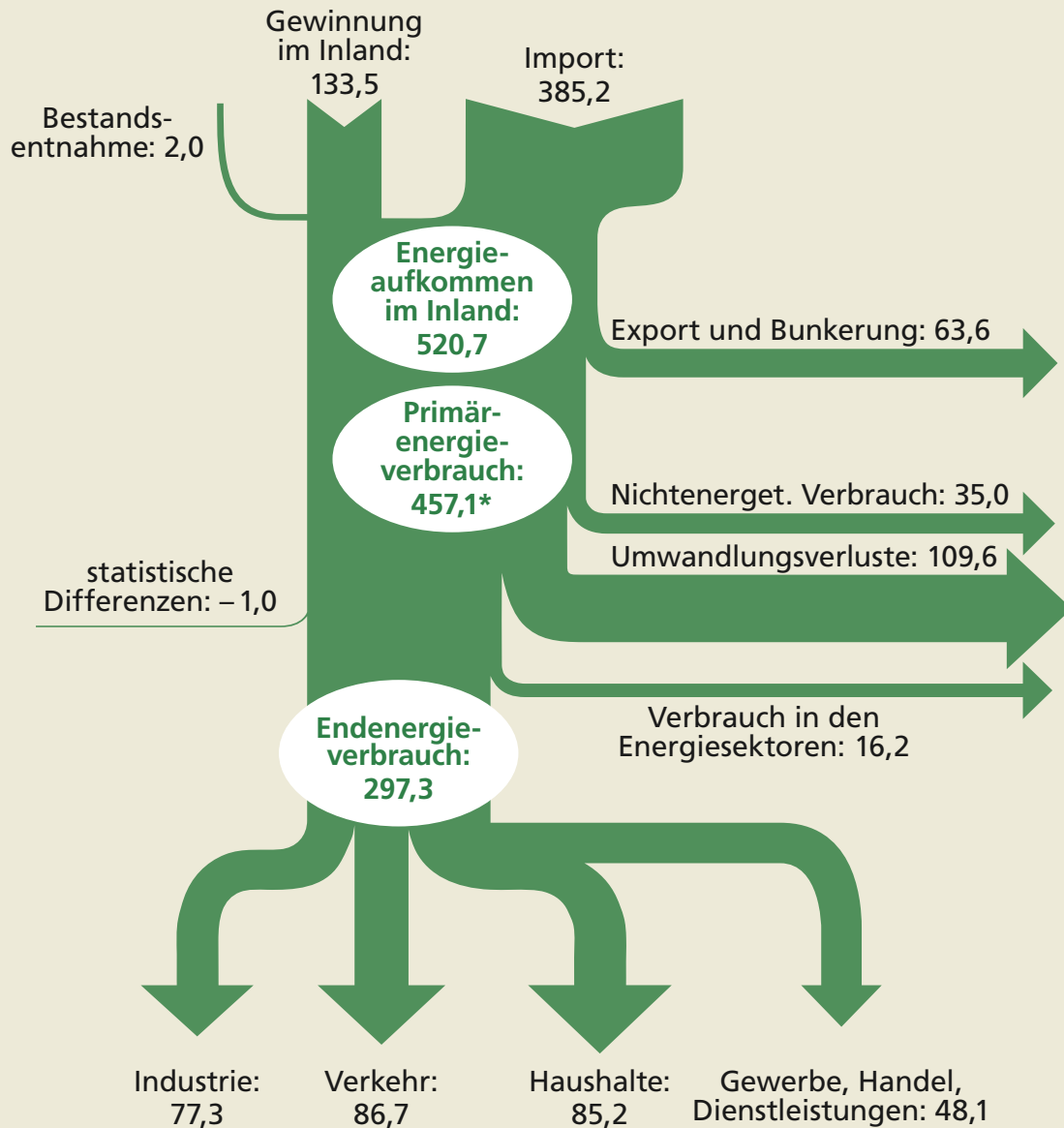


Überblick über das Primärenergieangebot

PRIMÄRENERGIE	unerschöpfliche Energien	regenerative Energien	Sonnenenergie
			Windenergie
			Wasserenergie
			Biomasse
			Erdwärme
			Meereswärme
			Gezeitenenergie
	erschöpfliche Energien	fossile Brennstoffe	Kohle
			Erdöl
			Erdgas
			Torf
		Kernbrennstoffe	Uran
			Thorium



Energieflussbild für die Bundesrepublik Deutschland in Mio. t SKE (Stand 2009)



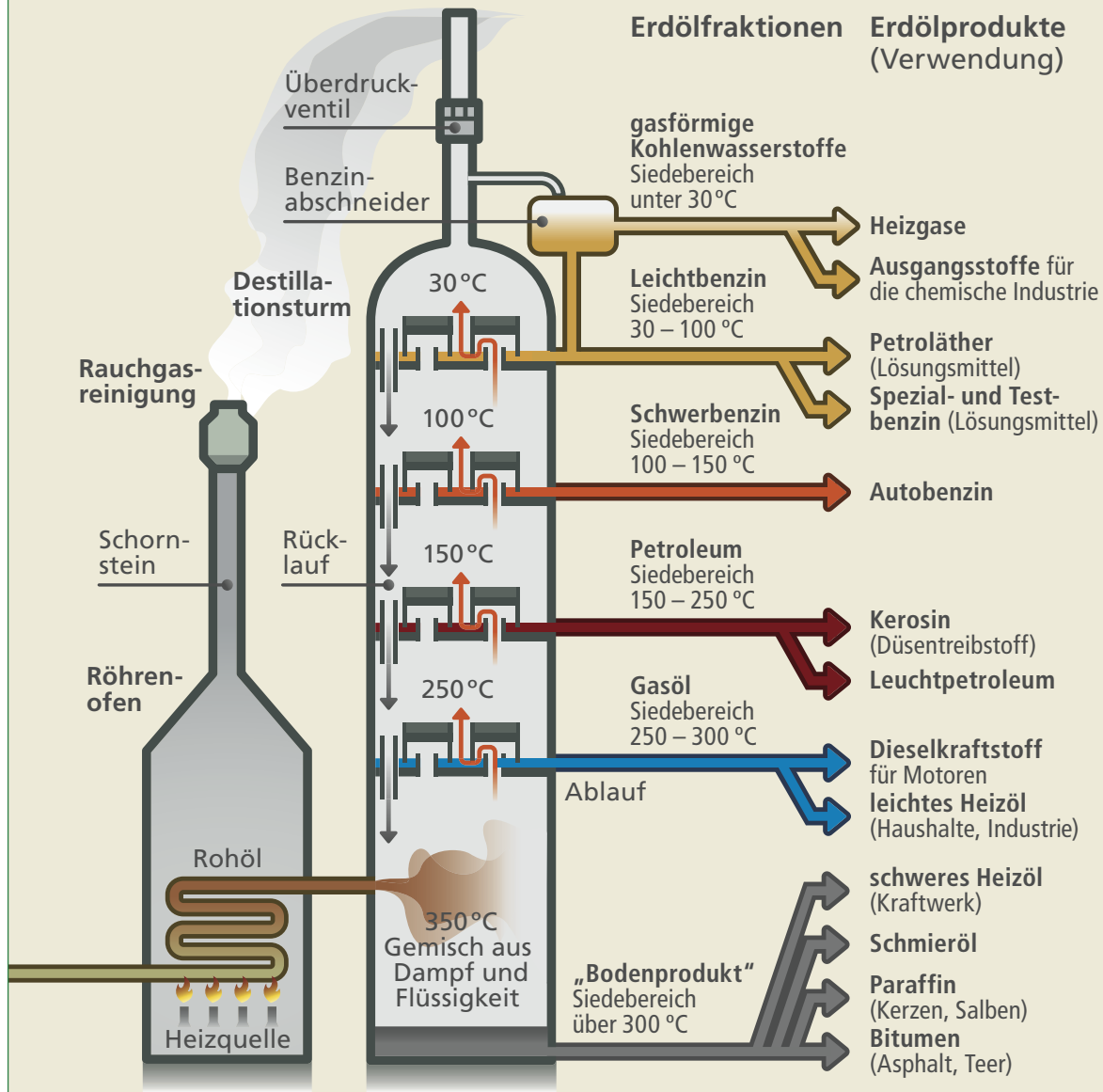
Alle Zahlen vorläufig/geschätzt

1 Mio. t SKE = 29,308 Petajoule (PJ)

*der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch liegt bei 8,7%



Fraktionierte Destillation bei Erdöl





Quelle: BP Europa SE

In der Aromaten- und Olefinanlage der Ruhr Oel-Raffinerie Gelsenkirchen wird z. B. Plastik produziert.



