

## 4 Potenziale, Forschung und Entwicklung

Eine moderne Industriegesellschaft ist in entscheidendem Maße auf die sichere, umweltfreundliche und wirtschaftliche Versorgung mit Strom und Wärme angewiesen. Um dies zu gewährleisten, hat die Energiewirtschaft in den vergangenen Jahrzehnten eine Infrastruktur aufgebaut, die durch Veränderungen von politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen weiterentwickelt worden ist. Dieser Prozess wird sich fortsetzen:

- Einerseits resultieren aus den gegenwärtig ablaufenden Prozessen wie Liberalisierung und Globalisierung Veränderungen, auf die die Energiewirtschaft reagieren muss, wenn sie weiterhin ihre Aufgaben erfüllen will.
- Andererseits können sich aus der Debatte um eine nachhaltige Entwicklung zusätzliche Impulse ergeben, die sich auch auf energiewirtschaftliche Strukturen auswirken und zu Veränderungen führen werden.

Die bisherige Entwicklung hat auch gezeigt, dass in einer modernen Industriegesellschaft die individuelle Mobilität und die verteilte Produktion von Gütern an unterschiedlichen Standorten zunehmen. Dem Transport von Personen und Gütern kommt daher in einer arbeitsteiligen Gesellschaft eine grundlegende und unverzichtbare Bedeutung zu. Für Personen- und Güterverkehr wurde dementsprechend ebenfalls eine Infrastruktur auf- und ausgebaut. Hier zu zählen Flug-, Binnen- und Seehäfen sowie ein entsprechendes Netz an Verkehrswegen.

Nachhaltige Entwicklung bedeutet auch, Antworten darauf zu finden, wie die Menschen ihr Leben zukünftig gestalten wollen. Neben vielen grundsätzlichen Aspekten ist in diesem Zusammenhang die Frage zu untersuchen, welche Optionen zur Verfügung stehen und wie eine einzelne Option hinsichtlich ihres Potenzials zu bewerten ist. Dabei ist zwischen dem theoretischen, dem technischen und dem wirtschaftlichen Potenzial zu unterscheiden. Hinzu kommt, dass eine derartige Bewertung zeitabhängig ist, also in regelmäßigen Abständen überprüft werden muss.

Potenziale zeigen Möglichkeiten auf. Es bedarf in der Regel systematischer und langfristig angelegter Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, sie zu erschließen bzw. sie zu erweitern, da nur auf diese Weise Kenntnisse vertieft und ausgebaut werden können. Eine Gesellschaft, die ihre Zukunft im Sinne nachhaltiger Entwicklung aktiv gestalten will, muss daher in angemessenem Umfang Forschung und Entwicklung im Energiebereich betreiben.

- So entfallen im Sektor private Haushalte mehr als 80 % der Endenergie auf die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser.
- Im Sektor Industrie dominieren die Prozesswärme mit nahezu 60 % und mechanische Energie mit einem Anteil von etwa 20 % am Endenergieeinsatz.
- Im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) liegt der Anteil der Endenergie für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme bei mehr als 70 %.
- Im Sektor Verkehr dominiert die mechanische Energie; hier ist eine Aufschlüsselung nach Treibstoffen aussagekräftiger.<sup>1</sup>

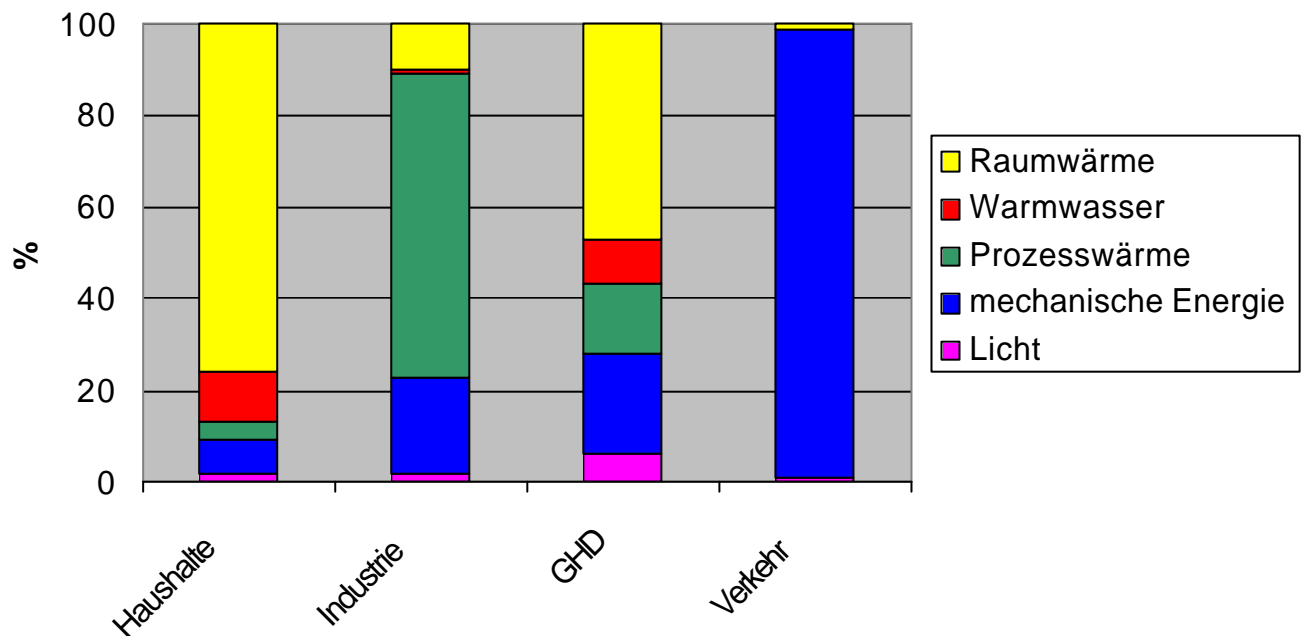


Bild 1: Nutzung nach Sektoren im Jahr 2000 (Quelle: AG Energiebilanzen)

<sup>1</sup> s. Kapitel 4.3 Verkehr.

## **4.1 Strom**

Strom wird benötigt, um Gebäude zu beleuchten und zu klimatisieren, um Lasten und Personen zu transportieren sowie um Nahrungsmittel aufzubewahren und zuzubereiten. Industrielle Produktionsprozesse, moderne Systeme zur Telekommunikation und zur Datenverarbeitung können ohne Strom nicht betrieben werden. Es zeichnet sich ab, dass diese Anwendungsfelder für Strom in ihrer Bedeutung zunehmen werden. Daher wird die effiziente, umweltfreundliche und sichere Erzeugung, Bereitstellung und Nutzung von Strom auch im Zusammenhang mit nachhaltiger Entwicklung große Bedeutung haben.

Vor diesem Hintergrund ist es sinnvoll, die Potenziale und Möglichkeiten der Stromanwendungs- und -erzeugungsoptionen sowie der rationellen Stromnutzung auszuloten und zu bewerten.

### **4.1.1 Stromverbrauch**

Während in den 70er und 80er Jahren in Deutschland die jährlichen Steigerungsraten des Stromverbrauchs mit etwa 4 % (zum Teil sogar sehr viel höher) extrem hoch lagen, fallen die aktuelleren Werte mit 1 bis 1,5 % deutlich niedriger aus. Konjunktur- und witterungsbedingt lag der Zuwachs im Jahr 2001 gegenüber dem Vorjahr bei lediglich etwa 0,5 %. Insgesamt lässt sich also nur noch eine moderate Steigerung des Nettostromverbrauchs feststellen, vielleicht gibt es Anzeichen einer Sättigung (Vgl. Kap. 5, Tab. 21 Stromerzeugung im Referenzszenario). Bedingt durch die Liberalisierung sind die Strompreise seit 1998 deutlich gesunken. Eine Zunahme zusätzlicher Stromanwendungen und somit des Stromverbrauchs ist aber eher unwahrscheinlich, da zukünftig wieder steigende Strompreise das Konsumverhalten beeinflussen werden. Einem zusätzlichen Einsatz von Strom im Wärmemarkt wie z.B. durch Wärmepumpen, sind daher Grenzen gesetzt.

Etwa 46 % des Stroms werden heute von der Industrie verbraucht, ca. 27 % von den privaten Haushalten sowie etwa 23% von den Kleinverbrauchern. Der Rest von etwa 4 % entfällt auf den Verkehrssektor (Bild 2).

