

Der Ausstieg aus der Atomenergie und die Energiebilanz Deutschlands

Reinhard F. Hüttel und Franz Ossing
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

Germany's political decision to refrain from the further use of nuclear energy by the year 2022 has far reaching implications for this highly industrialized nation. Not only the production of electricity but the whole energy supply system is subject to this most ambitious reorganization of Germany's energy structure. Industry as well as private households, i.e. production as well as consumption behaviour will have to face a profound change.

In their report to the Chancellor of the Federal Republic of Germany, the members of the Ethics Commission for a Safe Energy Supply present an elaborate proposal of measures to facilitate the complete shutdown of nuclear power plants in Germany within the period of only one decade. In this article we analyse the energy balance of Germany and how the results of the study carried out by the Ethics Commission are quantitatively reflected related to Germany's energy consumption.



Im Jahr 2022 soll das letzte deutsche Atomkraftwerk vom Netz gehen. Diese politische Entscheidung wurde durch Empfehlungen vorbereitet, welche die „Ethik-Kommission Sichere Energieversorgung“ (EK) im Mai 2011 der Bundeskanzlerin überreichte. Die Ethik-Kommission wurde nach der Tsunami- und Reaktorkatastrophe vom 11. März 2011 von Fukushima, Japan, durch die Bundeskanzlerin mit dem Ziel einberufen, Alternativen zur Energieversorgung zu entwickeln, die nicht auf der Nutzung der Nukleartechnologie beruhen.

Schon vorher war der Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland politisch beschlossen worden, lediglich die Zeitspanne bis zum endgültigen Ausstieg unterschied die politischen Lager. Die Reaktor-Havarie von Fukushima führte zu einer Neuorientierung: wenn in einer technologisch so hoch entwickelten Nation wie Japan der Störfall einer einzigen energieliefernden Anlage derart große Schäden verursacht, dass davon – neben den vielfältigen menschlichen Tragödien – die gesamte nationale Ökonomie mit Auswirkungen bis hin zum Weltmarkt berührt wird, ist das Grund genug, erneut über das so genannte „Restrisiko“ nachzudenken. Die Ethik-Kommission formuliert das so: „Der Ausstieg ist nötig und wird empfohlen, um die Risiken, die von der Kernkraft in Deutschland ausgehen, in Zukunft auszuschließen. Er ist möglich, weil es risikoärmere Alternativen gibt.“ (Abschlussbericht der EK, S. 10)

Der Ausstieg aus der Atomenergie ist dabei nicht nur als Verzicht auf eine spezielle Art der Stromerzeugung zu verstehen. Es handelt sich nicht nur um die Elektrizität als eine Teilkomponente der End- oder Nutzenergie. Der Wegfall dieses Teils des Energiesystems Deutschlands hat Implikationen für die Energieversorgung unserer Gesellschaft. „Die Ethik-Kommission betont, dass die Energiewende nur mit einer gemeinsamen Anstrengung auf allen Ebenen der Politik, der Wirtschaft und der Gesellschaft gelingen wird“ (EK, S. 11) und schlägt dafür ein „Gemeinschaftswerk ‚Energiezukunft Deutschland‘“ vor (ebd., S. 20ff). Es geht um nichts Geringeres als den Umbau des gesamten Energiesystems einer hochentwickelten Industrienation, wobei eine wesentliche Rahmenbedingung der Erhalt von Stabilität und Wohlstand des Gemeinwesens ist: „Der Ausstieg soll so gestaltet werden, dass die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie und des Wirtschaftsstandortes nicht gefährdet wird.“ (ebd., S. 10) Was diese Energiewende in Zahlen ausgedrückt bedeutet, soll anhand der Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland verdeutlicht werden.

Der Energiefluss in Deutschland

Abbildung 1 zeigt vereinfacht den Energiefluss Deutschlands. Die energetischen Rohstoffe bilden die Basis der Primärenergie; im Jahr 2009 betrug das Primärenergieaufkommen Deutschlands 13 398 Petajoule (PJ). Bei der Umwandlung in nutzbare Energieformen (Endenergie) gingen davon 3212 PJ verloren, das sind immerhin 24 % der eingesetzten Primärenergie. Diese Zahl verdeutlicht bereits die Notwendigkeit der von der Ethik-Kommission (EK) eingeforderten Steigerung der Energieeffizienz. Darauf wird unten näher eingegangen.

Als Endenergie stehen 8714 PJ zur Verfügung. Diese gehen zu 26 % (= 2264 PJ) in den industriellen Verbrauch, zu 29 % (= 2541 PJ) in den Verkehr, zu 29 % (= 2497 PJ) in den Verbrauch durch die Privaten Haushalte (PHH) und zu 16 % (= 1411 PJ) in den Bereich Gewerbe/Handel/Dienstleistungen. Diese auf den ersten Blick recht gleichmäßige Verteilung der Endenergie unter die Verbrauchssektoren wird allerdings dadurch verschoben, dass etwa 56 % des Energieverbrauchs im Verkehr (2008) von den Privaten Haushalten verursacht wird (Statistisches Bundesamt, 2011, S. 7; vgl. auch BMVBS 2011, S. 296 bis 301). Damit sind die Privaten Haushalte der größte Einzelposten unter den Endenergieverbrauchern. Die Lebensweise unserer Gesellschaft ist also ein bestimmender Faktor für den Energieverbrauch und folglich auch für die Umgestaltung des Energiesystems. Zu Recht weist die EK auf die notwendige „Verbindung von technischer Effizienz mit dem Verhalten der Konsumenten (Lebensstile)“ (EK, S. 66) hin.

