

Energienachfrage und Angebotsdifferenzierung

Wolfgang Brücher und Malte Helfer



Kohlekraftwerk Lippendorf bei Leipzig

1973 überraschend konstant. Nicht so ihre Förderung, denn der schnell wachsende Anteil von Importkohle wird gern übersehen: Er erreichte 2001 (inkl. Koks) bereits 60,5%. Die heimische Förderung war im selben Jahr gegenüber dem Höhepunkt 1957 auf 18,6% gesunken, die Zahl der Beschäftigten auf ganze 8,7%.

Die Entwicklung der Braunkohle kann nur vor dem Hintergrund der deutschen Teilung und Einigung verstanden werden. Galt einst die DDR als größter Produzent der Welt, so sank der Konsum in Ostdeutschland seit der Wende unter die Hälfte ihres Wertes von 1989. Wegen des geringen Energiegehalts beschränkte sich die Verwendung der Braunkohle schon immer weitgehend auf die Verstromung (>90%). Die Steinkohle zeigt inzwischen mit prognostizierten 83% für 2020 eine ähnliche Tendenz, was entscheidend zu ihrem Überleben beigetragen hat.

Ab Mitte der 1960er Jahre wurde das Erdöl zum dominierenden Energieträger, was Deutschland definitiv in die Importabhängigkeit führte. Die einheimischen Quellen im Dreieck Kiel – Hannover – Rheine konnten nie bedeutende Mengen liefern; ihr Anteil liegt heute unter 2% vom Gesamtverbrauch von 5773 PJ. Zwar trägt das dort ebenso vorkommende Erdgas immerhin noch ein Fünftel zum deutschen Gesamtverbrauch von 3018,4 PJ bei, es konnte sich jedoch gegen die Konkurrenz des Öls erst später durchsetzen. Inzwischen ist es zum zweitwichtigsten Energieträger aufgerückt, nicht zuletzt wegen seiner geringen Umweltbelastung.

Ebenfalls verspätet und, wegen langer Bauzeiten und politischer Widerstände

zunächst schleppend, begann die Nutzung der Atomenergie. Sie trägt 12,2% zum Primärenergieverbrauch bei, wird in absehbarer Zeit aber – vorausgesetzt, die Politik des Atomausstiegs hält an – wieder gegen Null tendieren. Der relative Beitrag der erneuerbaren Energien ist bisher kaum verändert gering geblieben.

Energieerzeugung

Bei der Stromerzeugung spielen der zeitliche Einsatz bzw. die Verfügbarkeit der Kraftwerke (KW) eine entscheidende Rolle: Grundlast-KW (vor allem Braunkohlen-, Atom- und Laufwasser-KW) laufen im Dauerbetrieb, Mittellast-KW (Steinkohlen- und teilweise Öl- und Gas-KW) vor allem während der Woche zur Arbeitszeit, Spitzenlast-KW (Öl- und Gas-KW sowie Speicher-KW) nur zu den wenigen Tagesstunden mit Höchstbedarf.

Während die Laufwasser-KW sich an wasser- und/oder gefällereichen Flüssen orientieren, werden Speicher-KW in Höhenlagen mit Steilabfall angelegt, teilweise unterhalb künstlicher Becken. Außerhalb seines schmalen Alpensaumes verfügt Deutschland nur über ein sanftes Relief. Die Leistung der Fließgewässer ist deshalb so gering, dass die Produktion aller Kraftwerke pro Flusslauf auf der Karte 2 nur kumuliert dargestellt werden kann; bei den meisten werden nicht einmal dann 5 PJ erreicht. Trotz des insgesamt mageren Volumens an Wasserkraft kommt es so zum deutlichen Übergewicht der Alpenflüsse 5, vor allem des wasserreichen Oberrheins (ohne französischen Nutzungsanteil von 82,6%). Außerdem gibt es im Land nur wenige große Pumpspeicher-KW. Wegen der kurzen Einsatzzeiten ist ihre Jahresproduktion so niedrig, dass die meisten nicht erfasst wurden. Selbst das mit 1135 MW größte, Markersbach in Sachsen, lieferte 1998 nur 2,2 PJ bzw. erreichte eine Nettoerzeugung von knapp 10% des vergleichbaren Steinkohlen-KW Voerde bei Duisburg. Die Masse des hydroenergetischen Spitzenstroms kommt vielmehr aus den Speicherseen der Alpen jenseits der Grenze, neuerdings auch per Seekabel aus Skandinavien.

