

---

## **Inhaltsübersicht**

- 1 Rolle und Bedeutung des Stroms bei der Deckung des zukünftigen Energiebedarfs**
- 2 Energiesysteme im Übergang – Aufgaben und Herausforderungen**

**Schrifttum**

## Strom – Ein Energieträger der Zukunft?

Werner von Siemens, der mit der Entdeckung des dynamoelektrischen Prinzips einen wesentlichen Grundstein für die elektrische Energieversorgung gelegt hat, hielt vor mehr als hundert Jahren einen Festvortrag vor der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte, dem er den Titel „Das naturwissenschaftliche Zeitalter“ [7-1] gab. Das damalige Unbehagen und die Skepsis gegenüber den technisch-naturwissenschaftlichen Errungenschaften, also die zeitgenössische Technikkritik, beschreibt er wie folgt: „Es werden die Fragen aufgeworfen und diskutiert, ob die Menschheit durch alle diese Errungenschaften der Naturwissenschaft und Technik auch wirklich besser, ob sie auch glücklicher werde, ob dieselben nicht vielmehr zur Zerstörung aller idealen Güter und zu roher Genußsucht führen; ob nicht die ungleiche Verteilung der Güter und Freuden des Lebens durch sie vergrößert würde...?“

Rückblickend können wir heute feststellen, daß das von Siemens verfochtene „naturwissenschaftliche Zeitalter“ in summa für die Menschen in unserer Gesellschaft deutliche Verbesserungen der Lebensbedingungen sowie der individuellen Entfaltungsmöglichkeiten gebracht hat. Die Elektrizität war eine der wesentlichen Grundlagen dieser wirtschaftlichen Entwicklungen in den letzten hundert Jahren. Humanisierung der Arbeitsbedingungen, Verbesserung der Lebensbedingungen und technische Innovation auf der einen und die Ver-

fügbarekeit von Strom und der Ausbau der Stromversorgung auf der anderen Seite haben sich dabei in vielen Fällen wechselseitig bedingt. Ein Leben ohne Elektrizität ist für den heutigen Menschen kaum noch vorstellbar. Dennoch ist die Stromversorgung, insbesondere die Stromerzeugung, auch heute noch Gegenstand gesellschaftlicher Auseinandersetzungen. Sie steht sogar im Zentrum der Technik- und Zivilisationskritik. Daß sie, oder genauer gesagt die Kernenergie, dabei ggf. nur eine Stellvertreterrolle innehat (siehe Kapitel 6), ist für die Betroffenen wenig tröstlich und erschwert die Beurteilung der Funktion, die dem Strom bei der Lösung der Energieprobleme in Zukunft zufallen könnte. In einer solchen Situation ist es hilfreich, nach den Gründen für die erfolgte stetige Ausweitung der Elektrizitätsversorgung in der Vergangenheit zu fragen, um ausgehend von den charakteristischen Eigenschaften der elektrischen Energie und ihrer Alternativen vor dem Hintergrund der bestehenden Herausforderungen Orientierungen für die Zukunft zu gewinnen.

- 1 Rolle und Bedeutung des Stroms bei der Deckung des zukünftigen Energiebedarfs

Die nun hundertjährige Geschichte der Stromversorgung ist gekennzeichnet durch einen nahezu stetigen Anstieg des Strom-

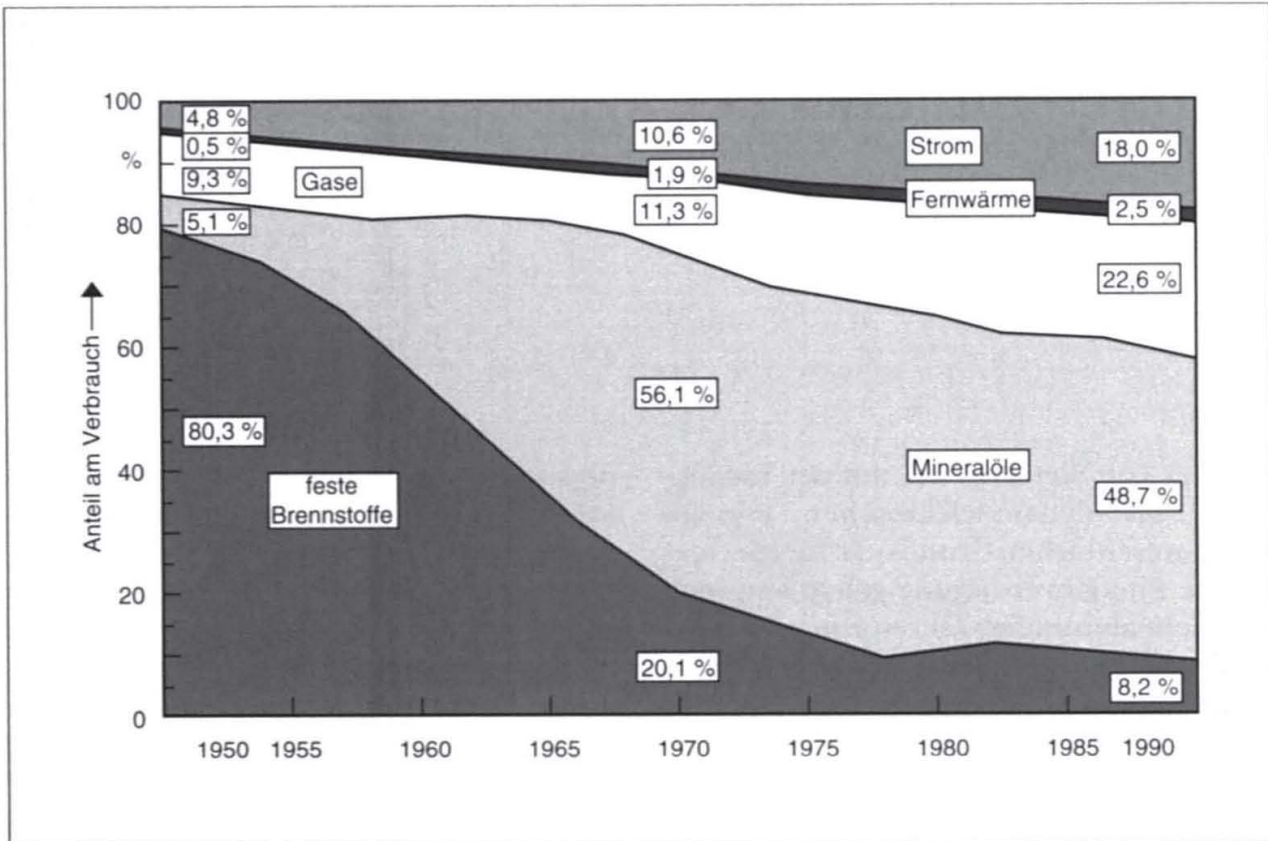


Bild 7.1 Entwicklung der Struktur des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern in der Bundesrepublik Deutschland