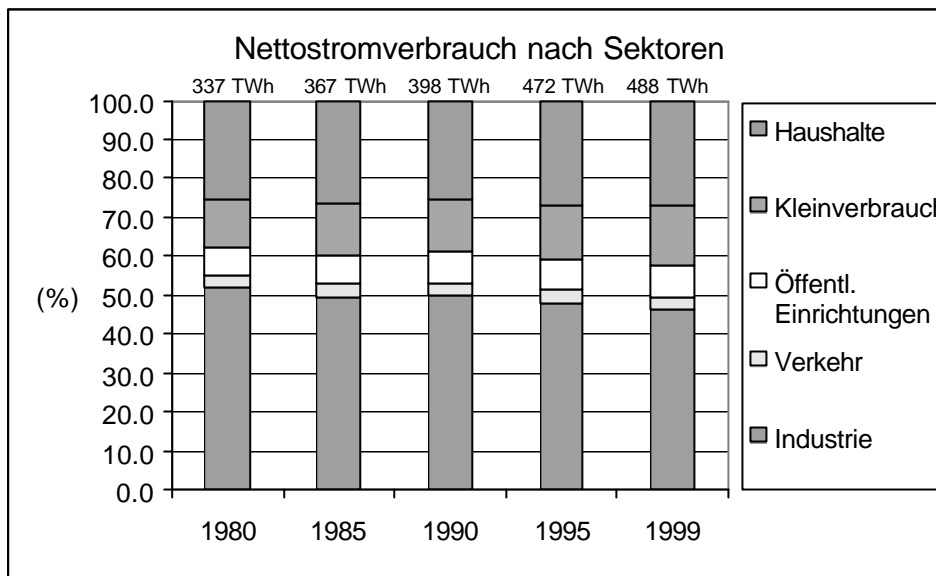


Bild 2: Nettostromverbrauch nach Sektoren (Quelle: BMWi: Energie Daten)

Für die Reduzierung des endenergieseitigen Stromverbrauchs besteht eine Vielzahl von technischen Möglichkeiten. Wichtige Bereiche werden im Folgenden kurz skizziert:

Nach Cremer<sup>2</sup> werden gegenwärtig (1998) etwa 48 % des Verbrauchs an elektrischem Strom für elektrische Antriebe eingesetzt. Sie sind überwiegend in der Industrie zu finden. Für ihren Einsatz werden jährlich etwa 127 TWh benötigt. Im Sektor Kleinverbrauch beträgt der Stromeinsatz für elektrische Antriebe ca. 50 TWh. Große technische Einsparpotenziale bestehen in diesem Bereich im wesentlichen durch den Einsatz energieeffizienter Elektromotoren, durch Optimierung des Gesamtsystems, durch eine effiziente Kraftübertragung sowie drehzahlgesteuerte Motoren. Für beide Sektoren wird ausgehend von den Verbräuchen des Jahres 1998 ein technisches Einsparpotenzial von 25,7 TWh angegeben.

Gemäß der Analyse von Cremer<sup>3</sup> machen Bereitschaftsschaltungen einen deutlichen Teil des Haushaltsstromverbrauchs aus. Rechnet man die Schätzungen von Böde et al.<sup>4</sup> auf das Jahr 1998 hoch, liegt der Wert bei etwa 17,6 TWh. Über analoge Werte aus den Sektoren Kleinverbrauch und Industrie liegen keine Schätzungen vor. Große Einsparpotenziale werden vor allem beim Standby-Mode und beim Scheinaus-Zustand gesehen.

Bezogen auf das Jahr 1998 wird das Einsparpotenzial bei den privaten Haushalten für diesen Bereich auf 83 % (ca. 15 TWh) geschätzt. Etwa 49 TWh des elektrischen Stromverbrauchs

<sup>2</sup> Cremer et al, 2001.

<sup>3</sup> Siehe Fußnote 19.

entfallen auf die Beleuchtung, was etwa 10 % des heutigen gesamten endenergeseitigen Stromverbrauchs entspricht. Der durchschnittliche Nutzungsgrad heutiger Lampen liegt nach Cremer<sup>5</sup> bei etwa 7,8 %, was auf ein erhebliches Einsparpotenzial hindeutet. Wichtige Optionen liegen im Bereich effizienterer Beleuchtungssysteme, der Verwendung von Steuerungseinrichtungen sowie in der verstärkten Nutzung von Tageslicht. Das identifizierte technische Einsparpotenzial unter Einbeziehung von Verhaltensmaßnahmen wird in der oben genannten Studie mit etwa 77 % geschätzt, wobei der absolute Stromverbrauch für die Beleuchtung auf einen Wert von ca. 12 TWh reduziert werden könnte.

Etwa 57 TWh wurden bei den privaten Haushalten für den Betrieb von Waschmaschinen, Trocknern, Geschirrspülern, Kühl- u. Gefriergeräten, Elektroherden sowie sonstigen mechanischen Geräten eingesetzt. Die Möglichkeiten technischer Einsparung sind auch für diesen Bereich gegeben. Nach Cremer<sup>6</sup> besteht ein technisches Einsparpotenzial von gut 25 TWh.

Neben technischer Innovation wird im Kontext von nachhaltiger Entwicklung immer wieder auch der Aspekt des Stromsparens durch Verhaltensänderung thematisiert. Die in der Literatur dazu genannten Potenziale sind nicht vernachlässigbar.<sup>7</sup> Untersuchungen haben aber auch gezeigt, dass fehlende Informationen und Kenntnisse über energetische Zusammenhänge eine Ursache dafür darstellen, dass diese Potenziale erst unzureichend erschlossen sind. Konzepte, die einen derartigen Prozess unterstützen, wie z.B. die Schaltung einer Beleuchtung durch Bewegungsmelder oder den vermehrten Einsatz von Kommunikationstechnik, befinden sich in der Entwicklung bzw. müssen noch gezielter in den Markt eingeführt werden. Derartige Aufgaben gehören zum Kerngeschäft von Energieagenturen. Insgesamt wurden in Deutschland im Jahr 2000 für Informations- und Kommunikationszwecke rund 35 TWh Strom eingesetzt<sup>8</sup>.

Neben den dargestellten Möglichkeiten der Stromeinsparung gibt es auch Möglichkeiten, durch einen verstärkten Stromeinsatz fossile Brennstoffe zu substituieren und damit eine Minderung der Treibhausgasemissionen zu erreichen. Industrie und Gewerbe liefern zahlreiche Beispiele für moderne Elektrowärmeverfahren sowie Anwendungen elektrischer Kraft.

Mit Hilfe von Mikroprozessoren, also (geringem) Stromeinsatz, können Prozesse heute fein geregelt und damit energetisch optimiert werden. In den privaten Haushalten und im Dienstleistungssektor werden Heizung und Warmwasserbereitung elektronisch gesteuert. Die Wärmepumpe dringt als Heizungssystem vor. Elektrische Schienenfahrzeuge sind wesentlich

---

<sup>4</sup> Böde et al., 2000.

<sup>5</sup> siehe Fn 19.

<sup>6</sup> siehe Fn.19.

<sup>7</sup> Vgl. Kapitel 4.2.

<sup>8</sup> VDEW Materialien: Endenergieverbrauch in Deutschland 2000

effizienter als solche mit Diesel- oder gar Kohleantrieb. Jede Verlagerung von Verkehr auf die Schiene bedeutet daher „Energiesparen mit Strom“. Zunehmend lassen sich Fahrten mit dem Pkw durch (stromgebundene) Kommunikationstechniken ganz vermeiden, etwa durch Video-Konferenzen, Heimarbeit (Tele-Arbeit) und Online-Banking. Insgesamt ergeben sich durch derartige Stromanwendungen beachtliche Potenziale für eine Steigerung der Energieeffizienz und zur Minderung der Treibhausgasemissionen.

Weitergehende Ansätze, die – im Gegensatz zur Effizienz - unter dem Begriff Suffizienz zusammengefasst werden, stellen ganze Konsummuster in Frage und bezweifeln ihre Vereinbarkeit mit nachhaltiger Entwicklung. Die Debatte hierzu steht erst am Anfang. Ihr derzeitiger Stand lässt eindeutige und weitreichende Schlussfolgerungen nicht zu.