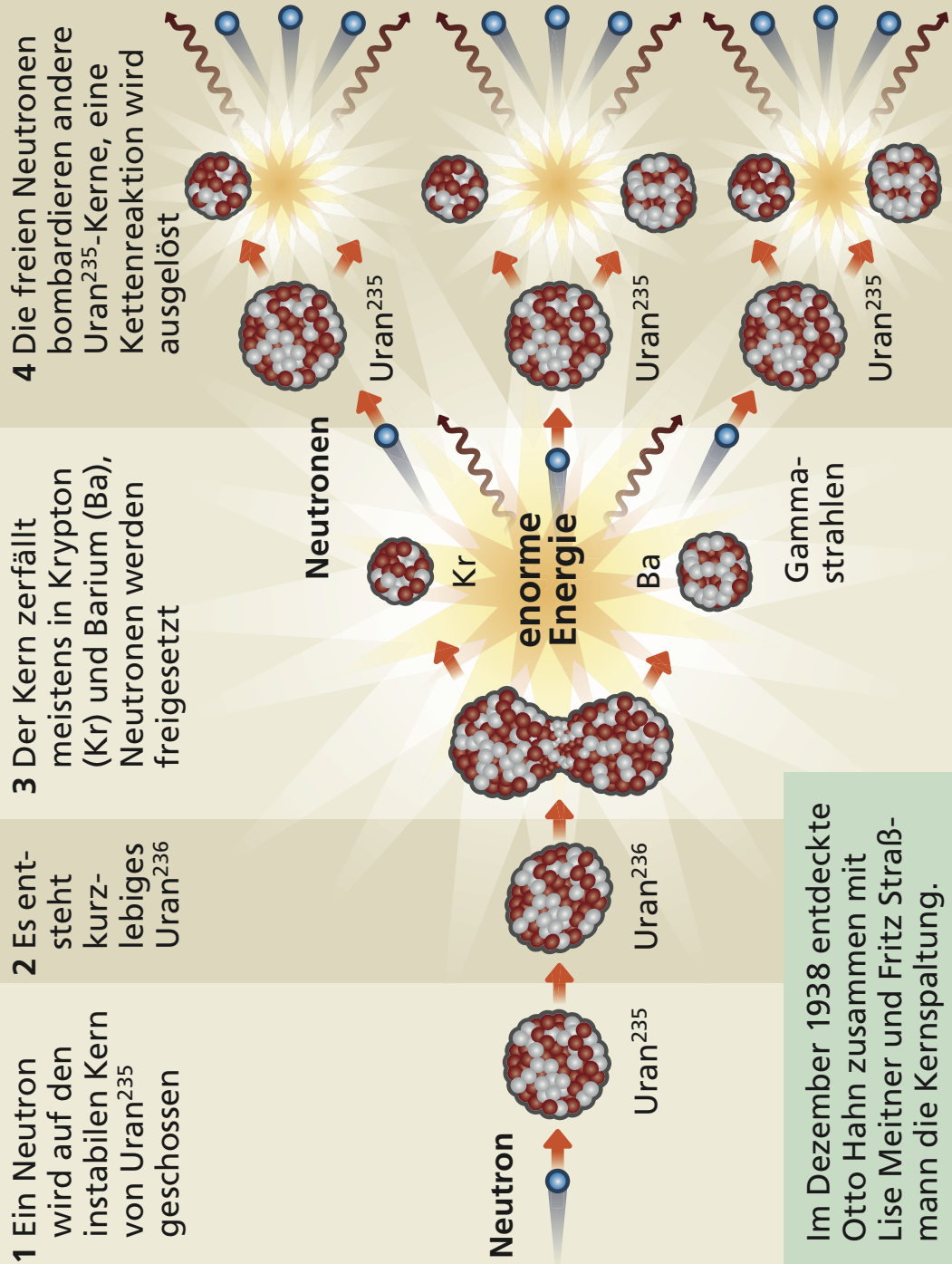
Inkohlungsreihe – bezogen auf aschen- und schwefelfreie Substanz (modifiziert nach Bischoff/Gocht)

Inkohlungsreihe	Dichte g/cm ³	Heizwert MJ/kg	Wasser in %	Flüchtige Bestand- teile in % der Trockensubstanz	Kohlenstoff in % der Trocken- substanz
Holz	0,2–1,3	14,65	(trocken)	80	50
Torf	1,0	6,28–8,37	60–90	65	55–65
Weichbraunkohle	1,2	7,54–12,56	30–60	50–60	65–70
Hartbraunkohle	1,25	16,75–29,31	10–30	45–40	70–80
Flamm-Fettkohle	1,3	29,31–33,40	3–10	17–45	80–90
Ess- und Magerkohle	1,35	33,49–35,59	3–10	7–17	90–93
Anthrazit	1,4–1,6	35,59–37,68	1–2	4–7	93–98

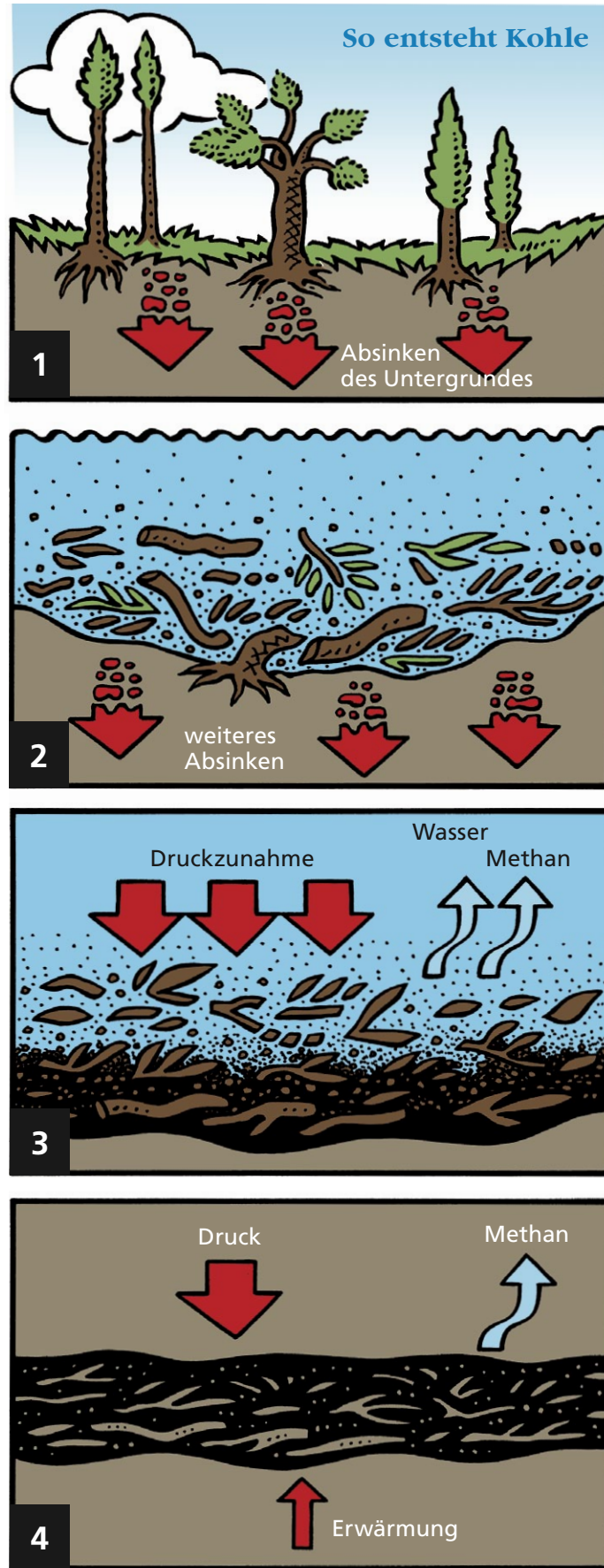
Quelle: GVG Velhagen & Klasing und Hermann Schroedel