verbrauchs. Dies gilt weltweit genauso wie für die Bundesrepublik Deutschland. Die weltweite Stromerzeugung von heute über 11 000 TWh/a hat sich seit dem Jahre 1950 mehr als verzehnfacht, so daß heute rund ein Drittel des gesamten Primärenergieaufkommens in Elektrizität umgewandelt wird. Einen ähnlichen Verlauf hat auch die Entwicklung des Stromverbrauchs in unserem Land genommen, wobei die Zuwachsraten in den letzten drei Jahrzehnten ständig abgenommen haben. Im vereinten Deutschland wurden im Jahr 1990 rund 446 TWh Strom von den Endenergieverbrauchern nachgefragt. Davon entfielen 83% auf die alten und 17% auf die neuen Bundesländer. Der Stromanteil am gesamten Endenergieverbrauch zeigte dabei eine stetige, nahezu lineare Zunahme, wie Bild 7.1 für die Bundesrepublik Deutschland zeigt. Im Jahr 1950 lag er bei knapp 5%, heute beträgt er 18%.

Der in diesen Zahlen zum Ausdruck kommende fortschreitende Prozeß der Elektrifizierung ist nicht das Resultat einer mächtigen, auf Absatzsteigerung ausgerichteten Elektrizitätswirtschaft. Vielmehr ist er ein Zeichen dafür, daß Elektrizität wesentliche Grundbedürfnisse der Gesellschaft besser als jeder andere Energieträger erfüllen kann und daß sie für bestimmte Anwendungen in der Wirtschaft prädestiniert war bzw. bestimmte technische Fortschritte sowie Effizienzsteigerungen nur mit ihrer Hilfe möglich waren. Beispiele hierfür sind das Licht und die Krafterzeugung.

Erst mit der elektrischen Beleuchtung, angefangen von der Glühlampe bis zur modernen Leuchtstofflampe, konnte das Grundbedürfnis nach Licht in seinen vielfältigen Modifikationen adäquat und für alle Bevölkerungsschichten erschwinglich befriedigt werden. Der Elektromotor, als stationäre Kraftquelle mit einem Leistungsbe-

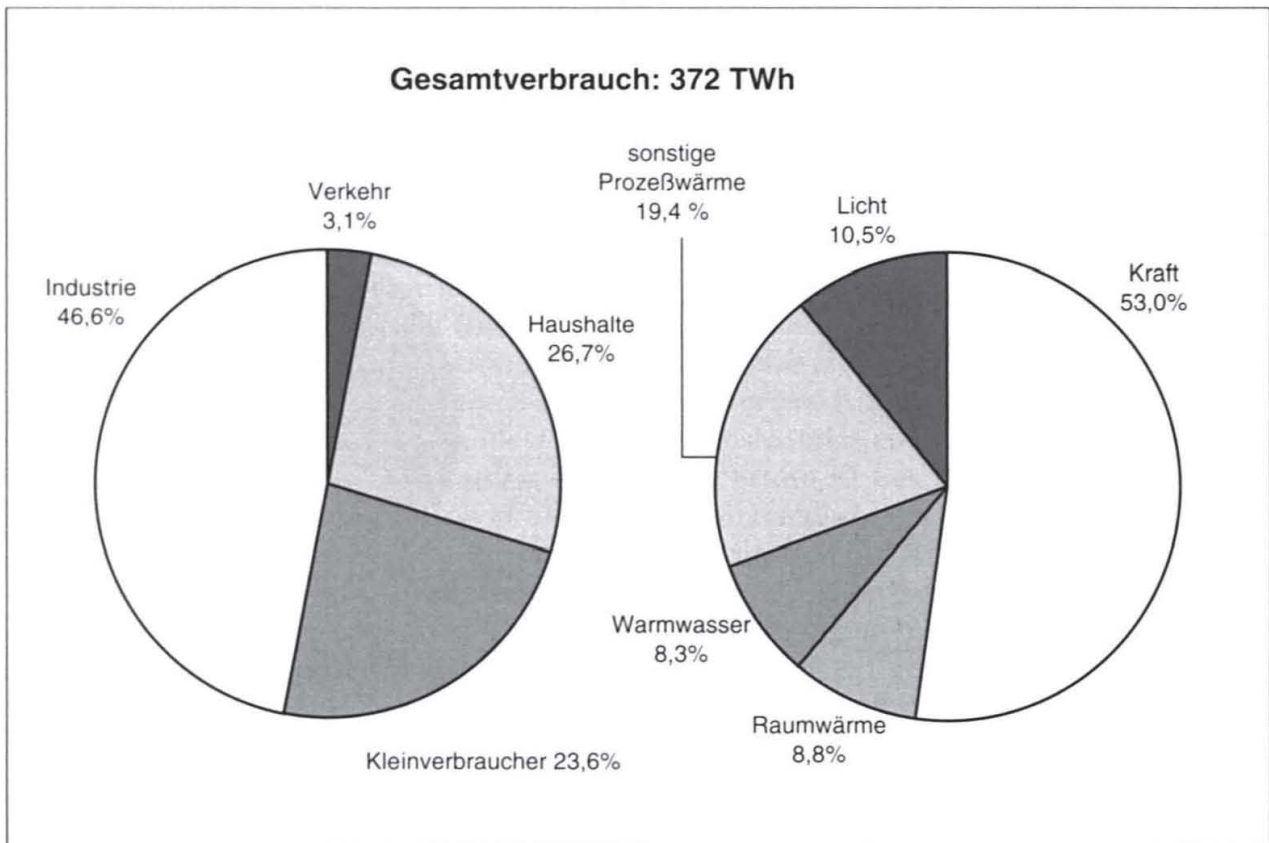


Bild 7.2 Struktur des Stromverbrauchs nach Sektoren und Verwendungszwecken in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1990

reich von einigen Watt bis zu einigen Megawatt, ermöglichte durch seine dezentrale Anwendung den Ersatz von Muskelkraft im privaten Bereich sowie in der gewerblichen Produktion. Dadurch konnten neue und effizientere Fertigungsverfahren zum Einsatz kommen, die die Arbeitsproduktivität und damit das Einkommen der Beschäftigten bei geringerer Arbeitszeit erhöhten. Strom ermöglichte erst die heute im Verarbeitenden Gewerbe übliche Automatisierung der Produktions- und Fertigungsverfahren. Im privaten Bereich brachte die Verbreitung von Elektrogeräten, insbesondere die der Waschmaschine, eine Erleichterung der Hausarbeit, sie sparte Zeit und ermöglichte den davon im wesentlichen betroffenen Frauen neue Entfaltungsmöglichkeiten.

