

- 1 Einleitung
- 2 Energieprobleme einer zusammenwachsenden Welt
 - 2.1 Energie und Armut
 - 2.2 Energie und Umwelt
- 3 Energiebedarf: Wie wird er sich entwickeln?
 - 3.1 Weltweiter Energiebedarf
 - 3.2 Energiebedarf in Deutschland
- 4 Energie: Eine knappe Ressource?
 - 4.1 Fossile und nukleare Energieträger
 - 4.2 Erneuerbare Energieströme
- 5 Gestaltung der Energieversorgung der Zukunft: Maßstäbe und Kriterien
 - 5.1 Notwendigkeit einer umfassenden Güterabwägung
 - 5.2 Suche nach verantwortbaren Wegen

Schrifttum

Energie und Umwelt: Herausforderungen an der Schwelle zum dritten Jahrtausend

I Einleitung

In allen Epochen der Menschheitsgeschichte haben die Mengen und Arten der Energie, über die die Menschen verfügen konnten, ihre Lebensbedingungen entscheidend mitbestimmt. Dies gilt auch für die nun gut hundertjährige Periode der Stromerzeugung und Stromanwendung. Sie ist zumindest in den Industrieländern gekennzeichnet durch eine Sozialisierung vormals luxuriöser Energiedienste wie das Licht und den Ersatz von Muskelkraft durch Elektromotoren sowie die Verfügbarmachung vielfältiger neuer Energiedienste für alle Teile der Bevölkerung, wie das Fernsehen, das Telefon und die anderen modernen Kommunikationstechniken. Energiefragen haben die Menschen seit jeher unmittelbar berührt. Dennoch scheint die Feststellung richtig, daß rückblickend Energiefragen wohl in keiner zeitgeschichtlichen Periode so permanent im Zentrum des öffentlichen Interesses und der öffentlichen Diskussion gestanden haben, wie dies in den letzten beiden Jahrzehnten der Fall war.

Die drastischen Ölpreissteigerungen des Jahres 1973, ausgelöst durch den vierten arabisch-israelischen Krieg, haben uns die Gefahren einer einseitig abhängigen Energieversorgung bewußt gemacht. Der Einsatz des Erdöls als politische Waffe war ein für die Weltpolitik gravierender Einschnitt, der deutliche Spuren in der Weltwirtschaft hinterlassen hat. Die zweite Hälfte der sieb-

ziger Jahre war in unserem Land geprägt von den Auseinandersetzungen um die Nutzung der Kernenergie. Anfang der achtziger Jahre rückten dann die von der Energienutzung ausgehenden Belastungen der Umwelt in den Vordergrund des Interesses. Saurer Regen und Waldsterben bzw. neuartige Waldschäden sind Begriffe, die für diese Jahre stehen.

Der im Jahre 1985 aufgrund von Mengenüberschüssen auf den Weltrohölmärkten eingetretene Verfall der Rohölpreise konnte für kurze Zeit den Eindruck entstehen lassen, daß die vielbeschworenen Energieprobleme nicht mehr existent seien, bis durch die Katastrophe in Tschernobyl im April 1986 die Energiefragen, und hier insbesondere die Frage der Verantwortbarkeit einer weiteren Nutzung der Kernenergie, wieder in das Zentrum der öffentlichen Diskussion gerückt wurden. Die potentiellen Gefahren einer Klimaveränderung durch anthropogene Treibhausgasemissionen, obwohl seit langem bekannt, bestimmen die energiepolitischen Überlegungen seit Ende der achtziger Jahre. Die Risiken der Ölversorgung machte uns dann der Irak-Kuwait-Konflikt noch einmal bewußt. Und ohne der im folgenden noch zu leistenden Problemanalyse vorgreifen zu wollen, bedarf es keiner besonderen prophetischen Gabe um festzustellen, daß die Energieprobleme und die mit ihnen verbundenen Umweltfragen auch in den verbleibenden Jahren dieses Jahrhunderts politische Fragen

von herausragender Bedeutung bleiben werden.

Die bisherigen Aufgabenstellungen in der Energiewirtschaft sind zum großen Teil durch nationale Bedingungen bestimmt worden. Mit der weiteren Expansion der Weltenergiemärkte, dem Aufbau transkontinentaler Transportsysteme und kontinentaler Verbundsysteme und der damit zunehmenden Verflechtung zwischen den Staaten dieser Erde gewinnen die Fragen der Energieversorgung aber eine immer stärkere internationale und globale Dimension. Diese wird verstärkt durch die grenzüberschreitenden Umweltprobleme und die globale Natur des Klimaproblems. Die Lösung der Energie- und Umweltfragen der Zukunft wird also verstärkt globaler Ansätze bedürfen, was für die nationale Energie- und Umweltpolitik eine Abkehr von der Fixierung auf die KirchturmspERSpektive des eigenen Landes und eine stärkere Berücksichtigung der weltweiten Belange und Randbedingungen erforderlich macht. Die Schaffung von Inseln mit einer autarken Energieversorgung, mit reiner Luft, einem intakten Klima und einer prosperierenden Wirtschaft taugt deshalb noch nicht einmal als Utopie.

Der Club of Rome stellt dazu in seinem Bericht „Die globale Revolution“ [1-1] fest „Umwelt-, Energie-, Bevölkerungs-, Ernährungs- und Entwicklungsprobleme bilden einen zusammenhängenden Komplex innerhalb der Weltproblematik und stehen im Mittelpunkt der gegenwärtigen Ungewißheit hinsichtlich der Zukunft der Menschheit. Da Wechselwirkungen eine große Rolle spielen, wäre es wenig sinnvoll, jedes dieser Elemente getrennt anzupacken. Doch die Möglichkeiten des Nationalstaats sind begrenzt. Was wir brauchen, ist eine koordinierte weltweite Strategie“.

Von großer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang auch die beginnende Überwindung der Ost-West-Konfrontation. Das Zusammenwachsen der Länder West- und

Osteuropas, die Annäherung der Wirtschaftsordnungen schaffen auch neue Möglichkeiten einer energiewirtschaftlichen Kooperation und Arbeitsteilung. Diese positiven politischen Entwicklungen, deren Anfänge wir gegenwärtig miterleben, sind eine der notwendigen Voraussetzungen, daß die Staaten dieser Erde die grenzüberschreitenden und globalen Energie- und Umweltprobleme, die die zentrale Herausforderung der Menschheit am Ende dieses Jahrhunderts darstellen, einer Lösung näher bringen können.

Ein weiteres für die Bewältigung der Zukunft wichtiges Phänomen charakterisiert die Lage am Ende des 20. Jahrhunderts. Der Wandel und die Veränderungen des Lebensumfeldes schritten noch nie so schnell voran wie in den heutigen Industriegesellschaften. Der technisch-wissenschaftliche Fortschritt entwickelt sich ungebrems und unser Wissensbestand verdoppelt sich alle sieben Jahre. Dies bedeutet einerseits, daß wie nie zuvor in ihrer Geschichte die Menschheit über das Wissen und die Fähigkeiten verfügt, eine bessere Welt zu gestalten. Andererseits erodiert der schnelle Wandel der Lebensverhältnisse den Wert von Tradition und Lebenserfahrung als Orientierungshilfe zur Bewältigung der Zukunft. Die Zeitspannen der überschaubaren Zukunft werden kürzer, Zukunftsangst oder zumindest Zukunftsungewißheit nehmen zu und dies vor dem Hintergrund einer steigenden Lebenserwartung der Menschen.

Um so wichtiger ist es, aufbauend auf einer umfassenden Problemanalyse, die uns zur Bewältigung der Energie- und Umweltprobleme zur Verfügung stehenden Optionen und Handlungsmöglichkeiten systematisch zusammenzustellen und im Hinblick auf die Erreichung der energiepolitischen Ziele einzuordnen. Angesichts der Komplexität der Probleme und der Vernetzung der einzelnen Problembereiche erfordert dies einen ganzheitlichen Ansatz, der

zwischen Fakten und gesicherter Erkenntnis und ihrer politischen Bewertung bewußt trennt. Dabei geht es nicht darum, die Zukunft der Energieversorgung im Sinne einer Prognose vorherzusagen, sondern unter Beachtung der bestehenden Unsicherheiten, die heute anstehenden energie- und umweltbezogenen Entscheidungen und Weichenstellungen auf eine möglichst rationale Basis zu stellen.

Diese Schrift will hierzu einen Beitrag leisten. Ausgehend von den weltweiten und nationalen Energieproblemen, auf die in den folgenden Abschnitten eingegangen wird, werden im weiteren zunächst die technischen Perspektiven der Weiterentwicklungen in der Kraftwerkstechnik, beim Stromtransport, der Stromverteilung und -speicherung sowie im Bereich der Stromanwendung dargestellt. Nach einer Behandlung der Umweltaspekte und der Erörterung gesellschaftlicher Phänomene der Energieversorgung wird die Bedeutung und der Beitrag der Elektrizitätsversorgung zur Lösung der Energie- und Umweltprobleme, d. h. zur Verwirklichung eines Energiesystems, aufgezeigt, das einer wachsenden Weltbevölkerung ein ausreichendes Energieangebot sicherstellt, die knappe Ressource Energie effizient nutzt und mit der Ressource Umwelt schonend umgeht.

2 Energieprobleme einer zusammenwachsenden Welt

Der weltweite Verbrauch an kommerzieller Energie betrug 337 EJ im Jahr 1990 (siehe Bild 1.1) [1-2]. Hinzu kommen noch etwa 36 bis 40 EJ an nicht kommerzieller Energie in Form von selbstgesammeltem Brennholz, Dung und Ernterückständen sowie die von rund 400 Mio. Zug- und Lasttieren geleistete Arbeit. Der Wachstum des Energieverbrauchs war dabei in den Entwicklungsländern in den letzten Jahren deutlich stärker als in den industrialisierten Ländern.

Der Energieverbrauch in den westlichen Industrieländern (OECD-Länder) und den Ländern Osteuropas einschließlich der ehemaligen Sowjetunion ist im Zeitraum von 1980 bis 1990 von 224 EJ auf 235 EJ angestiegen. Dies entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 0,5%. In den Entwicklungsländern nahm im selben Zeitraum der Verbrauch kommerzieller Energie um durchschnittlich 4,7% zu, was einem absoluten Verbrauchszuwachs von fast 60% zur Folge hatte.

2.1 Energie und Armut

Diese unterschiedliche Entwicklung des Energieverbrauchs in den reichen Ländern des Nordens und den armen Ländern des Südens darf aber nicht den Blick dafür verstellen, daß unter Berücksichtigung des Bevölkerungszuwachses die Ungleichgewichte im Pro-Kopf-Verbrauch an kommerzieller Energie kaum kleiner geworden sind. Den Menschen in den ärmeren Entwicklungsländern (low income countries) standen im Durchschnitt mit ca. 14 GJ/EWa weniger als ein Zehntel der kommerziellen Energie zur Verfügung als denen in den westlichen Industrieländern (ca. 217 GJ/EW a). Auch wenn der Verbrauch von nichtkommerziellen Energieträgern hier nicht miteinfaßt ist, belegen diese Zahlen, daß heute nahezu 60% der Bewohner dieser Erde in absoluter Energiearmut leben. Der geringe Energieverbrauch pro Kopf ist sicher nur ein unzureichender Indikator zur Beschreibung der dramatischen Probleme in den Ländern der Dritten Welt, die durch Armut, Unterernährung, Naturzerstörung, Energiemangel und durch ein starkes Bevölkerungswachstum gekennzeichnet sind. Alle diese Probleme sind untereinander wechselseitig vernetzt.

Weltweit hat die Nahrungsmittelproduktion insgesamt mit dem Bevölkerungswachstum schrittgehalten und es werden

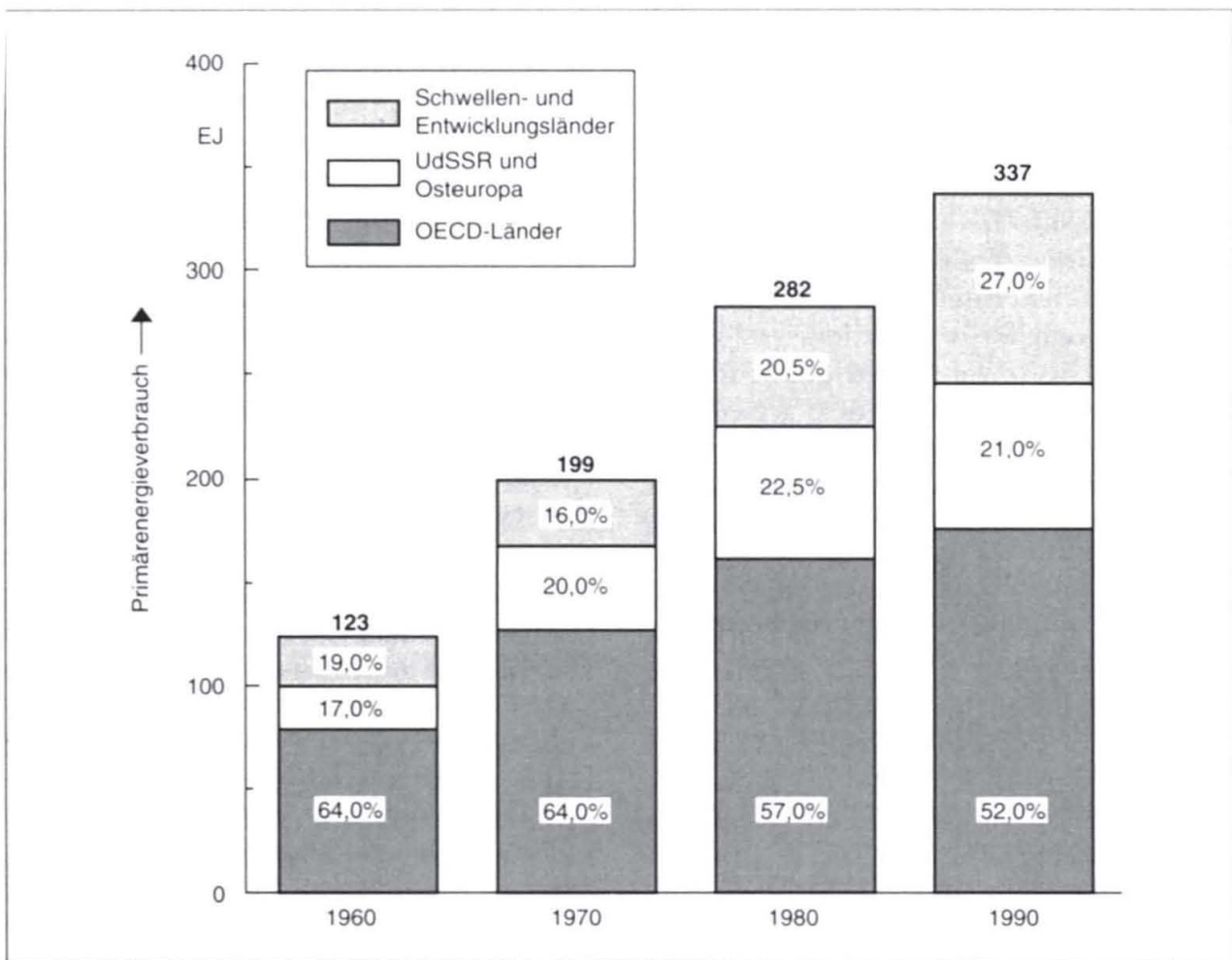


Bild 1.1 Weltenergieverbrauch nach Ländergruppen

heute genügend Nahrungsmittel produziert, um alle Erdenbürger ernähren zu können. Und doch gibt es viele Gebiete auf dieser Erde, in denen Hunger und Unterernährung herrschen. Die Zahl der unterernährten Menschen ist auf 512 Mio. angestiegen [1-3]. In vielen Entwicklungsländern blieb die Nahrungsmittelproduktion hinter dem Bevölkerungswachstum zurück oder ging sogar absolut zurück. Die Armut in diesen Ländern verhindert, daß sie die Nahrungsmittel kaufen, die in anderen Regionen im Überschuß produziert werden. Die extensive Landwirtschaft, verbunden mit einer Ausweitung der Agrarflächen, hat in vielen Entwicklungsländern zu einer Vernichtung von Waldbeständen geführt. Die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisa-

tion der Vereinten Nationen (FAO) schätzt, daß jährlich allein über 170 000 km² an Tropenwald abgeholzt werden; dies entspricht fast der halben Fläche des vereinten Deutschlands. Hinzu kommen die Waldrodungen in den Trockenwäldern. Der kommerzielle Holzeinschlag im tropischen Regenwald ist ein wichtiger Faktor für die Waldvernichtung, bedeutsamer aber sind die Gewinnung von Brennholz und Agrarland. Es wird geschätzt, daß die Umwandlung von Waldgebieten in Agrarland heute zu drei Vierteln zur Waldzerstörung beiträgt. Ungenügende Düngung im Zusammenhang mit den traditionellen Anbau- und Viehzuchtmethoden führen zu einer raschen Abnahme der Fruchtbarkeit, mit der Folge, daß neuer Wald gerodet werden

muß. In vielen Entwicklungsländern leisten das Brennholz sowie tierische und pflanzliche Abfälle einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung. Für die Landbevölkerung sind sie oft die einzigen verfügbaren Energiequellen. In einigen Ländern Afrikas werden 80 bis 90% des geschlagenen Holzes zum Kochen verwendet, wobei die Holzentnahme zumindest lokal und regional die nachwachsende Menge übersteigt. Die Verknappung von Brennholz hat in vielen Gebieten zu einer verstärkten Verbrennung von tierischem Dung geführt, so daß dieser als natürlicher Dünger fehlt und die Bodenfruchtbarkeit zurückgeht, was tendenziell die Rodung von Wald zur Gewinnung von Ackerland verstärkt.