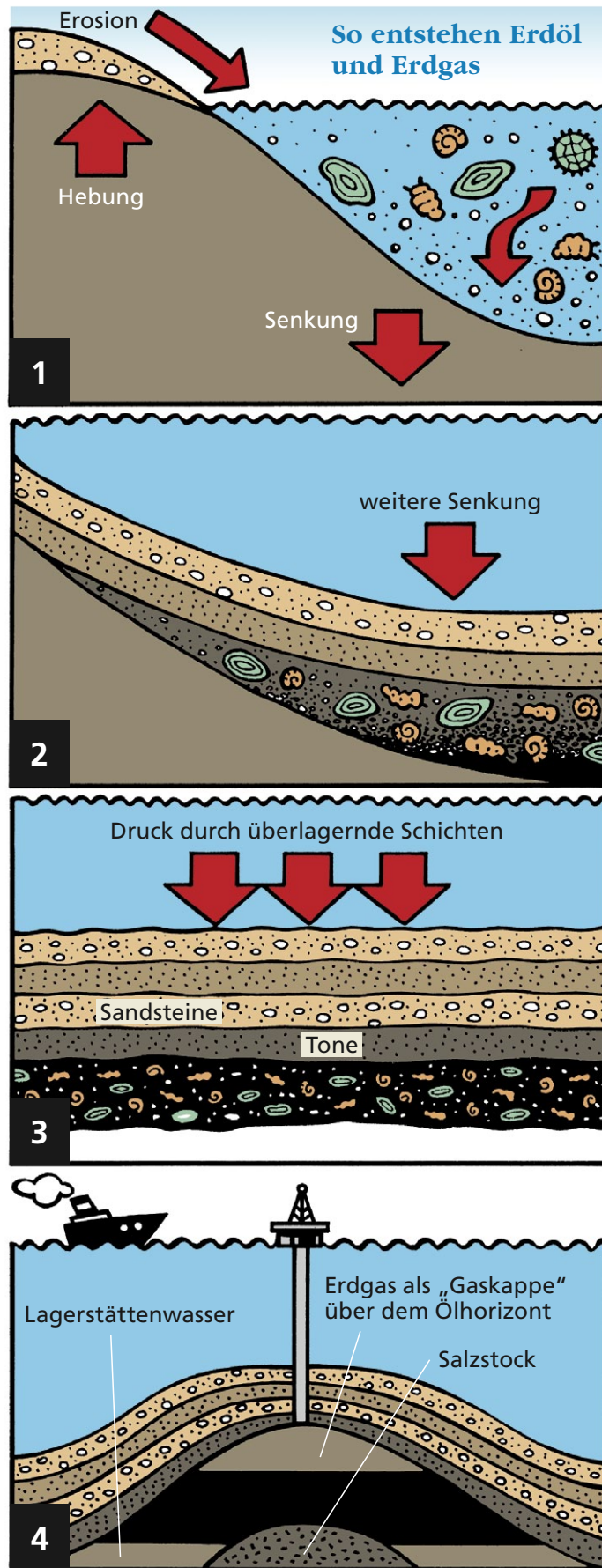


Die Kernspaltung



Im Dezember 1938 entdeckte Otto Hahn zusammen mit Lise Meitner und Fritz Straßmann die Kernspaltung.









Quelle: AREVA Multibrid/Jan Oelker

45 km nördlich von Borkum liegt der deutsche Offshore-Windpark „alpha ventus“. Er liefert Strom für eine Stadt mit rund 50 000 Einwohnern. Für das Pilotprojekt wurde eine Investitionssumme von rund 250 Mio. Euro aufgewandt. 150 m hoch ragen die Windräder über der Wasserlinie in den Himmel – fast so hoch wie der Kölner Dom mit seinen 157 m.



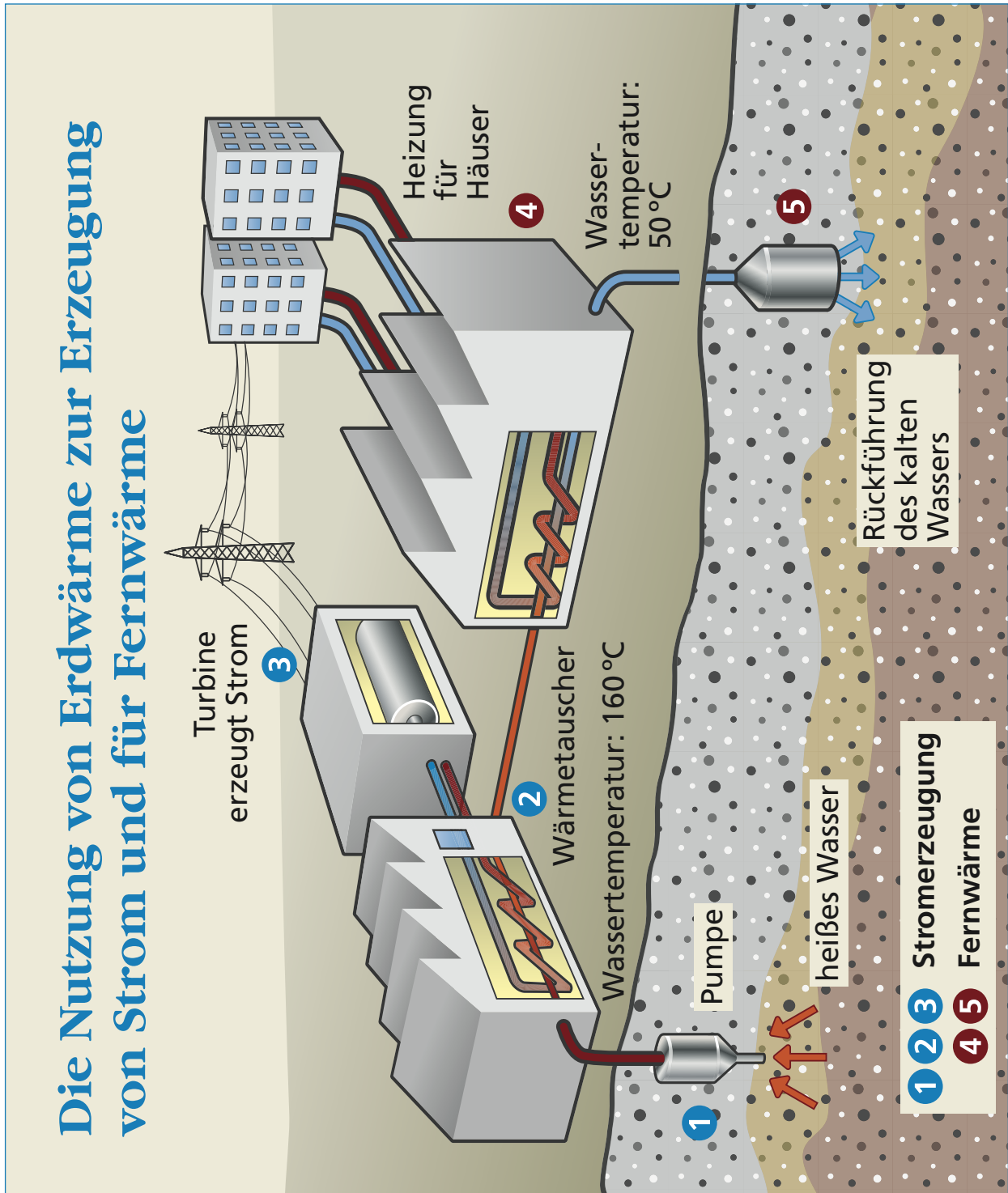
Quelle: Siemens

Strom aus Gezeitenströmungen: Die Anlage SeaGen in der irischen See liefert 1,2 MW Strom und kann etwa 1 500 Haushalte versorgen. Dabei treiben die Meeresströmungen, die durch Ebbe und Flut entstehen, zwei große Unterwasser-Rotoren an.



Quelle: picture alliance/dpa

Wellenkraftversuchsanlage in der Nordsee vor der Küste Dänemarks in der Nähe von Hanstholm. Die Anlage steht mit vier Stützen fest auf dem Meeresboden. Überdimensionale Schwimmer werden von den Wellen auf und ab bewegt und produzieren so Strom.



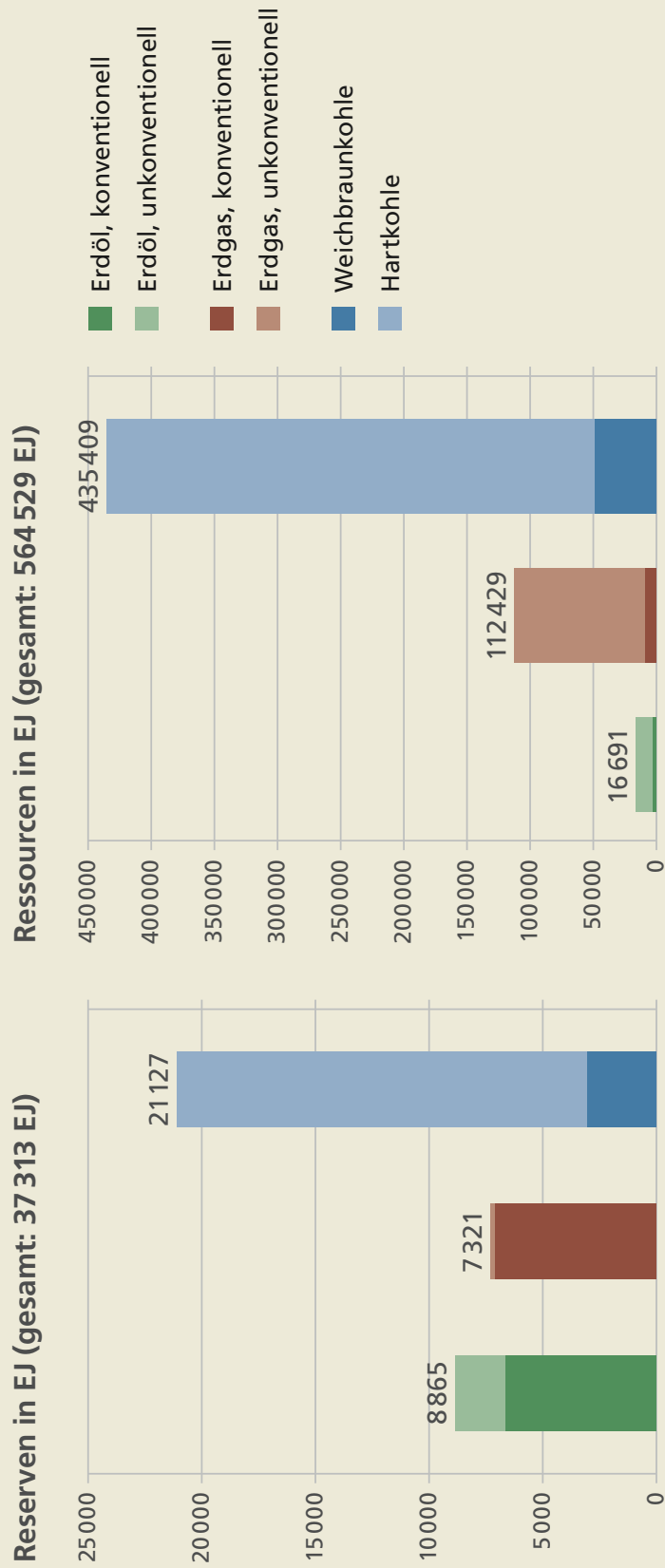


Statistische Reichweite der weltweiten Reserven an fossilen Energierohstoffen und Uran*