Ressourcengebunden sind außerdem die Braunkohlen-KW, für die sich wegen ihres geringen Energiegehaltes (28% der Steinkohle) der Transport nur über kürzeste Distanz rentiert; sie stehen deshalb in unmittelbarer Nachbarschaft der Tagebaue, von wo sie z.T. direkt über Fließbänder beliefert werden. Das Gleiche gilt für die Kraftwerke dicht neben den Zechen an Ruhr und Saar, die minderwertige Ballast(stein)kohle verfeuern, während sich für hochwertige Kesselkohle der Schiffstransport

Bereitstellung und Umwandlung von Energie – physikalisch unkorrekt, aber geläufiger ausgedrückt: **Energieerzeugung**; d.h. es werden die tatsächlichen Energielieferungen in Petajoule (PJ) während eines bestimmten Jahres wiedergegeben.

Kennzahl für Gasleitungen – Die Kennzahl gibt die Kapazität einer Gasleitung an und berechnet sich aus der Querschnittsfläche der Rohrleitung in m² multipliziert mit dem höchstzulässigen Betriebsdruck in Bar.

Zu den Maßeinheiten für Energie und Leistungen ▶ **Abkürzungen auf S. 6**

Zur Methodik der Kartendarstellung

Die Karte 2 zeigt die ▶ **Bereitstellung** aller eingesetzten Energieträger und -formen 1998 und deren ▶ **Umwandlung** in ihrer Gesamtheit. Die einzelnen Energieträger sind direkt vergleichbar, da die Flächen der Signaturen die gelieferte Energiemenge in Petajoule angeben (dargestellt ab einem Minimum von 5 PJ = 1,39 Mio. MWh), sei es die geförderte Primärenergie z.B. in Form von Braunkohle, sei es den Durchsatz der Raffinerien, sei es die Erzeugung von Strom oder von Fernwärme. Nach demselben Prinzip werden außerhalb der deutschen Grenzen die jeweiligen Im- und Exporte dargestellt, orientiert an den Bestimmungs- und Herkunftsländern, z.B. am Ostrand der Stromexport nach und der Kohlenimport von Polen.

Karte 5 verwendet für die Diagramme der erzeugten Energie die hundertfache Fläche zur Darstellung wie in Karte 2, um die geringen Quantitäten regenerierbarer Energien visualisieren zu können.

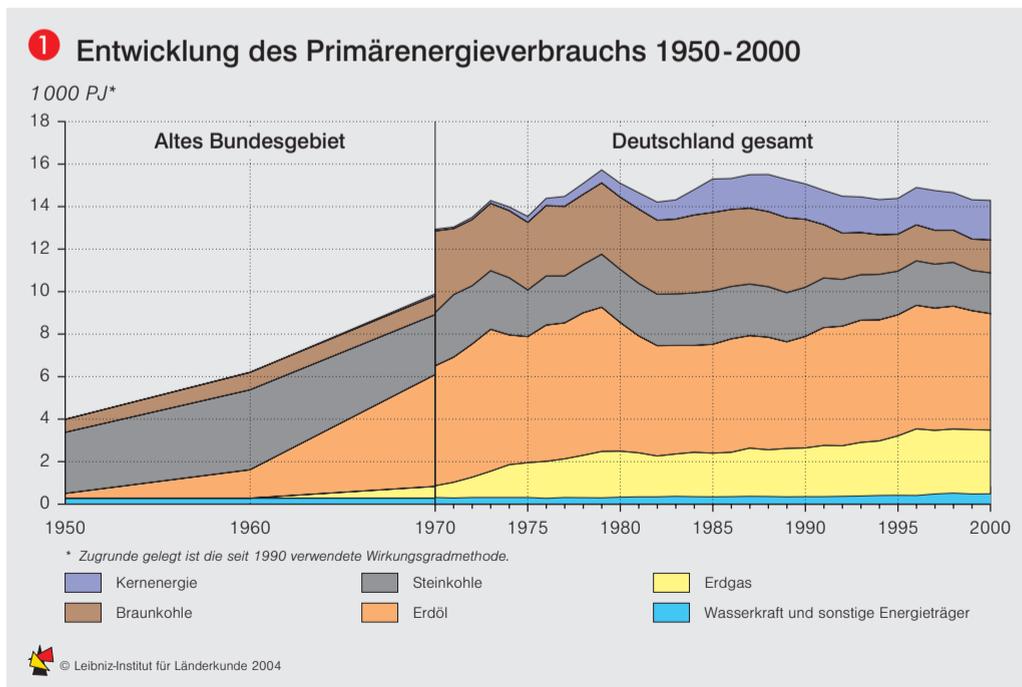
auf den Wasserstraßen oder aus Übersee lohnt.