Eine für eine wachsende Bevölkerung ausreichende Nahrungsmittelproduktion wird ohne eine Ausweitung der Agrarflächen zu Lasten des Waldbestandes wohl nur durch Intensivierung der Landwirtschaft erreicht werden können. Die Erhöhung der Hektarerträge durch ertragreichere Pflanzen, gezielte Düngung und Bewässerung, einen auf das Notwendige beschränkten Pflanzenschutz und eine mechanische Bodenbearbeitung erfordern aber ebenso wie die Verringerung von Nachernteverlusten durch Trocknung und Kühlung einen vermehrten direkten und indirekten Einsatz von Energie; und zwar von Energieträgern, wie sie heute den Landbewohnern in Entwicklungsländern nicht zur Verfügung stehen. Die Verfügbarmachung von mehr Energie ist somit eine der notwendigen Voraussetzungen zur Lösung der Ernährungsprobleme in den Ländern der Dritten Welt und zur Erhaltung der Wälder und ihrer wichtigen Funktion für das Klima, den Wasserhaushalt und den Schutz der Böden.

Dies gilt wohl auch für die Überwindung der Armut. Wenn sich die Entwicklungsmuster der Vergangenheit fortsetzen, wird der Anteil der Armen an der Menschheit sinken, ihre Gesamtzahl aber weiter ansteigen. Der Unterschied im Einkommen zwi-

schen den Industriestaaten und einigen Entwicklungsländern, insbesondere denen in Süd-Ost-Asien, hat sich in den letzten Jahrzehnten verkleinert, während er in bezug auf andere Entwicklungsländer deutlich gewachsen ist. Verstärkte Anstrengungen und ggf. auch neue Entwicklungsstrategien sind notwendig, um humane Lebensumstände in diesen Ländern zu schaffen. Dies erfordert die Entwicklung von Schlüsselbereichen wie der Energieversorgung, des Transport- und Kommunikationswesens sowie der landwirtschaftlichen und industriellen Produktion. Die notwendigen Entwicklungsfortschritte der Dritten Welt werden, auch unter Berücksichtigung der bestehenden Energieeinsparpotentiale, nicht ohne einen Mehreinsatz an kommerzieller Energie zu erreichen sein. Die Energie muß darüber hinaus kostengünstig sein, damit diese Länder nicht einen zu großen Teil ihrer knappen Ressourcen für die Energiebereitstellung aufwenden müssen, die dann an anderer Stelle fehlen. Kostengünstige und nicht teure Energie ist auch eine Voraussetzung für ihre Konkurrenzfähigkeit in der Weltwirtschaft.

Die Lösung der Ernährungs-, Umwelt-, Energie- und Entwicklungsprobleme und damit die Überwindung der Armut wird dabei erschwert durch das starke Wachstum der Bevölkerung in diesen Ländern. Etwa drei Viertel der Weltbevölkerung von gegenwärtig 5,3 Mrd. Menschen lebt in Entwicklungsländern. Obwohl die Wachstumsraten der Bevölkerung in den Entwicklungsländern ihren Höhepunkt überschritten haben, wächst die Bevölkerung noch um 2,1 %/a. Von den 375 000 Kindern, die weltweit jeden Tag geboren werden, werden 325 000 in den Entwicklungsländern geboren. Die höchsten Wachstumsraten sind dabei in den ärmsten Ländern zu verzeichnen. Historisch gibt es einen engen Zusammenhang zwischen der Wachstumsrate der Bevölkerung und dem erreichten materiellen Wohlstand. Nicht weniger als

95 % des Zuwachses der Weltbevölkerung in den nächsten 35 Jahren wird auf die Entwicklungsländer Afrikas, Asiens und Lateinamerikas entfallen [1-3, 1-4]. Von der für das Jahr 2025 prognostizierten Weltbevölkerung von rund 8,5 Mrd. Menschen werden dann nur noch 16% in den heutigen Industrieländern leben.

Diese Perspektiven der Bevölkerungsentwicklung in den Entwicklungsländern, die Überwindung von Hunger und Armut, das Überflüssigmachen der Umweltzerstörung aus Not umreißen eine der zentralen Herausforderungen, mit denen die Menschheit konfrontiert ist. Die Bewältigung dieser Herausforderung wird nur möglich sein, wenn Energie im notwendigen Umfang und zu vertretbaren Kosten bereitgestellt werden kann. Damit ist eine der zentralen Zukunftsaufgaben der Energieversorgung umschrieben, nämlich die Bereitstellung kostengünstiger Energie zur Sicherung der Ernährungsbasis und zur Verbesserung der materiellen Lebensumstände einer wachsenden Bevölkerung in der Dritten Welt bei gleichzeitiger Rückführung der Inanspruchnahme der Energiequelle Wald auf ein für dieses Ökosystem verträgliches Maß.

Gefordert sind in diesem Kontext neben den Entwicklungsländern natürlich auch die reichen Industrieländer, nicht nur aus Solidarität, sondern in ihrem ureigenen Interesse. Es wäre kurzsichtig und verhängnisvoll anzunehmen, daß die Industriestaaten den Problemen von Hunger, Armut, Verelendung und Naturzerstörung in den Entwicklungsländern länger tatenlos gegenüberstehen können, weil sie selber nicht direkt betroffen sind. Wie auch immer die Entwicklungsperspektiven der Industrieländer sein mögen, die Welt wird dauerhaften Frieden und anhaltende Prosperität erst finden können, wenn in den Entwicklungsländern Hunger und Armut überwunden und humane Lebensbedingungen erreicht sind, d.h. wenn das Nord-Süd-Gefälle abgebaut ist. Eine Welt, in der 85% der Men-

schen arm und 15% reich sind, kann auf Dauer keine friedliche Welt sein.

2.2 Energie und Umwelt

Ein weiterer Problembereich, der die Lage der Menschheit am Ende des zwanzigsten Jahrhunderts kennzeichnet, ist die zunehmende Umweltbelastung, die Gefahr, daß bei Fortsetzung der gegenwärtigen Trends die natürlichen Lebensgrundlagen nachhaltig verändert und ggf. irreversibel geschädigt werden.

Da der Mensch in und von der Natur und Umwelt lebt, hat es Eingriffe in die Natur, hat es Veränderungen der Umwelt in allen Kulturstufen der Menschheitsentwicklung gegeben. Beispielsweise hatte das Abholzen der Wälder in Italien und Griechenland in der Zeit von 400 v.Chr. bis 300 n.Chr. Klimaveränderungen und Verkarstungen zur Folge. Im Zuge der Industrialisierung, die mit einem stetig steigenden Energieverbrauch einherging, haben die unerwünschten Nebeneffekte von Produktion, Konsum und Energieverbrauch in der Regel zugenommen, und in vielen Bereichen ist eine neue Dimension der Umweltinanspruchnahme erreicht. Das Überschreiten kritischer Schwellen ist nicht auszuschließen. Die Gewinnung, Umwandlung und Nutzung von Energieträgern ist eine der Hauptquellen, in vielen Bereichen die wichtigste Quelle, der Belastung der Umwelt und der Veränderung von Natur.

Hinzu kommt, daß zumindest in den heutigen Industriegesellschaften, der Nutzen, der von den für jedermann verfügbaren Energiesklaven ausgeht, zu einer Selbstverständlichkeit geworden ist, der oft bewußt gar nicht mehr wahrgenommen wird. So sind hier die negativen Folgen einer intensiven Anwendung von Technik im allgemeinen und die unerwünschten Nebenwirkungen der Energienutzung auf die Umwelt und Natur sowie die Gesundheit des Menschen

im speziellen in den Vordergrund des öffentlichen Bewußtseins getreten. Dabei sollte aber berücksichtigt werden, daß es die Fortschritte der Technik und die wachsende Verfügbarkeit von Energie waren, die die natürlichen Lebensrisiken, die Bedrohung durch die Naturgewalten erheblich reduziert haben. H. Grümm [1-5] hat diesen Sachverhalt wie folgt beschrieben: „Die Energie und die aus ihr fließenden Wohltaten Licht, Wärme, Nahrung und Kleidung zeigen sich als technische Umwelt, ohne die der Prothesengott Mensch nicht existieren kann. Die Umwelt ‚Natur‘, deren früherer Ungestörtheit wir heute nachtrauern, enthüllt sich aber bei schwindender Energieproduktion als Feind, als Quelle von Kälte, Hunger und Krankheit.“

Die von der Gewinnung, Umwandlung und Nutzung von Energieträgern ausgehenden Schädigungen, Gefährdungen und Einwirkungen auf die Umwelt sind vielfältig und in ihrer Vernetztheit und Komplexität nicht vollständig verstanden. Sie resultieren aus der Abgabe von Schadstoffen in die Luft und das Wasser, der Abgabe von Abwärme an die Fließgewässer und die Atmosphäre, der Notwendigkeit der Entsorgung fester und flüssiger Nebenprodukte sowie aus der Inanspruchnahme von Flächen, Böden und nicht energetischen Rohstoffen. Sie haben Auswirkungen auf die natürlichen Ökosysteme, das Klima und die Gesundheit des Menschen, aber auch auf Kulturgüter und das Landschaftsbild. In der Vergangenheit waren die Umweltauswirkungen des Energiesystems im wesentlichen lokal und regional begrenzt und konnten durch lokale und nationale Maßnahmen beeinflußt werden. Heute sind die anthropogen verursachten Belastungen so nachhaltig, daß die Schäden und Gefährdungen kontinentaler und globaler Natur sind. Die großräumige Ausbreitung von Schadgasen, wie Schwefeldioxid und Stickoxid, ist ebenso wie die globale Wirkung der sogenannten Treibhausgase ein Beispiel dafür. Die Eingrenzung dieser

globalen Umweltbelastungen übersteigt die Möglichkeiten einzelner Länder; sie erfordert ein international oder weltweit abgestimmtes und gleichgerichtetes Handeln.

Umweltbelastungen der Energieversorgung lassen sich in vielen Fällen durch technische Maßnahmen reduzieren oder ganz vermeiden. Beispiele hierfür sind die Staubbückhaltung bei der Verbrennung von Kohle und die Rauchgasentschwefelung und -entstickung, die die Emissionen von SO₂ und NO_x um mehr als 80% vermindern. Mit der Umsetzung der hier bestehenden erprobten technischen Möglichkeiten treten zwei Aspekte als die entscheidenden Umweltgefahren immer deutlicher heraus:

- Die Vernichtung von Wäldern in den Ländern der Dritten Welt und in deren Folge der Verlust von Böden, die Ausweitung von Versteppung, Verwüstung und
- die Veränderung des Klimas durch die Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre.

Auf den Sachverhalt, daß die Waldvernichtung mit der Energieversorgung verknüpft ist, ist schon hingewiesen worden. Die großflächige Waldvernichtung führt zu regionalen Störungen des Klimas, welche sich durch Temperaturerhöhungen, geringere Niederschläge und längere Dürreperioden äußern. Bodenerosionen und damit der Verlust land- und forstwirtschaftlicher Nutzflächen sind die Folgen. Vom ursprünglichen Bestand der tropischen Wälder ist heute weniger als die Hälfte übrig geblieben. Eine Fortsetzung dieser Entwicklung würde die Tropenwaldbestände bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts auf rund 15% ihres ursprünglichen Bestandes dezimiert haben, was einen nahezu vollständigen Verlust ihrer Nutz- und Schutzfunktionen bedeuten würde [1-6]. Nachhaltige Erfolge, die Vernichtung ökologisch wichtiger Waldbestände zu stoppen, werden wohl erst erzielt werden können, wenn für die Menschen in den ländlichen Gebieten der Entwicklungsländer der Kampf um das tägliche

Überleben nicht mehr alle Kraft beansprucht. Die in den Ländern der Dritten Welt stattfindende Umweltzerstörung aus Not verschärft darüber hinaus den Treibhauseffekt. Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand trägt die Vernichtung der Wälder zu rund 15% zum zusätzlichen, vom Menschen verursachten Treibhauseffekt bei. Die anthropogenen Veränderungen des Klimas aufgrund einer Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre wird gegenwärtig von vielen als das bedrohlichste Umweltproblem für die gesamte Menschheit angesehen [1-1, 1-6]. Die Weltkonferenz von Toronto „The Changing Atmosphere“ sprach von einem unkontrollierten Experiment, das die Menschheit mit der Atmosphäre der Erde durchführt und dessen Konsequenzen letztlich mit einem weltweiten Atomkrieg vergleichbar sein könnten. Und die Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des 11. Deutschen Bundestages charakterisiert die Problemdimension wie folgt: „Die Veränderung der Erdatmosphäre, der zusätzliche Treibhauseffekt und die daraus resultierenden Klimaänderungen und Folgewirkungen sowie damit zusammenhängend die Rolle der klimarelevanten Emissionen aus dem Energiebereich, der Abbau der Ozonschicht in der Stratosphäre sowie die Vernichtung der tropischen Wälder stellen eine weltweite Gefährdung für die Menschheit und die ganze Biosphäre der Erde dar. Werden keine wirksamen Gegenmaßnahmen ergriffen, ist mit dramatischen Folgen für alle Regionen der Erde zu rechnen“ [1-6].

Mit dem Beginn der Industrialisierung haben die Menschen begonnen, die Zusammensetzung der Erdatmosphäre zu verändern. Die Konzentration von Kohlendioxid und Methan, die für den natürlichen Treibhauseffekt mitverantwortlich sind, hat durch menschliche Aktivitäten zugenommen. Zusätzliche Treibhausgase, wie Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoff (FCKW)-Verbindungen, sind hinzugekommen. Hauptquel-

le der anthropogenen Treibhausgasemissionen ist der Energiebereich. Auf die weltweite Nutzung fossiler Energieträger sind rund 50% der anthropogenen Treibhausgasemissionen zurückzuführen.

Unter den Klimatologen herrscht weitgehende Übereinstimmung über die prinzipiellen Wirkungen des Treibhauseffektes und seine Größenordnung, obwohl in Teilbereichen des komplexen Klimasystems noch Wissenslücken bestehen [1-7]. Halt der Trend der Freisetzung von Treibhausgasemissionen unverändert an, wird die globale Mitteltemperatur im Laufe des kommenden Jahrhunderts um $0,3^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt (mit einem Unsicherheitsbereich von $0,2^{\circ}\text{C}$ bis $0,5^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt) ansteigen. Dies ist eine Erwärmungsrate, wie sie in den letzten 10 000 Jahren niemals aufgetreten ist. Dies wird zu einem wahrscheinlichen Anstieg der globalen Mitteltemperatur um etwa 1°C bis zum Jahr 2025 und um 3°C noch vor dem Jahr 2100 führen. Wichtig ist in diesem Kontext noch die Feststellung, daß aufgrund der Verzögerungseffekte im Klimasystem die einer Erhöhung der atmosphärischen Spurengaskonzentration zuzurechnenden Klimaänderungen erst nach 20 bis 25 Jahren spürbar werden.

Die Auswirkungen der Treibhausgasanreicherung in der Atmosphäre auf das Klima sowie die Folgen der Klimaveränderungen lassen sich derzeit nur qualitativ beschreiben [1-8]. Als direkte Folgen der Erhöhung der Treibhausgaskonzentration werden ein Ansteigen der bodennahen Lufttemperatur (mit einer über die Breitengrade unterschiedlichen Verteilung), ein Anstieg des Meeresspiegels, eine Änderung der atmosphärischen Zirkulation und der Niederschlagsverteilung sowie die Häufung extremer Wettersituationen, wie z. B. hohe Temperaturen, tropische Wirbelstürme und Starkniederschläge, erwartet. Wesentliche, befürchtete Auswirkungen sind Verschiebungen der Klima- und Vegetationszonen, der Verlust großer Landflächen durch den

Meeresspiegelanstieg, Beeinträchtigungen der Wasserressourcen vieler Gebiete und Störungen des Systemgleichgewichtes in den Ökosystemen aufgrund einer unterschiedlichen Anpassungsfähigkeit an die steigende CO₂-Konzentration.