#### **4.1.2 Stromerzeugung**

Die Stromerzeugung muss insbesondere im Hinblick auf ihre brennstoffspezifische Zusammensetzung sowie die Entwicklung des Kraftwerksparks unter Berücksichtigung des in der Vergangenheit monopolisierten Marktes betrachtet werden. Darüber hinaus ist der Einfluss politischer Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, die insbesondere der strategischen Versorgungssicherheit Rechnung tragen sollten. Beispielhaft sei an dieser Stelle die Kohlevorrangpolitik, der Ausbau der Kernenergie sowie der Ausbau der Fernwärmeversorgung genannt. Der Ausbau der Kraftwerkskapazität richtete sich nach den damaligen Stromverbrauchsprognosen. Die heutige installierte Kraftwerksnettoleistung liegt bei knapp 120 GW, wovon etwa 101 GW der öffentlichen Versorgung, ca. 11 GW der Industrie sowie fast 8 GW sonstigen Erzeugern zugerechnet werden. Gut 20 % der installierten EU-weiten Kraftwerkskapazität befindet sich somit in Deutschland.

Etwa 30% der Stromerzeugung entfallen derzeit auf die Kernenergie, 50 % auf die Kohleverstromung, 9% auf Erdgas sowie ca. 7 % auf Wind und Wasser. Der grenzüberschreitende Stromtransport war - wie in den Vorjahren - im Jahr 2000 mit 45 TWh (Import) bzw. 42 TWh (Export) nahezu ausgeglichen.

Mit der 1998 EU-weit in Kraft getretenen Binnenmarkttrichtlinie Elektrizität wurden die Weichen für einen entmonopolisierten und liberalisierten Energiemarkt gestellt. Diese Entwicklung beeinflusst zukünftige Kapazitätsplanungen. Ausgangspunkt der Planungen ist die derzeit verfügbare freie Kraftwerksleistung, die nach der Leistungsbilanz der allgemeinen Stromversorgung in Deutschland zum Zeitpunkt der Jahreshöchstlast 2000 am 14.11.2000 bei 3,8 GW (1999: 9 GW) lag. Die Kraftwerksplanungen orientieren sich aber nicht ausschließlich an der freien Kraftwerksleistung, sondern zielen auf den Abbau sogenannter Überkapazitäten,

deren Höhe auf ca. 15 GW geschätzt wird.<sup>9</sup>. Der Neubau von größeren Kraftwerken beschränkt sich derzeit hauptsächlich auf den Bau von Contracting-Anlagen.

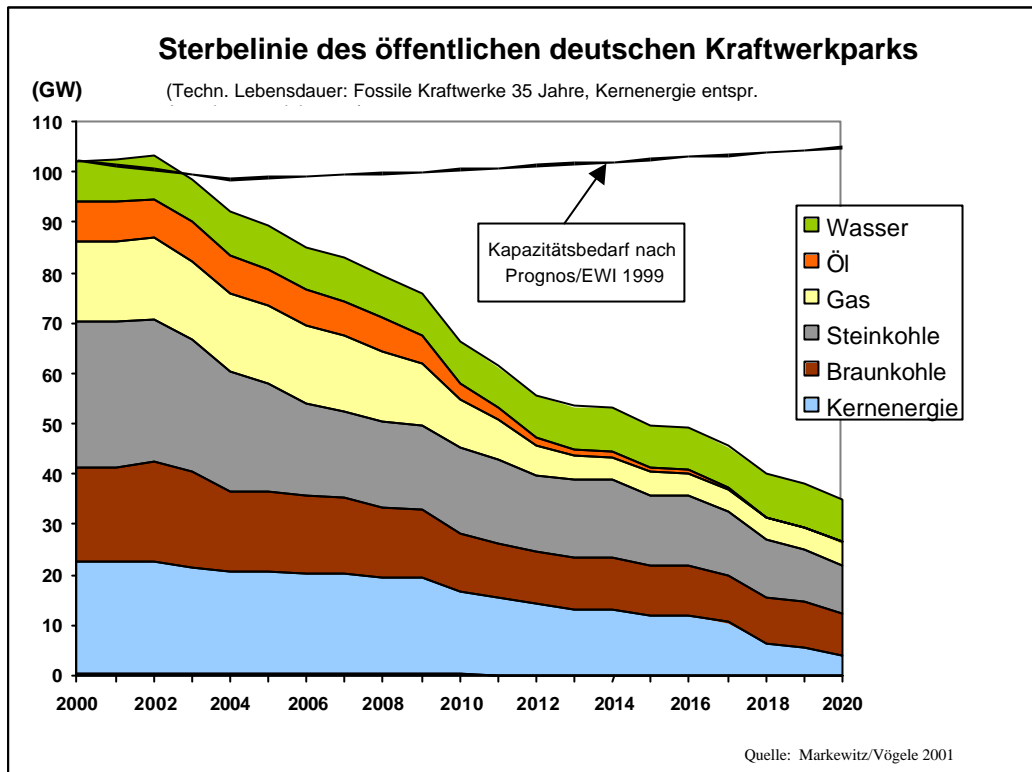


Bild 3: Sterbelinie des öffentlichen deutschen Kraftwerksparks.  
(Quelle: Markewitz, P., Vögele, in Energiewirtschaftliche Tagesfragen)

Inwieweit und in welcher Höhe ein zukünftiger Kraftwerks(ersatz)zubau voraussichtlich erforderlich sein wird, verdeutlicht Bild 3. Dargestellt ist die heute bestehende sowie in Bau befindliche öffentliche Kraftwerksleistung, die mit einer technischen Lebensdauer von 35 Jahren fortgeschrieben wurde. Kernkraftwerke sind entsprechend den in der Ausstiegsvereinbarung enthaltenen Randbedingungen erfasst. Würden zukünftig keine Kraftwerke hinzugebaut, käme es zu dem dargestellten Kapazitätsrückgang. Unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen würde die Kapazität bis zum Jahr 2020 um etwa 60 % abnehmen. Die Abbildung verdeutlicht, dass insbesondere nach dem Jahr 2010 ein Kapazitätsersatz erfolgen muss, wenn nicht die Stromimporte deutlich gesteigert und gleichzeitig die Nachfrage in hohem Maß gesenkt werden soll.

<sup>9</sup> Markewitz/Vögele 2002.

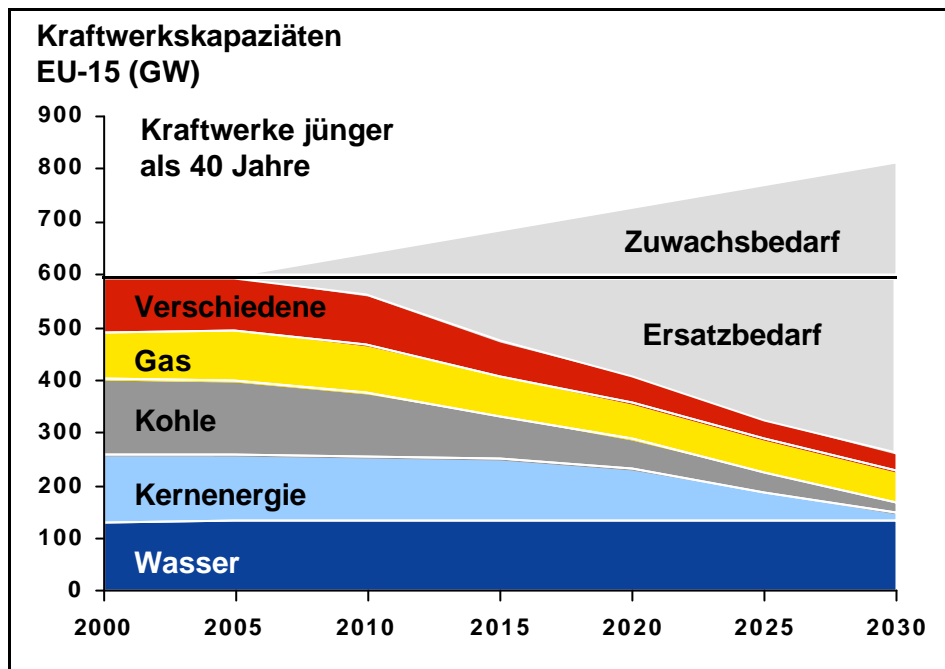


Bild 4: Kapazitätsbedarf in Europa (Quelle: RWE 2002)