Energie-träger	Weltver-brauch 2009 in Mrd. t SKE	Reserven Ende 2008 in Mrd. t SKE	Reichweite in Jahren
Braunkohle	0,3	105	ca. 350
Steinkohle	4,4	615	ca. 140
Erdöl**	5,4	225	ca. 40
Erdgas	3,7	245	ca. 65
Uran***	1,0	25	ca. 25
* für die Ermittlung der statischen Reichweite werden die nachgewiesenen derzeit technisch und wirtschaftlich gewinnbaren Vorräte geteilt durch den Verbrauch des letzten Jahres ** ohne nicht-konventionelles Erdöl (Schwerstöle, Teersande, Ölschiefer) *** nur Vorräte mit Förderkosten bis 40 USD je kg; ohne Thorium, ohne Wiederaufbereitung, ohne Brutreaktoren			



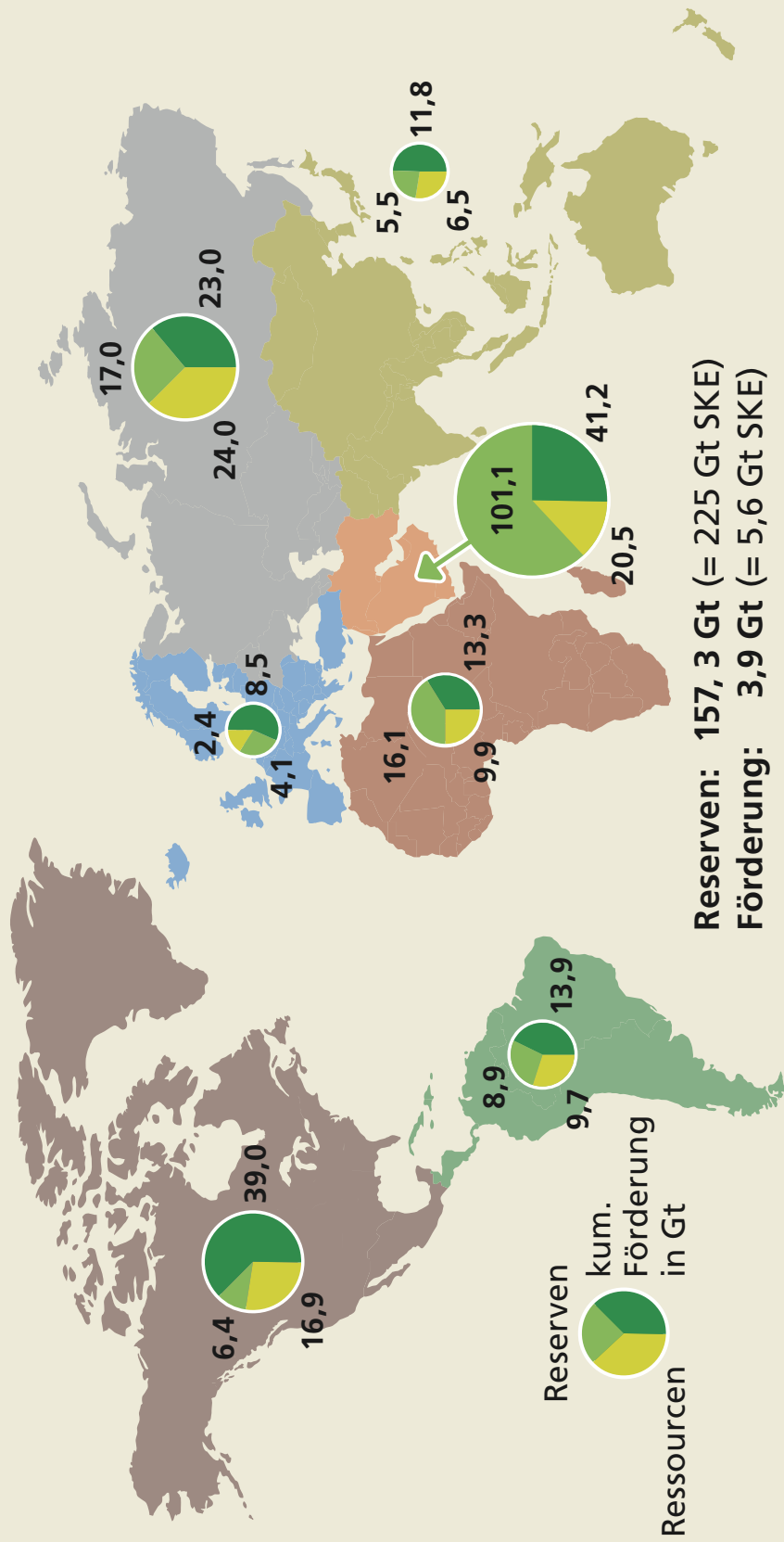
Weltweite Reserven und Ressourcen fossiler Energierohstoffe 2008



Quelle: BGR



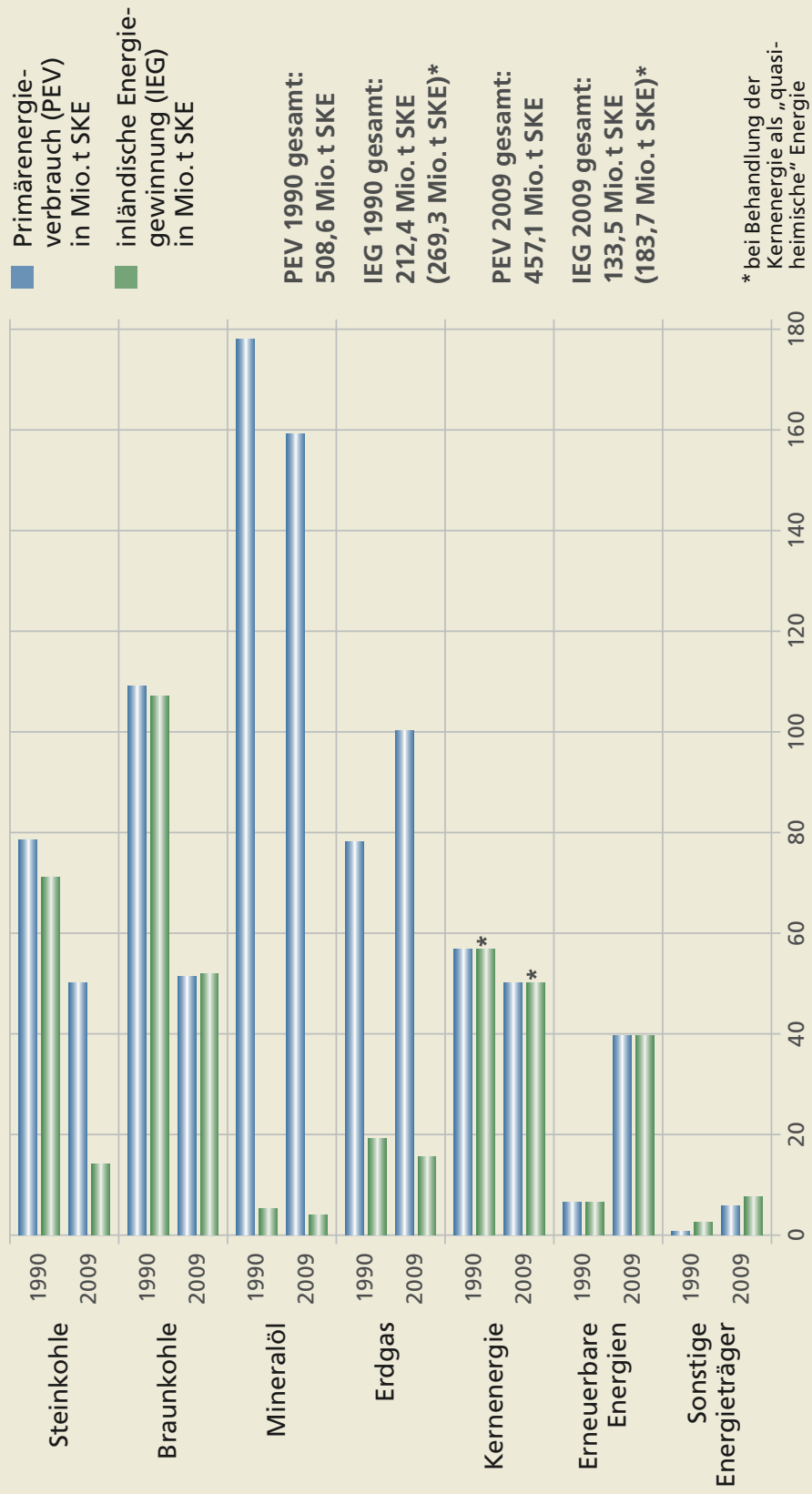
Regionale Verteilung des Gesamtpotenzials von konventionellem Erdöl 2007 (insgesamt 400 Gt) nach Regionen