Die Klimaproblematik stellt sich aus Sicht der Energie- und Umweltpolitik als ein klassisches Entscheidungsproblem unter Unsicherheit dar. Die Einleitung von Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgasemissionen kostet ggf. Milliarden und hat Auswirkungen auf die wirtschaftliche Entwicklung. Auf der anderen Seite besteht die Gefahr, daß bei einem Abwarten, bis alle noch offenen Fragen geklärt sind, die klimaverändernden Prozesse so weit fortgeschritten sind, daß aufgrund der Dynamik des Systems katastrophale Klimaveränderungen nicht mehr zu vermeiden sind. Versteht sich die Energie- und Umweltpolitik auch als Vorsorgepolitik, die im Sinne der Nachhaltigkeit heute Anstrengungen und Belastungen auf sich nimmt, um Risiken von den kommenden Generationen abzuwenden, dann besteht angesichts der zu befürchtenden Folgen von Klimaveränderungen für die globalen Lebensbedingungen und angesichts der Irreversibilität der klimaverändernden Prozesse politischer Handlungsbedarf. Dann verbietet es sich, wissenschaftliche Klarheit in den offenen Fragen abzuwarten, die zeitlich zudem heute nicht absehbar ist.

Um die Klimaänderung und die Konsequenzen auf ein tolerierbares Maß zu begrenzen, hat die Weltkonferenz „The Changing Atmosphere“ von Toronto gefordert, die weltweiten CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005 um 20% und bis zum Jahr 2050 um 50% gegenüber denen des Jahres 1987 zu reduzieren. Bei gleichzeitigen Minderungen der anderen Treibhausgasemissionen (CH₄, N₂O und FCKW) ließe sich damit der Anstieg der äquivalenten CO₂-Konzentration auf ein Niveau begrenzen, das 50% über dem der vorindustriellen Zeit liegt.

Reduktionen der globalen Kohlendioxidemissionen in einem derartigen Ausmaß bzw. die dazu notwendigen Einschränkungen des Verbrauchs fossiler Energieträger sind dabei vor dem Hintergrund zu sehen, daß nahezu alle Energieprognosen von einem weiteren Anstieg des weltweiten Verbrauchs an fossilen Energieträgern ausgehen.

Die Verfügbarmachung ausreichender Energiemengen zur Sicherung der Ernährung und zur Verbesserung der materiellen Lebensumstände einer insbesondere in den unterentwickelten Regionen wachsenden Weltbevölkerung bei gleichzeitiger Rückführung der Inanspruchnahme der knappen Ressourcen Umwelt und Natur, so daß die natürlichen Lebensgrundlagen auf Dauer erhalten und die Klimaveränderungen auf ein noch tolerierbares Maß begrenzt werden, sind die zentralen Zukunftsaufgaben einer zusammenwachsenden Welt am Ende des zwanzigsten Jahrhunderts. Sie werden dann noch ergänzt durch jeweils spezifische Aufgabenfelder, die sich aus der jeweiligen regionalen und nationalen Situation ergeben. Für die Bundesrepublik Deutschland ist dies insbesondere die sich aus der wiedergewonnenen staatlichen Einheit ergebende Aufgabe der Modernisierung und tiefgehenden Umgestaltung der Energieversorgung der ehemaligen DDR. Aber auch die mit der Schaffung eines europäischen Binnenmarktes verstärkt notwendig werdende Integration der nationalen Energiewirtschaften sowie die Nutzung der sich aus den Umwälzungen in Mittel- und Osteuropa ergebenden neuen energiewirtschaftlichen Möglichkeiten sind hier zu nennen [1-9].

- 3 Energiebedarf: Wie wird er sich entwickeln?

Wir leben in einer Zeit erheblicher Unterschiede des materiellen Wohlstandes, eines

schnellen Wandels von Wirtschaft und Gesellschaft sowie von unvorhergesehenen Ereignissen, die wie die Ölpreiskrisen erheblichen Einfluß auf die Energieversorgung haben können. Noch wächst die Weltbevölkerung exponentiell und der durch technischen und wissenschaftlichen Fortschritt bewirkte Wandel der wirtschaftlichen Strukturen hin zu einer post-industriellen Gesellschaft schreitet ungebremst fort, ohne daß der Weg oder das Ziel im einzelnen zu erkennen ist.

All dies reduziert die Prognosefähigkeit und erschwert Aussagen über die Zukunft im allgemeinen und die Entwicklung dessen, was wir Energiebedarf nennen, im besonderen. Dabei gilt es sich zu vergegenwärtigen, daß es sich bei einer Betrachtung, z. B. des Jahres 2030, nicht um eine ferne Zukunft handelt, denn von den Menschen, die im Jahre 2030 leben werden, sind bereits 40% geboren. Viele der Anlageninvestitionen, z. B. im Bereich der Kraftwerke oder Erdgastransportleitungen, über die heute entschieden wird, werden vermutlich im Jahr 2030 noch in Betrieb sein. Bevor zu der Entwicklung des Energiebedarfs einige quantitative Aussagen gemacht werden, seien einige grundlegende Anmerkungen zu den Möglichkeiten und Grenzen der Ermittlung der Energiebedarfsentwicklung vorangestellt.

Die Nutzung von Energie ist kein Selbstzweck, sondern sie dient letztlich der Produktion einer Vielzahl von Gütern sowie der Bereitstellung von Dienstleistungen, wie z. B. eines warmen Raumes, einer Mahlzeit, einer Beförderung vom Ort A zum Ort B oder der Kommunikation über große Entfernungen [1-10]. Damit haben wir im eigentlichen Sinne des Wortes keinen Bedarf an Energie, sondern an Mobilität, Kommunikation und anderen Dienstleistungen sowie an Gütern, deren Bereitstellung und Erzeugung mit einem Einsatz von Energie verbunden ist. Knizia [1-11] spricht in diesem Zusammenhang davon, daß es um den

Aufbau bzw. die Erhaltung lebenswerter Ordnungszustände und von Unterscheidungsmöglichkeiten als eine notwendige Voraussetzung für Leben überhaupt geht. Da entsprechend den Naturgesetzen der Thermodynamik (gemeint ist hier insbesondere der zweite Hauptsatz der Thermodynamik) in abgeschlossenen Systemen ein Abbau von Gefällen und Ordnungszuständen, d. h. eine Zunahme der Entropie, oder anders ausgedrückt, von Gleichförmigkeit und Unterscheidungslosigkeit stattfindet, ist die ständige Zufuhr von Arbeitsfähigkeit (Exergie) notwendig, um die Entropiezunahme auszugleichen und die lebensnotwendigen Ordnungszustände zu erhalten. Neben der Exergie oder Arbeitsfähigkeit, die aus Energie gewonnen werden kann, bedarf der Aufbau bzw. die Erhaltung nützlicher, d. h. lebensfördernder Ordnungszustände noch des Einsatzes von Information oder von Wissen im Sinn von Gestaltungsfähigkeit, um die Arbeitsfähigkeit für die angestrebten Zwecke einzusetzen und nicht zu vergeuden. Zur Gewinnung von Arbeitsfähigkeit (Exergie) aus den den Menschen verfügbaren Energiequellen sind technische Systeme notwendig, deren Herstellung den Einsatz von Arbeitsfähigkeit und Gestaltungsfähigkeit (Information und Wissen) erfordert. Auch sie zählen zu den oben angesprochenen Ordnungszuständen.

In der realen Welt ist der Verbrauch von Arbeitsfähigkeit zur Herstellung oder Erhaltung von Ordnungszuständen immer größer als die thermodynamisch minimal notwendige Arbeit. Allgemein gesprochen hängt er vom Stand des Wissens und dem Aufwand ab, der in die Systeme zur Erhaltung und Schaffung von Ordnungszuständen investiert wird. Übertragen in das Gedankengebäude der Ökonomie ist damit gemeint, daß die Bereitstellung von Gütern und Dienstleistungen (immaterielle Güter im weitesten Sinn), also von Ordnungszuständen, mit einer in Grenzen variablen Kombination von Produktionsfaktoren

möglich ist, d. h. bei einem geringeren Einsatz von Energie oder besser gesagt von Arbeitsfähigkeit ist ein Mehr an anderen Produktionsfaktoren nötig bzw. umgekehrt. So läßt sich z. B. eine angenehme Raumtemperatur in einem gut isolierten Gebäude mit einem geringeren Nutzenergieeinsatz als in einem schlecht isolierten Gebäude erreichen.

Da die klassische Volkswirtschaftslehre die Produktion von Gütern und Dienstleistungen mittels der Produktionsfaktoren Kapital, Arbeit und Boden beschreibt, die Arbeitsfähigkeit der Energie als Produktionsfaktor also nicht kennt, kann es nicht verwundern, daß auf ihr aufbauende Ansätze zur Abschätzung des Energiebedarfs und seiner Entwicklung zu wenig befriedigenden Ergebnissen führen. Hierin ist sicher ein wesentlicher Grund für die zahlreichen Fehlprognosen im Energiebereich zu sehen. Weiterführende Ansätze, die die Arbeitsfähigkeit von Energie, Information und Wissen (Gestaltungsfähigkeit) als eigentliche Produktionsfaktoren zur Schaffung von materiellen und immateriellen Leistungen und Ordnungszuständen betrachten und die begrenzte Aufnahme- und Regenerationsfähigkeit von Umwelt und Natur miteinbeziehen, lassen noch keine praktische Anwendung zu. Ein weiterer Aspekt, der bei den heute verwendeten Methoden der Energiebedarfsanalyse keine Berücksichtigung findet, ist der Zusammenhang zwischen Energieeinsatz bzw. Exergieverbrauch und Zeit. Im Produktionsbereich wie auch im Verkehr wird Arbeitsfähigkeit verwendet, um Produktionsabläufe zu beschleunigen bzw. um die Transportgeschwindigkeit zu erhöhen, also um Zeit zu sparen. Quantitativ sind die hier angesprochenen Zusammenhänge aber noch weitgehend unerforscht.

Es bleibt also zu konstatieren, daß das gegenwärtige Wissen über die den Energiebedarf bestimmenden Faktoren einschließlich der Zusammenhänge zwischen dem

Produktionsfaktor Energie bzw. Exergie und anderen Produktionsfaktoren noch sehr begrenzt ist. Dies gilt auch für den Einfluß von zukünftigen Fortschritten in Wissenschaft und Technik auf den Energiebedarf. Bedenkt man weiterhin, daß die Entwicklung wichtiger Determinanten des Energiebedarfs, wie z. B. die Wirtschaftsentwicklung oder die Energiepreisentwicklung, hochgradig unsicher sind, dann wird deutlich, daß verlässliche Aussagen im Sinne einer Prognose der tatsächlich eintretenden zukünftigen Energiebedarfsentwicklung wohl nicht möglich sind. Da die zukünftige Entwicklung des Energiebedarfs damit nicht prognostizierbar ist, kann es bei der Frage nach der Entwicklung des Energiebedarfs nur darum gehen, aus gegenwärtiger Sicht denkbare und plausible Entwicklungen aufzuzeigen, um unter Berücksichtigung der Unsicherheiten diejenigen heute einzuleitenden Maßnahmen abzuleiten, die im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachweltverantwortung notwendig sind, um die Deckung des Energiebedarfs zu ermöglichen, falls er sich so entwickeln sollte. In diesem orientierenden Sinne sind die folgenden Aussagen zur Entwicklung des Energiebedarfs zu verstehen.

3.1 Weltweiter Energiebedarf

Der weltweite Verbrauch an kommerzieller Energie hat sich in den letzten drei Jahrzehnten etwa verdreifacht. 1990 betrug er 337 EJ. Die durchschnittliche Wachstumsrate, die vor 1973 bei rund 5%/a lag, ist danach auf etwa 2%/a abgesunken. Der Pro-Kopf-Verbrauch in den Schwellen- und Entwicklungsländern hat sich seit 1973 um etwa 50% erhöht, während er in den westlichen Industrieländern (OECD-Länder) im Jahr 1990 in etwa auf dem Niveau des Jahres 1973 war. Dennoch verbraucht ein Einwohner in den westlichen Industrieländern gegenwärtig noch zehnmal mehr an kom-

merzieller Energie als im Durchschnitt die Menschen in den Schwellen- und Entwicklungsländern. Diese Diskrepanz und das weltweite Bevölkerungswachstum sind wohl die wesentlichen Gründe dafür, daß die meisten weltweiten Energieanalysen von einem weiteren Anstieg des Energiebedarfs ausgehen. Von den vorliegenden Untersuchungen über die Entwicklung des weltweiten Energiebedarfs seien hier exemplarisch die Ergebnisse der von der Weltenergiekonferenz im Jahr 1989 vorgelegten Untersuchung [1-12] näher erläutert.

Diese Projektionen des weltweiten Energiebedarfs gehen von einem Anstieg der Weltbevölkerung auf 6,1 Mrd. Menschen im Jahr 2000 und auf fast 8 Mrd. im Jahr 2020 aus. Zwei unterschiedliche ökonomische Entwicklungen werden untersucht. Im Falle des moderaten Wachstumsszenarios wird ein Wachstum der Weltwirtschaft von 3,2%/a bis zum Jahr 2000 unterstellt, das danach auf durchschnittlich 2,8%/a bis 2020 zurückgeht. Im Falle des gehemmten Wachstumsszenarios geht die Wachstumsrate im Zeitraum 2000 bis 2020 auf 1,8%/a zurück und beträgt bis zur Jahrhundertwende 2,4%/a. Die unterstellten wirtschaftlichen Wachstumsraten sind dabei in beiden Fällen in den Schwellen- und Entwicklungsländern deutlich größer als für die Länder des Nordens. Was die Effizienzsteigerungen der Energienutzung betrifft, so wird unterstellt, daß sie sich in Zukunft verstärkt fortsetzen.

Bild 1.2 zeigt, daß der weltweite Energiebedarf unter diesen Annahmen bis zum Jahr 2020 um 50 bzw. 75% gegenüber dem des Jahres 1985 ansteigt. Dabei liegen die Wachstumsraten deutlich unter denen der vergangenen Jahre. Trotz dieses Anstiegs bleibt der weltweite Pro-Kopf-Verbrauch nahezu unverändert, und in den Entwicklungsländern nimmt der Pro-Kopf-Verbrauch aufgrund des starken Bevölkerungszuwachses nur um 20 bis 40% zu, obwohl

der gesamte Energieverbrauch in diesen Ländern im Jahr 2020 rund 20% höher ist als in den OECD-Ländern. Aber selbst in dem moderaten Wachstumsszenario wären im Jahr 2020 die Energiearmut und die mit ihr verknüpften Probleme in den meisten Entwicklungsländern noch nicht überwunden. Die Szenarien der Weltenergiekonferenz weisen einen Anstieg der energiebedingten CO₂-Emissionen von 40 bis 70% gegenüber dem heutigen Niveau aus. Der Zielkonflikt zwischen der Bereitstellung ausreichender Energiemengen für eine wachsende Weltbevölkerung und der Vermeidung nicht tolerierbarer Klimaveränderungen, oder allgemeiner ausgedrückt, der Erhaltung der natürlichen Umwelt, tritt in dieser Entwicklungsperspektive der weltweiten Energieversorgung deutlich zu Tage.

Man mag gegen die Projektionen der Weltenergiekonferenz einwenden, daß sie die Möglichkeiten der Einsparung von Energie, d.h. die Substitution von Energie durch andere Produktionsfaktoren, insbesondere in den westlichen und östlichen Industrieländern nicht ausreichend berücksichtigen, obwohl sie globale Effizienzverbesserungen von rund 40% bis 2020 unterstellten. Zu dem hiermit angesprochenen Problemkomplex seien einige einfache Überlegungen angestellt. Eine Verdopplung des Energieverbrauchs pro Kopf in den Entwicklungsländern ist sicher als ein notwendiger, unterer Wert anzusehen, um die Ernährungssituation zu verbessern und die Lebensbedingungen menschenwürdiger zu gestalten. Für die Industrieländer des Nordens sei unterstellt, ohne Prüfung der damit verbundenen Konsequenzen, daß es möglich wäre, den Energieeinsatz je Einwohner langfristig zu halbieren. Vor dem Hintergrund der notwendigen bzw. angestrebten wirtschaftlichen Entwicklung bedeuten beide Annahmen eine Effizienzverbesserung des weltweiten Energieeinsatzes bis Mitte des nächsten Jahrhunderts von ca. 70% im Vergleich zu heute.