Es sind im wesentlichen die Bereiche der Beleuchtung, Mechanisierung und

Automatisierung, die in der Vergangenheit die Ausweitung der Stromanwendung getragen haben, obwohl Elektrizität erheblich teurer war als andere Energieträger. Dies wird deutlich, wenn man sich die gegenwärtigen Verwendungsbereiche des Stroms ansieht (Bild 7.2). Vom gesamten Stromverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland (ohne die ehemalige DDR) entfielen im Jahr 1990 ca. 83% auf die Bereitstellung von Kraft, Licht und Prozeßwärme. Der Nutzungszweck Kraft macht mit über 50% den größten Teil der Stromverwendung aus. Auf die Raumwärme- und Warmwasserbereitung entfallen mit 8,8 bzw. 8,3% vergleichsweise geringe Anteile. Obwohl im Verkehrssektor Energie nahezu ausschließlich zur Krafterzeugung eingesetzt wird, spielt die elektrische Energie wegen ihrer vergleichsweise schlechten Speicherbarkeit

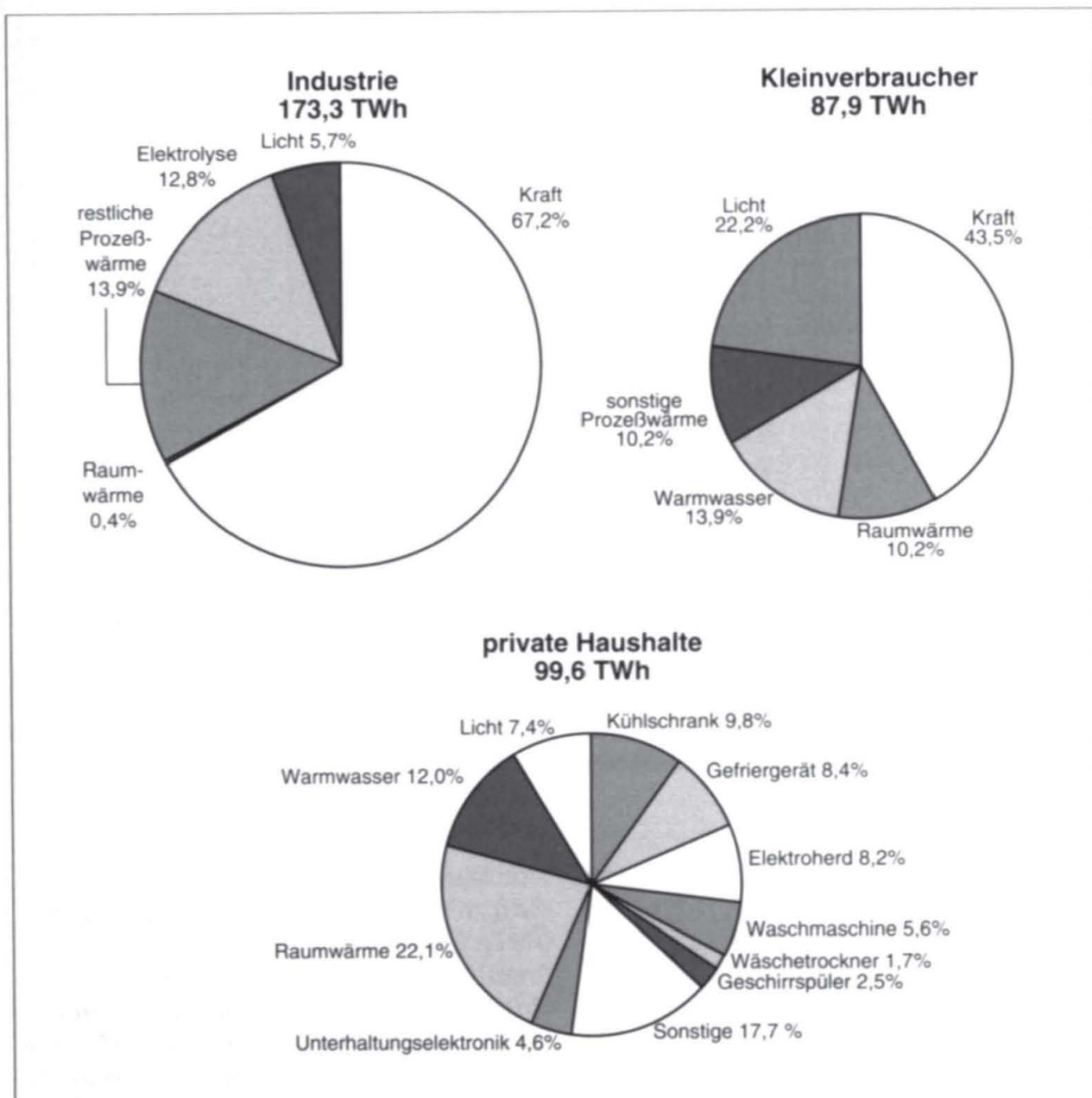


Bild 7.3 Stromverbrauch nach Verwendungszwecken in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1990

hier nur eine untergeordnete Rolle. Sie wird als Traktionsenergie nur für Schienenfahrzeuge genutzt, was den geringen Anteil des Verkehrssektors am Gesamtstromverbrauch erklärt. In Bild 7.3 sind für die drei wichtigsten stromverbrauchenden Sektoren Industrie (Verarbeitendes Gewerbe), Kleinverbraucher (öffentliche Einrichtungen, Handel, Handwerk, Dienstleistungsunternehmen und Kleingewerbe) und private Haushalte die jeweiligen Verwendungs-

zwecke des Stroms detaillierter dargestellt [7-2].