Quelle: BGR



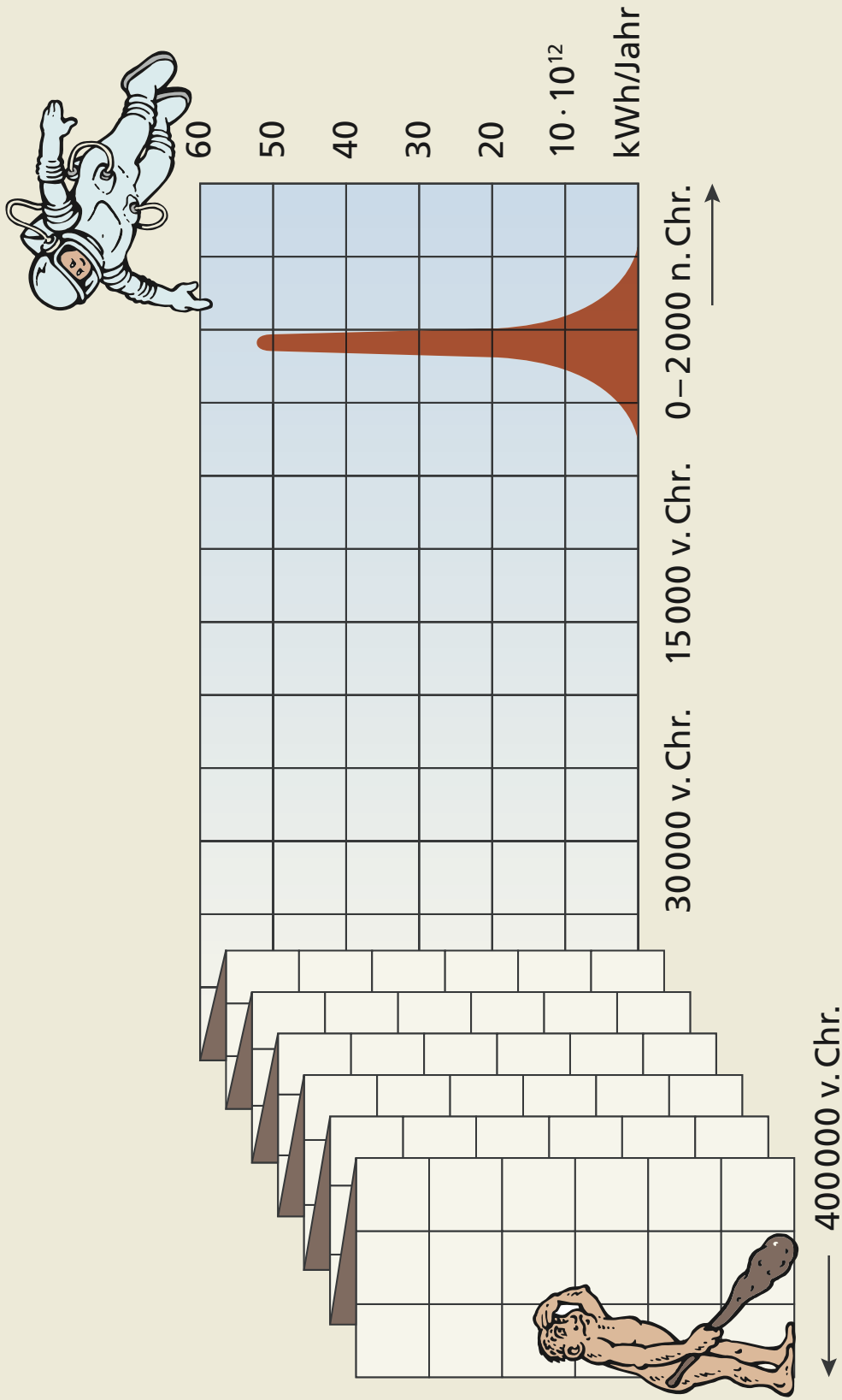
Primärenergieverbrauch und inländische Energiegewinnung in Deutschland



Quelle: AG Energiebilanzen



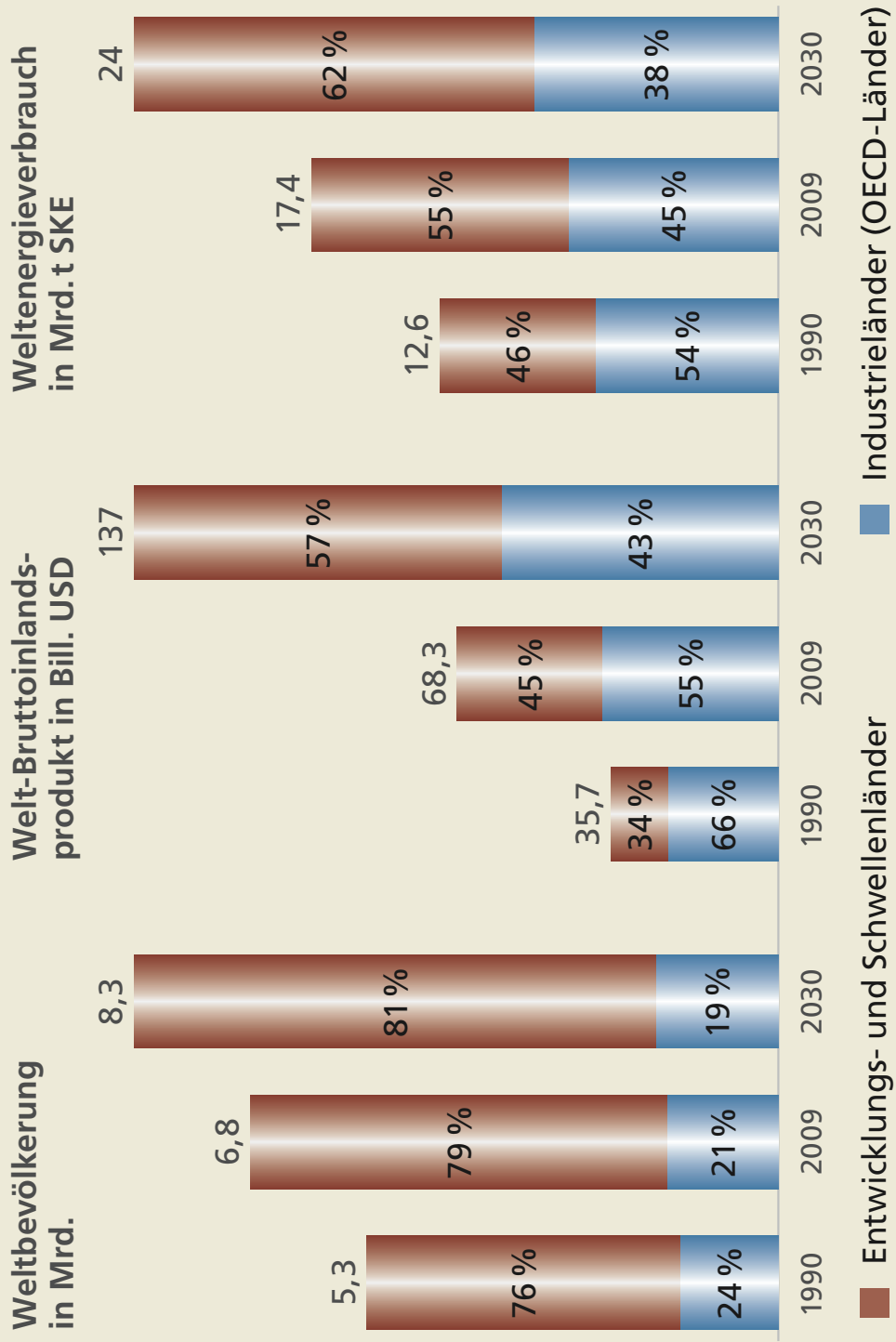
Zeitraum der Ausbeutung fossiler Energierohstoffe



Seit vor etwa 400 000 Jahren der Mensch das Feuer für seinen Wärmebedarf einzusetzen begann, sind bis vor circa 200 Jahren kaum nennenswerte Mengen an fossilen Energieträgern verbraucht worden. Seit Erfindung der Dampfmaschine (1769) und des Ottomotors (1866) werden zunächst die Kohle, dann auch verstärkt das Erdöl in großem Umfang genutzt.