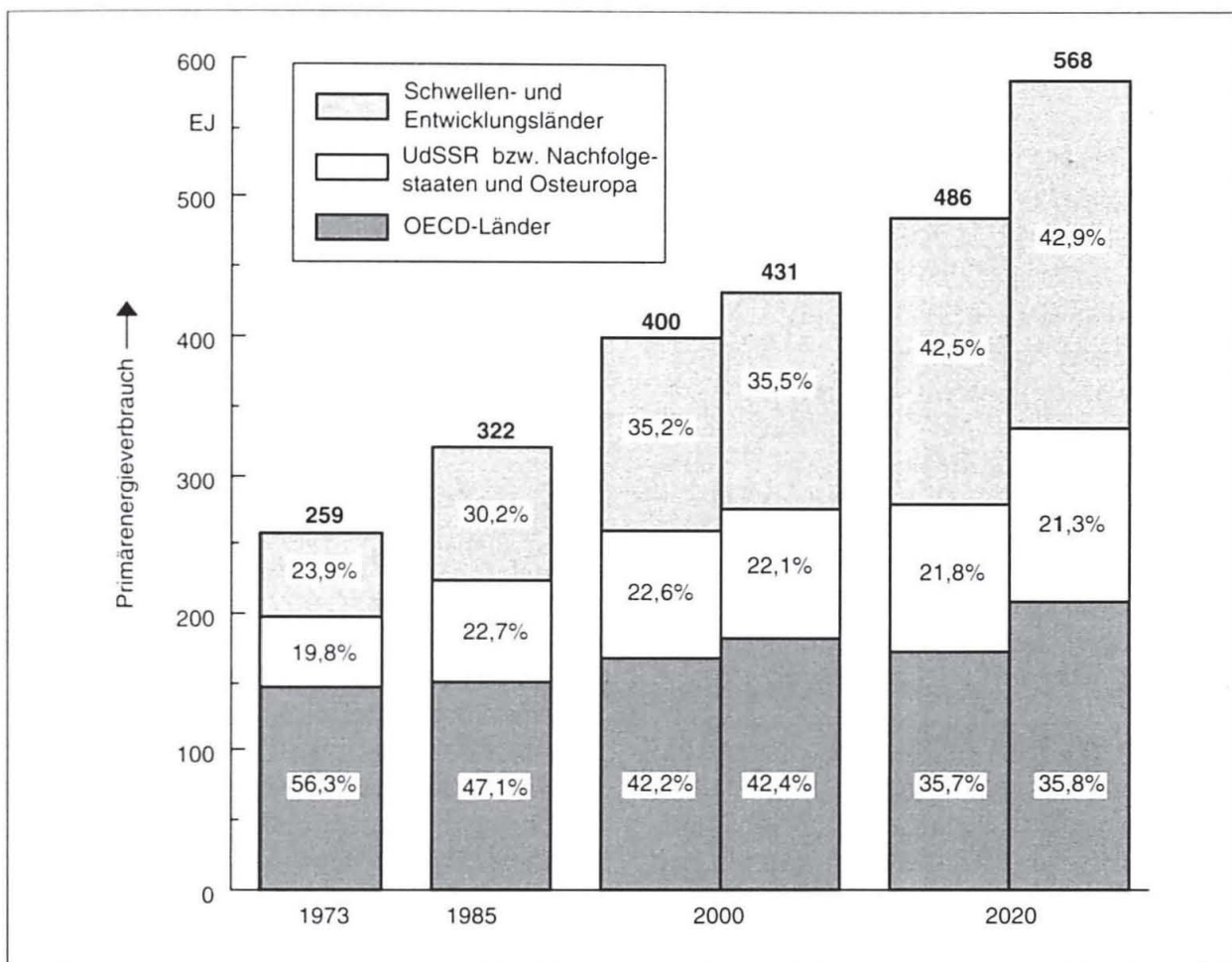


Bild 1.2 Projektionen des weltweiten Primärenergieverbrauchs nach WEC 1989 (Zwei Szenarien, „moderates“ und „gehemmtes“ Wirtschaftswachstum) [1-12]

Die Bevölkerungsprognosen gehen bis zu diesem Zeitpunkt von einem Anwachsen der Weltbevölkerung auf mehr als 10 Mrd. Menschen aus. Tabelle 1.1 zeigt nun, daß auch unter diesen Annahmen der weltweite Energiebedarf bis zum Jahr 2050 auf rund 540 EJ/a, d.h. um 40% ansteigen würde (Szenario B). Geht man von konstanten Pro-Kopf-Energieverbräuchen in den Industriestaaten und einer Verdreifachung der verfügbaren Energie für die Einwohner der heutigen Schwellen- und Entwicklungsländer aus, errechnet sich ein weltweiter Energiebedarf von fast 900 EJ/a (Szenario A).

Diese Abschätzungen zeigen eindrucksvoll, daß selbst bei aus heutiger Sicht drastischen Effizienzverbesserungen der Energie-

nutzung, deren Verträglichkeit mit anderen entwicklungspolitischen Zielen keineswegs gesichert ist, die Perspektiven der weltweiten Energiebedarfsentwicklung auf einen weiter steigenden Energiebedarf hinauslaufen. Die aus heutiger Sicht notwendige Reduzierung der energiebedingten Treibhausgasemissionen wird vor diesem Hintergrund nur erreichbar sein, wenn sich die Energieträgerstruktur der weltweiten Energieversorgung gravierend verändert. Von den rund 540 EJ/a des Niedrigenergieszenarios müßten mehr als 70% durch nicht fossile Energieträger bereitgestellt werden, um die Zielvorgaben der Klimatologen zur Begrenzung der Klimaveränderungen auf ein tolerierbares Maß zu erfüllen.

Tabelle 1.1 Heutiger und möglicher zukünftiger weltweiter Primärenergieverbrauch (PEV)

	1990		2050		2050	
	PEV		Szenario A		Szenario B	
	PEV pro Kopf GJ	PEV EJ	PEV pro Kopf GJ	PEV EJ	PEV pro Kopf GJ	PEV EJ
OECD-Länder	220	174	220	194	110	97
UdSSR bzw. Nachfolge- staaten und Osteuropa	171	71	171	82	85	41
Schwellen- und Entwicklungsländer	22	92	66	605	44	403
Welt	64	337	84	881	51	541

3.2 Energiebedarf in Deutschland

Was nun die Entwicklung des Energiebedarfs in der Bundesrepublik Deutschland betrifft, so könnte man meinen, daß aufgrund der wesentlich besseren statistischen Datenlage verlässlichere Aussagen über die zukünftige Entwicklung des Energiebedarfs möglich seien. Aber bereits ein Rückblick auf die Energieprognosen der Vergangenheit zeigt, daß es selbst in Zeiten kontinuierlicher Entwicklung nicht gelang, die weitere Entwicklung des Energieverbrauchs vorherzusagen. Gelegentliche Treffer sind wohl nur rein statistisch begründet.

Die begrenzte Fähigkeit der Vorausschau hängt mit mangelhaften Kenntnissen über die Bestimmungsfaktoren des Energieeinsatzes sowie die Wechselwirkungen zwischen der Energie und den anderen Produktionsfaktoren und mit den Unsicherheiten über die Entwicklung der gesellschaftlichen und ökonomischen Randbedingungen zusammen, die Einfluß auf den Energiebedarf und seine Struktur haben. In diesem Kontext wird im Rahmen von Zukunftsanalysen oft von der post-industriellen Gesellschaft oder der Informationsgesellschaft gesprochen, auf die sich zumindest die Industrie-

staaten hinentwickeln. Qualitativ seien diese dadurch gekennzeichnet, daß das materialintensive durch ein informationsintensives Wachstum abgelöst werde und daß nach Erfüllung der materiellen Bedürfnisse die immateriellen Bedürfnisse stärker in den Vordergrund treten. Was diese allgemeinen Entwicklungsperspektiven aber nun für den Energiebedarf, seine Höhe und Struktur bedeuten, wie sich z. B. eine zunehmende Freizeit oder die Ausweitung der Kommunikations- und Informationstechniken auf den Energiebedarf auswirken, ist quantitativ heute noch weitgehend unerforscht.

Darüber hinaus erschwert die Vereinigung der beiden deutschen Staaten Aussagen über die zukünftige Entwicklung des Energiebedarfs, da die Ausgangslage in den alten und neuen Bundesländern völlig unterschiedlich ist und die Wirtschaft und Energieversorgung in den neuen Bundesländern am Beginn einer tiefgreifenden und grundlegenden Umstrukturierung steht.

Der Primärenergieverbrauch im vereinten Deutschland betrug im Jahr 1990 rund 14,8 EJ. Davon entfielen 78% auf die alten und 22% auf die neuen Bundesländer. Trotz eines in etwa gleich hohen Primärenergieverbrauchs pro Kopf ist die Struktur des

Energiebedarfs und die Effizienz der Energieverwendung in Ost- und Westdeutschland sehr unterschiedlich; sie sind anderen Entwicklungsmustern in der Vergangenheit gefolgt. Dies lässt sich allein daran erkennen, daß der Primärenergieverbrauch je Einheit Bruttosozialprodukt in den neuen Bundesländern im Jahr 1990 etwa dreimal so hoch wie in den alten Bundesländern war. Was die Entwicklung des Energiebedarfs angeht, ist es deshalb sicher angemessen, die Bundesrepublik Deutschland und die ehemalige DDR getrennt zu behandeln.

Bild 1.3 zeigt die Entwicklung des Primär- und des Endenergieverbrauchs, also der Energieträger, die die Endverbraucher für die Bereitstellung von Wärme, Licht und Kraft einsetzen, für die Bundesrepublik

Deutschland seit 1970. In den fünfziger und sechziger Jahren ist der Primärenergieverbrauch kontinuierlich kräftig mit einer jährlichen Wachstumsrate von 4,6%/a angestiegen. Die erste Ölpreiskrise im Jahre 1973 markiert das Ende dieser Wachstumsphase. Die drastischen Anstiege der Energiepreise im Jahr 1973 und noch einmal am Ende der siebziger Jahre führten zu wirtschaftlichen Rezessionen und zu spürbaren Reaktionen bei den Energieverbrauchern und der Energiepolitik, mit der Energie haushälterischer umzugehen. Beide Effekte bewirkten Anfang der achtziger Jahre einen Rückgang des Primärenergieverbrauchs, der sich in der zweiten Hälfte der achtziger Jahre, trotz des Verfalls der Energiepreise Mitte der achtziger Jahre, dann auf einem Niveau von

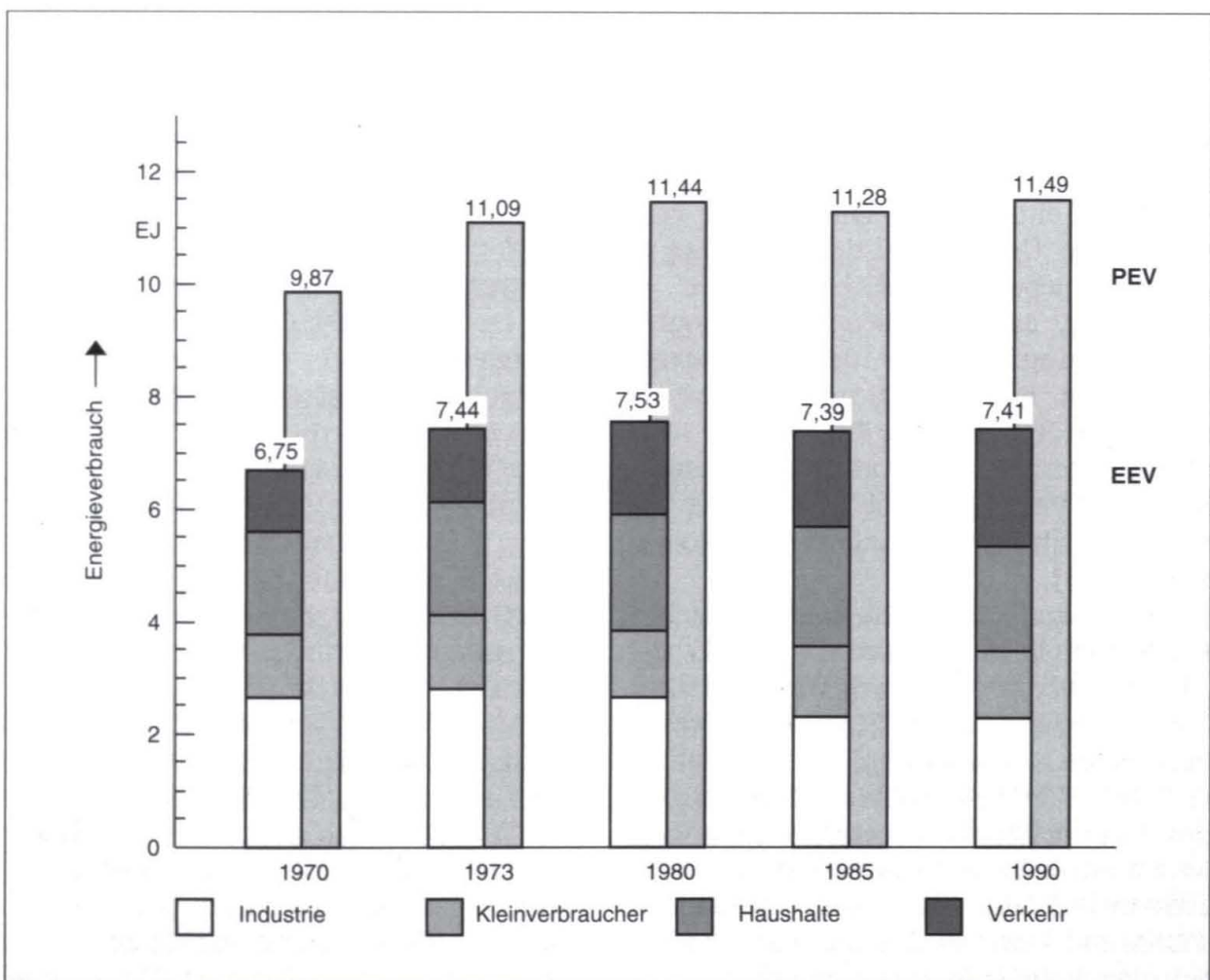


Bild 1.3 Entwicklung des Primär- (PEV) und Endenergieverbrauchs (EEV) in der Bundesrepublik Deutschland (alt)

knapp unter 11,5 EJ/a einpendelte, obwohl die gesamtwirtschaftlichen Aktivitäten ein kräftiges Wachstum zeigten. Insgesamt ist die Primärenergieverbrauchsentwicklung der letzten beiden Jahrzehnte durch eine deutliche Reduzierung der gesamtwirtschaftlichen Energieintensität – definiert als Quotient aus Primärenergieverbrauch und preisbereinigtem Bruttosozialprodukt – gekennzeichnet. Im Vergleich zu 1970 ist die zur Erzeugung einer Einheit des Bruttosozialproduktes notwendige Energiemenge bis zum Jahr 1990 um 28% zurückgegangen.

Die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs ist das Resultat teilweise sehr unterschiedlicher, auch gegenläufiger sektoraler Entwicklungen, wie der Ausweitung von energieverbrauchenden Aktivitäten bzw. der Absenkung der spezifischen Energieverbräuche durch verbesserte Produktions- und Energietechniken sowie struktureller Veränderungen der Produktion im Verarbeitenden Gewerbe (Industrie). Für eine sachgerechte, auf die verschiedenen Ursachen abzielende Analyse der Energiebedarfsentwicklung wäre es notwendig, auf der Ebene der Energiedienstleistung oder der der Nutzenergie anzusetzen. Für beide liegen aber weder ausreichende statistische Erhebungen oder sonstige gesicherte Quantifizierungsmöglichkeiten vor, so daß die Analyse sich im wesentlichen auf die Endenergie beziehen muß [1-13].

Der gesamte Endenergieverbrauch bewegte sich in den letzten 15 Jahren auf einem relativ konstanten Niveau von rund 7,5 EJ/a (siehe Bild 1.3). Deutlich verändert haben sich allerdings die Anteile der einzelnen Verbrauchssektoren. Der Anteil des Verarbeitenden Gewerbes ging von 39,4% im Jahr 1970 auf 31,6% im Jahr 1990 zurück, der des Verkehrs wuchs von 17,1% auf heute 28,2% an, während der der Haushalte und Kleinverbraucher (öffentliche Einrichtungen, Handel, Dienst-

leistungen, Gewerbe und militärische Einrichtungen) sich kaum veränderte.