Eine Position zwischen Elektrizitäts- und Wärmewirtschaft nimmt die Fernwärme ein, die mit 3,3% zur gesamten Endenergie beiträgt und vorwiegend der Raumheizung dient. Sie wird in Heizwerken oder Heizkraftwerken mittels Kraft-Wärme-Kopplung gewonnen. Dadurch wird der Wirkungsgrad erhöht und die Umweltbelastung gesenkt. Aufgrund der extrem hohen Kosten speziell für die Isolierung lohnt sich der Bau der Verteilernetze nur in dichtest besiedelten Räumen. Dies gilt nicht nur für große Agglomerationen; dezentral organisierte Fernwärmeeinspeisung aus kleinen, meist gasgetriebenen Blockheizkraftwerken ist auch in Mittelstädten rentabel. Auffällig ist die nach wie vor starke Verbreitung in Ostdeutschland, wo im sozialistischen System diese Form der kollektiven Raumheizung konsequent gefördert wurde und heute noch 28% der Wohnungen versorgt. Dagegen spielt sie im Westen mit 8% versorgten Wohnungen eine sekundäre Rolle. Bedingt ist dies einerseits durch die

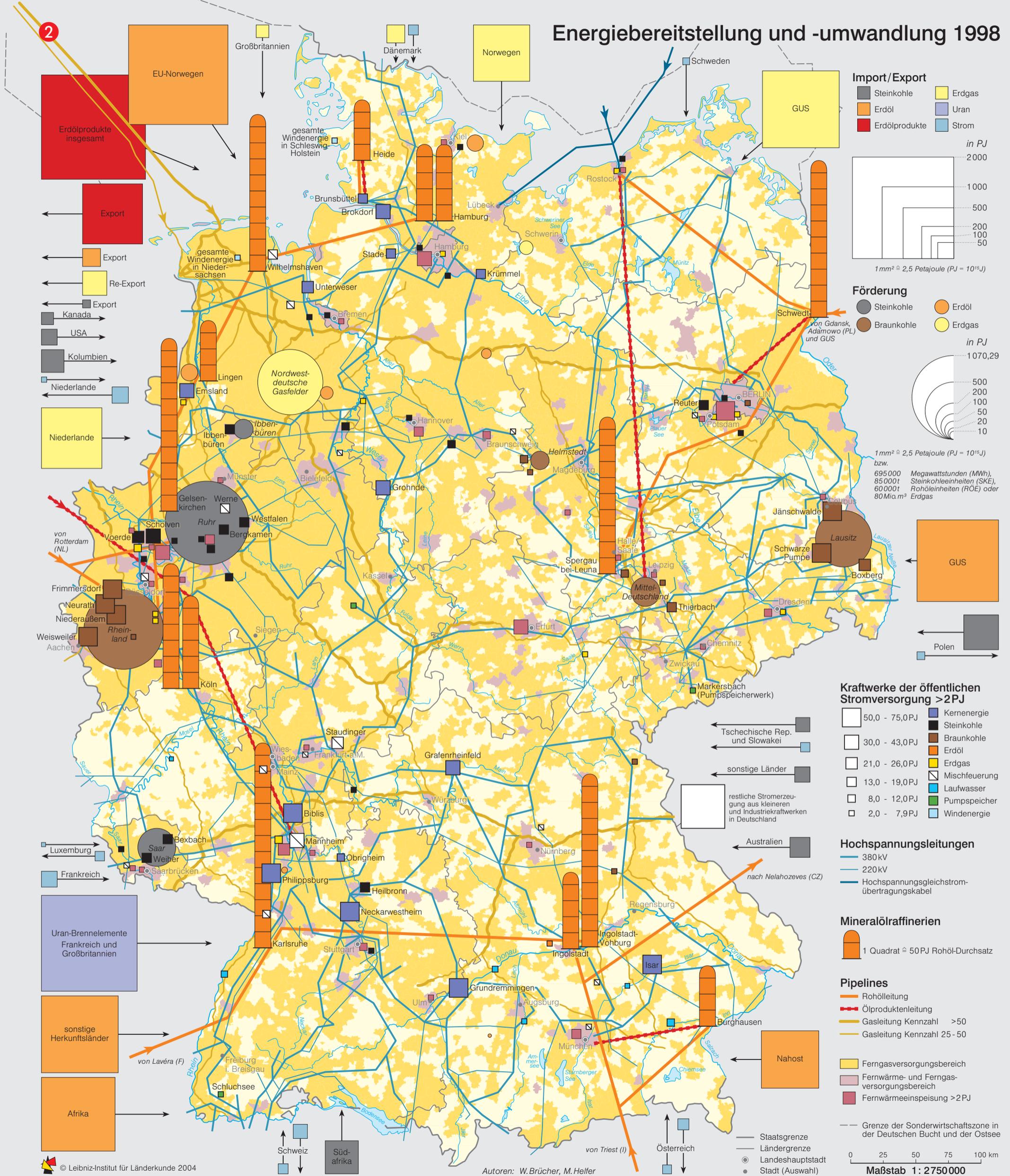
Nach dem Zweiten Weltkrieg hat die Entwicklung der Energiewirtschaft in Deutschland zu einem alle Energieträger umfassenden Energiemix geführt, wie er für ein Industrieland mit eigenen Ressourcen typisch ist. Sie wurde beeinflusst durch die Steinkohlenkrise ab 1957, die Öl- bzw. Energiekrisen ab 1973, aber auch durch die unterschiedlichen Situationen in beiden deutschen Staaten sowie deren Vereinigung.