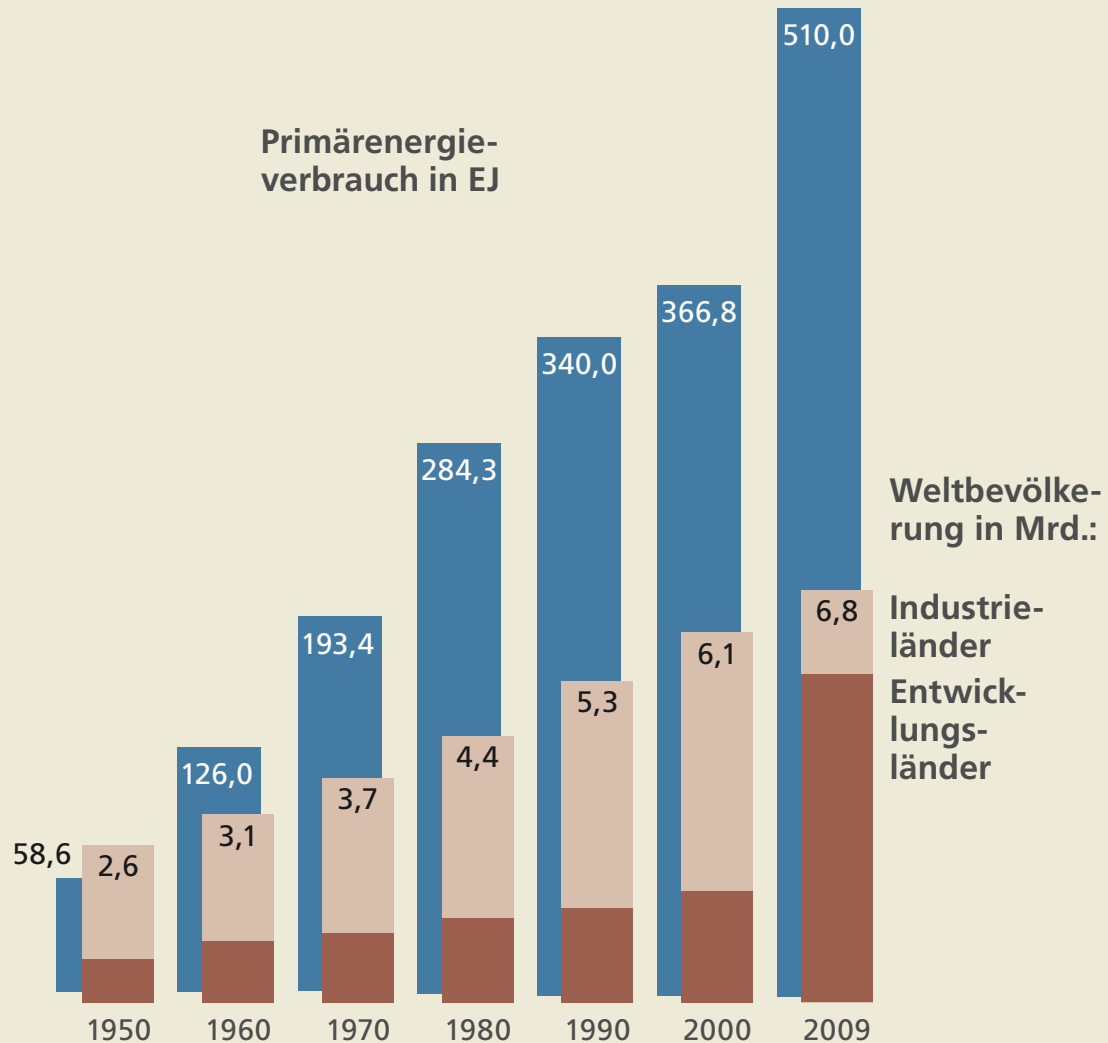
Welt-Primärenergieverbrauch im Vergleich zur Weltbevölkerung und zum Welt-Bruttoinlandsprodukt



Quelle: UN, IWF, DOE, eigene Berechnungen



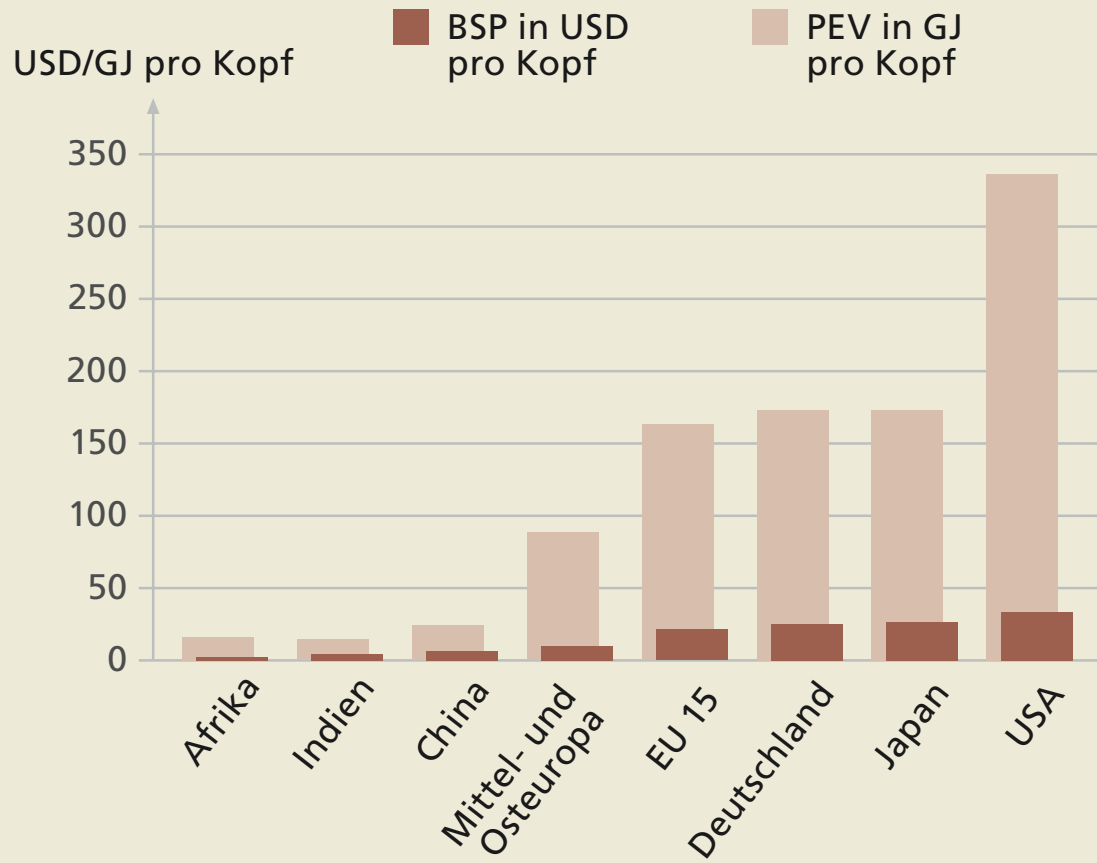
Entwicklung der Weltbevölkerung und des Weltverbrauchs an Primärenergie