Von der Endenergie muss die Nutzenergie unterschieden werden, also die Energiemenge, die tatsächlich für die jeweils gewünschte Energiedienstleistung verwendbar ist. Bei der Umwandlung der Endenergie in Nutzenergie für Energiedienstleistungen geht etwa die Hälfte der Endenergie verloren. Insgesamt wird nur ein Drittel der Primärenergie in Nutzenergie umgewandelt (UBA 2011). Auch dieses ungünstige Nutzungsverhältnis ist ein Ansatzpunkt für die Verbesserung der Energieeffizienz.

Energiefluss und Energieträger

Der Verzicht auf die Nutzung der Atomenergie ist, energetisch ausgedrückt, der Verzicht auf Uran als Primärenergieträger und auf die davon abhängende Stromproduktion als Energieform der Endenergie. Die Kernkraft hatte einen Anteil von 1472 PJ (~11 %) am Energieaufkommen im Inland. Dieser Primärenergieanteil geht vollständig in die Stromproduktion ein. Obwohl Kernkraftwerke beträchtliche Mengen an Wärme erzeugen,



Kontakt: R. F. Hüttl
(huettl@gfz-potsdam.de)

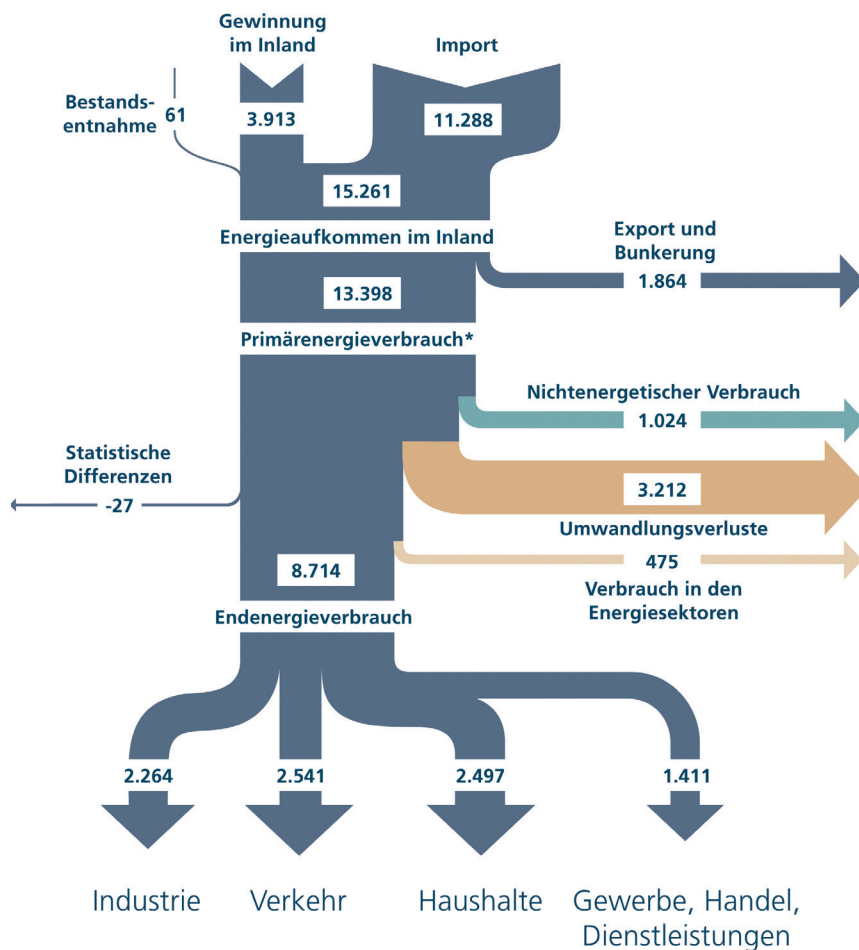


Abb. 1: Vereinfachtes Energieflussbild für die Bundesrepublik Deutschland (2009, in Petajoule PJ). Die hier genannten Zahlen sind eine erste Näherung; die detaillierte Aufschlüsselung (vgl. Abb. 2) weicht geringfügig von diesen Zahlen ab. Der Anteil der Erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch liegt bei 8,7 % (1320 PJ). Quelle: AG Energiebilanzen

Fig. 1: Simplified energy flow chart for the Federal Republic of Germany (2009, in Petajoule PJ). The values reported here are first approximations; the detailed breakdown (see Figure 2) differs slightly from these numbers. The percentage of renewable energy carriers in primary energy consumption is 8.7% (1320 PJ). Source: AG Energiebilanzen

Rechts: Abb. 2: Energieflussbild Deutschlands (2009) nach Sektoren und Energieträgern; in TeraJoule (TJ). Quelle: AG Energiebilanzen 2011

Right: Fig. 2: Energy flow chart for Germany (2009) by sectors and energy carriers; in TeraJoule (TJ). Source: AG Energiebilanzen 2011

wird diese Wärme, soweit sie nicht direkt zur Stromerzeugung genutzt wird, nicht verwendet, sondern über Kühltürme an die Umwelt abgegeben. Nach Auskunft des „Informationskreises Kernenergie“ war das im Jahr 2003 stillgelegte Kernkraftwerk Stade das erste Kernkraftwerk in der Bundesrepublik Deutschland, das außer Strom auch Wärme bereitstellte. Ab 1984 wurde Fernwärme für einen benachbarten Salinenbetrieb ausgekoppelt. Im Kernkraftwerk Greifswald wurden in den Blöcken 1 bis 4 jeweils 75 MWth ausgekoppelt und zur Wärmeversorgung der Stadt genutzt. Andere Kernkraftwerke in Deutschland sind nicht in die Fernwärmeversorgung eingebunden. Kernenergie dient also ausschließlich der Stromerzeugung.