Der Endenergieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes war, nach einer relativ kontinuierlichen Wachstumsperiode bis zum Jahr 1973, einschneidenden Anpassungsprozessen unterworfen, die zu einem absoluten Rückgang von 2,8 EJ (1973) auf 2,25 EJ im Jahr 1990, also um rund 20%, führten. Wie Bild 1.4 zeigt, werden rund 70% der eingesetzten Endenergie für die Deckung des Prozeßwärmebedarfs der Produktionsprozesse und rund 19% zur Deckung des Kraftbedarfs verwendet. Die Deckung des Raumwärme-, Warmwasser- und Lichtbedarfs waren mit zusammen 11,5% von geringerer Bedeutung [1-14].

Der deutliche Rückgang des Endenergieverbrauchs konnte erzielt werden, obwohl sich die preisbereinigte Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes im Zeitraum von 1973 bis 1990 um 26% erhöhte. Demnach sank der spezifische Endenergieverbrauch um rund ein Drittel. Solche Reduzierungen der spezifischen Energieverbräuche haben auch bereits in den fünfziger und sechziger Jahren stattgefunden. Der Rückgang des spezifischen Endenergieverbrauchs des Verarbeitenden Gewerbes resultiert zum einen aus dem intersektoralen Strukturwandel, der zu einem relativen Rückgang der Produktion der energieintensiven Grundstoffindustrie führte. Zum anderen wirkten auch der sogenannte intrasektorale Strukturwandel, der sich z.B. in der Produktion höherwertiger Güter ausdrückt, und die anteilig stärkere Nutzung von Strom in die gleiche Richtung. Der bei weitem größte Effekt ist aber den technischen Verbesserungen und Neuerungen sowohl bei den Produktions- und Verarbeitungsverfahren als auch bei den Energieanwendungstechniken zuzurechnen. Energieeffizientere Verfahrens-, Prozeß- und Fertigungstechniken, energiebewußte Konstruktion und Materialauswahl, verbesserte Wirkungs- und Nut-

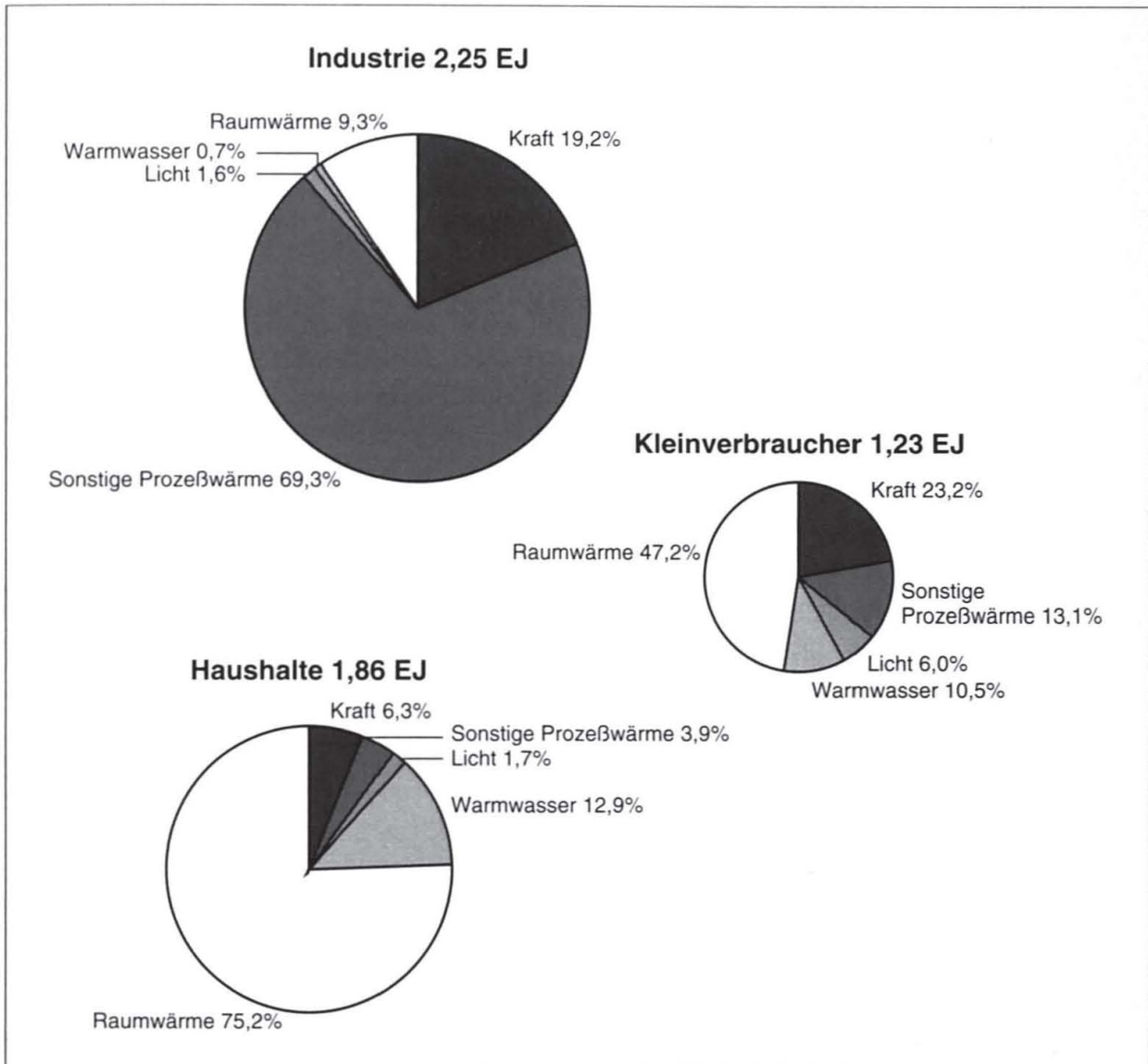


Bild 1.4 Struktur des Endenergieverbrauchs in einzelnen Verbrauchssektoren in der Bundesrepublik Deutschland (alt) im Jahr 1990 [1-14]

zungsgrade von Energieanwendungstechniken, energieoptimierte Steuerung und Regelung und die Energierückgewinnung sind in diesem Zusammenhang zu nennen. Als Beispiel für einen derartigen energiesparenden technischen Fortschritt sei die Ammoniak-Herstellung genannt, wo seit 1950 der Energieverbrauch je Tonne Ammoniak um die Hälfte reduziert werden konnte.

Im Kleinverbrauchersektor, in dem neben den öffentlichen Einrichtungen die Handels- und Dienstleistungsunterneh-

men, das Handwerk und Kleingewerbe sowie die Landwirtschaft zusammengefaßt sind, wird die Energie vornehmlich zur Deckung des Raumwärmebedarfs (47%), des Kraftbedarfs (23%), und des Prozeßwärmebedarfs (13%) eingesetzt (siehe Bild 1.4) [1-14]. Kennzeichnend für die Entwicklung des Energieeinsatzes ist auch hier eine starke Absenkung des spezifischen Endenergieverbrauchs der durch die Ausweitung der wirtschaftlichen Aktivitäten in etwa wieder kompensiert wurde, so daß der gesamte

Endenergieverbrauch sich seit einem Jahrzehnt bei etwa 1,1 EJ/a bewegt.

Bei den privaten Haushalten entfallen 75% des Energieverbrauchs auf die Deckung des Raumwärmebedarfs (s. Bild 1.4). Damit hat die Witterung des jeweiligen Jahres einen erheblichen Einfluß auf den Energieverbrauch der Haushalte. Bereinigt man die in der Statistik ausgewiesenen Endenergieverbrauchsangaben um die Temperatur- und Bestandseinflüsse, dann lag der Endenergieverbrauch der privaten Haushalte im Jahr 1990 leicht über dem des Jahres 1973. In diesem Zeitraum hat sich die Zahl der Wohnungen um fast 20% auf 26,3 Mio. Wohneinheiten erhöht, die durchschnittliche Wohnfläche je Wohnung von 73 auf etwa 88 m² zugenommen, der Anteil von zentral beheizten Wohnungen mit einem spezifisch höheren Energieverbrauch ist weiter angestiegen, und die Ausstattung der Haushalte mit Elektrogeräten hat sich deutlich erhöht. Ein drastischer Anstieg des Energieverbrauchs war deshalb nur durch die Realisierung energiesparender Maßnahmen zu vermeiden. Für den Raumwärmebereich bedeutete dies z. B. einen besseren Wärmeschutz der Gebäude, effizientere Heizungsanlagen, die Verringerung von Lüftungsverlusten sowie verbesserte Regelungsanlagen. Damit konnte seit 1973 der spezifische Verbrauch von Heizöl je m² Wohnfläche um mehr als 30% reduziert werden. Für die übrigen Verwendungsbereiche der Energie, wie die Warmwasserbereitstellung, das Kochen, das Kühlen bzw. die Beleuchtung konnten Energieeinsparungen im wesentlichen durch effizientere, d. h. verbrauchsgünstigere Geräte erzielt werden. Beispielsweise hat sich der spezifische Stromverbrauch von Waschmaschinen bzw. Gefriergeräten im Zeitraum von 1970 bis 1988 um 60 bzw. 56% reduziert.

Eine von den übrigen Sektoren erheblich abweichende Entwicklung nahm in der Vergangenheit der Endenergieverbrauch

im Verkehrssektor. Hier dominierten die verbrauchssteigernden Entwicklungen die auch hier vorhandenen Effizienzverbesserungen. Insgesamt hat sich der Endenergieverbrauch im Verkehrssektor in den letzten zwanzig Jahren um 75% erhöht. Dabei entfallen heute fast 90% des Verbrauchs auf den Straßenverkehr. Dies ist das Resultat einer stetigen, auch durch Kraftstoffpreiserhöhungen und wirtschaftliche Rezessionen fast unbeeinflußt gebliebenen Wachstumsphase sowohl der Straßengüterverkehrsleistung als auch der Personenindividualverkehrsleistung, die in ihren Auswirkungen auf den Energieverbrauch des Sektors Verkehr durch die seit 1978 rückläufigen Kraftstoffverbräuche der Personenkraftwagen (PKW) (13% bei PKW mit Ottomotoren und 17% bei PKW mit Dieselmotoren) nicht kompensiert werden konnten. Auch künftig wird die Entwicklung des Energieverbrauchs im Verkehr wesentlich von den Entwicklungen im Straßenverkehr, d. h. der Verkehrsleistungsentwicklung und der spezifischen Kraftstoffverbräuche der Kraftfahrzeuge bestimmt werden.

Die Entwicklung des Energieverbrauchs in der ehemaligen DDR ist indirekt über die Wirtschaftsentwicklung und direkt über die staatlichen energiepolitischen Vorgaben sowie die staatlicherseits zugeteilten Mittel für Investitionen und Rohstoffimporte massiv von dem zentralen planwirtschaftlichen System beeinflußt worden. Die Abschottung der DDR-Wirtschaft von der internationalen Konkurrenz, die am zentralen Plan und nicht an der Effizienz orientierte Allokation der knappen Ressourcen, die auch aus Devisenmangel erzwungene einseitige Abstützung der Energieversorgung auf die heimische Braunkohle führten zu einem Wirtschafts- und Energieversorgungssystem, das durch technisch veraltete Anlagen und Produktionsverfahren, ineffiziente Energieumwandlungs- und -nutzungssysteme sowie eine hohe Umweltbelastung gekennzeichnet war [1-15].

Im Vergleich zur Bundesrepublik Deutschland (alt) resultiert hieraus ein vergleichsweise hoher spezifischer Energieverbrauch in nahezu allen Verwendungsbereichen der Energie und der Energiewirtschaft selbst. Beispielsweise wurde im gesamten Verarbeitenden Gewerbe in der ehemaligen DDR im Jahr 1989 je Einheit Bruttowertschöpfung etwa 2,4mal soviel Endenergie eingesetzt wie in der Bundesrepublik Deutschland. Der spezifische Energieverbrauch für die Raumwärme lag im Durchschnitt um rund 38% über dem westdeutschen Wert, und der spezifische Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung war unter Berücksichtigung der Transport- und Verteilungsverluste fast 30% höher. Durch die massive Subvention der Energiepreise für die privaten Haushalte fehlte der Anreiz für einen haushalterischen Umgang mit Energie.

In diesem Umfeld hat sich der Primärenergieverbrauch in der ehemaligen DDR wie in Bild 1.5 dargestellt, entwickelt. Nach einem Anstieg von 3 EJ im Jahr 1970 auf rund 3,7 EJ im Jahr 1985 verharnte er bis 1989 auf diesem Niveau, um dann mit dem Rückgang der Produktion aufgrund der in Gang gekommenen Umstrukturierungsprozesse im Jahr 1990 auf 3,3 EJ zurückzugehen. Nach Abzug des Verbrauchs und der Verluste im Energiesektor sowie des nichtenergetischen Verbrauchs standen etwas mehr als 60% der Primärenergie den Letztverbrauchern als Endenergie zur Verfügung. Der Endenergieverbrauch ist bei einer im Zeitraum 1970 bis 1989 leicht rückläufigen Bevölkerungszahl (von 17,1 Mio. auf 16,6 Mio.) um rund 20% angestiegen. Bezogen auf das Jahr 1970 waren dabei die größten Zuwächse im Bereich der Kleinverbraucher und der privaten Haushalte zu verzeichnen. Der Endenergieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes hat seit 1970 nur unbedeutend zugenommen, obwohl die industrielle Warenproduktion um durchschnittlich 4,3%/a angestiegen ist. Die sich hinter diesen Zah-

len verbergenden Reduktionen des spezifischen Energieverbrauchs der Industrie sind beachtlich, haben aber nicht dazu geführt, daß das Energieproduktivitätsniveau Westdeutschlands erreicht wurde.

Der geringe Anteil von rund 11% des Verkehrssektors am gesamten Endenergieverbrauch im Jahr 1989 ist auf den nur schwach ausgeprägten Individualverkehr zurückzuführen. Im Jahr 1989 waren in der ehemaligen DDR nur 3,9 Mio. PKW zugelassen. Damit lag die personenbezogene PKW-Dichte nur halb so hoch wie in der Bundesrepublik Deutschland (alt). Etwa vier Fünftel des Energieverbrauchs der Haushalte und Kleinverbraucher entfallen auf den Energieeinsatz für die Raumheizung. Entsprechend sind die Entwicklung der Wohnfläche bzw. der beheizten Gebäudeflächen sowie die Beheizungsstruktur wichtige Determinanten des Energieverbrauchs in diesen beiden Sektoren. Die bisher vorliegenden Informationen deuten darauf hin, daß die Ausweitung der Wohn- und Gebäudeflächen sowie der Zuwachs an zentralbeheizten Gebäuden die wesentlichen Ursachen für die Zunahme des Endenergieverbrauchs im Zeitraum bis 1989 sind, wobei der auf die Wohn- bzw. Gebäudefläche bezogene spezifische Energieverbrauch eher zu- als abgenommen hat.

Ein Vergleich der Struktur und Entwicklung des Energiebedarfs in der ehemaligen DDR mit der in der Bundesrepublik Deutschland (alt) zeigt, daß es unter den Randbedingungen einer den Mangel verwaltenden, zentral gelenkten Wirtschaft nicht gelang, die bestehenden Möglichkeiten einer rationellen Energieverwendung zu erschließen und die Energie ökonomisch effizient zu nutzen. Damit ist nicht gesagt, daß in der Vergangenheit in der Bundesrepublik Deutschland die Potentiale einer effizienten Energieverwendung bereits ausgeschöpft worden wären, aber es sind doch wesentlich energiesparendere Strukturen realisiert worden.