Entwicklung des Primärenergieverbrauchs

Die Nachkriegszeit war zunächst von der autarken Versorgung mit Kohle und etwas Erdöl geprägt 1. Heute wird die damalige Bedeutung der erneuerbaren Energien unterschätzt, die 1950 immerhin 5,9% des gesamten Verbrauchs abdeckten. Trotz der rapiden Zunahme konkurrierender Energieträger blieb die Nutzung der Steinkohle seit



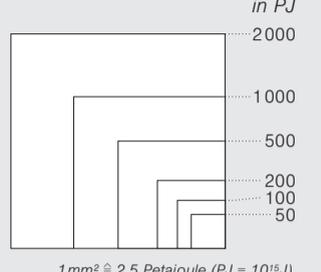
Energiebereitstellung und -umwandlung 1998



2

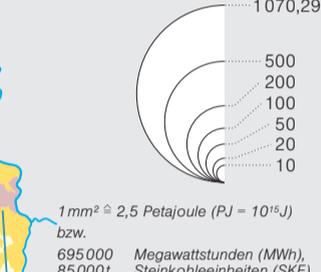
Import/Export

- Steinkohle
- Erdgas
- Erdöl
- Uran
- Erdölprodukte
- Strom



Förderung

- Steinkohle
- Erdöl
- Braunkohle
- Erdgas



1 mm² ≈ 2,5 Petajoule (PJ = 10¹⁵ J) bzw.
 695000 Megawattstunden (MWh),
 85000t Steinkohleeinheiten (SKE),
 60000t Rohöleinheiten (ROE) oder
 80Mio.m³ Erdgas

Kraftwerke der öffentlichen Stromversorgung >2PJ

- 50,0 - 75,0 PJ
- 30,0 - 43,0 PJ
- 21,0 - 26,0 PJ
- 13,0 - 19,0 PJ
- 8,0 - 12,0 PJ
- 2,0 - 7,9 PJ

restliche Stromerzeugung aus kleineren und Industriekraftwerken in Deutschland

Hochspannungsleitungen

- 380 kV
- 220 kV
- Hochspannungsgleichstromübertragungskabel

Mineralölraffinerien

1 Quadrat ≈ 50 PJ Rohöl-Durchsatz

Pipelines

- Rohölleitung
- Ölproduktenleitung
- Gasleitung Kennzahl >50
- Gasleitung Kennzahl 25-50

- Ferngasversorgungsbereich
- Fernwärme- und Ferngasversorgungsbereich
- Fernwärmeeinspeisung >2PJ

0 25 50 75 100 km

Maßstab 1 : 2750000



Photovoltaikanlage auf dem Dach eines Saarbrücker Bergmannshäuschens aus dem 19. Jh.

Strategie der großen Energieversorger, zum anderen eignen sich Atomkraftwerke (AKW) weniger für die Gewinnung von Fernwärme.