Keine der beiden Möglichkeiten reicht aus, die Kapazitätslücke allein zu schließen. Welche Kombination der Möglichkeiten zum Zuge kommt, hängt in besonderem Maße von der Wirtschaftlichkeit ab. Es ist zu prüfen, ob mit den heute bestehenden Netzkopplungen ein nennenswerter Stromimport, der in Höhe der Versorgungslücke liegt, überhaupt technisch realisierbar ist. Zudem ist zu berücksichtigen, dass auch in den umliegenden EU-Staaten ab dem Jahr 2010 ein erheblicher Kapazitätsbedarf besteht, der zu einem großen Teil mit dem Ersatz veralteter Anlagen zu begründen ist. Nach Schätzungen der RWE Plus /RWE 2002 wird der EU-weite Zubaubedarf im Jahre 2020 etwa ein Drittel des heutigen Bestandes betragen (Bild 4). Im Jahr 2030 werden gemäß den Schätzungen nur noch knapp 50 % des heutigen EU-Kraftwerksbestandes vorhanden sein. Dies bedeutet, dass sowohl in Deutschland als auch in den anderen EU-Ländern ein erheblicher Ersatzbedarf besteht, der zeitgleich verlaufen wird. Im Zuge eines liberalisierten Strommarktes und einer weiteren Harmonisierung der EU-weiten Regelungen ist zu erwarten, dass auch die Anforderungen an die Umwelt- und Sicherheitseigenschaften der Kraftwerke in den unterschiedlichen Ländern einander angeglichen werden. Längerfristig gesehen dürften daher keine großen Unterschiede zwischen den Stromerzeugungskosten in den einzelnen EU-Ländern bestehen. Folglich wird der Stromaustausch zwischen den Ländern eher moderat ausfallen. Insofern bleibt der Bau von Stromerzeugungsanlagen im Inland eine plausible und wahrscheinliche



Lösung. In welcher Form er erfolgen wird, hängt maßgeblich von den gesetzten energiepolitischen Rahmenbedingungen ab.

So wird eine Kraftwerksplanung unter der Bedingung, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahre 2050 um bis zu 80% reduzieren zu wollen, deutlich anders aussehen als eine Strategie ohne oder mit weniger ambitionierten Klimaschutzziele. Weiterhin ist von fundamentaler Bedeutung, ob Deutschland eine Klimapolitik im nationalen Alleingang oder im Rahmen einer internationalen, zumindest EU-weiten Abstimmung verfolgt.

#### **4.1.2.1 Technische Effizienzverbesserung sowie Konzepte von Stromerzeugungsanlagen**

Allgemein wird davon ausgegangen, dass heute in Bau befindliche Steinkohlekraftwerke einen Wirkungsgrad von etwa 46 % aufweisen. Große Potenziale werden bei der Entwicklung von Steinkohlekraftwerken mit höchsten Dampfzuständen erwartet, deren rechnerische Wirkungsgrade mit über 50 % angegeben werden. Mit der Verfügbarkeit solcher Technologien wird nach dem Jahr 2010 gerechnet. Als weitere Kohletechnologie ist die integrierte Vergasung zu nennen, deren heutige als machbar eingestuftes Wirkungsgrade mit etwa 45 % sowie längerfristig mit 54,5 % angegeben werden. Als längerfristige Optionen (Verfügbarkeit ab 2015 bis 2020) sind die Druckwirbelschichtfeuerung der 2. Generation sowie die Druckkohlenstaubfeuerung einzustufen, deren Wirkungsgradpotenziale mit etwa 55 % (bei verbesserten Gasturbinen sogar 60 %) angegeben werden.

Für das in Bau befindliche BoA-Braunkohlekraftwerk Niederaußem weisen die Planungen einen Wirkungsgrad von 44,5 % aus. Es wird davon ausgegangen, dass mittelfristig durch eine vorgeschaltete Braunkohletrocknung (BoA-Plus-Konzept) Wirkungsgrade von etwa 50 % erreichen werden können.

<b>Kraftwerkstyp</b>	<b>Heutiger Stand (Beste Technologie)</b>	<b>Mögliche Wirkungsgrade bis zum Jahr 2030</b>
<b>Konventionelles Steinkohlekraft- werk</b>	<b>46 %</b>	<b>Ca. 52 %</b>
<b>Braunkohlekraft- werk</b>	<b>44,5 %</b>	<b>Ca. 50 %</b>
<b>GuD-Technik</b>	<b>57,5 %</b>	<b>Ca. 63 %</b>
<b>Integrierte Kohlevergasung ohne CO<sub>2</sub>- Abscheidung</b>	<b>Ca. 45 %</b>	<b>Ca. 54,5 %</b>
<b>Integrierte Kohlevergasung mit CO<sub>2</sub>- Abscheidung</b>	<b>-</b>	<b>Ca. 49 %</b>

Tabelle 1: Heutige und erwartete Wirkungsgrade fossiler Stromerzeugungstechniken.

Für GuD-Kraftwerke werden heute bereits Wirkungsgrade von 57,5 % angegeben. Bei einer kontinuierlichen Effizienzsteigerung von Gasturbinen kann längerfristig von Wirkungsgraden von über 60 % ausgegangen werden. Allerdings hängt der mögliche Einsatz derartiger zukunftsweisender Kraftwerke nicht zuletzt von einer deutlich zu forcierenden Forschungsaktivität sowie dem Bau notwendiger Demonstrationsanlagen ab.

Ziele, die von einer massiven CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion um 80 % bis zum Jahr 2050 ausgehen, dürften auch mit derartigen im Vergleich zum heutigen Technikstandard höchsteffizienten Techniken nicht zu realisieren sein. In diesem Zusammenhang ist auch auf die CO<sub>2</sub>-Sequestrierung hinzuweisen, die bei der Einhaltung drastischer Reduktionsziele durchaus eine Rolle spielen könnte. Für die Abtrennung von CO<sub>2</sub> in Kraftwerksprozessen liegen eine Reihe von Konzepten, Studien und in Einzelfällen sogar Betriebserfahrungen aus ersten Test- und

Demonstrationsanlagen vor.<sup>10</sup> Einige Verfahren werden bereits im großtechnischen Maßstab in der chemischen Industrie eingesetzt. Allen Verfahren ist gemeinsam, dass sie mit einem hohen Energieaufwand verbunden sind. Dies führt zu Einbußen beim Wirkungsgrad, die abhängig vom jeweiligen Verfahren, in einer Bandbreite von 3 bis 18 Prozentpunkten liegen<sup>11</sup>. Ungeachtet der mit der CO<sub>2</sub>-Deponierung verbundenen Probleme stellt sie – längerfristig gesehen – eine Chance dar, fossile Energieträger auch im Rahmen eines Klimaschutzregimes weiter zu nutzen.

#### 4.1.2.2 Kraft-Wärme-Kopplung

Ausgehend vom Einsatz identischer Energieträger kann die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme gegenüber der getrennten Erzeugung unter bestimmten Randbedingungen einen energetischen Vorteil aufweisen.

Durch das kürzlich verabschiedete KWK-Gesetzes und die damit verbundenen Modernisierungen werden bis zum Jahr 2010 Minderungsbeiträge in der Größenordnung von jährlich 10 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> erwartet. Der Großteil dieser Minderung ist jedoch auf einen von der KWK unabhängig zu sehenden Brennstoffwechsel (Erdgas statt Kohle) zurückzuführen, der mit der Modernisierung einhergeht. Die CO<sub>2</sub>-Einsparung, die durch den eigentlichen KWK-Spareffekt erzielt werden soll, ist dagegen nur gering. Das eigentliche Ziel des KWK-Gesetzes ist es, die in den letzten Jahrzehnten mit Hilfe hoher Subventionen (ZIP-Programme) aufgebauten und durch die Folgen der Energiemarktliberalisierung gefährdeten Versorgungsstrukturen zu erhalten. Die Kosten des KWK-Gesetzes, die hauptsächlich von den Tarifkunden getragen werden, belaufen sich auf insgesamt ca. 5 Mrd. Euro (inkl. MwSt.) über einen Zeitraum von ca. 10 Jahren.

Die im Vorfeld der KWK-Gesetzgebung erfolgte Diskussion beschränkt sich im wesentlichen auf die Zunahme der KWK-Stromerzeugung bei konstanter Wärmenachfrage. Ein massiver Ausbau der Kraftwärmekopplung, wie er häufig gefordert wird, muss jedoch auch die Wärmenachfrage in den Blick nehmen. Eine belastbare, umfassende sowie aktuelle Angabe zu räumlich aufgelösten Fern- und Nahwärmepotenzialen in Abhängigkeit wichtiger Randparameter (z.B. Energiepreise, Gebiete mit Gasversorgung etc.) existiert derzeit nicht.

Für die zukünftige Entwicklung der Nah- und Fernwärme ist allerdings darauf hinzuweisen, dass derzeit etwa 70 % aller Neubauten mit erdgasbefeuerten Heizungssystemen ausgerüstet wurden, die dementsprechende Versorgungsstrukturen benötigen. Derart ausgestaltete

---

<sup>10</sup> Göttlicher, 1999.