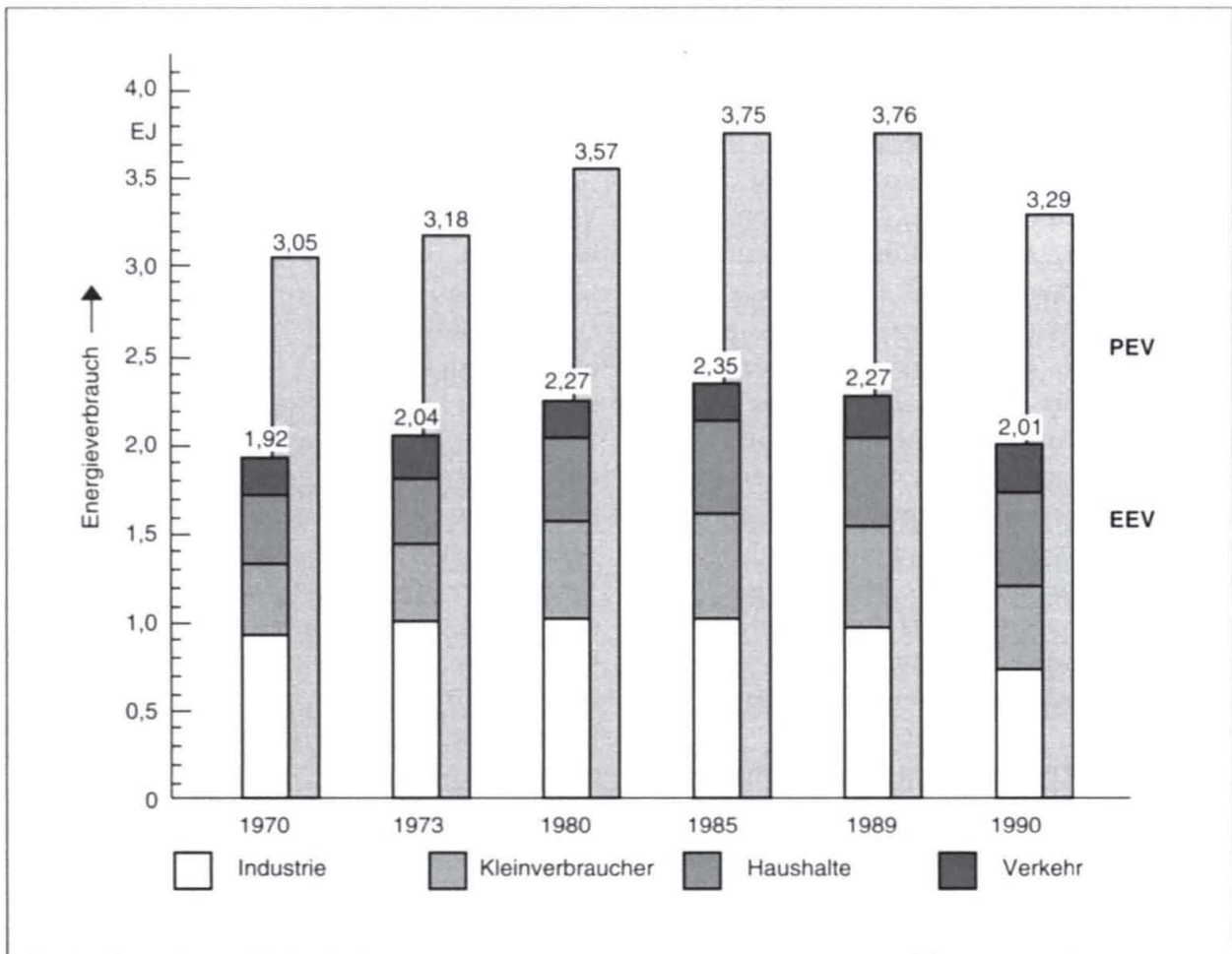


Bild 1.5 Entwicklung des Primär- (PEV) und Endenergieverbrauchs (EEV) in der ehemaligen DDR

Die zukünftige Entwicklung des Energiebedarfs im vereinten Deutschland wird von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt. Wesentlichen Einfluß haben dabei die Bevölkerungsentwicklung, die Wirtschafts- und Wirtschaftsstrukturentwicklung, das Wirksamwerden von Sättigungseffekten, von neuen energieeffizienteren Techniken und von Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung sowie von neuen energieverbrauchenden Aktivitäten. Kurz- bis mittelfristig wird dabei der sich einstellende Energieverbrauch wesentlich vom Verlauf der Umstrukturierungs- und Anpassungsprozesse der Wirtschaft in den neuen Bundesländern und in diesem Zusammenhang auch vom Verlauf des Abbaus des Wohlstands- und Einkommensgefälles zwischen

Ost- und Westdeutschland bestimmt werden. Die Bandbreite der Entwicklung des Energiebedarfs in Deutschland kann in Form von zwei Szenarien beschrieben werden, die unterschiedlichen Zukunftsbildern entsprechen (Bild 1.6) [1-16]. Das Szenario „Europa im Wandel“ geht von einer kräftigen wirtschaftlichen Entwicklung in ganz Europa aus unter Einbeziehung eines marktwirtschaftlich ausgerichteten Osteuropas. Im Szenario „EG als Block“ verstärkt sich der Protektionismus der Wirtschaftsböcke mit der Folge weltweiter Einbrüche des Wirtschaftswachstums. Das durchschnittliche Wachstum des Bruttosozialproduktes in Deutschland beträgt in diesem Szenario nur 2,5%/a, im Vergleich zu knapp 4%/a im Szenario „Europa im Wandel“. In

beiden Szenarien nimmt die Bevölkerung durch Aussiedler aus dem Osten Europas bis 1995 noch zu (auf rund 80 Mio. Menschen) und sinkt danach aus demographischen Gründen auf 77 Mio. Menschen bis zum Jahr 2010 ab.

Der gesamte Endenergieverbrauch steigt im Szenario „Europa im Wandel“ bis zum Jahr 2000 um knapp 10% auf 10,4 EJ/a an und verbleibt dann auf diesem Niveau bis 2010 (siehe Bild 1.6). Der Anstieg resultiert aus weiter steigenden Energieverbräuchen der privaten Haushalte und Kleinverbraucher (höherer Wohnungsbestand, Trend zu mehr Dienstleistungen) sowie des Verkehrs, wo allerdings nach dem Jahr 2000 der abnehmende spezifische Kraftstoffver-

brauch zu einem rückläufigen Energieverbrauch des Verkehrs führt. Im Szenario „EG als Block“ sinkt der Endenergieverbrauch bei einem deutlich geringeren Wirtschaftswachstum, in dessen Folge das Wohlstands- und Einkommensgefälle zwischen Ost- und Westdeutschland nicht abgebaut werden kann, um rund 20% bis zum Jahr 2010 (d. h. auf 7,5 EJ/a). Ein geringeres Verkehrsaufkommen mit einer stärkeren Einschränkung der individuellen Mobilität sowie ein deutlich geringeres industrielles Produktionsniveau bei in etwa gleichen Energieeffizienzverbesserungen wie im Szenario „Europa im Wandel“ sind die wesentlichen Faktoren, die zu dem niedrigeren Endenergieverbrauch führen.

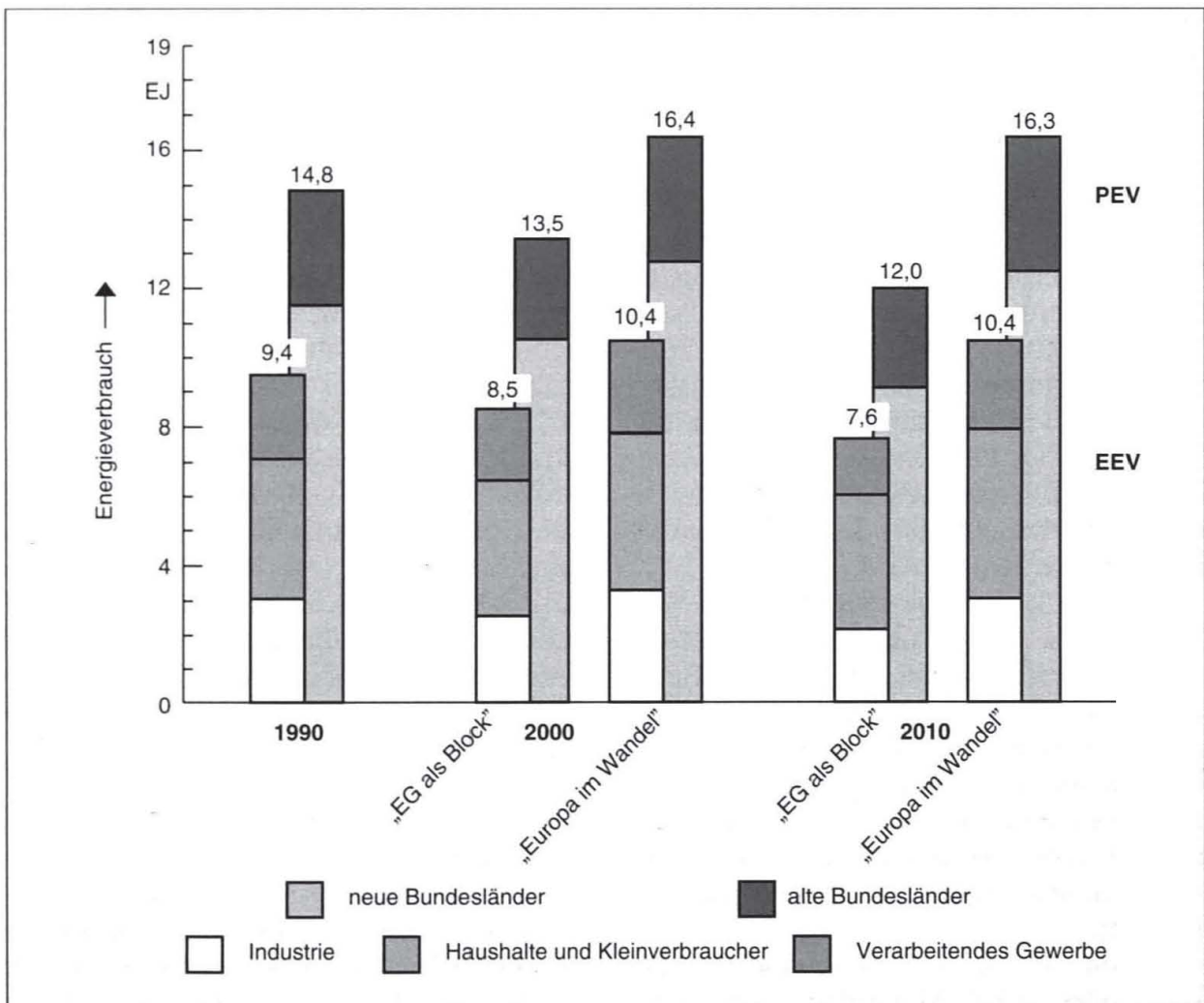


Bild 1.6 Zwei Szenarien zur Entwicklung des Energiebedarfs in Deutschland [1-16]

Die Entwicklung des Primärenergiebedarfs verläuft ähnlich wie die des Endenergiebedarfs. Im Szenario „Europa im Wandel“ steigt er um knapp 10% an und sinkt um ca. 20% im Szenario „EG als Block“. Für das Jahr 2010 spannen damit die beiden Szenarien eine Bandbreite des Primärenergiebedarfs in Deutschland von 12 bis 16,3 EJ/a auf. Dabei sinkt in beiden Szenarien die gesamtwirtschaftliche Energieintensität in den nächsten beiden Jahrzehnten um rund 50%. Zur Einordnung dieses Wertes sei erwähnt, daß sich die Energieintensität im Zeitraum von 1970 bis 1990 in den alten Bundesländern um rund 30% vermindert hat. Der Primärenergieverbrauch in den neuen Bundesländern erreicht nur im Falle der günstigen wirtschaftlichen Entwicklung wieder das Niveau vor der Vereinigung, obwohl sich das Bruttosozialprodukt pro Kopf der Bevölkerung mehr als verdreifacht (s. Bild 1.6).

Die Ergebnisse der Szenarioanalysen deuten darauf hin, daß auch bei einem weiteren erheblichen Wirtschaftswachstum im vereinten Deutschland als Folge von Strukturveränderungen der Verbrauchssektoren, der Nutzung effizienterer Energiewandlungs- und -nutzungstechniken sowie der Realisierung weiterer Möglichkeiten der rationellen Energieverwendung der Energiebedarf, wenn überhaupt, nur moderat steigen wird.

Welche Schlußfolgerungen lassen sich nun für die Perspektiven der weltweiten und bundesdeutschen Energiebedarfsentwicklung ziehen? Zunächst einmal werden wir auch in Zukunft damit leben müssen, daß verläßliche Prognosen der Entwicklung des Energiebedarfs nicht möglich sind. Dennoch lassen sich durch systematische Zukunftsanalysen Orientierungen gewinnen.

Ob die Menschheit sich langfristig bei zehn oder zwölf Milliarden stabilisieren wird, vermag heute keiner zu sagen. Nur,

daß sie verglichen mit heute noch kräftig wachsen wird, scheint sicher. Aus diesem Grund, aber auch zur Überwindung des Hungers und inhumaner Lebensumstände sowie der Umweltzerstörung aus Not in der Dritten Welt wird die Verfügbarmachung von mehr Energie notwendig sein. Es gilt also, sich auf einen weltweit steigenden Energiebedarf einzustellen, ohne sein zukünftiges Niveau genau zu kennen. Für die Bundesrepublik Deutschland ist dagegen aus gegenwärtiger Sicht davon auszugehen, daß auch bei einem weiteren wirtschaftlichen Wachstum der Energiebedarf insgesamt nicht weiter zunehmen muß.

Wenn wir uns also auf einen weltweit wachsenden Energiebedarf einrichten und Vorsorge zu seiner Deckung treffen müssen, gewinnt die Frage nach den Energiereserven und Energiequellen, die der Menschheit zur Verfügung stehen, eine besondere Bedeutung. Auch stellt sich die Frage, ob ein weltweit steigender Energieverbrauch und eine für die Bundesrepublik Deutschland in etwa konstante Energiebedarfserwartung mit der Erhaltung der natürlichen Umwelt und der Vermeidung nicht tolerierbarer Klimaveränderungen vereinbar ist und welche Rolle dem Strom für die Deckung des zukünftigen Energiebedarfs sowie als Substitut für die heute überwiegend genutzten Endenergieträger fossilen Ursprungs im Rahmen der Eindämmung der Klimagefahren national und weltweit zukommt. Im folgenden wird deshalb auf die Frage nach den verfügbaren Energievorräten und -quellen eingegangen.

4 Energie: Eine knappe Ressource?

Die Furcht vor einer Energieknappheit hat die Menschheit in ihrer Geschichte immer wieder bewegt. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts kam in England die Sorge auf,

daß mit der Erschöpfung der heimischen Kohlevorräte ein Niedergang der englischen Wirtschaft bevorstehe, und in den USA wurde in den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts eine wachsende Ölverknappung erwartet. Zuletzt wurde die Furcht vor einer Verknappung der Energie durch den Bericht des Club of Rome „Die Grenzen des Wachstums“ popularisiert und bei breiten Bevölkerungsschichten durch die Ölkrise in den siebziger Jahren geschürt.

Im Rückblick zeigt sich allerdings, daß die Reichweiten der Energievorkommen meist unterschätzt wurden. Trotz eines stetig gestiegenen Verbrauchs waren die sicher gewinnbaren Reserven an Erdöl und Erdgas noch nie so groß wie heute. Vor diesem Hintergrund vermeintlicher Energieknappheit und eines Höchststands der gewinn-

baren Reserven sei im folgenden der Versuch gemacht, die Frage nach den Energievorräten und Energiequellen, die der Menschheit heute oder in Zukunft zur Verfügung stehen, ein wenig zu erhellen.