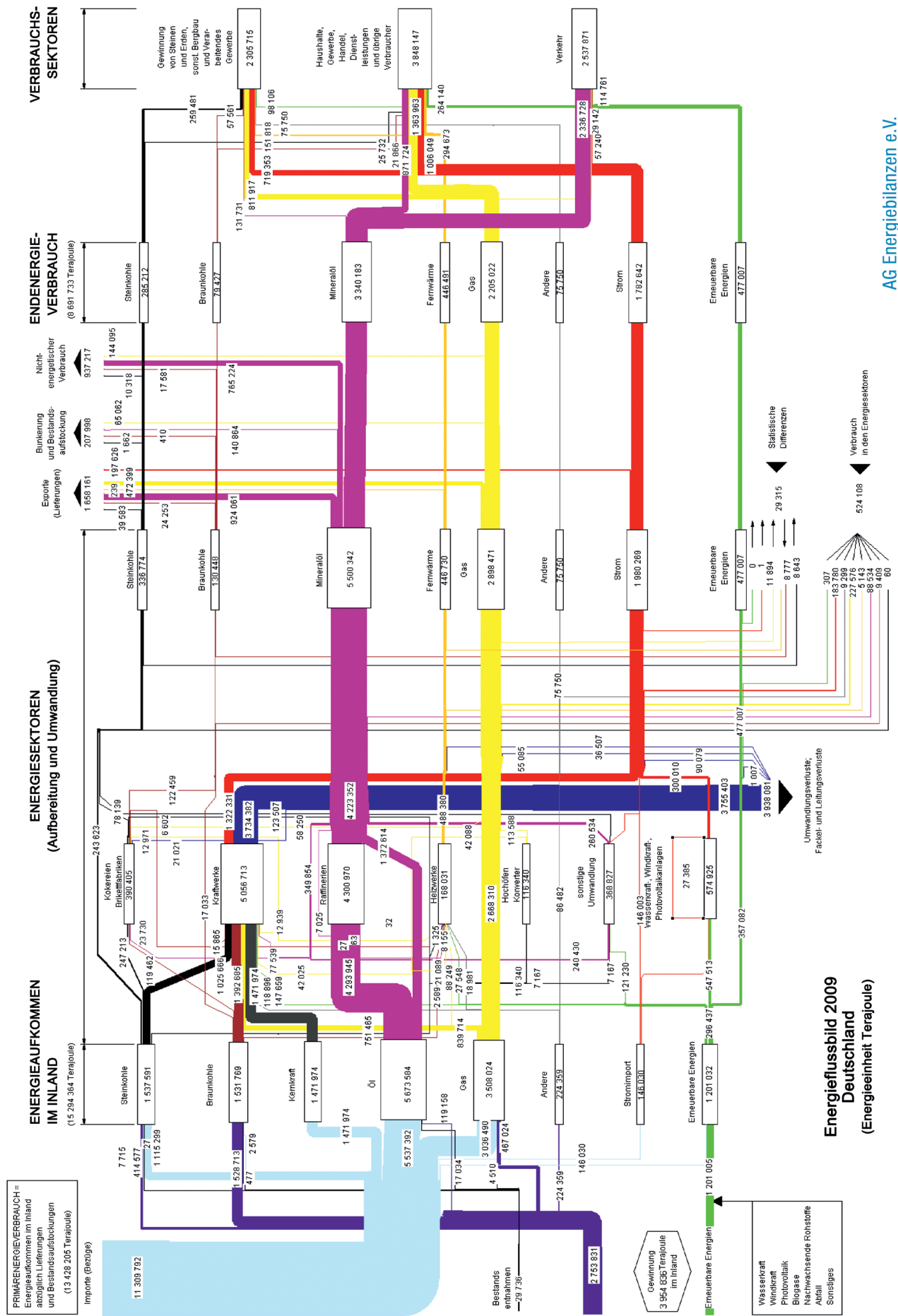
Welche über die Stromversorgung hinausgehenden Implikationen das Stilllegen der Kernkraftwerke hat, hebt die EK an vielen Stellen hervor. Die Energiebilanz der Bundesrepublik unterfüttert dieses Argument mit deutlichen Zahlen. Abbildung 2 zeigt den Energiefluss Deutschlands, aufgeschlüsselt nach Sektoren und nach Energieträgern/-formen.

Nach Umwandlung, Exporten, Bunkerung und Nichtenergetischem Verbrauch bleiben für die Nutzung als Endenergie rund 8700 PJ in Form verschiedener Energieträger und -formen. Öle, Gase und Strom sind hier die wichtigsten Aufkommensformen.