<sup>11</sup> Hein/ Fischer, 2002.

Gebiete stehen zumindest auf mittelfristige Sicht für eine Nahwärmeversorgung nicht mehr zur Verfügung. Weiterhin muss beachtet werden, dass durch die Verschärfung der Wärmeschutzgesetzgebung das Potenzial einer Fern- bzw. Nahwärmeversorgung deutlich vermindert wird. Ob und inwieweit ein Potenzial zur Nah- und Fernwärmeversorgung noch besteht, ist fallspezifisch unter Berücksichtigung der individuellen Charakteristika des jeweiligen Versorgungsfalles zu analysieren. Potenziale dürften eher im Bereich der Objektversorgung bestehen. In diesem Zusammenhang ist auch auf die Nutzung von Nah- und Fernwärme zur Kälteerzeugung hinzuweisen.

#### **4.1.2.3 Brennstoffzelle**

Zu den technischen Neuentwicklungen zählen insbesondere Brennstoffzellensysteme, die als Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zur direkten Objektversorgung im Haushaltsbereich und Kleingewerbe eingesetzt und auch in das öffentliche Netz eingebunden werden sollen. Zu den besonderen Merkmalen der Brennstoffzellen gehören ihre im Vergleich mit anderen Techniken sehr guten elektrischen Wirkungsgrade, die in der Regel sonst nur von mehreren hundert MW großen, zentralen Stromerzeugungsanlagen auf der Grundlage modernster GuD-Technik erreicht werden. Da Erdgas bis zur Einführung einer Wasserstoffwirtschaft aus heutiger Sicht vermutlich der am besten geeignete Brennstoff für stationär eingesetzte der Niedertemperatur- (PEFC) wie auch der Hochtemperaturbrennstoffzellen (SOFC) sein wird, werden diese Techniken auf ein Erdgasnetz angewiesen sein, das bereits heute besteht.

Nach den Analysen von Pehnt und Nitsch<sup>12</sup> ergeben sich unter „günstigen energiepolitischen Rahmenbedingungen“ mögliche Entwicklungen bei dem Einsatz von Brennstoffzellen in Deutschland von etwa 2400 MW<sub>el</sub> Kapazität bis zum Jahr 2020. Hersteller und Energieversorger (RWE AG) erwarten, dass in den nächsten 15 Jahren etwa 20 bis 70 % der neuen und zu erneuernden Hausenergieversorgungsanlagen als Brennstoffzellensysteme ausgeführt werden und zur Stromerzeugung einen Beitrag von 3 bis 15 TWh<sub>el</sub> pro Jahr leisten können. Neben den politischen Rahmenseetzungen ist die Senkung der Investitionskosten entscheidende Voraussetzung für die Marktentwicklung. Nach Angaben der Siemens AG kostet das Kilowatt elektrische Leistung heutiger SOFC-Demonstrationsanlagen etwa 20.000 €, konkurrenzfähig wären jedoch Kosten von ca. 1.500 €

Langfristig besteht die Idee, viele dezentrale Stromerzeugungseinheiten (z.B. Brennstoffzellensysteme) durch ein intelligentes Informations- und Kommunikationsmanagement zu einem Verbund zusammenschalten, das oftmals auch als

virtuelles Kraftwerk bezeichnet wird. Ein solcher Verbund bietet die Möglichkeit, unter Einbindung von Verbrauchern und Erzeugern möglichst verbrauchsorientiert Strom zu erzeugen.

#### 4.1.2.4 Erneuerbare Energien

Als treibende Kräfte für forcierte Markteinführung erneuerbarer Energien sind im wesentlichen das frühere Stromeinspeisegesetz, das heute geltende Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) sowie die Möglichkeit steuerlicher Abschreibungen anzuführen. Nach Schätzungen<sup>13</sup> werden alleine die EEG-Subventionen im Jahr 2002 ca. 1,4 Mrd. € betragen, die zwar für den Bundeshaushalt aufkommensneutral sind, jedoch direkt auf die Stromkunden umgelegt werden. Es ist sowohl erklärtes Ziel der EU als auch der derzeitigen Bundesregierung, den Einsatz erneuerbarer Energien zu erhöhen. So hat bereits die EU-Kommission 1997 in dem Weisbuch „Erneuerbare Energien“ vorgeschlagen, den Anteil der erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch von gegenwärtig ca. 6 auf 12 % bis zum Jahr 2010 zu verdoppeln. Dieses Ziel wurde in der am 27.10.2001 in Kraft getretenen EU-Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen bekräftigt und für den Strombereich konkretisiert. Die Bundesregierung trägt diesen Vorstellungen Rechnung, indem sie unter anderem eine Verdopplung des Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung bis zum Jahr 2010 zum Ziel erklärt hat. Im Sinne eines möglichst effizienten Kapitaleinsatzes sollte jedoch auch thematisiert werden, ob es nicht sinnvoller ist, kostengünstigere Potenziale in anderen EU-Ländern auszuschöpfen und Ziele im Sinne eines effizienteren Burden-sharing vorzugeben.

Das theoretische Potenzial für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wird in den Basisdaten für die Szenarienerstellung mit ca. 569 bis 837 TWh pro Jahr angegeben, was in etwa 103 – 151 % der heutigen bundesdeutschen Bruttostromerzeugung entspricht. Das technische Potenzial wird von Kaltschmitt<sup>14</sup> mit ca. 265 bis 335 TWh pro Jahr angegeben. Der derzeitige Anteil liegt bei etwa 7%. Bedingt durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz sind derzeit die stärksten Zuwächse beim Ausbau der Windenergie zu nennen. Die heute installierte Windkraftleistung in Deutschland beträgt etwa 9,2 GW.

Mit Ausnahme der Nutzung von Wasserkraft werden die Potenziale nur zu geringen Anteilen ausgeschöpft. Dies ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die meisten Möglichkeiten unter den heutigen Rahmenbedingungen nicht wirtschaftlich sind. Langfristig werden von

---

<sup>12</sup> Pehnt/ Nitsch, Einsatzfelder und Marktchancen von Brennstoffzellen in der industriellen und öffentlichen Kraft-Wärme-Kopplung

<sup>13</sup> Kaltschmitt/ Merten/ Falkenberg, 2002.

Kaltschmitt<sup>15</sup> die größten Potenziale der Stromerzeugung auf der Basis erneuerbarer Energien in der Nutzung biogener Festbrennstoffe, der Offshore-Windkraftnutzung sowie der Geothermie (Hot-Dry-Rock mit ORC Prozessen) gesehen.

#### 4.1.2.5 Kernenergie

Am 27. April 2002 trat das Gesetz „Zur geordneten Beendigung der Kernenergienutzung zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität“ in Kraft. Für jedes einzelne Kraftwerk legt das Gesetz eine maximale Reststrommenge fest, die sich an einer Laufzeit von etwa 32 Kalenderjahren orientiert. Weiterhin wird die Entsorgung auf die direkte Endlagerung beschränkt; die Abgabe abgebrannter Brennelemente an Wiederaufbereitungsanlagen ist ab dem Jahr 2005 verboten. Die Betreiber werden darüber hinaus verpflichtet, an den jeweiligen Standorten weitere Zwischenlager zu errichten. Unter Berücksichtigung dieser Gesetzeslage ist ein Bau neuer Kernkraftwerke in Deutschland derzeit nicht möglich. Ungeachtet dessen ist auf die Entwicklung fortschrittlicher Reaktoren hinzuweisen, die sich gegenüber heutigen Techniken durch eine verbesserte Anlagensicherheit und ein niedrigeres Störfallrisiko, durch eine Erhöhung des Abbrandes radioaktiver Einsatzstoffe und durch verminderte Investitionskosten auszeichnen. Hier ist insbesondere auf den von Siemens-Framatome konzipierten European Pressurized Reactor (EPR) hinzuweisen, der die von der deutschen Reaktorsicherheitskommission festgelegten sicherheitstechnischen Richtlinien erfüllen soll. Kostensenkungspotenziale werden insbesondere durch den Bau von Doppelblockanlagen sowie durch Standardisierungseffekte gesehen. Andere zukunftsweisende Kernkraftwerkskonzepte, deren Einsatz im europäischen Raum diskutiert werden, sind der AP1000 (Westinghouse, DWR 1000 MW), BWR90+(Westinghouse, SWR 1500 MW), EABWR (General Electric, SWR 1400 MW) sowie der WWER 91/99 (Atomstroyexport, DWR 1000 MW). Als Beispiel für ein weiteres zukunftsweisendes Kraftwerkskonzept ist auf den HTR hinzuweisen, der sich insbesondere gegenüber anderen Konzepten durch sein inhärentes Sicherheitskonzept sowie kleinere Leistungseinheiten auszeichnet.