In Bild 1.7 sind die Energieträger und Energiequellen aufgeführt, die grundsätzlich für eine Nutzung in Frage kommen. Die Energieträger lassen sich den erschöpfbaren Energievorräten und den quasi unerschöpflichen Energieströmen zuordnen. Letztere werden von der Energie aus den nuklearen Fusionsprozessen der Sonne, den radioaktiven Zerfallsvorgängen in der Erdkruste, der Restwärme des Erdkerns sowie aus der kinetischen und potentiellen Energie der Planeten gespeist. Die unterschiedliche Natur der endlichen Energievorräte und der in menschlichen Zeitmaßstäben unerschöpf-

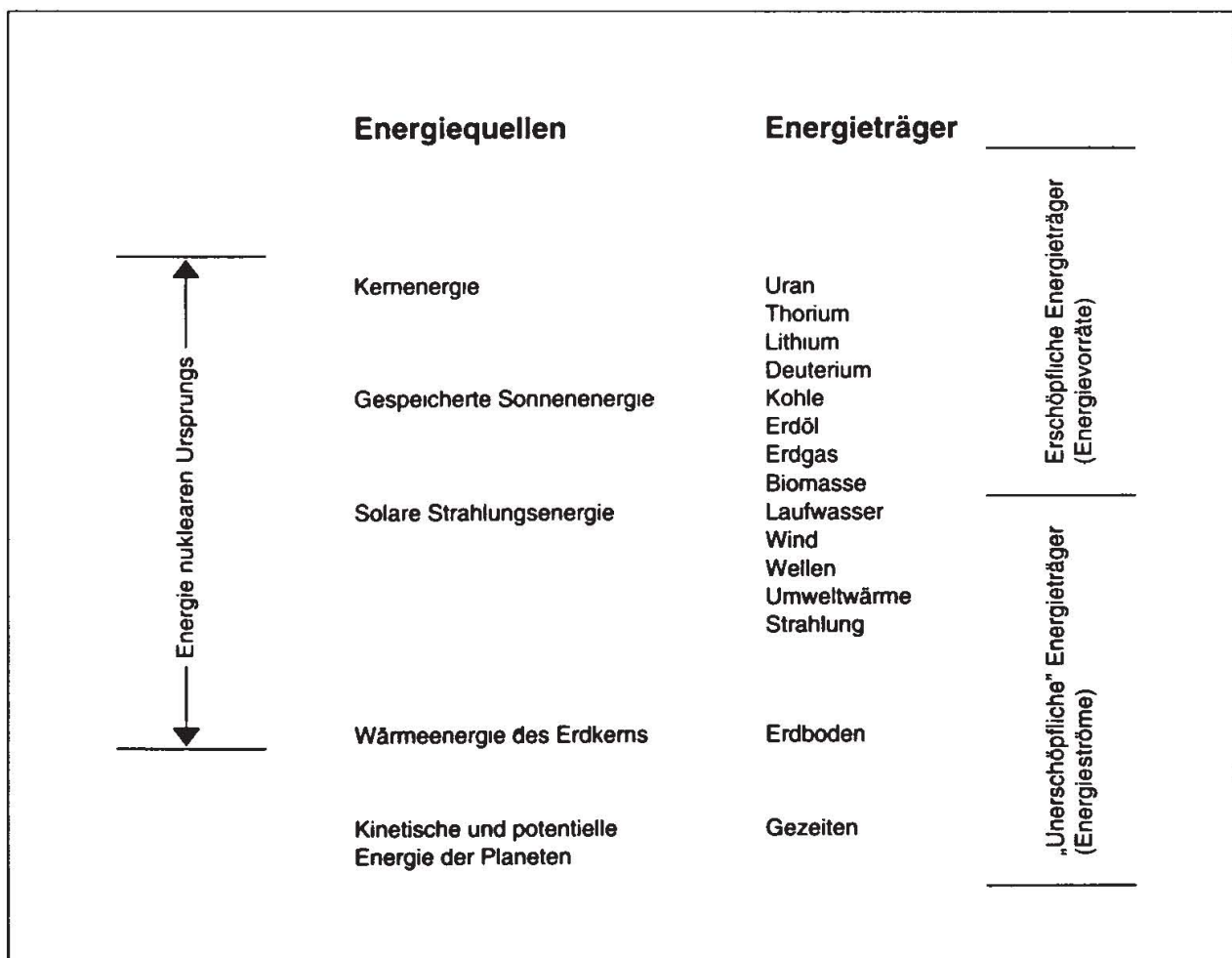


Bild 1.7 Energiequellen der Menschheit

lichen Energieströme, oft auch als erneuerbare oder regenerative Energieträger bezeichnet, erlaubt es nicht, ihre quantitativen Aspekte mit einheitlichen Begriffen wie Reserven und Ressourcen zu beschreiben.

4.1 Fossile und nukleare Energieträger

Zu den Energievorräten zählen die fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas als gespeicherte Sonnenenergie und die Kernbrennstoffe Uran, Thorium, Deuterium und Lithium (als Brutstoff für Tritium für die Kernfusion). Die Frage nach den in der Erdkruste insgesamt vorhandenen und gewinnbaren fossilen und nuklearen Energievorräten ist nicht zuverlässig zu beantworten, da bisher nur an wenigen Stellen der Erde nach diesen Stoffen exploriert worden ist. Hinzu kommt, daß zur Klassifizierung der Vorräte keine einheitlichen Begriffe und Kriterien verwendet werden. Hier wird als sicher gewinnbare Reserven der Teil der Ressourcen verstanden, der sorgfältig untersucht und nachgewiesen ist und der unter den gegenwärtigen ökonomischen und technischen Bedingungen gewinnbar ist. Die geschätzten zusätzlichen Ressourcen

bezeichnen den Teil der gesamten Vorratsbasis, der vermutlich in Zukunft von ökonomischem Interesse sein könnte. Diese Begriffsabgrenzungen machen deutlich, daß Angaben zum Umfang von Reserven und Ressourcen von der Energiepreisentwicklung abhängen und daß Fortschritte in der Explorations- und Gewinnungstechnik die Reserven- und Ressourcenmengen verändern können.

Einen Überblick über die Reserven- und Ressourcensituation der fossilen Energieträger gibt Tabelle 1.2 [1-17, 1-18]. Im Jahr 1990 beliefen sich die sicher gewinnbaren Reserven der fossilen Energieträger auf rund 34000 EJ. Rein rechnerisch können die gewinnbaren Reserven der fossilen Energieträger den gegenwärtigen Verbrauch für etwa 100 Jahre decken. Die geschätzten zusätzlichen Ressourcen sind dann noch etwa achtmal so groß wie die gewinnbaren Reserven. Die gewinnbaren Reserven von Erdöl und Erdgas haben sich in den letzten 20 Jahren fast verdoppelt bzw. verdreifacht, dennoch machen sie zusammen nur knapp 30% der fossilen Reserven aus. Zu den konventionellen Ölvorkommen kommen noch die Vorräte an Schweröl, Ölschiefer und Teersand hinzu, die aber erst

Tabelle 1.2 Reserven und Ressourcen fossiler Energieträger (Stand 1990) [1-17, 1-18]

	<i>Sicher gewinnbare Reserven</i>		<i>Geschätzte zusätzliche Ressourcen</i>		<i>Statische Reichweite der sicher gewinnbaren Reserven in Jahren</i>
	<i>in EJ</i>	<i>in %</i>	<i>in EJ</i>	<i>in %</i>	
Kohle	17 848	52,0	217 612	77,8	186
Erdöl	5 797	16,9	6 357	2,3	46
Erdgas	3 777	11,0	7 299	2,6	66
Ölschiefer	5 119	14,9	28 157	10,1	
Teersande	277	0,8	11 945	4,3	
Schweröle	1 493	4,4	8 106	2,9	
Summe	34 311	100,0	279 476	100,0	102

bei höheren Ölpreisen wirtschaftlich nutzbar sind. Die größten Erdölvorkommen befinden sich im Nahen Osten. Hier konzentrieren sich zwei Drittel der gewinnbaren Reserven, während in den westlichen Industrieländern, die fast 60% des weltweit geförderten Erdöls verbrauchen, nur 5% der Reserven lokalisiert sind. Eine ähnliche Diskrepanz zwischen den regionalen Verbrauchszentren und der geographischen Verteilung der Reserven gibt es beim Erdgas. Zwei Drittel der gewinnbaren Erdgasreserven der Welt sind in der ehemaligen Sowjetunion und im Nahen Osten konzentriert.

Energieträger für die Nutzung der Kernenergie durch Kernspaltung sind Uran und Thorium, beides Elemente, die relativ häufig in der Erdkruste vorkommen. Gegenwärtig wird ausschließlich Uran als Kernbrennstoff verwendet. Tabelle 1.3 enthält Angaben zu den sicher gewinnbaren Reserven und den zusätzlichen Ressourcen bis zu Gewinnungskosten von 130 \$/kg Uran. Die Uranreserven in den Ländern der westlichen Welt betragen 3,6 Mio. t Uran. Für die östliche Welt sind die Angaben weniger abgesichert. Die Gesamtressourcen werden hier auf 3,3 Mio. t Uran geschätzt, wovon ca. ein Drittel den nachgewiesenen Reserven zuzurechnen ist. Die weltweiten Uranmen-

gen, die zu höheren Gewinnungskosten verfügbar gemacht werden können, oder die der Kategorie der spekulativen sowie den unkonventionellen (Nebenprodukte bei der Gewinnung anderer Rohstoffe) Ressourcen zugerechnet werden, sind um ein Vielfaches größer.

Da bei der Energieerzeugung durch Kernspaltung nicht nur Brennstoff verbraucht, sondern gleichzeitig auch neuer Spaltstoff erzeugt wird, hängt die Energiemenge, die aus einem Kilogramm Uran gewonnen werden kann, von der Art des Kernreaktors und der Rückführung des Spaltstoffes aus den abgebrannten Brennelementen ab. Bei ausschließlicher Nutzung der 6,9 Mio. t Uran in Leichtwasserreaktoren liegt das Primärenergieäquivalent ohne bzw. mit Recycling der Spaltstoffe zwischen 3450 und 5100 EJ; dies entspricht in etwa den sicher gewinnbaren Erdgasreserven. Durch den Einsatz von brütenden Reaktorsystemen kann aber aus derselben Uranmenge ein Energiepotential bereitgestellt werden, das größer als das aller fossilen Energieressourcen ist.

Das Energiepotential der zweiten nuklearen Energiequelle, der Kernfusion, ist noch größer anzusetzen als das der Kernspaltung. Betrachtet man nur die Deuterium-Tritium-Fusion, die nach dem gegenwärtigen

Tabelle 1.3 Uranreserven und -ressourcen

	Sicher gewinnbare Reserven	Geschätzte zusätzliche Ressourcen	Summe
<i>Gewinnungskosten bis 130 \$/kg Uran</i>			
– Westliche Welt [1000 t]	2 300	1 300	3 600
– Östliche Welt [1000 t]	~ 1 100	~ 2 200	3 300
– Gesamt [1000 t]	3 400	3 500	6 900
<i>Primärenergieäquivalent [EJ]</i>			
– Leichtwasserreaktor	1 700–2 500	1 750–2 600	3 450–5 100
– Brutreaktor	170 000	175 000	345 000

Kenntnisstand am ehesten technisch realisierbar erscheint, so ist das Lithium, aus dem der Brennstoff Tritium erbrütet wird, der das Energiepotential bestimmende Faktor. Die Reserven und zusätzlichen Ressourcen der Landvorräte an Lithium stellen ein Energiepotential dar, das mindestens so groß wie das der fossilen Energieträger, wahrscheinlich aber um den Faktor zehn größer ist.

4.2 Erneuerbare Energieströme

Das Angebotspotential der erneuerbaren Energiequellen, worunter hier die gesamte natürlich dargebotene Energiemenge je Jahr verstanden wird, ist mit 2,6 Mio. EJ/a fast 8000 mal größer als der weltweite anthropogene Energieverbrauch (siehe Tabelle 1.4). Auf die solare Strahlung entfällt dabei der bei weitem größte Anteil. Von dem solaren Energiestrom, der auf die Erdatmosphäre auftrifft (ca. 5,6 Mio. EJ/a) werden etwa 30 % von den äußeren Schichten der Lufthülle direkt reflektiert. Die Energie-

mengen, die von der Lufthülle, dem Land und dem Meer absorbiert werden, sind verantwortlich für den Wind, die Wellen, die Meeresströmungen, die Verdunstung und Niederschläge sowie die Erzeugung von Biomasse durch die Pflanzen. Der größte Teil wird jedoch von den Weltmeeren und Landflächen der Kontinente als Wärmestrahlung ins Weltall abgegeben. Im Vergleich zu der solaren Strahlungsenergie sind die Angebotspotentiale der anderen erneuerbaren Energieträger meist um einige Größenordnungen kleiner. Der gesamte geothermische Wärmestrom liegt bei 1000 EJ/a und die Energie, die durch die Gezeiten dissipiert, ist mit 100 EJ/a um den Faktor 10 kleiner.

Bis auf wenige Ausnahmen ist das natürliche Angebot der erneuerbaren Energieträger durch niedrige Leistungs- bzw. Energiedichten und eine periodisch bzw. unregelmäßig schwankende Verfügbarkeit gekennzeichnet. Die Probleme der Nutzung regenerativer Energiequellen resultieren im wesentlichen aus diesen beiden Charakteristika ihres natürlichen Angebots. Von

Tabelle 1.4 Weltweite Potentiale der regenerativen Energiequellen

	<i>Angebotspotential EJ/a</i>	<i>Technisch nutzbares Potential EJ/a</i>
Solarstrahlung	2 500 000	600
Wasserkraft	158	100
Wind	100 000	100
Biomasse	3 000	190
Geothermie	1 000	64
Gezeiten Wellenenergie, Meeresströmung, Meereswärme	100 } 29–290	} 34
Gesamt	~ 2 600 000	1 088

dem teilweise sehr großen Angebotspotential der erneuerbaren Energiequellen läßt sich nur ein Teil technisch sinnvoll nutzen, da es zum einen konkurrierende Verwendungszwecke, z. B. Landbedarf für die Nahrungsmittelproduktion, und zum anderen technische Randbedingungen, z. B. Mindestwindgeschwindigkeiten für den Betrieb von Windenergiekonvertern, gibt, die auch bei Vernachlässigung von ökonomischen und sonstigen Aspekten nur die Nutzung eines Teils des Angebotspotentials erlauben. Abschätzungen des technisch nutzbaren Potentials sind naturgemäß mit Unsicherheiten behaftet und demgemäß nicht als präzises Datum, sondern als größenordnungsmaßige Orientierung zu verstehen. Das in Tabelle 1.4 aufgeführte technisch nutzbare Potential von etwa 1100 EJ/a entspricht dem Dreifachen des gegenwärtigen weltweiten Energieverbrauchs. Mehr als die Hälfte dieses Potentials entfällt auf die direkte Nutzung der solaren Strahlungsenergie zur Strom- oder Wärmeerzeugung. Aber auch die technischen Potentiale der Biomasse, der Wasserkraft und der Windenergie können größere Beiträge zur Weltenergieversorgung leisten.

Mit dieser Übersicht über die Energievorräte und Energieströme läßt sich die Frage, ob Energie knapp ist und ein begrenzender Faktor für die Entwicklung des Weltsystems werden könnte, wie folgt beantworten. Die gewinnbaren Reserven und zusätzlichen Ressourcen der erschöpfbaren Vorräte an fossilen Energieträgern und des Kernbrennstoffs Uran wären allein rechnerisch in der Lage, den gegenwärtigen weltweiten Energieverbrauch für mehr als 2000 Jahre zu decken. Das Energiepotential der Kernfusion ist, selbst bei Beschränkung auf die Deuterium-Tritium-Fusion, mindestens noch einmal von ähnlicher Größenordnung, und das technisch nutzbare Potential der erneuerbaren Energieströme ist rund dreimal größer als der gegenwärtige weltweite Energieverbrauch. In diese mengen-

mäßigen Betrachtungen sind Energievorräte mit höheren Gewinnungskosten oder spekulative Vorräte nicht mit einbezogen.

Betrachtet man also die Gesamtheit der der Menschheit zur Verfügung stehenden Energievorräte und Energiepotentiale, so scheint die Feststellung gerechtfertigt, daß Energie mengenmäßig nicht knapp ist. Mit den fossilen und nuklearen Energievorräten sowie mit den regenerativen Energieströmen steht uns eine ressourcenseitig praktisch nicht limitierte Energiemenge zur Verfügung, die auch einen erheblich steigenden weltweiten Energiebedarf für sehr lange Zeiträume decken könnte. Mögliche Grenzen des Wachstums des Energieverbrauchs ergeben sich also nicht aus der Begrenztheit oder raschen Erschöpfung der uns verfügbaren Energiequellen und Energieressourcen, sondern eher aus den Problemen im Zusammenhang mit der Nutzung dieser Vorräte und Quellen, den damit verbundenen Kosten, der regional ungleichen Verteilung der Energievorräte und -quellen sowie den Umwelt- und Klimaeffekten, die mit der Nutzung der Energieträger verbunden sind.

5 Gestaltung der Energieversorgung der Zukunft: Maßstäbe und Kriterien

Die Perspektiven der Menschheitsentwicklung enthalten bei einer Fortsetzung der Trends der Vergangenheit im Weltenergiegeschehen durchaus auch unvorstellbare Katastrophen, ausgelöst durch Elend und Armut oder durch die Zerstörung der natürlichen Lebensgrundlagen bzw. die Veränderung des Klimas. Bezüglich dieser Problemanalyse besteht weitgehende Übereinstimmung; ebenso, was den dringenden Handlungsbedarf betrifft, der sich aus ethisch-moralischer Verpflichtung gegenüber dem Menschen in den armen Ländern der Welt und den nachfolgenden Generationen als

auch aus Sorge um Umwelt und Natur ergibt. Die Übereinstimmung ist aber schon geringer, was die anzustrebenden Ziele angeht, und über die einzuschlagenden Wege bestehen zumindest in den Industrieländern zwischen wichtigen gesellschaftlichen Gruppen kontroverse, teilweise gegensätzliche Auffassungen. Mehr als am Zielkonsens fehlt es am Wegekonsens.