Im Zuge der Ausweitung der Stromnutzung in der Vergangenheit sind die Wachstumspotentiale des Stroms in den traditionellen Anwendungsbereichen Licht und Kraft zum großen Teil ausgeschöpft worden. Bei der Ausstattung der Haushalte mit Elektrogeräten machen sich seit einigen Jahren Sättigungstendenzen bemerkbar, die in Kombination mit fortgeschrittenen

stromsparenden Haushaltsgeräten zu einer Stagnation des Stromverbrauches der privaten Haushalte geführt haben. Im Industriebereich wirkt sich der industrielle Strukturwandel über seinen anteiligen Rückgang der stromintensiven Grundstoffindustrie dämpfend auf die industrielle Stromverbrauchsentwicklung aus. Vor diesem Hintergrund der Ausschöpfung der traditionellen Anwendungsbereiche des Stroms stellt sich die Frage nach der zukünftigen Rolle der elektrischen Energie in der Bundesrepublik Deutschland. Ihre Beantwortung wird maßgeblich davon abhängen, ob es heute erkennbare neue oder erweiterte Einsatzbereiche der Elektrizität gibt, die sie aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften prädestinieren und ob ggf. aus der Bewältigung der Energie- und Umweltprobleme neue Aufgaben für den Energieträger Strom erwachsen können.

Strom oder, genauer gesagt, elektrische Energie ist eine Energieform, die einige spezifische Eigenschaften aufweist. Dies ist unter anderem eine hohe thermodynamische Qualität (reine Exergie). Elektrischer Strom ist nicht an Masse gebunden und wird mit Lichtgeschwindigkeit transportiert. Er hat vielfältige Wirkungsmechanismen, wie z. B. die elektrische bzw. magnetische Kraftwirkung. Außerdem ist die elektrische Energie am Ort ihres Verbrauchs emissionsfrei (was auf ihre Erzeugung ggf. nicht zutrifft). Diese Eigenschaften erlauben eine örtliche Trennung von Erzeugung und Anwendung, die Umwandelbarkeit in alle Nutzenergieformen mit hohem Wirkungsgrad, genaue Dosierbarkeit, eine feuerfreie Wärmebereitstellung, eine hohe Leistungskonzentration sowie die Erzeugung, Übertragung, Speicherung und Verarbeitung von Informationen. Darüber hinaus kann elektrischer Strom aus allen Primärenergieträgern gewonnen werden. Im Vergleich zu den anderen heute genutzten Endenergieträgern eröffnen sich dem Strom damit spezifische Anwendungsbereiche, bei anderen steht er

in Konkurrenz. Auf die ersteren und ihre zukünftige Bedeutung sei zunächst eingegangen.

Die Mikroelektronik gilt als die wichtigste Basisinnovation der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts. Die mit ihr mögliche Informations- und Kommunikationstechnik wird von vielen als die Grundlage einer dritten industriellen Revolution angesehen; nach der Mechanisierung der Arbeit und der Elektrifizierung der Maschinen nun die instrumentelle Unterstützung des Geistes. Strom ist das informationstechnische Arbeitsmedium der Automatisierungs-, Informations- und Kommunikationstechnik. In fast allen Bereichen der Wirtschaft und der öffentlichen Einrichtungen haben die elektronische Datenverarbeitung und die neuen Kommunikationstechniken Einzug gehalten und insbesondere die Büroarbeit verändert. Ihre Einflüsse auf den Energie- und Stromverbrauch sind mannigfaltig und bisher nicht umfassend untersucht.

Der Stromverbrauch von EDV-Anlagen wird wesentlich von den Peripheriegeräten wie Bildschirm, Drucker, Plotter oder externer Speicher bestimmt, deren Stromverbrauch oft größer ist als der der Zentraleinheit. Die rasante Entwicklung in der Halbleitertechnik hat den Stromverbrauch der Zentraleinheit drastisch reduziert. Bezogen auf die Rechnerleistung ist mit weiter sinkendem spezifischen Stromverbrauch zu rechnen, dem aber eine wachsende Zahl von Anlagen gegenübersteht. Vorliegende Abschätzungen [7-3, 7-4] deuten darauf hin, daß der Strombedarf für die elektronische Datenverarbeitung zunehmen wird. Computer und die neuartigen Kommunikationssysteme ermöglichen neue Dienstleistungen und Tätigkeiten. Vieldiskutierte Beispiele sind Tele-Shopping und Tele-Banking sowie die Tele-Heimarbeit und Videokonferenzen [7-5]. Letztere tragen ggf. zur Vermeidung von Fahrten zum Arbeitsplatz und von Geschäftsreisen bei. Ihrem Strommehrverbrauch steht damit eine Ener-

gieeinsparung im Verkehrssektor gegenüber. Die Mikroelektronik eröffnet auch der Automatisierung von Produktions- und Fertigungsverfahren sowie der Organisation von Produktionsabläufen neue Möglichkeiten. Die rechnergestützte Prozeßführung umfaßt dabei immer die Aufgaben Messen, Steuern und Regeln, die den Einsatz von Strom erfordern. Andererseits trägt die weitere Optimierung der Abläufe zur Senkung des produktionspezifischen Energiebedarfs bei. Industrieroboter sind ein prominentes Beispiel für die Entlastung von monotonen Tätigkeiten bei gleichzeitiger Produktivitätssteigerung im Rahmen der Automatisierung der Produktion. Industrieroboter benötigen in der Regel elektrische Energie für die zentralen Steuereinheiten und für ihre elektronischen Antriebe. Der zusätzliche Strombedarf durch den Industrieroboter-Einsatz in der Industrie wird für das Jahr 2000 auf rund 1,26 TWh geschätzt [7-4].

Mit den vorangegangenen Ausführungen sollte verdeutlicht werden, daß mit der wachsenden Bedeutung des Informations- und Kommunikationsbereiches im Rahmen des absehbaren sozio-ökonomischen Strukturwandels für den Strom zusätzliche Einsatzbereiche entstehen, die von anderen Energieträgern nicht bedient werden können. Die mit Hilfe des Stroms möglichen informationsverarbeitenden und kommunikationstechnischen Dienste weisen in der Regel einen geringen spezifischen Stromverbrauch auf. Die Fülle von Anwendungen läßt jedoch einen merkbaren Einfluß auf den Verbrauch an elektrischer Energie erwarten. Die modernen Informationsverarbeitungstechniken werden andererseits durch Verbesserung von Prozeßführungen und Abläufen zur Einsparung von Energie beitragen. Die Gebäude- und Verkehrstechnik sind Beispiele hierfür.