#### 4.1.3 Transport und Verteilung von Strom

Zur Bereitstellung von Strom existiert in der Bundesrepublik Deutschland ein hierarchisch aufgebautes Leitungsnetz, das in den letzten Jahrzehnten mit erheblichen Investitionen aufgebaut wurde und sich durch ein hohes Maß an Versorgungssicherheit auszeichnet.

---

<sup>14</sup> siehe Fn. 30.

<sup>15</sup> siehe Fn. 30.

Darüber hinaus ist das deutsche Transportnetz in das internationale Verbundnetz der UCTE eingebunden. Etwa 50% aller jährlich getätigten Investitionen der deutschen Stromversorgung entfallen auf Transport- und Verteilungsanlagen. Eine große Herausforderung für alle agierenden Akteure wird zukünftig darin bestehen, auch unter den Bedingungen der Strommarktliberalisierung ein ausreichend hohes Maß an Versorgungssicherheit und –qualität zu gewährleisten.

Als Ergebnis einer verstärkten Förderung von regenerativ erzeugtem Strom wächst die Anzahl regenerativer Stromerzeugungseinheiten. Eine weitere Forcierung führt zu einer Verlagerung installierter Erzeugungsleistung in die Verteilungsnetzebenen. Übersteigt dabei der Zubau dezentraler Erzeugung die lokalen Lastanforderungen erheblich, z.B. bei starker Konzentration neuer Erzeugungsanlagen, können in den Verteilungsnetzen Kapazitätsengpässe und demzufolge Ausbauerfordernisse entstehen, deren Kosten dann zusätzlich zu berücksichtigen sind.<sup>16</sup>

Im Zusammenhang mit einer systematischen und umfassenden Nutzung erneuerbarer Energien werden weitergehende Ansätze wie ein Stromtransport über weite Distanzen diskutiert, um erneuerbare Energiequellen in geographisch günstiger gelegenen Regionen (z.B. Solarstrom aus Nordafrika) für Industrieländer wie Deutschland zu erschließen. Allerdings erfordert dies geeignete HGÜ-Leitungen (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung), deren Bau mit erheblichen Kosten verbunden ist. Darüber hinaus ist zu sehen, dass aufgrund veränderter Auslastung heutiger Übertragungsnetzstränge auch eine kostspielige Änderung des deutschen Übertragungsnetzes notwendig wäre.

## **4.2 Wärmedienstleistungen im Gebäudesektor**

### **4.2.1. Die Bedeutung des Gebäudesektors für den Klimaschutz**

Bedeutung und Dimension des Wärmemarktes für den Gebäudebereich werden in Tabelle 2 veranschaulicht. Danach beläuft sich der Anteil des Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser 1995 in den Sektoren Haushalte und Kleinverbraucher auf 3326 PJ. Bezogen auf den gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland entspricht das einem Anteil von 35,5 %. Mehr als ein Drittel der deutschen Endenergie gehen in den Gebäudebereich, der damit der größte Verbrauchssektor ist. Hier wird weitaus mehr Endenergie verbraucht als im Verkehr oder in der Industrie. Damit ist klar, dass diesem Sektor auch bei den Klimaschutzbemühungen eine erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen ist.

---

<sup>16</sup> Fleischer/ Grünwald/ Oertel/ Paschen, 2000.

	Gesamter Verbrauch		Raumwärmeanteil	
	PJ	%	PJ	%
Privathaushalte	2689	28,7		
davon Raumwärme			2375	25,3
Kleinverbraucher	1603	17,1		
davon Raumwärme			951	10,1
Industrie	2474	26,4	148	1,6
Verkehr	2614	27,9	0	0
Summe	9380	100,0	3326	37,1

Tabelle 2: Gesamter Endenergieverbrauch und Raumwärmeanteil (Quelle: PROGNOSES 1999)

Es ist aber nicht nur die große Energiemenge, die diesen Sektor für den Klimaschutz so wichtig und interessant macht. Gleichzeitig bestehen sehr hohe Einsparpotenziale. Insbesondere kommt der energetischen Sanierung der älteren Gebäude eine Schlüsselrolle zu.

Deutschland verfügte 2002 über rund 4 Mrd. m<sup>2</sup> an Gebäudeflächen. Davon entfallen 3 Mrd. m<sup>2</sup> auf Wohngebäude mit insgesamt 37 Mio. Wohnungen. Der Rest von knapp 1 Mrd. m<sup>2</sup> sind gewerblich genutzt Nichtwohngebäude.

Alle Gebäude, die vor Einführung der zweiten Wärmeschutzverordnung 1984 gebaut wurden, entsprechen bei weitem nicht mehr den heutigen Anforderungen und sind energetisch sanierungsbedürftig, sofern sie nicht schon modernisiert wurden. Tatsächlich sind rund 75 % der heute vorhandenen Gebäude vor 1985 gebaut worden. Dies zeigt das große Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial des Gebäudebereichs.

Bezogen auf den heutigen Bestand wird das realistische CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial im Altbaubereich durch Heizungserneuerung und verbesserte Wärmedämmung auf 50 bis 70 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> geschätzt. Im Vergleich zum Gesamtausstoß des Haushaltssektors im Jahre 1990 entspricht das einem Minderungspotenzial von 40 bis 55 %. Bei der Schätzung



des gesamten zukünftigen Potenzials sind aber noch die Mehremissionen durch Neubauten mit zu berücksichtigen.

Neubauaktivitäten, die aufgrund des steigenden Wohnflächenbedarfs notwendig sind, führen grundsätzlich zu einer Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emission, sofern es sich nicht um Nullenergiehäuser handelt oder sofern nicht entsprechende Altbauten mit höherem Verbrauch abgerissen werden. Beides ist aber in der Praxis nicht der Fall. Durch Neubauten kommt eine zusätzlich zu beheizende Gebäudefläche dazu, die vorher nicht vorhanden war. Der entstehende zusätzliche Bedarf an Heizenergie in Neubauten muss durch verstärkte Reduktionsmaßnahmen im Bestand kompensiert werden, andernfalls wird die gewünschte CO<sub>2</sub> Minderung nicht erreicht.

## **4.2.2. Warum Altbausanierung wichtig ist**

### **4.2.2.1 Sanierung schafft bessere Lebensräume für morgen**

Die Sanierung von bestehenden Gebäuden trägt eher mit dazu bei, vorhandene ökologische, soziale und sonstige Strukturen und Abläufe in einem Stadtgebiet zu erhalten als Abriss und Neubau. Außerdem wird das kulturelle Erbe durch die Sanierung gepflegt und erhalten. Die Gebäude werden durch eine Renovierung ästhetisch aufgewertet und technisch weitgehend auf den aktuellen Stand gebracht. Die Wohnqualität wird erheblich verbessert. Der Nutzer genießt eine höhere thermische Behaglichkeit durch die bessere Wärmedämmung, hat meist verbesserte Lichtverhältnisse und weniger Feuchtigkeits- und Schimmelprobleme. Durch die Sanierung wird aber auch nach außen ein positives Wohnumfeld geschaffen. Alles zusammen führt zu einer höheren Wohnzufriedenheit und schafft Lebensräume für morgen. So wird ein wesentlicher Beitrag zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung geleistet.

### **4.2.2.2 Sanierung erhält die Bausubstanz und schont Ressourcen**

Wohngebäude haben in Deutschland eine Lebensdauer von 150 bis 200 Jahren mit einem Renovierungszyklus von 30 bis 60 Jahren (Mittelwert 50 Jahre). Innerhalb eines solchen Renovierungszykluses werden alle Gebäudeteile (Dach, Außenwände, Fenster) mindestens einmal renoviert oder ganz erneuert. Der Restwert eines Gebäudes ist in der Regel auch nach mehreren Renovierungszyklen noch so hoch, dass eine Renovierung immer noch wirtschaftlich günstiger ist als ein Abriss mit anschließendem Neubau. Aber auch ökologisch

ist die Erhaltung bestehender Gebäude die sinnvollste Maßnahme, weil sie den sparsamsten Umgang mit den Ressourcen darstellt.