Seit 1968, dem ersten kommerziellen Einsatz der Atomenergie, hat sich die deutsche Stromerzeugung von 750 auf 1699 PJ/a mehr als verdoppelt, der aus den traditionellen Energieträgern gewonnene Anteil jedoch nur um ein Drittel erhöht, und das bei rückläufigem Einsatz von Erdgas und Erdöl. Die Bedarfslücke füllen 14 AKW mit 551 PJ/a bzw. 30% der Stromproduktion. Räumliche Lücken füllen sie in den energiereichen Zonen des Südens bzw. des Nordens, erleichtert durch die Tatsache, dass Transportkosten für die Brennstäbe nicht mehr ins Gewicht fallen. Wegen der benötigten Kühlwassermengen suchen die AKW die Lage an Flüssen. Nicht überall ist der erforderliche Sicherheitsabstand zu Ballungsräumen eingehalten. Bezeichnenderweise fehlen in Westdeutschland AKW in den Ländern der Braun- und/oder Steinkohlenreviere, NRW und Saarland, wo sie als Konkurrenz offensichtlich unerwünscht sind. In Ostdeutschland wurde das einzige AKW bei Greifswald nach der Einigung wegen Sicherheitsmängeln abgerissen.

Die Schließung zahlreicher Erdölraffinerien – ihre Zahl reduzierte sich von 36 (1978) auf 14 (1998) – ist nicht allein das Ergebnis der um -39% rückläufigen Rohöldestillation (1998: 110 Mio. t), sondern auch eines Rationalisierungsprozesses, denn der Durchsatz pro Raffinerie wurde um 57% gesteigert. Zusätzlich werden über Produktpipelines Treibstoffe und Heizöl anstelle von Rohöl ins Binnenland geliefert, immerhin 29% der Gesamttonnage.

Erdgas wird entweder in konsumfähigem Zustand gefördert oder im Ursprungsgebiet aufbereitet und dann direkt zu den Abnehmern gepumpt. Es benötigt dort also, im Unterschied zu den anderen Energieträgern, keine Umwandlungs-, sondern lediglich Verteilungsanlagen. Hinzu kommen riesige unterirdische Kavernen- und Porenspeicher, die sowohl der Reservehaltung als auch der dem saisonalen Bedarf anzupassenden Versorgung dienen: Auf 76 Mrd. m³/a Gaskonsum kommen 4,8 Mrd. m³ Speicherkapazität (▶ Beitrag Pasternak, S. 36).

Netze und Versorgung

Die Raffinerien werden über Pipelines mit importiertem Rohöl versorgt, die Produkte von dort wahlweise per Binnenschiff, Bahn und Tanklastler oder aber über Produktpipelines transportiert (z.B. von Burghausen nach München). Erdöl und seine Produkte sind also nicht leitungsgebunden. Da beide immer in Richtung Verbraucher fließen, haben die Raffinerien keine Austausch- oder Kompensationsbeziehungen untereinander, bilden also kein Netz. So entfällt auch die Notwendigkeit einer Verbindung zwischen den nach wie vor in West- und Ostdeutschland getrennten Bereichen der Mineralölwirtschaft.

Im Ferngasnetz bilden die Hauptleitungen sowohl die Importadern als auch das Grundgerüst für die Verteilung im Land. Hier fällt der fast geschlossene Bereich von Rhein-Ruhr bis Hamburg auf, in dem sich auch die internen Lagerstätten befinden. Nicht rentabel ist der Ausbau des Netzes in weiten dünn besiedelten Gegenden, wie z.B. in Mecklenburg-Vorpommern; dort steht nur Flüssiggas zur Verfügung. In einigen Bereichen kommt es zur direkten Konkurrenz zwischen Erdgas und Fernwärme **2**.

Das Netz der Elektrizität ist ein kompliziertes Gebilde, das ganz überwiegend im Binnenland von Hunderten von Kraftwerken und unzähligen Windkraft- und Photovoltaik-Anlagen gespeist wird. Da Elektrizität nur mit großen Verlusten gespeichert werden kann, müssen die Betreiber des Verbundnetzes in Absprache ständig dafür sorgen, dass die Bedarfsmenge an Strom von den entsprechenden Grund-, Mittel- und Spitzenlastkraftwerken pünktlich geliefert werden kann. Dabei ist die gleichzeitige Versorgung der unterschiedlichsten Abnehmer, ob im abgelegenen ländlichen Raum oder in der Großstadt, auf den verschiedenen Spannungsebenen zu garantieren, von der Villa bis zur Aluminiumhütte. Im Gegensatz zum dem lückenhaften Gasnetz ist das Geflecht der Leitungen für Mittel- und Niederspannung flächendeckend selbst in dünnst besiedelten Gebieten ausgebaut, denn jeder Individualabnehmer hat rechtlichen Anspruch auf Anschluss ans Strom-, nicht aber ans Gasnetz.