Aufgrund der besonderen Eigenschaften der elektrischen Energie besitzen Elektroprozeßwärmeverfahren eine Reihe von

Vorteilen gegenüber konventionellen Erwärmungstechnologien [7-6]. Sie ermöglichen die Erzeugung sehr hoher Temperaturen, erlauben eine gute Regel- und Reproduzierbarkeit der Aufheizvorgänge sowie hohe Leistungsdichten, z. B. bei der Elektronenstrahl- oder Laserstrahlerwärmung. Mit Hilfe der induktiven Erwärmung elektrisch leitfähiger oder der dielektrischen Erwärmung von nichtleitfähigen Stoffen ist eine Wärmeentwicklung im Werkstoff selbst möglich. Weiterhin reduzieren ein gezielter Wärmeeintrag sowie hohe Erwärmungsgeschwindigkeiten Verzunderungsverluste bei der Metallbehandlung (siehe auch Kapitel 4). Elektroprozeßwärmeverfahren werden heute bereits für eine Vielzahl von Anwendungen, insbesondere zur Erwärmung und für elektrochemische Prozesse in der Grundstoffindustrie, eingesetzt. Der industrielle Strukturwandel, gekennzeichnet durch eine wachsende Bedeutung der Investitions- und Verbrauchsgüterindustrie sowie ein Trend zu höherwertigen Erzeugnissen, wie z. B. neue, noch leistungsfähigere elektronische Bauelemente, begünstigen das weitere Vordringen der Elektroprozeßwärmeverfahren, wodurch eine weitere Absenkung der Brennstoffintensität der industriellen Produktion erreicht werden kann.

Die bisherige Diskussion der Perspektiven des Energieträgers Strom hatte als gemeinsamen Ausgangspunkt seine besonderen Eigenschaften, die ihn für die Befriedigung wichtiger Bedürfnisse der Gesellschaft, wie die Bereitstellung von Licht, die stationäre Krafterzeugung, die Informationsverarbeitung und die Kommunikation, prädestinieren. Daneben gibt es aber wichtige Energieverwendungsbereiche, wo der Strom aufgrund der Konkurrenz anderer Endenergieträger heute nur eine untergeordnete Rolle spielt. Dies sind insbesondere die Raumwärmebereitstellung und der Verkehrsbereich. Vom gesamten Energieeinsatz im Verkehr zur mobilen Krafterzeugung entfallen we-

niger als 2% auf den Strom, der derzeit ausschließlich von schienengebundenen Fahrzeugen genutzt wird. Am Heizenergieverbrauch der privaten Haushalte hat Strom nur einen Anteil von 5,3% (alte Bundesländer). Auf die Raumwärme und Warmwasserbereitung sowie den Verkehrsbereich entfallen aber gegenwärtig gut 60 % des gesamten Endenergieverbrauchs. Die dominierenden Energieträger für diese Versorgungsaufgaben sind derzeit die Mineralölprodukte Heizöl, Diesel und Benzin sowie das Erdgas. Unter dem Gesichtspunkt einer aus Klimagründen ggf. notwendig werdenen drastischen Reduktion des Verbrauchs fossiler Energieträger gewinnt die Frage nach den Endenergieträgern, die an die Stelle der fossilen Brenn- und Kraftstoffe treten könnten, eine besondere Bedeutung. Aus gegenwärtiger Sicht kommen dafür die Fern- bzw. Nahwärme, der Wasserstoff und der elektrische Strom – sofern diese Energieträger CO<sub>2</sub>-frei erzeugt werden – sowie Brenn- und Kraftstoffe aus Biomasse grundsätzlich in Betracht. Ohne hier einen umfassenden Vergleich dieser Endenergieträger leisten zu können, seien doch einige wesentliche Aspekte angesprochen.

Fernwärme bzw. Nahwärme ist wie Strom eine emissionsfreie Endenergie. Ihr Verwendungsbereich ist aber auf den Niedertemperaturwärmemarkt begrenzt. Wegen der vergleichsweise hohen Verteilungskosten sind Versorgungsgebiete mit einer hohen Wärmebedarfsdichte (z. B. Ballungsgebiete) wirtschaftlich eher zu erschließen. Die Wärmebereitstellung mittels einer elektrischen Wärmepumpe, ist – was den Primärenergieaufwand betrifft – vergleichbar mit der Wärmeerzeugung durch Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung.

Die Erzeugung von Brenn- und Kraftstoffen aus Biomasse ist durch die dafür verfügbaren Flächen begrenzt. Die Einführung von Biokraftstoffen erfordert jedoch vergleichsweise wenige Änderungen am Fahrzeug und der gesamten Infrastruktur.

Die Erzeugungskosten von Biokraftstoffen sind heute drei- bis fünfmal höher als die mineralölstämmiger Kraftstoffe.

Wasserstoff wird gelegentlich als der Energieträger eines postfossilen Energiesystems propagiert. Er ist ein sekundärer Energieträger, der wie Strom aus Primärenergie, sei es nun solare Strahlung, Kernenergie oder Erdgas hergestellt werden muß. Wasserstoff ist vielseitig als Brenn- und Kraftstoff verwendbar, gut transportierbar sowie bei richtiger Anwendung umweltneutral, da als Endprodukt seiner energetischen Umsetzung Wasser entsteht. Er hat also eine Reihe von Eigenschaften mit dem Energieträger Strom gemein. Wasserstoff ist elektrischer Energie heute in bezug auf die Speicherbarkeit überlegen, in der Herstellung aber aufwendiger. Die nach dem heutigen Kenntnisstand aussichtsreichste Methode der Herstellung von Wasserstoff ist die Elektrolyse mittels Strom. Damit ist die Herstellung von Wasserstoff energetisch verlustreicher als die von Strom. Letzteres gilt auch, wenn man die gesamte Kette von der Primärenergie bis zu den verschiedenen Nutzanwendungen, z. B. zur Wärmebereitung oder zur Erbringung von Verkehrsleistungen, betrachtet. Ob im Bereich des Straßenverkehrs der Wasserstoff auf lange Sicht die tragfähigere Lösung als der Elektroantrieb ist, läßt sich gegenwärtig nicht entscheiden. Angesichts der in den letzten Jahren erzielten Fortschritte bei der Entwicklung von neuartigen Batteriesystemen ist die Einführung von Elektrostraßenfahrzeugen für bestimmte Transportaufgaben im Kurzstreckenbereich eher zu erwarten. Das auch deshalb, weil der Aufbau einer aufwendigen neuen Versorgungsinfrastruktur dafür – anders als beim Wasserstoff – nicht notwendig ist.