Bis 2050 werden noch rund 75 % der heutigen Bausubstanz existieren<sup>17</sup>. Altbausanierung ist ein Thema, das uns noch sehr lange und sehr intensiv beschäftigen wird.

#### **4.2.2.3 Sanierung spart Energie und Geld**

Durch eine energetische Sanierung entsprechend dem derzeitigen Stand der Technik und der Verordnungen können an alten Gebäuden, je nach Baualter, Zustand und Gebäudetyp, mit einer Vollsanierung von Gebäudehülle und Heizungsanlage Energieeinsparungen von 50 bis 75 % erreicht werden. Damit wird insbesondere der Einsatz fossiler Energieträger wie Erdgas und Heizöl reduziert und ein Beitrag zur Ressourcenschonung, zur Umweltentlastung und zur Verringerung der Energieimporte geleistet.

Die Güter und Dienstleistungen, die bei der Sanierung eingesetzt werden, entstehen fast ausschließlich im Inland. Volkswirtschaftlich leistet die Altbausanierung damit einen Beitrag zur Erhöhung des Bruttoinlandproduktes.

In vielen Fällen kommt die energetische Altbausanierung entgegen der landläufigen Meinung dann in den Bereich der Wirtschaftlichkeit, wenn sie zusammen mit der ohnehin anstehenden baulichen Instandsetzung durchgeführt wird. Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der energetischen Modernisierung ist dann nur die Differenz zwischen den Gesamtkosten und den ohnehin fälligen Ausgaben anzusetzen.

Wesentlich für den Gebäudebesitzer ist die Wertsteigerung der Immobilie durch die Sanierung.

#### **4.2.2.4 Sanierung mindert die Emission von Luftverunreinigungen und CO<sub>2</sub>**

Die Verringerung des Energieverbrauchs in sanierten Gebäuden wirkt sich unmittelbar in einer geringeren Emission von Luftverunreinigungen wie Stickoxiden, Kohlenwasserstoffen und Schwefeldioxid aus. Damit wird ein direkter Beitrag zur Verbesserung der Umgebungsluftqualität geleistet, die Ozonvorläufersubstanzen Kohlenwasserstoffe und Stickoxide werden gemindert und die Möglichkeit der Bildung von saurem Regen aus Schwefeldioxid und Stickoxid wird verringert.

---

<sup>17</sup> Kleemann et al, 2000.

Für den Klimaschutz ist jedoch wesentlich, dass mit jeder Einheit nicht verbrannter fossiler Energie CO<sub>2</sub> eingespart wird. Die Altbausanierung kann einen wirksamen Beitrag zum Klimaschutz liefern. Wie oben ausgeführt betragen die langfristigen Potenziale für den gesamten Gebäudebestand rund 50 bis 70 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>.

#### **4.2.2.5 Sanierung schafft Arbeitsplätze**

Insgesamt ist die Bauwirtschaft geprägt durch einen hohen Anteil von Klein- und Mittelbetrieben. So beträgt z.B. der Anteil des Umsatzes im Bauhauptgewerbe, der in Betrieben unter 100 Beschäftigten erwirtschaftet wird, ca. 74 %. Die von dieser Betriebsgrößengruppe geleisteten Arbeitsstunden belaufen sich auf ca. 84 %. Die energetische Sanierung und Modernisierung im Gebäudebereich erfolgt durch einen hohen Anteil von Klein- und Mittelbetrieben. Ein umfassende, verstärkte Sanierungsaktivität würde gerade dieser Gruppe zugute kommen.

Der Bereich der Gebäudesanierung ist im Vergleich zu anderen Wirtschaftssektoren sehr arbeitsplatzintensiv. Hier wird pro Einheit Bruttoproduktion wesentlich mehr Arbeitsleistung benötigt als z.B. in der Industrie (vgl. Tabelle 3). Es sind insbesondere die Sektoren Hoch- und Tiefbau (Nr 41), Ausbauleistungen (Nr. 42) sowie Handel und Dienstleistungen (Nr. 43 und 44) an den Sanierungsaktivitäten beteiligt. Diese Sektoren haben im Vergleich zu den Energie- und Grundstoffsektoren in Tabelle 3 eine um ein Vielfaches höhere Arbeitsplatzintensität. Investitionen in die Gebäudesanierung führen also zu besonders vielen Arbeitsplätzen und sind deshalb geeignet einen wirksamen Beitrag zur Lösung der Probleme in der Bauwirtschaft zu leisten.

Würden bei Zugrundelegung eines 50-jährigen Renovierungszyklusses pro Jahr im Mittel rund 2 % des Gebäudebestandes saniert, dann entspräche dies einer sanierten Wohnungsmenge von knapp 800.000. Bei einer baulichen und energetischen Vollsanierung würden bei diesem Volumen dauerhaft rund 240.000 Arbeitsplätze geschaffen bzw. erhalten.

Nr.	Sektor	Personenjahre
		pro Mio. EUR
3	Elektrizität	5
4	Gas	2,8
6	Kohle	15
10	Mineralöl	0,8
13	Steine, Erden Baustoffe	7
16	Stahl u. Eisen	4,6
41	Hoch- Tiefbau	13,4
42	Ausbauleistungen	11
43	Dienstl. Großhandel	14,8
44	Dienstl. Einzelhandel	23,4
48	Dienstl. Verkehr	11,8

Tabelle 3: Arbeitsplatzintensitäten ausgesuchter Wirtschaftssektoren  
(Quelle: Input/Output Tabelle des Statistischen Bundesamtes (1995))

#### 4.2.3. Bisherige Klimaschutzbemühungen unzureichend

Auf die Entwicklung des zukünftigen Wärmebedarfs im Gebäudebereich wirken verschiedene gegenläufige Trends, die teils eine Verringerung des Energiebedarfs hervorrufen und teils eine verstärkte Energienachfrage verursachen.

So wird häufig erwartet, dass der Energiebedarf zur Wärmeversorgung von Gebäuden im Zuge der Einführung der Energieeinsparverordnung (EnEV), einer zunehmenden Verbreitung der Niedrigenergie- und Passivhausbauweise sowie insbesondere der zu erwartenden Altbausanierung sinken wird. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass im Falle einer stringenteren Klimaschutzpolitik langfristig mit einer weiteren Verschärfung der

Wärmeschutzstandards, einer wirksameren Vollzugskontrolle bei der Altbausanierung und einer verstärkten Nutzung regenerativer Energiequellen zu rechnen ist. Dies kann den Bedarf der fossilen Energieträger und damit die CO<sub>2</sub>-Emission im Gebäudebereich zusätzlich verringern.

Auf der anderen Seite weisen Praktiker immer wieder darauf hin, dass durch Neubauten zusätzlich zu beheizende Wohnflächen entstehen. Neubauten, auch wenn sie entsprechend den geltenden Verordnungen gedämmt sind, verursachen immer einen zusätzlichen Anstieg der Energienachfrage. Die neue Nachfrage wird in der Regel nicht durch einen entsprechenden Gebäudeabriss kompensiert. Belegt wird diese Entwicklung durch das seit Jahren leichte Ansteigen des Energieverbrauchs der Haushalte in der deutschen Energiebilanz. Außerdem zeigt sich in der Praxis immer wieder, dass durch eine unzureichende energetische Sanierung im Altbaubereich und einen unzureichenden Vollzug der Wärmeschutzverordnung Einsparpotenziale verschenkt werden. Die Nachfrage sinkt dadurch weniger stark als erwartet.

Welcher der nachfragebremsenden oder nachfragebeschleunigenden Trends am wirksamsten ist, hängt u. a. stark von der politischen Weichenstellung ab.

Bild 5 zeigt, dass die Bemühungen zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Haushaltssektor, gemessen an dem ehrgeizigen Reduktionszielen, bisher nicht sonderlich erfolgreich waren. Von 1990 bis 1997/1998 ist keine Reduktion, sondern ein mehr oder weniger stetig ansteigender Trend des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes, zu erkennen. Erst ab 1997 setzt offensichtlich eine Trendwende ein. Die Emission nimmt bis 2000 deutlich ab. Allerdings hat sich dieser abnehmende Trend offensichtlich noch nicht stabilisiert, da 2001 die Emission voraussichtlich wieder ansteigt, wobei sie leicht unter dem Wert von 1990 bleibt. Da die Zahl für 2001 noch vorläufig ist, wird eine abschließende Beurteilung des Trends erst möglich sein, wenn der endgültige Wert für 2001 vorliegt. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Werte nicht temperaturbereinigt sind. Dies würde aber an der grundsätzlichen Aussage, dass die Emission im Haushaltssektor in den letzten 10 Jahren praktisch konstant geblieben ist, nichts ändern.