Quelle: Weltenergieatlas, BP, eigene Berechnungen

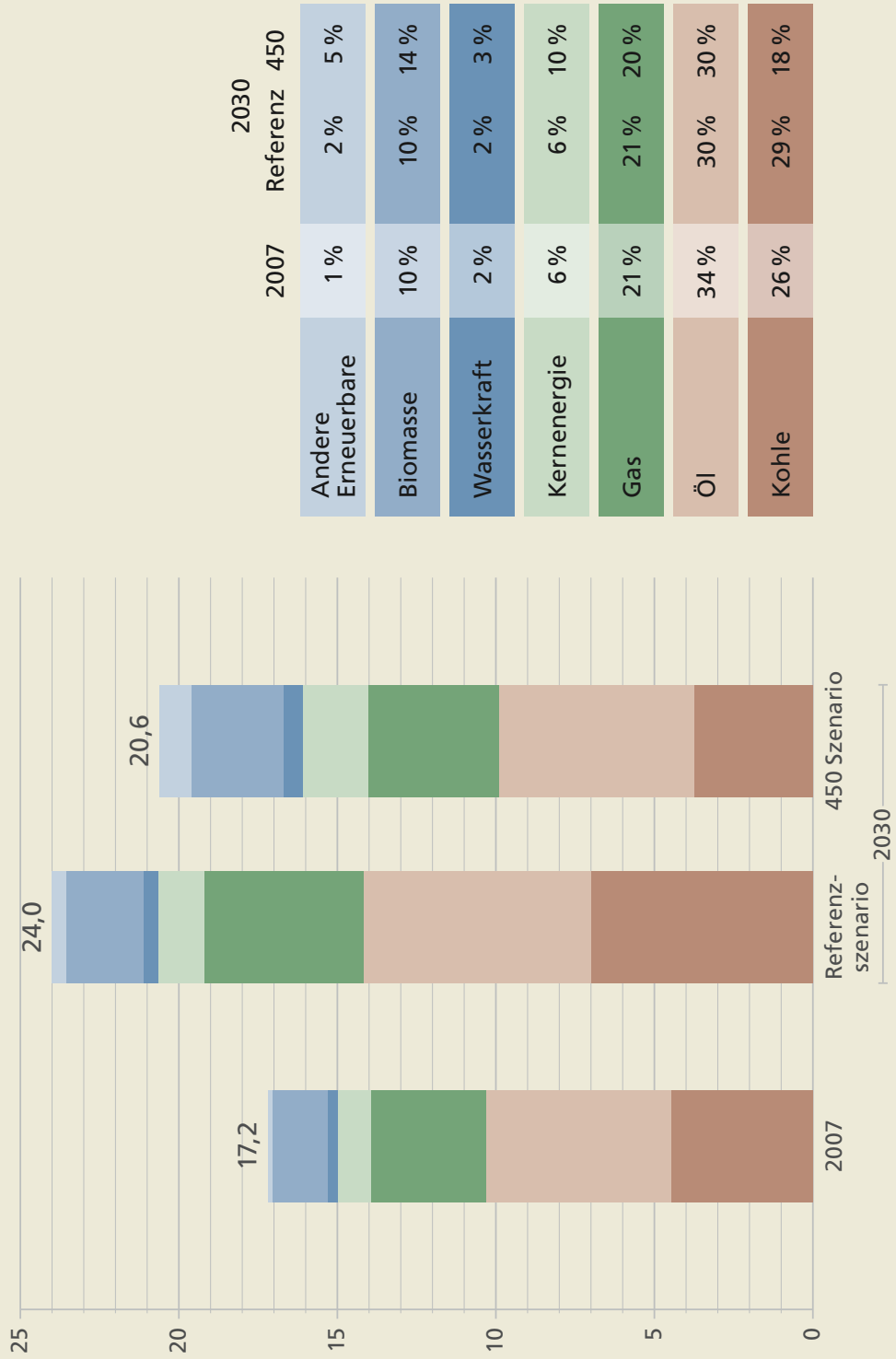


Bruttoinlandsprodukt und Energieverbrauch pro Kopf 2000





Entwicklung des globalen Primärenergie- verbrauchs bis 2030 in Mrd. t SKE



Quelle: International Energy Agency



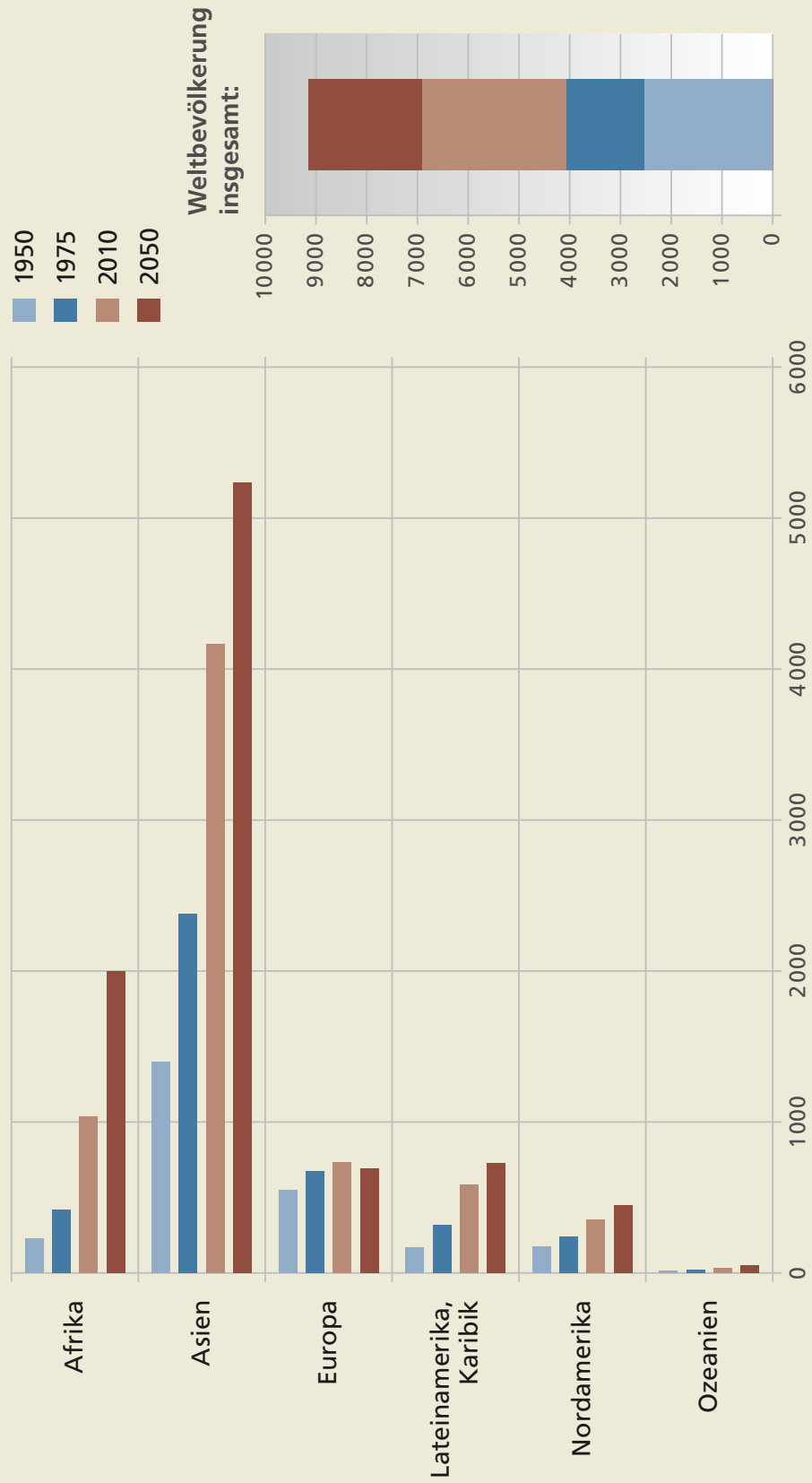
Auswirkungen der Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre

Angestrebtes Stabilisierungsniveau von CO ₂ in der Atmosphäre in ppm	Zeitfenster, in dem die CO ₂ -Emissionen spätestens sinken müssen in Jahren	Notwendige Veränderung der CO ₂ -Emissionen in 2050 gegenüber 2000 in Prozent	Durchschnittlicher Temperaturanstieg im Vergleich zur vorindustriellen Zeit in °C	Durchschnittlicher Anstieg der Meeresspiegel im Vergleich zur vorindustriellen Zeit in Metern
350 – 400	2000 – 2015	– 85 bis – 50	2,0 – 2,4	0,4 – 1,4
400 – 440	2000 – 2020	– 60 bis – 30	2,4 – 2,8	0,5 – 1,7
440 – 485	2010 – 2030	– 30 bis +5	2,8 – 3,2	0,6 – 1,9
485 – 570	2020 – 2060	+ 10 bis +60	3,2 – 4,0	0,6 – 2,4
570 – 660	2050 – 2080	+ 25 bis +85	4,0 – 4,9	0,8 – 2,9
660 – 790	2060 – 2090	+ 90 bis + 140	4,9 – 6,1	1,0 – 3,7