Das war nicht immer so: in den frühen Jahren der alten Bundesrepublik war Stein- und Braunkohle für die häusliche

Wärmeherstellung der wesentliche Energieträger. Nichts charakterisiert den Werdegang der Bundesrepublik von einer Montanindustrie-geprägten Gesellschaft der Nachkriegszeit zur heutigen modernen Waren- und Dienstleistungsgesellschaft deutlicher als der veränderte Energiemix. Die Tabellen 1 und 2 zeigen diesen Wandel deutlich: 1950 war die Kohle mit 88 % der dominierende Primärenergieträger, Öle und Gase spielten nur eine untergeordnete Rolle. Im Jahr 1988 waren die Rollen bereits komplett getauscht, Öl mit 40 % und Gas mit 16 % haben die Braunkohle (8 %) beiseite gedrängt, mit 19 % ist die (Import-)Steinkohle nur noch gleichberechtigter Partner. Durch die Wiedervereinigung Deutschlands ergibt sich für das Jahr 2009 ein Wiederanstieg des Braunkohlenanteils auf 11 %.

Noch drastischer spiegelt sich dieser gesellschaftliche Veränderungsprozess in der Endenergie wider. War 1950 mit 45,8 % das Verarbeitende Gewerbe der größte Endenergieverbraucher der alten Bundesrepublik, so stellten 1988 die Haushalte und Kleinverbraucher mit über 42 % den größten Verbraucher an Endenergie dar (AG Energiebilanzen). Nach Energieträgern aufgeschlüsselt wird dieser Änderungsprozess erst recht deutlich (Tab. 2): 1950 heizten die Deutschen ihre Wohnungen mit Kohle (74 % der Endenergie) und betrieben damit noch Dampflok. 1988 ist die Kohle bei knapp 8 % der Endenergie angelangt, die wichtigsten Endenergieträger sind Heizöl (22 %), Treibstoff (27,5 %), Gas (21 %) und Strom. Interessant ist die Entwicklung des Stromverbrauchs: von knapp 5 % (1950) steigt der Anteil



Energieflussbild 2009
Deutschland
(Energieeinheit Terajoule)

AG Energiebilanzen e.V.

| Jahr | Steinkohle | Braunkohle | Öle | Gase | Aqua (*) | Kernbrennstoffe | Rest | Summe |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|-----------------|------------|--------------|
| 1950 | 73,0 | 15,2 | 4,6 | 0,1 | 5,0 | 0,0 | 2,1 | 100,0 |
| 1955 | 71,9 | 14,9 | 8,5 | 0,3 | 3,3 | 0,0 | 1,1 | 100,0 |
| 1960 | 60,8 | 13,8 | 20,9 | 0,5 | 3,1 | >0,0 | 0,9 | 100,0 |
| 1965 | 43,2 | 11,3 | 40,5 | 1,4 | 2,6 | >0,0 | 0,9 | 100,0 |
| 1970 | 28,8 | 9,1 | 52,7 | 5,5 | 2,5 | 0,6 | 0,8 | 100,0 |
| 1975 | 19,1 | 9,9 | 52,2 | 14,2 | 2,2 | 2,0 | 0,4 | 100,0 |
| 1980 | 20,0 | 10,0 | 45,1 | 16,5 | 1,9 | 3,7 | 2,7 | 100,0 |
| 1985 | 20,8 | 9,4 | 39,4 | 15,5 | 1,5 | 10,7 | 2,7 | 100,0 |
| 1988 | 19,3 | 8,1 | 40,2 | 16,2 | 1,5 | 12,0 | 2,6 | 100,0 |
| 2009 | 11,1 | 11,2 | 34,5 | 21,9 | 8,9 (**) | 11,0 | 1,4 | 100,0 |

Tab. 1: Primärenergieverbrauch der westlichen Bundesrepublik Deutschland (in %); 2009: heutige Bundesrepublik;

(*) Aqua = Wasserkraft + Stromaußenhandelsaldo; (**) nur Erneuerbare Energien; Quelle: AG Energiebilanzen

Table 1: Primary energy consumption of the western Federal Republic of Germany (in %); 2009: present-day Germany;

(*) Aqua = hydroelectric power + electricity power balance of trade, (**) renewable energy only; Source: AG Energiebilanzen

| Jahr | Kohlen ^a | davon Braunkohle | Öle | Treibstoffe ^b | Gase ^c | Fernwärme | Strom | Rest | Summe |
|-------------|---------------------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------------|------------|-------------|------------|--------------|
| 1950 | 74,3 | 11,5 | 0,6 | 4,4 | 9,2 | 0,5 | 4,8 | 6,2 | 100,0 |
| 1955 | 69,2 | 10,7 | 2,5 | 7,2 | 11,0 | 0,5 | 6,0 | 3,6 | 100,0 |
| 1960 | 53,6 | 9,3 | 12,8 | 11,1 | 11,0 | 1,1 | 8,0 | 2,3 | 100,0 |
| 1965 | 34,3 | 6,0 | 29,4 | 15,2 | 8,8 | 1,4 | 9,1 | 1,7 | 100,0 |
| 1970 | 19,5 | 3,2 | 38,3 | 17,7 | 11,2 | 1,9 | 10,6 | 0,7 | 100,0 |
| 1975 | 11,0 | 1,5 | 36,9 | 20,9 | 15,6 | 1,9 | 13,3 | 0,4 | 100,0 |
| 1980 | 9,8 | 1,2 | 30,3 | 23,1 | 19,0 | 2,2 | 14,8 | 0,8 | 100,0 |
| 1985 | 9,9 | 1,2 | 24,3 | 24,5 | 20,7 | 2,6 | 16,6 | 1,3 | 100,0 |
| 1988 | 7,8 | 0,8 | 22,3 | 27,5 | 21,4 | 2,5 | 17,3 | 1,2 | 100,0 |
| 2009 | 4,1 | 0,9^d | 10,3 | 28,4 | 25,1 | 5,1 | 20,5 | 6,5 | 100,0 |