In den letzten Jahrzehnten lag beim Ausbau der Elektrizitätswirtschaft das Schwergewicht auf einer gleichzeitigen Verdichtung und Verstärkung des Verbundnetzes einerseits sowie andererseits auf einer Leistungssteigerung der Kraftwerke bei Verringerung der Zahl der Standorte. In diese Strategie passten vor allem die neuen AKW mit Leistungen bis max. 2572 MW (Gundremmingen), aber auch der Trend der Steinkohlen-KW mit >100 MW. In den letzten drei Jahrzehnten hat ihre Zahl zwar deutlich abgenommen, ihre Erzeugung hat dagegen aufgrund der Vergrößerung bestehender Anlagen, aber auch der Verbesserung ihres Wirkungsgrads zugenommen. An dieser Verstärkung sowohl des Verbundnetzes als auch der Erzeu-

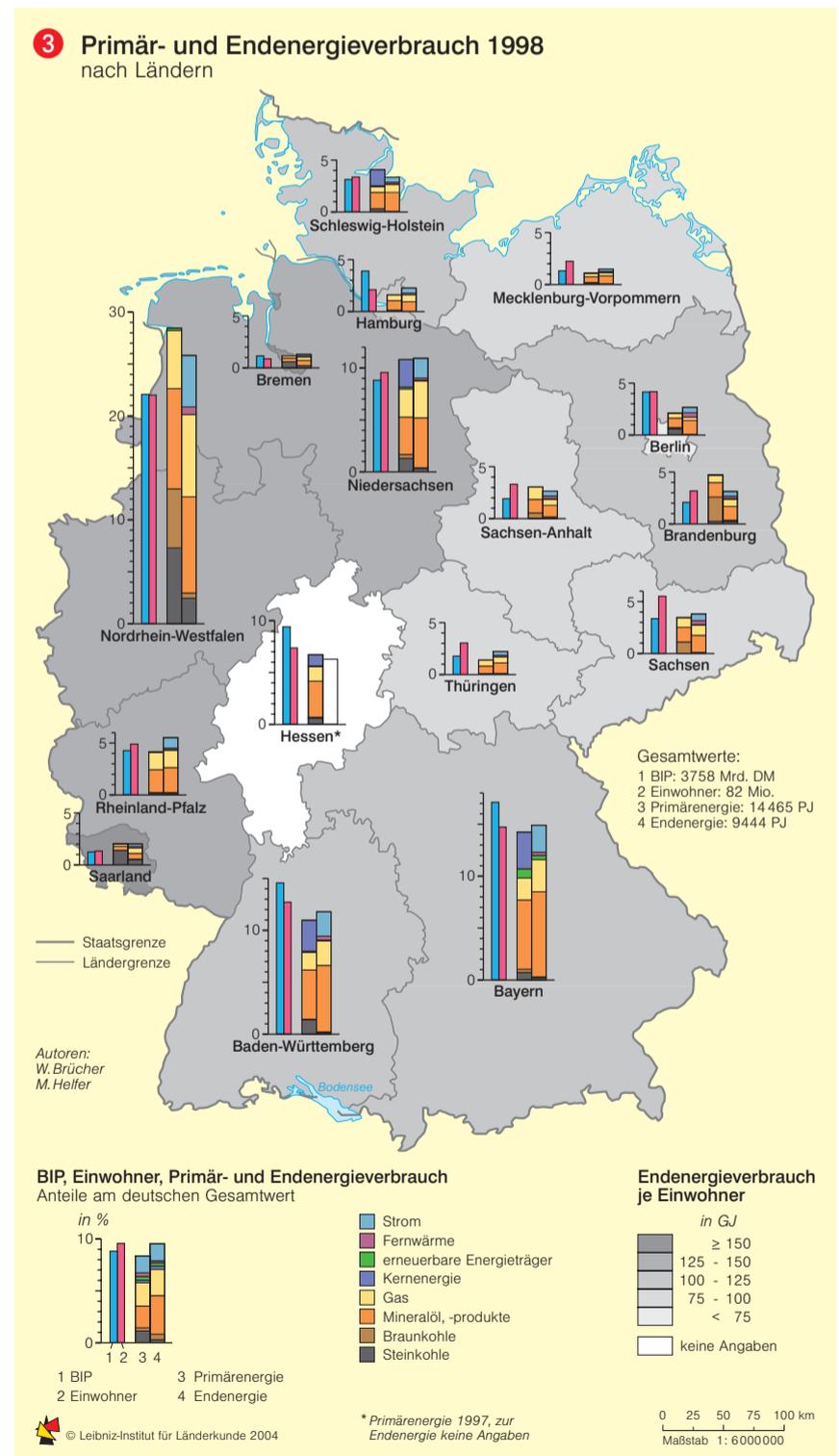
gerstandorte lässt sich eine grundsätzlich zentralistische Strategie der Energieversorger ablesen, zu der nicht zuletzt der anhaltende Prozess von Unternehmensfusionen passt.