Der Weg in die Informations- und Kommunikationsgesellschaft, die fortschreitende Automatisierung und Integration von Produktions- sowie Anwendungsprozessen und auch ein teilweiser Ersatz der fossilen



Endenergieträger muß dabei keineswegs mit einem entsprechenden Anstieg des Stromverbrauchs verbunden sein. Denn – wie in der Vergangenheit – wird auch in Zukunft der spezifische Stromverbrauch der einzelnen Anwendungen weiter zurückgehen. In diesem Sinn wirkt der Strom am fortschreitenden Prozeß der rationelleren Energienutzung in doppelter Weise mit. Zum einen durch die Verminderung des Stromverbrauchs je Anwendung und zum anderen durch seine Funktion als Hilfsenergie bei der Optimierung energieverbrauchender Anwendungen. Die Zukunftsaussichten des Stroms werden aber nicht nur durch seine anwendungstechnischen Eigenschaften und Möglichkeiten, sondern auch durch seine Erzeugung mitbestimmt. Denn mit ihr sind die Schattenseiten der elektrischen Energie verknüpft. Bei ihr manifestieren sich die negativen und unerwünschten Effekte, die mit dem Nutzen, den der Strom stiftet, verbunden sind.

Die Bruttostromerzeugung im vereinten Deutschland betrug 551,3 TWh im Jahr 1990. Die Braunkohle hatte mit 31,1% den größten Anteil, gefolgt von der Kernenergie (27,7%), Steinkohle (25,6%), Erdgas und Sonstige (10,0%), Wasserkraft (3,6%) und Heizöl (2,0%) (siehe Bild 7.4). Anders als in den alten Bundesländern ist die Stromerzeugung in den neuen Bundesländern einseitig auf Braunkohle ausgerichtet. Fast 90% der gesamten Stromerzeugung erfolgte in Braunkohlekraftwerken, die 1990 einen Anteil von 82% an der installierten Kraftwerksleistung hatten. Die Kraftwerke sind technisch veraltet, haben niedrige Wirkungsgrade und besitzen keine Rauchgasentschwefelungs- und -entstickungsanlagen, was zu gravierenden Schadstoffemissionen geführt hat. Die in relativ kurzer Zeit notwendige Sanierung und Modernisierung des Kraftwerkssystems bietet die Chance, zukunftsorientierte Konzepte zu realisieren, die den langfristigen Erfordernissen des Umwelt- und Klimaschutzes ge-

recht werden. Mittels moderner Technik und entsprechendem Aufwand können die Schwefeldioxid- und Stickoxidemissionen aus fossil gefeuerten Kraftwerken drastisch reduziert werden. Dies zeigt die Entwicklung in den alten Bundesländern. Hier wurden die Schwefeldioxid- und Stickoxidemissionen aus den Kraftwerken der öffentlichen Versorgung seit 1982 um rund 90 bzw. 75% gesenkt (siehe Kapitel 5).

Neue fortgeschrittene fossile Kraftwerkskonzepte, die eine Gas- und Dampfturbine kombinieren, haben ein Potential zur Wirkungsgraderhöhung von 20 bis 30% bei gleichzeitiger weiterer Absenkung der Schwefeldioxid- und Stickoxidemissionen. Mit diesen Effizienzsteigerungen wären auch entsprechende Minderungen der Kohlendioxidemissionen verbunden. Spezifische CO<sub>2</sub>-Minderungen in ähnlicher Größenordnung sind auch mit der Kraft-Wärme-Kopplung erreichbar. Die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme ermöglicht – für heute typische Verhältnisse – gegenüber einer getrennten Erzeugung derselben Menge Strom und Wärme eine Brennstoffeinsparung und damit auch eine CO<sub>2</sub>-Minderung von rund 20%. Darüber hinausgehende Reduktionen der Kohlendioxidemissionen lassen sich nur durch einen Ersatz fossiler Brennstoffe durch CO<sub>2</sub>-freie Energieträger erreichen, da es derzeit nicht absehbar ist, ob ein ökologisch unbedenklicher Weg für die Entsorgung des bei der Verbrennung fossiler Energieträger gebildeten Kohlendioxid gefunden werden kann.

Als CO<sub>2</sub>-freie Optionen der Stromerzeugung stehen die Kernenergie und die erneuerbaren Energiequellen zur Verfügung. Diese Optionen weisen auch mittelfristig ein beachtliches technisches Minderungspotential auf [7-7], um die Kohlendioxidemissionen im Zusammenhang mit der Stromerzeugung im vereinten Deutschland in Höhe von 360 Mio. CO<sub>2</sub>/a (1989) wirksam und nachhaltig zu reduzieren. Im Falle der