Tab. 2: Endenergieverbrauch, westliche Bundesrepublik Deutschland (in %), 2009: heutige Bundesrepublik

^a Summe Steinkohle + Braunkohle; ^b Diesel, Benzin, Kerosin; ^c incl. Naturgase, ^d incl. Staub- und Trockenkohle; Quelle: AG Energiebilanzen

Table 2: Final Energy Consumption, western Federal Republic of Germany (in %), 2009: present-day Germany

^a sum of coal + lignite; ^b diesel, gasoline, kerosene; ^c incl. natural gas, ^d including dust coal and dry coal; Source: AG Energiebilanzen

der Elektrizität an der Endenergie auf 17 % (1988). Für Deutschland im Jahr 2009 liegt der Wert bei knapp 21 %. Gerade unter dem Aspekt des Ausstiegs aus dem Atomstrom bedarf dieser Entwicklungsgang näherer Betrachtung.

Diese gewachsenen Strukturen des Primär- wie des Endenergieverbrauchs prägen auch das Energiesystem der Bundesrepublik von 2009. Bemerkenswert ist der Anstieg der Erneuerbaren Energien auf über 8,9 % des Primärenergieverbrauchs; ihr Beitrag zur Endenergie liegt bei 5,3 % (AG Energiebilanzen).

Strom als universaler Energieträger

„Verbraucher wollen keine Energie ‚an sich‘, sondern sie wollen Energiedienstleistungen, ...“ (EK, S. 42). Die Energie-

wandlung und ihre Bereitstellung für den industriellen und individuellen Verbrauch sind nicht einfach ein Schlüsselsektor der technischen Struktur unserer Gesellschaft. Energie ist das Rückgrat der materiellen Entwicklung der Produktion, ein universal genutztes Produktionsinstrument, das weder in Form noch in Menge ersetzbar ist. Nicht nur die moderne Industrie hängt von der Energie ab, Energie ist auch die Basis für die Nutzung von Haushaltsgeräten, Freizeiteinrichtungen und den Verkehr. Der Energiesektor ist daher als Teil der Infrastruktur von zentraler Bedeutung für die Wirtschaft und das private Leben. Jede Energienutzung setzt eine ganz bestimmte Bereitstellung von Energie voraus (Ossing et al., 1991).

Der mit dem Begriff „Wirtschaftswunder“ bezeichnete Veränderungsprozess der alten Bundesrepublik von einer eher monostrukturierten, von Kohle, Stahl und Landwirtschaft gepräg-

ten Gesellschaft zur heutigen exportorientierten Wirtschaftsnation mit ihren vielfältigen Waren- und Dienstleistungssektoren erforderte einen grundsätzlichen Wandel im Energiesystem. Die klassischen Energieträger Stein- und Braunkohle waren im Endenergiesektor nicht flexibel genug einsetzbar. Die Elektrizität als Energieform besitzt gerade die hier erforderliche vielseitige Nutzbarkeit. Insofern drückt der oben beschriebene Zahlenwert des Stromanteils an der Endenergie von 21 % als rein quantitative Angabe die Bedeutung der Elektrizität für moderne Gesellschaften nur unvollständig aus.