Wenn zahlreiche Leitungen die Grenze queren, so darf daraus nicht auf einen intensiven Stromaußenhandel geschlossen werden. Dagegen sprechen bereits die auffällig geringen Im- und Exportmengen. Zumeist handelt es sich um Hilfslieferungen im Tausch, z.B. bei Ausfall eines AKW oder von Wasserkraftwerken bei Trockenheit. Erst mit der Deregulierung, d.h. der Einführung

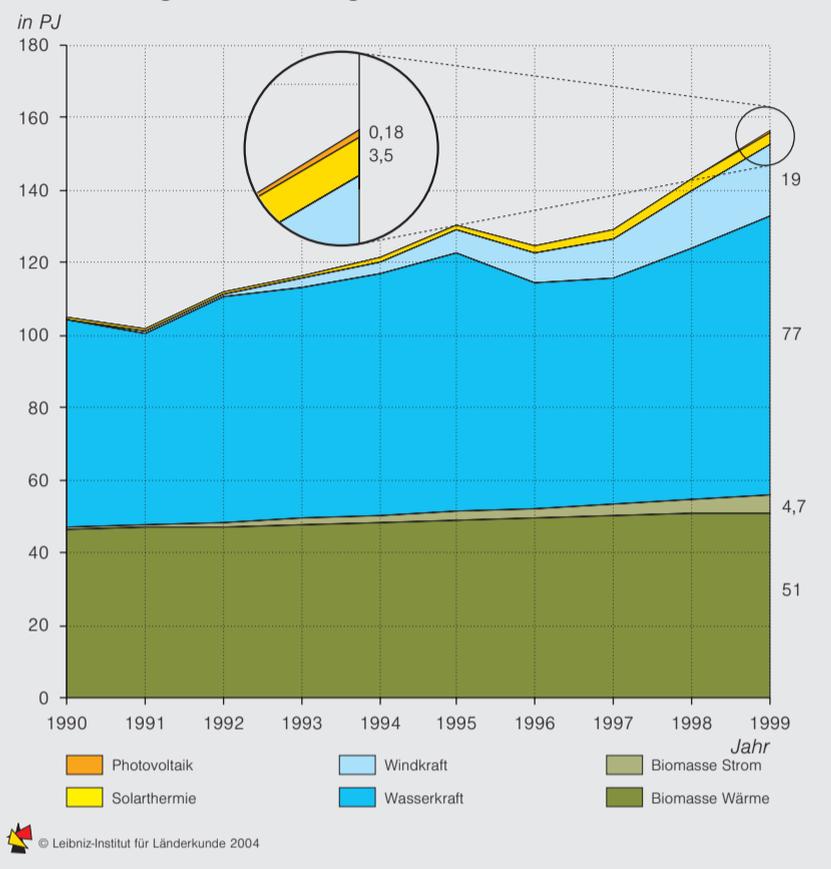
des freien EU-Strommarktes, wird sich dieses Bild ändern, z.B. mit der vermutlichen Zunahme von importiertem billigem Atomstrom aus Frankreich oder einem Handel von Grundlaststrom aus norddeutschen AKW nachts gegen Spitzenlaststrom aus norwegischen Speicherseen tagsüber.