Quelle: IPCC



Entwicklung der Weltbevölkerung nach Kontinenten 1950 – 2050 in Tsd. Einwohner



Quelle: Wikipedia, UN

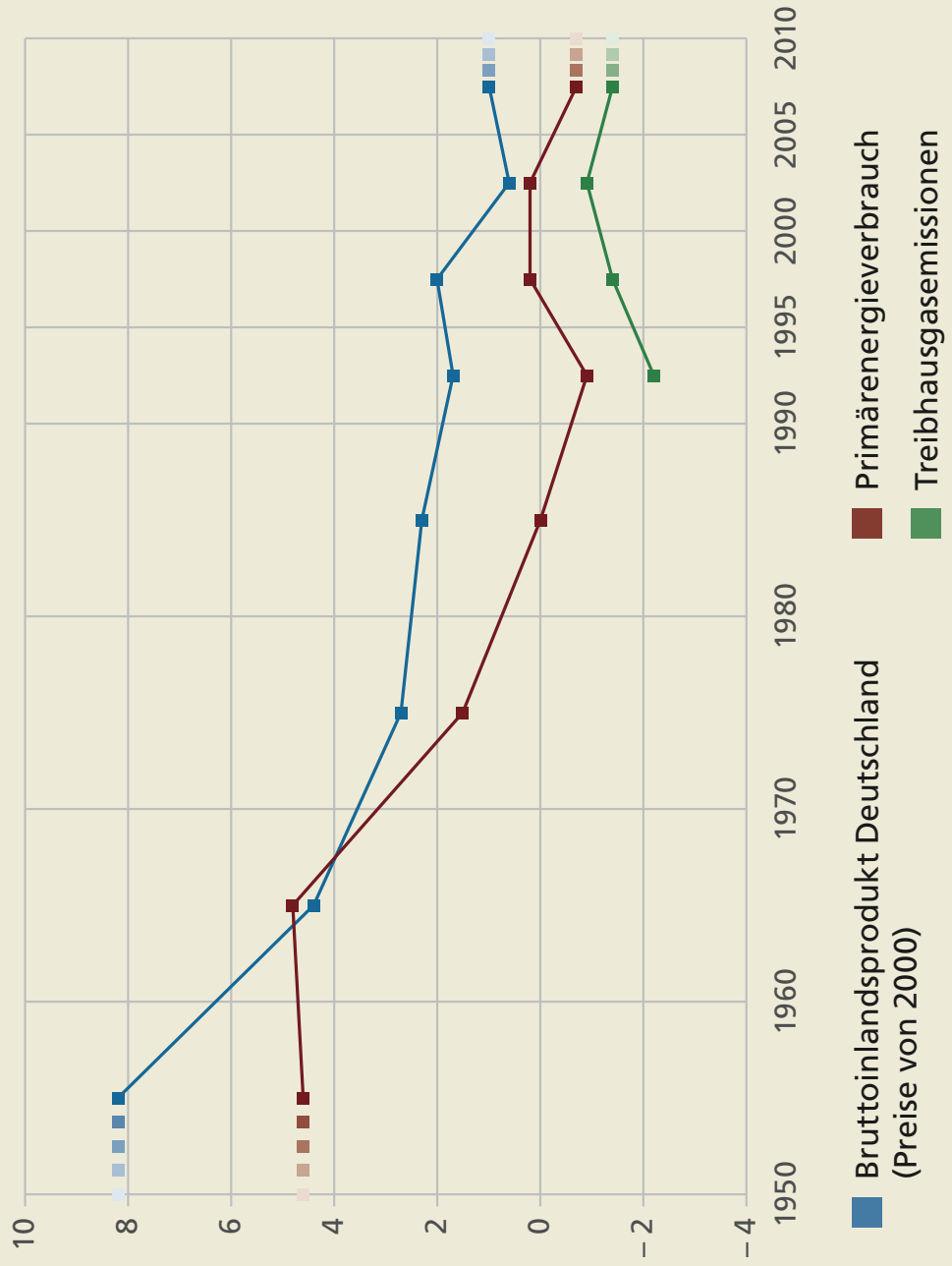


Entwicklung des Welt-Primärenergieverbrauchs nach ausgewählten Ländern und Regionen in Mio. t SKE*

Land/Region	1970	1985	2000	2009*
USA	2 308	2 519	3 299	3 117
Afrika	105	276	399	526
China	332	762	1 382	3 110
Indien	93	190	422	670
Russische Föderation	n. a.	1 163	878	908
EU	1 836	2 281	2 435	2 318
Deutschland	442	512	471	414
Welt	7 082	10 215	13 228	15 949
* nur kommerziell gehandelte Energie, ** 2009 geschätzt				



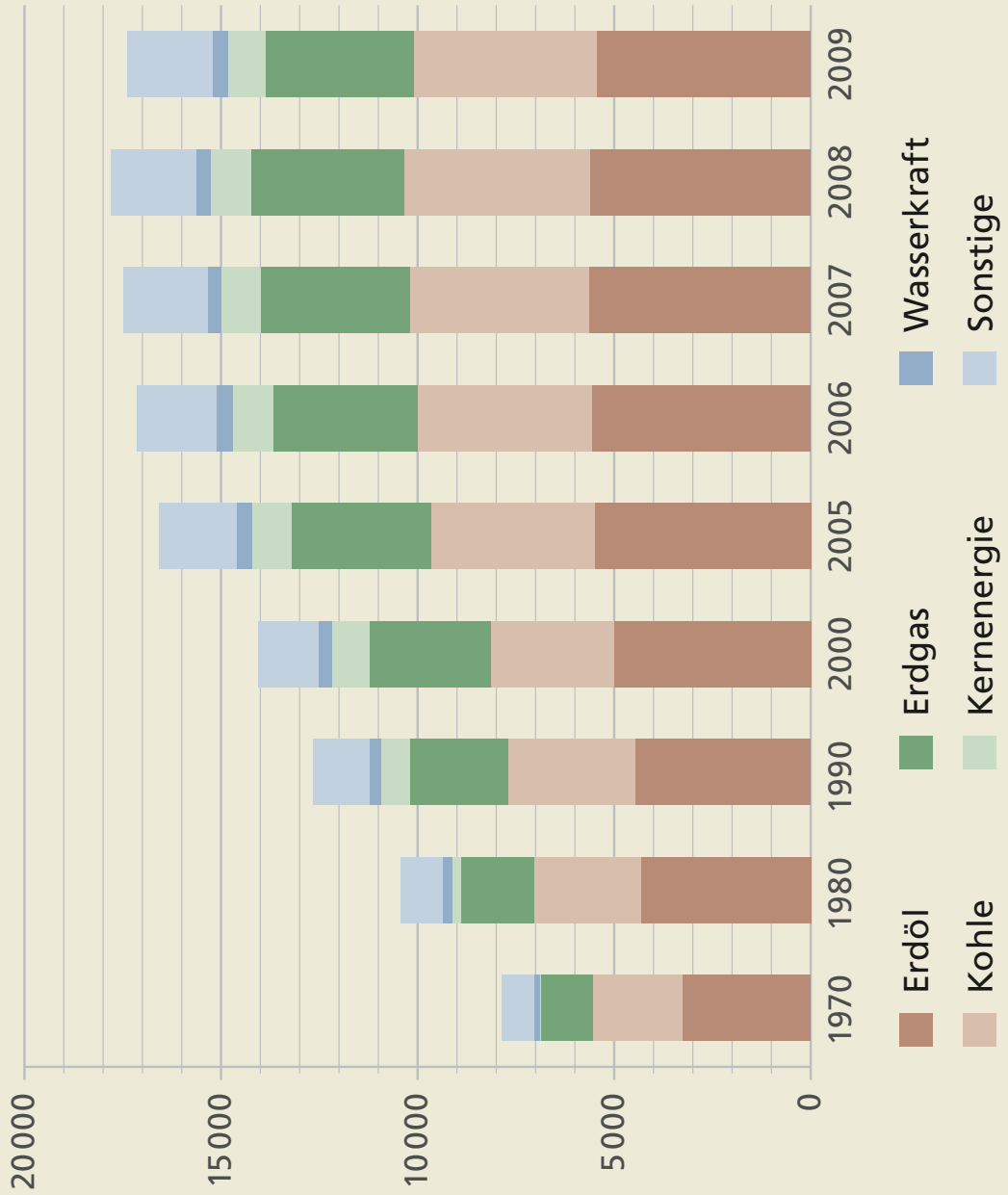
Wachstumsraten von realem Bruttoinlandsprodukt, Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen in Prozent



Quelle: H. W. Schiffer, AG Energiebilanzen, Statistisches Bundesamt



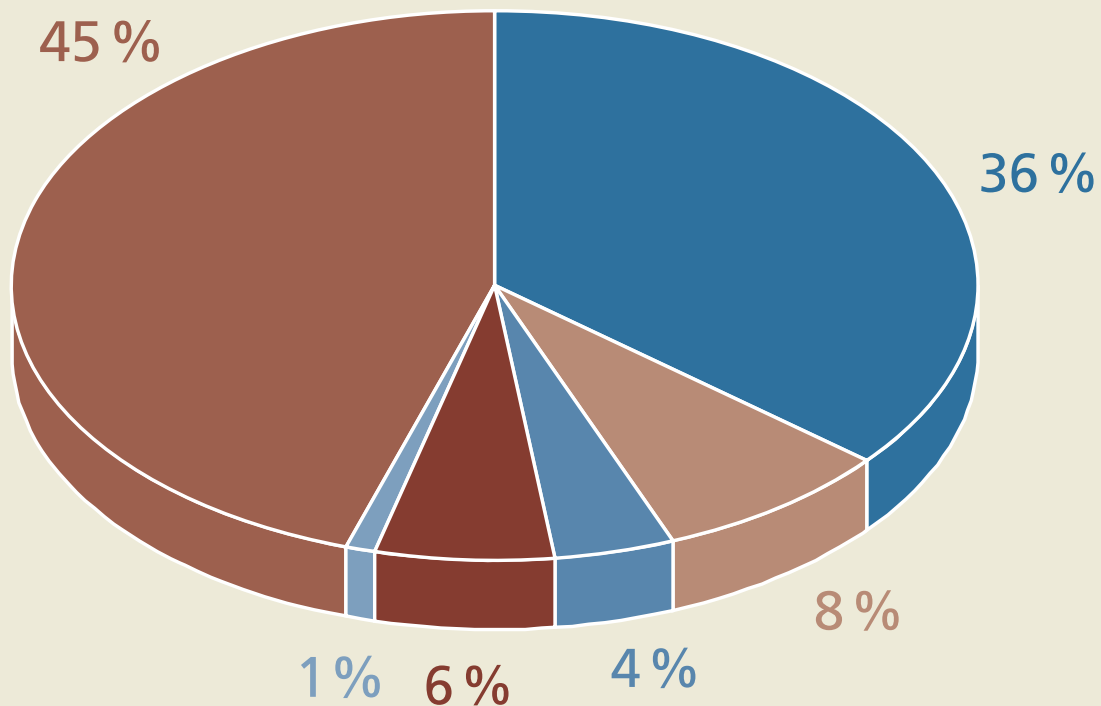
Weltenergieverbrauch nach Energieträgern



Quelle: BP, Weltenergieatlas – Deutschland, eigene Schätzungen



Endenergieverbrauch im Haushalt in Deutschland 2010



- Mobilität
- Warmwasserbereitung
- Hausgeräte
- Information und Kommunikation
- Beleuchtung
- Heizung