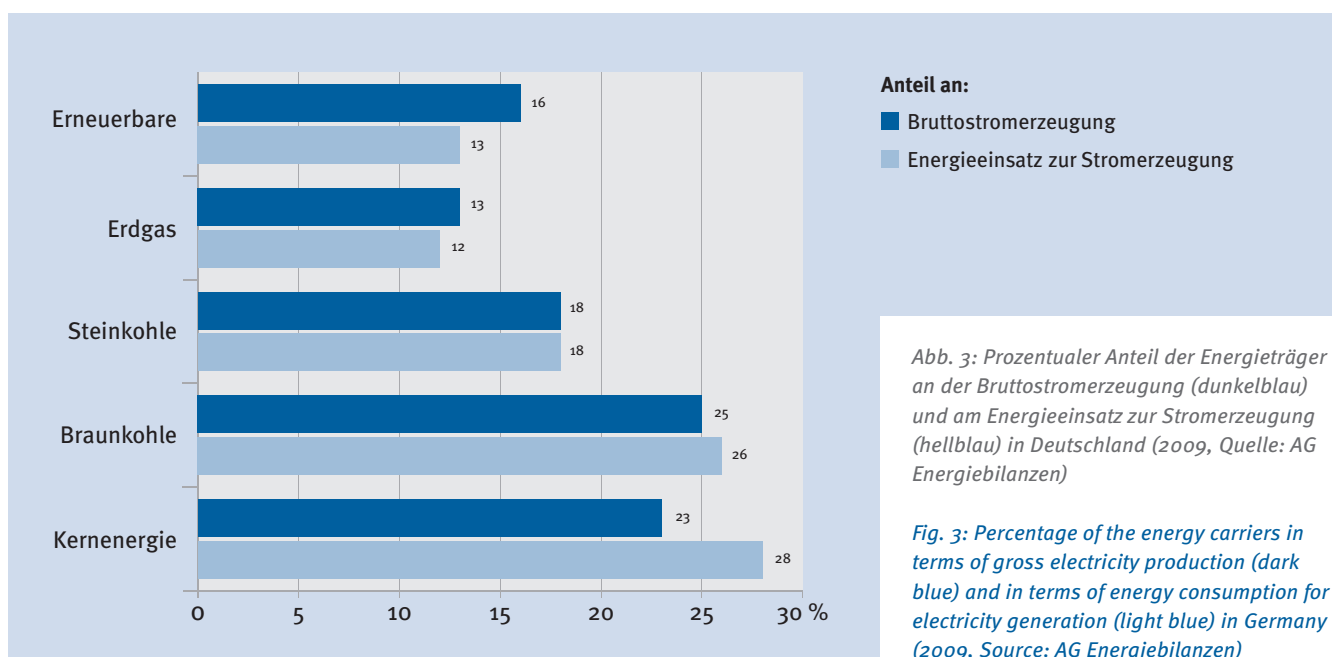
Gerade der Rückblick auf die Entwicklung Deutschlands seit dem Zweiten Weltkrieg zeigt: Unsere technische Zivilisation ist ohne Elektrizität nicht denkbar. Vom Kühlschrank über industrielle Fertigungsstraßen und öffentliche Servicebereitstellungen bis zum computergesteuerten Verkehr ist unser gesamtes Alltagsleben und unsere technische Infrastruktur von elektrischen Anlagen und Geräten abhängig, welche die komplexen Abläufe einer hoch industrialisierten Gesellschaft erst möglich machen. Damit ist der Ausstieg aus der Stromerzeugung durch Kernenergie nicht nur ein entscheidender Einschnitt in das Gesamtsystem der Energieversorgung, sondern auch ein tiefer Eingriff in die Grundstrukturen unserer Gesellschaft: „Der zu bildende Konsens muss langfristig Bestand haben und den Blick auf eine Energieversorgung richten, die schnellstmöglich auf Kernenergie verzichtet und Deutschlands Wege in eine nachhaltige Entwicklung sowie zu neuen Wohlstandsmodellen befördert.“ (EK, S. 22)

Betrachtet man den Stromverbrauch Deutschlands im Jahr 2009, so stehen für den elektrischen Endenergieverbrauch 1783 PJ zur Verfügung. Davon gehen 720 PJ (41 %) in die indus-

trielle Verwendung, 1006 PJ (56 %) in die Privaten Haushalte sowie Gewerbe/Handel/Dienstleistungen. Die restlichen, verschwindenden 57 PJ (3 %) nutzt der Verkehr. Gerade diese letzte Zahl wird sich jedoch deutlich verändern, wenn die Vorschläge der EK nach Ausbau der Elektromobilität unter den Gesichtspunkten der Reduktion von CO₂-Emissionen und der Elektrizitätsspeicherung umgesetzt werden.

Woher kommt der Strom? Insgesamt wurden nach Angaben der AG Energiebilanzen 2009 zur Stromerzeugung 5205 PJ an Primärenergie eingesetzt, davon waren 1472 PJ (28 %) Nuklearbrennstoffe. Das entspricht etwa dem Anteil der Braunkohle (1369 PJ, 26 %), gefolgt von der Steinkohle (923 PJ, 18 %) und Gasen (614 PJ, 12 %). Die Erneuerbaren Energien liegen ebenfalls in dieser Größenordnung (662 PJ, 13 %).

Zum Ersatz der Kernenergie schlägt die EK den Bau moderner fossiler Kraftwerke als Übergangsphase auf dem Weg zur vollständigen Nutzung nachhaltiger Energieträger vor, mit der deutlichen Maßgabe: „Der Ausstieg aus der Kernenergie darf nicht zu Lasten des Klimaschutzes gehen.“ (EK, S. 81) Wege dazu bestehen in der Ablösung der Kohleverstromung durch die verstärkte Nutzung von Gaskraftwerken sowie den Ausbau der Erneuerbaren Energien. Auch die Nutzung der CCS- und CCU-Technologien (Carbon Capture and Storage bzw. Carbon Capture Utilization) gehört zu diesem Instrumentarium (vgl. dazu den Beitrag von Kühn et al. in diesem Heft). Die oben genannten Zahlen werden sich also deutlich verschieben müssen. Das wiederum setzt nicht nur verändertes Konsumentenverhalten, sondern auch eine neue Investitionsplanung der Energieunternehmen voraus. Alte Kohlekraftwerke mit niedrigem Wirkungsgrad müssen dazu vom Netz genommen werden, aber