Die deutsche Energielandschaft

Deutschland weist die für ein hochindustrialisiertes, bevölkerungsreiches Land charakteristische dichte Energieerzeugung und -versorgung auf **2**. Dennoch gibt es Ungleichgewichte, die sich



4 Entwicklung des Beitrags erneuerbarer Energiequellen zur Endenergiebereitstellung 1990-1999



nicht allein durch Unterschiede zwischen urbanen und ländlichen Bereichen erklären lassen. Auf fällt die periphere Lage aller wichtigen Energieresourcen: von den norddeutschen Erdöl- und Erdgasvorkommen über die Stein- und Braunkohlenreviere bis zur Wasserkraft im Süden und der Windenergie an den Küsten. An dieser naturbestimmten Anordnung orientieren sich Bergbau, Stromerzeugung, Industrie und Einwohner. Überdies zieht die Nähe zu den Importquellen die meisten Raffinerien an die Grenzen. Auffällig ist ein breiter Saum beiderseits der ehemaligen innerdeutschen Grenze, der lediglich von drei Leitungen gekreuzt wird und in dem auch Kraftwerke selten sind. Konnte nach der Wende das Gasnetz, im Übrigen seit Jahrzehnten u.a. aus der UdSSR bzw. GUS gespeist, hier ohne Rücksicht auf die ehemalige Grenze ausgebaut werden, so bereitete der Anschluss des östlichen Stromversorgungsgebiets erhebliche Schwierigkeiten wegen der unterschiedlichen Frequenzen. Noch deutlicher und nachhaltiger bleibt die Erdölwirtschaft in Ost und West getrennt.

Bei der Verteilung von Primärenergie- und Endenergieverbrauch, dem Bruttoinlandsprodukt (BIP) sowie der Einwohnerzahl **3** sticht besonders das bevölkerungsreichste Bundesland Nord-

rhein-Westfalen hervor, bedingt durch die wichtigsten Kohlevorkommen, aber auch durch energieintensive Industriezweige (Stahl, Aluminium etc.). Relativ zu BIP und Bevölkerung jedoch liegt der Energieeinsatz in anderen Ländern höher, wegen der immer noch wichtigen Kohle, am deutlichsten im Saarland und in Brandenburg. Umgekehrt sprechen aus den Relationen in Hessen, Baden-Württemberg und Bayern indirekt das Gewicht der energieintensiven High-Tech-Industrien und die höhere Wertschöpfung pro eingesetzte Energieeinheit.

Regenerative Energien

Der Anteil der umweltfreundlicheren erneuerbaren (regenerativen) Energien ist überraschend gering **4**. In der Karte **5** zeigt sich der relief- und klimabedingte Kontrast zwischen der Dominanz der Hydroelektrizität im Süden und der Windenergie im Norden (**Beitrag Klein, S. 152**). Dagegen wurden im traditionell von der Braunkohle geprägten Ostdeutschland die erneuerbaren Ressourcen bisher unübersehbar vernachlässigt.

Die Nutzung von Wind hat seit 1998 deutlich zugenommen, bis 2001 um 156% auf 41,4 PJ. Das beste Standortpotenzial scheint jedoch bereits ausgeschöpft zu sein, die Zukunft liegt in

Windparks offshore, d.h. vor der Küste, aber auch deren Standorte sind begrenzt.

Geothermie ist mit rund 2 PJ kaum erwähnenswert (**Beitrag Rummel/Schellschmidt, Bd. 2, S. 42**), Gezeitenkraft wird nicht genutzt. Zwar konnte die Photovoltaik, Strom aus Sonnenlicht, ihren noch winzigen Anteil an der gesamten Stromerzeugung von 0,003% (1998) bis 2002 auf 0,02% erheblich steigern (**Beitrag Eberhard, Bd. 3, S. 76**), doch wird ihr Wachstum durch hohe Kosten weiterhin gebremst.

Weiterhin gilt, dass das Potenzial der Wasserkraft weitgehend erschöpft ist und die Nutzung von Sonne und Wind in Deutschland keine optimalen Voraussetzungen findet. Von zusätzlichem

Nachteil ist aber auch die erwähnte zentralistische Strategie der großen Energieversorger, völlig konträr zu den dezentralen Strukturen einer regenerativen Energiewirtschaft.

So ist die Photovoltaikanlage (**Foto**) auf dem Dach eines Saarbrücker Bergmannshäuschens aus dem 19. Jh. zugleich Symbol der energiewirtschaftlichen Tradition und der Hoffnung auf ihren Wandel in der Zukunft. ♦

5 Strom aus regenerativen Energien 1998 Einspeisung in das öffentliche Netz nach Ländern