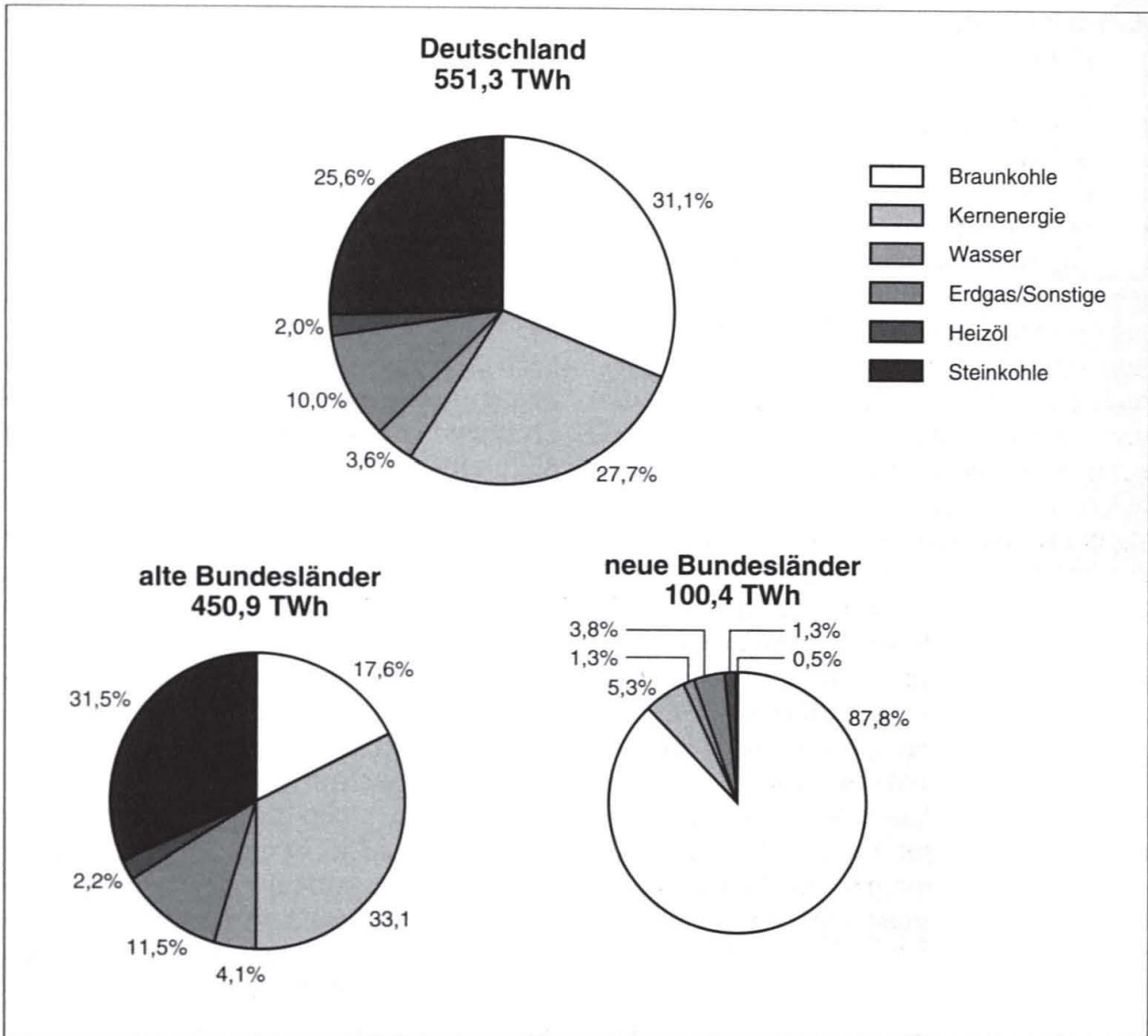


Bild 7.4 Struktur der Stromerzeugung im vereinten Deutschland sowie in den alten und neuen Bundesländern im Jahre 1990

Kernenergie wäre es dabei möglich, einen großen Teil des CO<sub>2</sub>-Minderungspotentials auszuschöpfen, ohne die Kosten der Strombereitstellung zu erhöhen. Nach dem gegenwärtigen Stand des Wissens würde eine Substitution der Kohlestromerzeugung durch die Kohlendioxid-freie Stromerzeugung auf der Basis Kernenergie oder erneuerbare Energiequellen neben den emissionsseitigen Vorteilen auch eine Minderung der gesundheitlichen Risiken bedeuten [7-8].

Was nun die Schattenseite des Endenergeträgers Strom, nämlich seine Erzeugung,

betrifft, so stehen uns auch hier Möglichkeiten zur Verfügung, die unerwünschten Nebeneffekte, die Emissionen von Schad- und Treibhausgasen, nachhaltig zu verringern. Damit wäre eine wichtige Voraussetzung gegeben, daß die elektrische Energie ihre Anwendungspotentiale im Fortschrittsprozeß von Wirtschaft und Gesellschaft sowie zur Realisierung einer umwelt- und klimaverträglichen Energieversorgung ausschöpfen kann.

## 2 Energiesysteme im Übergang – Aufgaben und Herausforderungen

Die Zwänge, die sich aus den Perspektiven der weltweiten Energie- und Umweltprobleme ergeben, kommen mit zunehmender Geschwindigkeit auf uns zu. Wir stehen am Anfang eines Übergangs zu einer nicht fossilen Energieversorgung, der sich über Jahrzehnte erstrecken wird. Der Prozeß der Ablösung des fossilen Feuers als Hauptenergiequelle der Menschheit erfährt durch die drohenden Gefahren einer Klimaveränderung eine global begründete neue Dringlichkeit. In Anbetracht der wachsenden Weltbevölkerung, aber auch zur dauerhaften Überwindung von Hunger, Armut und inhumaner Lebensumstände in den Ländern der Dritten Welt und um den Raubbau aus Not an den Waldbeständen überflüssig zu machen, gilt es, sich auf einen weltweit steigenden Energiebedarf einzustellen.

Die Vision einer Weltenergieversorgung, die entsprechend den Weltbevölkerungsprojektionen für eine mindestens doppelt so große Zahl an Menschen wie heute ausreichende Energiedienstleistungen bereitstellt, so daß sie auskömmlich und frei von materieller Not sowie in Würde leben können und die dabei gleichzeitig verträglich in die Kreisläufe der Natur eingebunden ist, sollte der Ausgangspunkt bei der Suche nach Lösungen und verantwortbaren Wegen sein. Sie umreißt damit gleichzeitig die energie- und umweltseitigen Herausforderungen einer zusammenwachsenden Welt an der Schwelle zum dritten Jahrtausend. „Kennzeichen des künftigen Fortschrittes, also des Fort-Schreitens, ist aber nicht das ferne Ziel an sich, sondern das Festlegen und Tun von jeweils konkret machbaren Schritten, die die Gesellschaft dem Ziel näherbringen“ [7-9].

Das Energiesystem in diesem Sinne zukunftsorientiert fortzuentwickeln erfordert, die besondere Rolle der Energie zu erkennen und dem Faktor Natur und Um-

welt einen neuen Stellenwert zuzuweisen. Energie bzw. die aus ihr gewinnbare Arbeitsfähigkeit sowie die mittels des Arbeitsmediums Elektrizität durch die Informations- und Wissensverarbeitung mögliche Potenzierung der humanen Gestaltungsfähigkeit sind die wesentlichen Faktoren zur Schaffung von materiellen und immateriellen Leistungen und Ordnungszuständen, die Leben ermöglichen. Energie ist aber auch Macht des Menschen in der Natur, deren unreife Anwendung – durch die ungenügende Beachtung der mit der Nutzung der verfügbaren Energiequellen verbundenen Nebenwirkungen – die natürlichen Lebensgrundlagen zerstören kann. Eine reife zukunftsorientierte Nutzung von Energie muß den Faktor Natur, als knappe Ressource, in das Hauswirtschaften mit einbeziehen und seine Inanspruchnahme auf ein Maß begrenzen, das seine Regenerationsfähigkeit nicht überschreitet.

Die effiziente Nutzung aller knappen Ressourcen und nicht die Minimierung des Energieverbrauchs ist eine weitere Voraussetzung zur Bewältigung der Probleme und Herausforderungen des Übergangs. Die globalen Umweltprobleme einer Lösung näherzubringen, z. B. die globale Klimaveränderung auf ein tolerierbares Maß einzugrenzen, erfordert ein gleichgerichtetes Handeln aller Staaten. Dies wird nur zu erreichen sein, wenn die Lasten gerecht verteilt und so gering wie möglich sind, damit insbesondere die Länder der Dritten Welt auch ihre anderen, ihnen derzeit viel wichtigeren Entwicklungsziele erreichen können. Aus diesem Grund gewinnen kosteneffiziente Treibhausgasminderungsmaßnahmen ihre besondere Bedeutung. Anders ausgedrückt, eine klimaverträgliche Begrenzung der Treibhausgasemissionen, oder allgemeiner die Eingrenzung der Umweltbelastungen, wird wohl nur erreicht werden, wenn die dafür verfügbaren begrenzten Aufwendungen streng nach dem ökonomischen Prinzip verwendet werden,

mit jeder Mark den größtmöglichen umweltentlastenden Effekt zu erzielen. Angesichts der Dimension der globalen Energie- und Umweltprobleme sind zu ihrer Lösung auch Wagnisse einzugehen, denn nichts geschieht ohne Risiko, aber ohne Risiko geschieht auch nichts. Der Nutzen und die Risiken des Tuns und Unterlassens sind dabei umfassend abzuwägen, um zu verantwortbaren Fortschritten zu kommen.