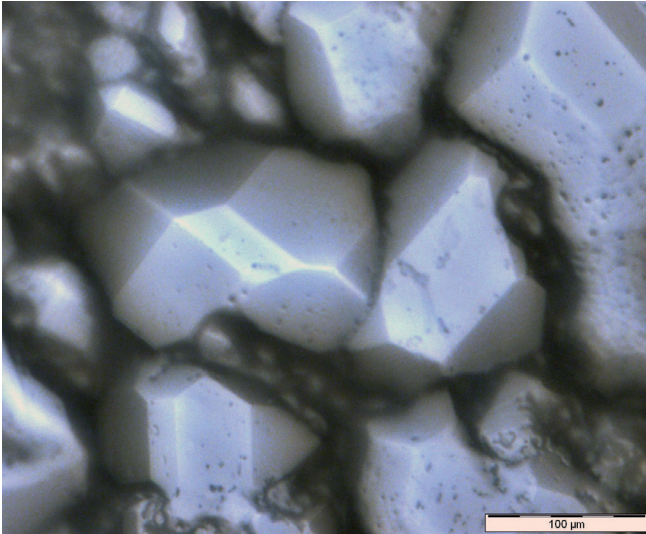


Abb. 4: Methan als Gashydrat (oben: synthetisiert im Laborversuch am GFZ; vgl. dazu den Beitrag von Schicks et al. in diesem Heft) und als Shale Gas sind noch weitgehend ungenutzte Energieressourcen. Ihre geologische Erforschung und die Entwicklung umweltgerechter Fördermethoden müssen weiter vorangetrieben werden.

Fig. 4: Methane as a gas hydrate (above: synthesized in a lab experiment at the GFZ; see the article by Schicks et al. in this issue) and as shale gas are still largely untapped energy resources. Its geological exploration and the development of environmentally sound production methods must be continued.

im Sinne der Effizienzsteigerung sollten die „derzeit im Bau befindlichen oder planungsrechtlich zugelassenen Gas- und Kohlekraftwerke [...] ans Netz gebracht werden.“ (EK, S. 84)

Energieeffizienz: Schließen der Lücke

„Die effiziente Stromnutzung steht erst in ihren Anfängen“ (EK, S. 65); was hier vom Endenergieträger Strom formuliert wird, gilt für weite Bereiche unseres Energiesystems. Wir hatten gesehen, dass etwa ein Viertel der eingesetzten Primärenergie durch Umwandlungsverluste verloren geht. Zudem kommt bei der Umwandlung der Endenergie in Nutzenergie für Energiedienstleistungen nur noch etwa die Hälfte der Endenergie beim Endnutzer an. Von der eingesetzten Primärenergie wird letztlich nur ein Drittel tatsächlich genutzt. In Zahlen heißt das: von den 13 398 PJ Primärenergie gehen rund 8900 PJ verloren. Energieeffizienz bedeutet, diese riesigen Verluste deutlich zu reduzieren (vgl. dazu auch Fratzscher/Stephan, 2000).

Die Ansatzpunkte ergeben sich aus dem Energieflussbild: einerseits muss die Nutzung der Primärenergie effizienter werden, zum anderen ist im Energieverbrauch der Endnutzer noch ein gewaltiges Sparpotential enthalten. „In der Vergangenheit hat die Energiepolitik den Schwerpunkt im Wesentlichen auf das Angebot gelegt. Jetzt kommt es darauf an, die Nachfrageseite mit gleicher Priorität anzugehen. [...] Effizienzpotentiale (sind) die Ressource der Zukunft.“ (EK, S. 65f)

Es zeigt sich, dass auch die Energieeffizienz der Kernkraft nicht optimal ist: der nukleare Energieeinsatz beträgt 28% der zur Stromerzeugung eingesetzten Energie. Zur Brutto-Stromerzeugung in Deutschland tragen die AKW aber nur mit 23% bei. Gase und Erneuerbare Energien schneiden hier prozentual besser ab (Abb. 3). Beim Lückenschluss durch das Abschalten

der AKW kommt dem „Erdgas [...] die tragende Funktion zu. [...] Erdgas ist der CO₂-ärmste fossile Energieträger [...]“ (EK, S. 82) und, wie sich hier zeigt, auch ein effizienter. Das Erdgas hat für die Übergangsphase also eine wichtige Funktion. Deutschland produzierte 2009 lediglich 13% seines Erdgasbedarfs selbst. Die Auffindung und Nutzung von unkonventionellen Erdgasquellen (Shale gas) kann in Europa zu einer Steigerung der zur Verfügung stehenden Methanmengen beitragen. Dafür sind aber die geologische Erforschung und die Entwicklung umweltgerechter Fördermethoden voranzutreiben (vgl. dazu den Beitrag von Horsfield et al. in diesem Heft).

Zwar sind die Erneuerbaren Energien bei der Stromerzeugung bereits sehr effizient, aber im Gesamtbild des Energieflusses spielen sie mit 8,7% Anteil am Primärenergieverbrauch und knapp 6% Teilhabe am Endenergieverbrauch immer noch eine Randrolle. Sie werden aber bereits jetzt „weltweit [...] als Erfolgsgeschichte angesehen. Das Wachstum ihrer Strombereitstellung in den letzten 20 Jahren ist beachtlich.“ (EK, S. 75). Gerade ihre hohe Flexibilität und Zielgenauigkeit werden als wesentliche Elemente der Innovation im Energiesektor betrachtet. Die EK verweist aber auch auf die Probleme, die bei den Erneuerbaren Energien noch zu bewältigen sind; dazu gehören insbesondere die Verbesserung bzw. Neuentwicklung von Energiespeichertechnologien, die ausgewogene Balance zwischen zentraler und dezentraler Energieversorgung und die damit zusammenhängende Notwendigkeit des Neubaus einiger Tausend Kilometer von modernen Hochspannungsleitungen (EK, S. 65-90).