5.1 Notwendigkeit einer umfassenden Güterabwägung

Die Bereitstellung und sinnvolle Nutzung von Energie ist zunächst eine technische und ökonomische Aufgabe. Wie alle basiswirtschaftlichen Aktivitäten hat sie aber zugleich starke ökologische, politische, gesellschaftliche und ethische Bezüge. Entscheidungen über die zukünftige Ausgestaltung des Energiesystems sind deshalb letztlich keine technisch oder wissenschaftlich begründbaren Entscheidungen, sondern politische und gesellschaftliche Wertentscheidungen. Bei dem dabei notwendigen Abwägen von Nutzen und Risiken geht es um mehr als um technisch-ökonomische oder naturwissenschaftliche Sachverhalte. In mehr oder weniger starkem Maße sind Grundsatzfragen tangiert, wie die der Wünschbarkeit und Verantwortbarkeit von technischem Fortschritt und der Nutzung dessen, was technisch machbar ist, unseres Verhältnisses zu Umwelt und Natur, der Verantwortung für die kommenden Generationen oder die Frage der Akzeptabilität von zivilisatorischen Risiken, deren Beantwortung moralisch-ethischer Kategorien bedarf und damit von subjektiven Wertvorstellungen und Werthaltungen abhängt. Dies heißt natürlich nicht, daß diese politischen oder gesellschaftlichen Wertentscheidungen losgelöst und unter Nichtbeachtung von technischen Fakten, ökonomischen Tatbeständen, wissenschaftlichen Kenntnissen oder gar unter Ignorierung

von Naturgesetzen verantwortlich getroffen werden können. Im Gegenteil, da sich der zweite Hauptsatz der Thermodynamik nicht durch eine politische Entscheidung außer Kraft setzen läßt, ist mit einer Gesinnungsethik, mit Forderungen und Vorschlägen, die zwar ethisch begründet, aber nur am Realisierungswürdigen, nicht jedoch am Realisierbaren orientiert sind, dem verantwortlichen Handeln nicht gedient [1-19]. Es stellt sich also die Frage nach den Normen, nach jenen ethischen Grundlagen, aus denen heraus die Güterabwägungen erfolgen sollen.

Hans Jonas fordert eine in die Zukunft denkende Ethik, die das Handeln in bezug auf den Einsatz von Technik heute begrenzt, wenn die Kenntnis der Handlungsfolgen unvollständig ist [1-20]. „Der endgültig entfesselte Prometheus, dem die Wissenschaft nie gekannte Kräfte und die Wirtschaft den rastlosen Antrieb gibt, ruft nach einer Ethik, die durch freiwillige Zügel seine Macht davor zurückhält, dem Menschen zum Unheil zu werden“, so schreibt er. Ausgehend von dem ethischen Grundsatz, daß der Einsatz beim Würfeln um die Zukunft nie das „Ganze“ sein darf, verfißt er das Prinzip, daß die von ihm geforderte Zukunftsverantwortung bei der Extrapolation der Handlungsfolgen den schlechten Prognosen den Vorrang vor den guten Prognosen zu geben hat und daß deshalb Wagnisse mit noch so geringen Wahrscheinlichkeiten für negative Konsequenzen vermieden werden müssen. Das Jonassche Prinzip scheint einleuchtend, dennoch verkennt es, daß es beim Umgang und Einsatz von Technik keineswegs um das „Ganze“ geht und, dies erscheint schwerwiegender, daß auch das Unterlassen gravierende Konsequenzen haben kann. Nicht das grundsätzliche Vermeiden vermuteter oder nicht auszuschließender Risiken unter Inkaufnahme bekannter Nachteile kann also die ethisch begründete Handlungsanweisung sein, sondern das sorgfältige und umfassende Abwägen von

Risiken und Chancen des Handelns und des Unterlassens, auch in bezug auf die Lebenschancen der nachkommenden Generationen. Wäre es nicht ein unverantwortbares Wagnis, angesichts der Bevölkerungsexplosion und der Gefahren einer Klimaveränderung keine neuen Wagnisse einzugehen?

Die hier geforderte umfassende Güterabwägung ist ein schwieriger Prozeß, da die zur Rede stehenden Probleme komplex und untereinander vernetzt und die Entscheidungen in ihrer Reichweite von einer Größenordnung sind, die sie dem praktischen Alltagsurteil der Menschen zur Bestimmung von Nutzen und Risiken fortschreitend entzieht. Dies macht anfällig und empfänglich für vermeintlich einfache Lösungen. Wer aber nur eine Dimension, einen Teilaspekt der Gesamtproblematik betrachtet, kommt ggf. zu einfachen Aussagen, wird aber der Verantwortung nicht gerecht. Verantwortliche Güterabwägung wird darüber hinaus nur gelingen, wenn sie versucht, zwischen Fakten und gesicherter Erkenntnis auf der einen Seite und Werturteil auf der anderen Seite so weit wie möglich zu trennen. Die bedenkenlose Vermischung von beiden hat in der Vergangenheit zum Elend der Experten geführt und den gesellschaftlichen Konsensbildungsprozeß verhindert oder zumindest erschwert.

5.2 Suche nach verantwortbaren Wegen

Auf der Suche nach verantwortbaren Wegen für die zukünftige Weltentwicklung und die Versorgung mit Energie stellt sich natürlich die Frage, ob der materielle Wohlstand der reichen Industrieländer auf die gesamte, noch wachsende Weltbevölkerung übertragbar und mit einer globalen dauerhaften Entwicklung vereinbar ist. Die Antwort auf diese Frage ist von entscheidender Bedeutung, ob wir die Vorstellung von den nahen Grenzen des Wachstums und einer dadurch erzwungenen Askese zur

Richtschnur unseres Handelns machen müssen. Oder ob wir uns von der Vorstellung der erweiterbaren Horizonte und damit der Vision einer Energieversorgung leiten lassen dürfen, die verträglich in die Kreisläufe der Natur eingebunden ist, wo ein quasi metastabiles Gleichgewicht besteht, in dem 10 bis 14 Mrd. Menschen auskömmlich und frei von materieller Not sowie in Würde leben können.

Es spricht vieles dafür, daß die von den Neo-Malthusianern ins Feld geführte Begrenztheit der natürlichen Ressourcen sowie die Belastbarkeit der Umwelt nicht die limitierenden Faktoren für ein weiteres Wachstum des Weltsystems sind [1-21]. Wir verfügen heute bereits über technische Möglichkeiten, die Inanspruchnahme von Natur und Umwelt auch bei weiter steigender Produktion auf ein vertretbares Maß zurückzuführen. Energie und die aus ihr gewinnbare Arbeitsfähigkeit ist eine praktisch mengenmäßig nicht limitierte Ressource. Wissen bzw. Information, d.h. Gestaltungsfähigkeit, als der zweite wesentliche Faktor, um materielle und immaterielle Leistungen und Ordnungszustände zu ermöglichen, sind ihrer Qualität nach eine wohl begrenzte, aber keine erschöpfbare Ressource. Im Gegenteil, Wissen und Information sind vermehrbar, allerdings nicht beliebig schnell. Und hier liegt wohl die eigentliche Grenze des Wachstums, wenn die zu lösenden Probleme schneller wachsen als unsere Problemlösungsfähigkeit. Wenn wir uns also von der Vorstellung durch technisch-wissenschaftlichen Fortschritt erweiterbarer Horizonte leiten lassen dürfen – was mit einer undifferenzierten Wachstumsideologie nichts gemein hat, aber sehr wohl etwas mit dem sinnvollen Umgang der durch Wissen und Technik bereitgestellten Möglichkeiten sowie einer neuen Bescheidenheit in unseren materiellen Ansprüchen – dann sind für den Güterabwägungsprozeß zur Identifizie-

rung verantwortbarer Wege der Energieversorgung sicher die Kriterien der Mitwelt-, Nachwelt- und Umweltverantwortung von besonderer Bedeutung [1-22].

Mitweltverantwortung, also die Verantwortung für die in den armen Ländern lebenden Menschen, meint dabei nicht nur die Überwindung der Energiearmut und die Schaffung menschenwürdiger Lebensumstände und entsprechender Entwicklungsmöglichkeiten. Sie beinhaltet auch die Beachtung der Auswirkungen und Rückwirkungen der Eigeninteressen der Industrieländer auf die Länder der Dritten Welt. Die globalen Umwelt- und Klimaprobleme, im wesentlichen verursacht durch die Industrieländer, von denen natürlich auch die Entwicklungsländer betroffen sind, sind ein Beispiel dafür, was hier gemeint ist.

Den nachkommenden Generationen möglichst viele Erbgüter und wenig Erblasten zu hinterlassen, charakterisiert den Bereich der Nachweltverantwortung. Erbgüter wären ein intaktes System Erde und seine natürlichen Kreisläufe, aber auch ausreichende Ressourcen und das Wissen für den Fortbestand und die Weiterentwicklung einer Zivilisation mit deutlich mehr Menschen. Da wir, wie keine Generation zuvor, die fossilen Energieträger ausbeuten, erwächst daraus eine besondere Verpflichtung, Alternativen zum fossilen Feuer zu hinterlassen, um auch unseren Nachkommen die Lebenschancen zu erhalten, die uns selbst zuteil geworden sind. Kämen wir dieser Verpflichtung nicht nach, wäre dies eine Erbblast ebenso wie die Vernichtung der Tropenwälder, wie eine durch den Verbrauch fossiler Energie in unserer Generation angelegte gravierende Klimaveränderung oder wie eine Endlagerung von radioaktiven Abfällen, die die notwendige Isolation für hinreichend lange Zeit nicht gewährleistet. Bei der Güterabwägung hinsichtlich der Umwelteffekte der Energienutzung sind Belastungen sehr unterschiedlicher Natur und Qualität und von unterschiedlicher räumli-

cher und zeitlicher Reichweite zu vergleichen. Dabei gibt es leider keine objektiven und abgesicherten Maßstäbe, weder für den Vergleich verschiedener Umwelteffekte und Risiken untereinander noch hinsichtlich der Belastbarkeitsgrenzen natürlicher Ökosysteme und Kreisläufe.

Verantwortlich handeln heißt aber auch, nicht der Versuchung zu unterliegen, die heute drängenden Probleme mit einer Technik lösen zu wollen, von der wir hoffen, daß sie übermorgen vielleicht anwendungsfähig ist, und es erfordert, mit den verfügbaren knappen Ressourcen effizient und sparsam umzugehen; wobei hier alle knappen Ressourcen, die natürlichen, wie Wasser, Boden, Luft und Rohstoffe, aber auch Kapital, Arbeit, Wissen und Zeit gemeint sind. Eine effiziente Nutzung dieser knappen Ressourcen, als eine Voraussetzung zur Bewältigung der vor uns liegenden Herausforderungen, macht eine Neubestimmung oder zumindest eine Erweiterung des gegenwärtig vorherrschenden und praktizierten Ökonomieverständnisses erforderlich. Das Verhältnis von Ökonomie und Natur bzw. Ökologie muß neu bestimmt werden. Geht man vom gemeinsamen griechischen Ursprung der Begriffe aus, der Ökologie als Haushaltskunde, als Wissenschaft von den Beziehungen der Lebewesen zu ihrer Umwelt und der Ökonomie als Lehre zur Bewirtschaftung dieses „Hauses“, so haben wir, um im Bild zu bleiben, mit unserem bisherigen Ökonomieverständnis, nur einen Teil des Hauses in das „Hauswirtschaften“ mit einbezogen, in dem Natur und Umwelt als freie Güter betrachtet wurden. Das neue erweiterte Ökonomieverständnis muß sich auf das „gesamte Haus“ beziehen. Der haushälterische Umgang mit den knappen Ressourcen Natur und Umwelt sowie die Erhaltung dieser Produktionsfaktoren muß wesentliches Element des Wirtschaftens werden. Die Inanspruchnahme von Natur und Umwelt bzw. die damit verbundenen Schäden treffen heute die Gesellschaft, aber meist nicht

denjenigen, der sie verursacht. Sie sind ökonomisch gesehen externe Kosten. Sie gehören zu den Angelegenheiten, die der Markt nicht durch seine unsichtbare Hand regelt. Will man entsprechend dem erweiterten Ökonomieverständnis Umwelt und Natur in das Hauswirtschaften mit einbeziehen, dann müssen sich die entsprechenden ordnungspolitischen wie marktkonformen Maßnahmen streng am Verursachungsprinzip orientieren, um Fehlallokationen der knappen Ressourcen zu vermeiden.

Die effiziente Nutzung aller knappen Ressourcen ist eine notwendige Bedingung zur Bewältigung der Herausforderungen im Energiebereich an der Schwelle zum nächsten Jahrtausend. Die Forderung, den Energieeinsatz soweit wie technisch möglich zu reduzieren, wird ihr nicht gerecht. Ebenso wenig darf sich der notwendige umfassende Güterabwägungsprozeß zur Identifizierung verantwortbarer Wege der Energieversorgung der Zukunft nicht von Schlagworten oder Ideologien, wie z. B. die einer „dezentralen“ oder „sanften“ Energieversorgung, leiten lassen. Sie sind keine geeigneten Bewertungsmaßstäbe für die Verwirklichung eines Energiesystems, das den Bedürfnissen der Menschen angepaßt ist, den Erfordernissen einer wachsenden Weltbevölkerung gerecht wird und den Belangen von Umwelt und Natur sowie der Schonung knapper Ressourcen Rechnung trägt.

Schrifttum

- [1-1] Die globale Revolution. Club of Rome – Bericht 1991. Hamburg: Verlag Rudolf Augstein 1991
- [1-2] BP Statistical Review of World Energy. London: The British Petroleum Company 1991
- [1-3] Weltbevölkerungsbericht 1990: Entscheidungen für das nächste Jahrhundert. Bonn: Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen e.V. 1990
- [1-4] Weltbevölkerungsbericht 1991. Bonn: Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen e.V. 1991
- [1-5] *Grümm, H.*: Energieerzeugung und Umwelt. ATW 16 (1971), H. 6, S. 278–288
- [1-6] Schutz der Erde. Eine Bestandsaufnahme mit Vorschlägen zu einer neuen Energiepolitik. Dritter Bericht der Enquete-Kommission des 11. Deutschen Bundestages „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre.“ Zur Sache 19/90, Hrsg. Deutscher Bundestag, Bonn, 1990
- [1-7] Policymakers Summary of the Scientific Assessment of Climatic Change. Report to IPCC from Working Group 1, June 1990
- [1-8] *Schönwiese, C. D.; Diekmann, B.*: Der Treibhauseffekt – Der Mensch ändert das Klima. 2. Aufl. Stuttgart: DVA 1991
- [1-9] Das energiepolitische Gesamtkonzept der Bundesregierung. Energiepolitik für das vereinte Deutschland. Bonn: Deutscher Bundestag 12. Wahlperiode Drucksache 12/1799, 1991
- [1-10] *Voß, A.*: Perspektiven der Energieversorgung. Gutachten im Auftrag der Landesregierung von Baden-Württemberg. Stuttgart 1987
- [1-11] *Knizia, K.*: Das Gesetz des Geschehens. Gedanken zur Energiefrage. 1. Aufl. Düsseldorf, ECON 1986
- [1-12] Global Energy Perspectives 2000–2020. London, World Energy Conference 1989
- [1-13] *Ziesing, H.-J.*: Energieverbrauch – Zenit überschritten? In: Schmidt, D.; Heck, H. (Hrsg.): Handbuch Energie. Pfullingen: Verlag G. Neske 1990, S. 49–60
- [1-14] *VDEW-AA „Marktforschung – Elektrizitätsanwendung“*: Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland (alt) nach Anwendungsbereichen im Jahre 1990. Frankfurt am Main 1992
- [1-15] Entwicklung des Energieverbrauchs und seiner Determinanten in der ehemaligen DDR – Kurzfassung. BMWi-Studienreihe Nr. 74, Bonn 1991

- [1-16] Szenarien für Deutschland – Wirtschaftswachstum ohne Energieverbrauchsanstieg – Wege in die Zukunft bis zum Jahr 2010. Aktuelle Wirtschaftsanalysen 21. Deutsche Shell AG, Hamburg 1990
- [1-17] Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 1989
- [1-18] Energie Daten 90. Bundesministerium für Wirtschaft, Bonn 1991
- [1-19] *Heidinger, P. F* Verantwortbare Wege der Energieversorgung. In: Die Zukunft gehört dem Menschen. Stuttgart: EVS 1987
- [1-20] *Jonas, H* Das Prinzip Verantwortung – Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation. 1. Aufl. Frankfurt am Main: Insel 1984
- [1-21] *Voß, A.* Wachstumsgrenzen durch Energieknappheit oder Energienutzung. In: Majer, H. (Hrsg.): Neue Wege der Wachstumsanalyse. Frankfurt am Main: Campus 1986, S. 139–199
- [1-22] *Grawe, J* Perspektiven der Energieversorgung – Verantwortung für Umwelt, Mitwelt und Nachwelt. Frankfurt am Main: VDEW e.V. 1987