Die globalen Herausforderungen sind auch der Rahmen, an dem sich die nationalen Maßnahmen zur Bewältigung der Energie- und Umweltprobleme für die kommenden Jahrzehnte orientieren müssen. Für die Energiewirtschaft der Bundesrepublik Deutschland ergibt sich darüber hinaus noch die aus der Vereinigung der beiden deutschen Staaten erwachsende Aufgabe der schnellen Sanierung und Modernisierung des Energiesystems in den neuen Bundesländern. Der hier bestehende besondere Gestaltungsspielraum für eine zukunftsorientierte Energieversorgung sollte nicht vertan werden.

Dem Strom bzw. der elektrischen Energie kommt aufgrund der spezifischen Eigenschaften als Energieträger für die Befriedigung neuer gesellschaftlicher Bedürfnisse in den Bereichen der Kommunikation und Informationsverarbeitung sowie für die weitere Automatisierung der Produktion und von Prozeßabläufen eine besondere Bedeutung zu. Darüber hinaus besitzt der Energieträger Strom ein beachtliches Potential für die Substitution fossiler Endenergieträger sowohl in der industriellen Produktion als auch im Niedertemperaturwärme- und Verkehrsbereich. Der Anteil des Stroms an der Deckung des zukünftigen Energiebedarfs wird zunehmen. Die Ausweitung der Stromanwendungen bei gleichzeitiger Minderung des Stromeinsatzes je Anwendung zur weiteren Ablösung der fossilen Endenergieträger wird eine der Zukunftsaufgaben der Elektrizitätswirtschaft sein. Eine zweite hat mit der Erzeu-

gung des Stroms zu tun. Nach der erfolgten bzw. für die neuen Bundesländer in wenigen Jahren erforderlichen drastischen Reduktion der konventionellen Schadgase tritt die Minderung der Treibhausgase als neue Herausforderung in den Vordergrund. Effizientere fossile Kraftwerke, Kernenergie und die Stromerzeugung aus regenerativen Energiequellen sind die technischen Optionen, die mit unterschiedlichem Gewicht im Zeitablauf zur Bewältigung dieser Herausforderung beitragen können. Wie schnell und in welchem Umfang sie genutzt werden, wird mit davon abhängen, ob und wie die Diskrepanz zwischen der Akzeptanz des Produktes Strom und der Nichtakzeptanz der Produktion überwunden werden kann. Der hiermit angesprochene Problemkomplex ist, wie der Rückblick auf die Anfänge der Elektrizitätsversorgung zeigte, grundsätzlich nicht neu, hat aber – zumindest was die Kernenergie betrifft – gegenwärtig ein besonderes Gewicht.

Zur Erreichung der notwendigen Zustimmung für einen zukunftsorientierten Umbau der Stromerzeugung hält Renn einen breiten gesellschaftlichen Diskurs für erforderlich (siehe Kapitel 6), der von der Ambivalenz der Technik ausgeht, d.h. „dem Bewußtsein . . . , daß mit dem Technikeinsatz (egal welchem) Glück und Leid gleichzeitig gefördert werden. Die ethische Verpflichtung besteht darin, durch geschickte Wahl der verfügbaren Optionen, durch Modifikation der technischen Möglichkeiten und durch Antizipation von Werterfüllungen und -verletzungen die positiven Folgen zu verstärken und die negativen zu mildern (ohne sie je ausschalten zu können)“. Sich hieran aktiv zu beteiligen, ist eine weitere Zukunftsaufgabe, der sich die Elektrizitätswirtschaft auch im zweiten Jahrhundert der Elektrizität nicht entziehen darf. Denn trotz der großen technisch-wirtschaftlichen Herausforderungen des Übergangs zu einem Energiesystem, das ein für die Bedürfnisse der wachsenden Weltbevölkerung ausrei-

chendes Energieangebot bereitstellt und in die Kreisläufe der Natur verträglich eingebunden ist, sind, wie es Carl Friedrich von Weizsäcker einmal ausgedrückt hat, „alle Gefahren, die wir vor uns sehen, keine technischen Ausweglosigkeiten (sind), sondern eher umgekehrt, die Unfähigkeit unserer Kultur, mit den Geschenken ihrer eigenen Erfindungskraft vernünftig umzugehen“.

### Schrifttum

- [7-1] *Siemens, W.*: Das naturwissenschaftliche Zeitalter. In: Tageblatt der 59. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte. Hrsg. Guttstadt et al., Berlin 1886.
- [7-2] *VDEW-AA* „Marktforschung-Elektrizitätsanwendung“: Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland (alt) nach Anwendungsbereichen im Jahr 1990. Frankfurt am Main 1992.
- [7-3] *Spreng, D.; Aebischer, B.*: Computer als Stromverbraucher. Schweizer Ingenieur und Architekt 50 (1990), S. 1459–1463.
- [7-4] *Jobsky, Th.; Pohlmann, M.*: Der industrielle Strombedarf im Jahr 2000. Aktuelle Beiträge zur Energiediskussion Nr. 13, KFA Jülich, Jül-Spez-398, 1987.
- [7-5] *Grawe, J., et al.*: Energiesparen mit Strom. München: Bonn Aktuell 1990.
- [7-6] *Stoy, B.*: Die Rolle des Stroms im Energiemarkt der Zukunft. Elektrowärme int. 48 (1990), A1, S. 11–24.
- [7-7] *Voß, A.*: Energie und Klima: Ist eine klimaverträgliche Energieversorgung erreichbar? BWK 43 (1991), S. 19–31.
- [7-8] *Kallenbach, U.; Thöne, E.*: Gesundheitsrisiken der Stromerzeugung: Daten, Fakten und Bewertungen; Vergleich aus energietechnischer Sicht. Köln: Verl. TÜV Rheinland 1989.
- [7-9] *v. Bennigsen-Foerder, R.*: Energie und Umwelt – Kennzeichen des künftigen Fortschritts. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 39 (1989), S. 804–811.