Speziell für die Geothermie gilt, dass ihr Potential noch völlig brachliegt: als Stromerzeuger taucht sie mit 0,1008 PJ (= 0,028 TWh) in der Energiebilanz gar nicht auf. Ihr Beitrag zur Wärmeversorgung liegt bei zu vernachlässigenden 18 PJ (~ 0,1 % des Primärenergieverbrauchs), im Wesentlichen ist dieses oberflächennahe Geothermie. Allerdings gibt es hier



Abb. 5: Die GFZ-Bohranlage InnovaRig beim Abteufen einer Geothermiebohrung in Dürrenhaar/Bayern

Fig.5: The GFZ drill rig system InnovaRig sinking a geothermal well in Dürrenhaar, Bavaria

eine positive Entwicklung: hatten im Jahr 2000 lediglich 0,8 % der neu gebauten Wohnungen eine Wärmepumpe, so stieg dieser Wert auf fast 24 % im Jahr 2009 (AG Energiebilanzen; UBA 2011). Insgesamt aber gilt für die Erdwärme, dass ihr riesiges Potential für die Wärme- und Elektrizitätsversorgung noch weitgehend ungenutzt ist; hier besteht Nachholbedarf (vgl. dazu den Beitrag von Huenges in diesem Heft).

In eine innovative Zukunft

Der Blick in die Energiebilanzen der Bundesrepublik unterfüttert die anstehende Energiewende mit klaren Zahlen. Dass das derzeitige Energiesystem eines grundlegenden Umbaus bedarf, ist längst bekannt. Die CO₂-Emissionen sind dabei nur der eine Aspekt, der viel schwerer wiegende Gesichtspunkt ergibt sich durch den Blick auf die Ressourcen der Zukunft. Kohle wird noch lange Zeit vorhanden sein, Peak Oil, also der Zeitpunkt des globalen Ölfördermaximums, kann heute bereits erreicht sein – klar ist jedenfalls, dass die aufstrebenden

Schwellenländer ihre Ansprüche auf die Rohstoffe und deren Nutzung bereits anmelden und das in Zukunft auch verstärkt weiter tun werden.

Die Lösung des Energieproblems kann daher langfristig nur global stattfinden und wird letztlich auf Nachhaltigkeit orientieren müssen. „Der Blick in die Vergangenheit läßt erkennen, daß der Übergang zu einem neuen Energiesystem von strategischer Bedeutung für die gesellschaftliche Entwicklung war.“ (Sieferle, S. 15). Dieser bereits 1982 geäußerte Gedanke hat Aktualität: wir stehen möglicherweise an der Schwelle zu einer grundlegenden Umgestaltung unseres (globalen) Energiesystems. „Dies ist eine große Chance, umfasst aber auch Herausforderungen. Die internationale Gemeinschaft verfolgt mit großem Interesse, ob es Deutschland gelingt, den Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie zu schaffen.“ (EK, S. 11) Deutschland befindet sich im Bereich nachhaltiger Technologien und Verfahren anerkannt im globalen Spitzenfeld. Die Ethik-Kommission sieht daher „Deutschland in der ganzen Breite der Gesellschaft längst auf dem Weg in eine Zukunft, die die Nutzung der Kernkraft verzichtbar macht. [...] Ein zunehmend größerer Teil der Unternehmen richtet seine Geschäftsfelder auf das nachhaltige Wirtschaften aus. Der Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie gibt ihr viele weitere Chancen.“ (ebd., S. 12) Diese Perspektive geht weit über die Grenzen Deutschlands hinaus.

Literatur

- AG Energiebilanzen: „Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland“; <http://www.ag-energiebilanzen.de/> Daten; Berichte
- BMVBS Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg., 2011): „Verkehr in Zahlen 2010/2011“, Hamburg
- Ethik-Kommission Sichere Energieversorgung (EK, 2011): „Deutschlands Energiewende – Ein Gemeinschaftswerk für die Zukunft“; Bericht an die Bundeskanzlerin, Berlin, 30. Mai 2011, <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2011/05/2011-05-30-bericht-ethikkommission.html>
- Fratzscher, W., Stephan, K. (Hrsg., 2000): „Strategien zur Abfallenergieverwertung. Ein Beitrag zur Entropiewirtschaft“, Forschungsbericht der Interdisziplinären Arbeitsgruppe der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, Braunschweig/Wiesbaden
- Ossing, F., Polster, W., Thomasberger, C., Voy, K. (1991): „Innere Widersprüche und äußere Grenzen der materiellen Lebensweise - Aspekte der ökologischen Entwicklung“, in: Voy, K., Polster, W., Thomasberger, C. (Hrsg.): „Gesellschaftliche Transformationsprozesse und materielle Lebensweise. Beiträge zur Wirtschafts- und Gesellschaftsgeschichte der Bundesrepublik Deutschland (1949-1989)“, Bd. 2, Marburg
- Sieferle, R. P. (1982): „Der unterirdische Wald. Energiekrise und Industrielle Revolution“, München
- UBA Umweltbundesamt (2011): „Daten zur Umwelt“: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodent=2700> Energie
- Statistisches Bundesamt (Hrsg., 2011): „Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Transportleistung und Energieverbrauch im Straßenverkehr 2000 – 2008; Ausgewählte Ergebnisse zum Methodenbericht“, bearb. H. Mayer, P. Fehrentz