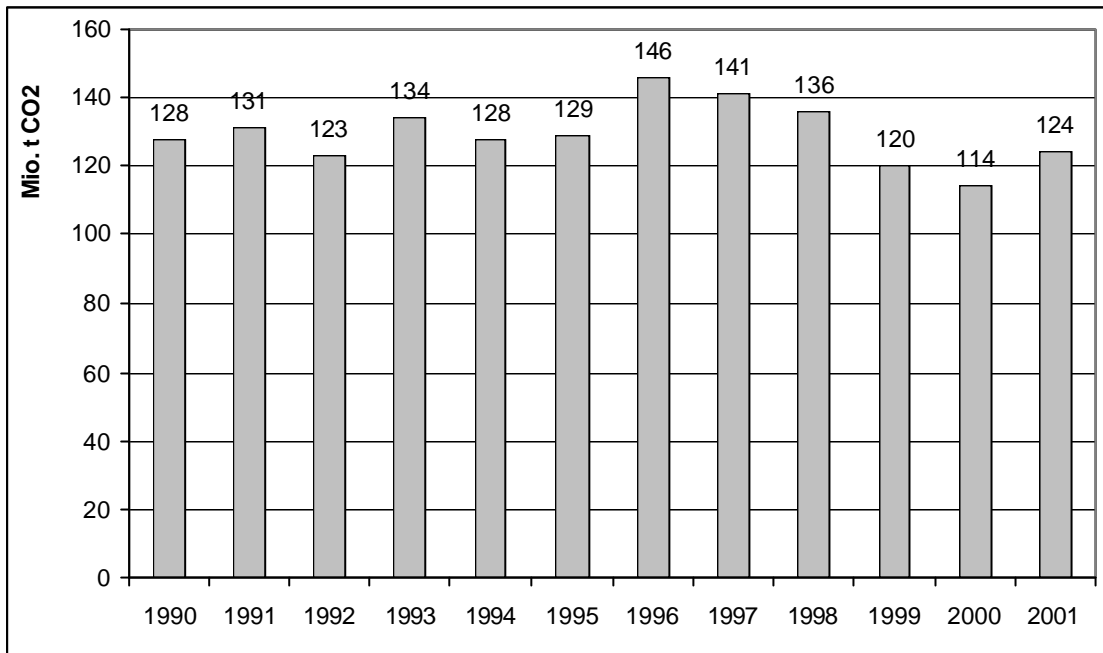


Bild 5: Entwicklung der unbereinigten CO<sub>2</sub>-Emission des Haushaltssektors von 1990 bis 2001 (Quelle: BMWi 2000, Schiffer H.-S. 2002, Ziesing H.-J. 2001)

Es ist zu befürchten, dass die Minderungsziele nicht erreicht werden, wenn es nicht gelingt, die Trendumkehr bei den Emissionen des Haushaltssektors zu konsolidieren und durch verstärkte politische Maßnahmen zu beschleunigen.

Im wesentlichen sind folgende Ursachen für diese zögerliche Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Minderung im Gebäudebereich verantwortlich:

- a. Die nicht unerhebliche Anzahl von Neubauten im Zeitraum von 1990 bis 2001 hat zu Mehremissionen geführt. Dieser zusätzliche Wohnflächenbedarf, der sich auf rund 5 % des Bestandes von 1990 beläuft, hat verschiedene demographische, wirtschaftliche und soziale Gründe.
- b. Die energetische Sanierung im Altbaubereich ist nicht im erwarteten Umfang erfolgt. Die Hauptgründe hierfür sind:
  - Es fehlt an einer wirksamen Vollzugskontrolle. Viele Sanierungen werden nicht entsprechend den Wärmeschutzvorschriften ausgeführt. So wird bei Fassadenerneuerungen statt einer ausreichenden Wärmedämmung nur der Verputz oder die Farbe erneuert.
  - Es fehlt an umfassenden, wirtschaftlich attraktiven Anreizprogrammen. Die laufenden Programme reichen offensichtlich nicht aus. Aufgrund der zum Teil

noch unzureichenden Wirtschaftlichkeit werden Sanierungsmaßnahmen entweder gar nicht oder in unzureichendem Maße durchgeführt.

Angesichts der wenig erfolgreichen Entwicklung in der Vergangenheit stellt sich die Frage nach den zukünftigen Aussichten des Klimaschutzes im Gebäudebereich.

#### **4.2.4. Einschätzung der langfristigen Entwicklung des Wärmemarktes im Gebäudebereich**

Die folgenden Ausführungen sind als sektorale Ergänzungen und Detaillierungen zu den Szenarioanalysen in Kapitel 5 zu verstehen. Die mit dem hoch aggregierten LP-Modell untersuchten gesamtenergiewirtschaftlichen Szenarien können die Verhältnisse im Gebäudebereich und insbesondere die Sanierungsprozesse nicht fein genug und deshalb nicht realitätsnah genug abbilden. Aus diesem Grund wurden die folgenden Analysen mit einem detaillierten dynamischen Raumwärme-Simulationsmodell durchgeführt<sup>18</sup>. Das Modell enthält alle relevanten Gebäude- und Heizungstypen und kann ein breites Spektrum von unterschiedlichen Sanierungsmaßnahmen berücksichtigen. Insbesondere das Verhalten der Gebäudeeigentümer im Hinblick auf den Vollzug der Verordnungen kann abgebildet werden.

In den folgenden Kapiteln wird anhand von Fallanalysen dargestellt, wie sich die Wärmenachfrage im Gebäudebereich langfristig entwickeln kann. Ziel ist es, damit eine genauere Entscheidungsgrundlage für eine bessere Gestaltung der zukünftigen Klimaschutzpolitik im Gebäudebereich bereit zu stellen.

##### **4.2.4.1 Randbedingungen für die Fallanalysen**

Um den Spielraum für die zukünftige Entwicklung des Energieverbrauchs im Gebäudebereich zu erfassen, werden zwei Fälle untersucht, die sich weitgehend an die Szenarien der Enquete Kommission anlehnen, abgesehen von kleineren Abweichungen.

**Trend- oder Referenzfall:** Hier soll insbesondere der Einfluss des unzureichenden Vollzugs der Energieeinsparverordnung (EnEV) aufgezeigt werden. Die derzeitigen Trends werden fortgeschrieben und zwar auf der Basis der existierenden Verordnungen, der laufenden Förderprogramme sowie der Entwicklungen in der Wohnungswirtschaft und im Heizungsgewerbe. Es wird unterstellt, dass die Förderung der Altbausanierung weiterhin

---

<sup>18</sup> Kleemann M. et al., 2000.

nicht ausreicht und dass der Vollzug der Verordnungen unzufriedenstellend bleibt. Für den Neu- und den Altbaubereich wird jeweils eine Vollzugsrate von rund 50 % unterstellt, was den Erfahrungen aus der Baupraxis entspricht.

**Reduktionsfall:** Hier wird mittel- bis langfristig eine verschärfte Klimaschutzpolitik unterstellt. Angenommen werden weiter verschärfte Wärmeschutzanforderungen, eine verbesserte Überwachung des Vollzugs der Verordnungen, effizientere Förderprogramme, eine verstärkte Nutzung regenerativer Energiequellen und ein energiebewusstes Nutzerverhalten. Es wird ein Vollzug der Verordnungen von 100 % angenommen. Ein Eingriff ins Eigentumsrecht durch einen Sanierungszwang soll auf keinen Fall erfolgen.

Die beiden hier betrachteten Fälle lehnen sich weitgehend an die sozioökonomischen Rahmendaten für die Szenarien der Enquete Kommission an. Abweichungen treten lediglich bei der zugrunde gelegten Gebäudefläche auf, die hier kleiner ist als bei den sozioökonomischen Daten für die Szenarien (vgl. folgende Tabelle 4 und Tabelle 10 in Kapitel 5.4.1). Die Ursache für die Differenz ist, dass hier nur die Wohnfläche betrachtet wird, während bei den sozioökonomischen Daten für die Szenarien noch die Nichtwohngebäude bei den Mehrfamilienhäusern enthalten sind.

In den folgenden Abschnitten wird die Entwicklung der wichtigsten Rahmenbedingungen, die den Wärmeverbrauch mit beeinflussen, dargestellt.

### **Zukünftige Wohnflächennachfrage**

Trotz abnehmender Bevölkerung steigt die Zahl der Haushalte bis 2030 an (vgl. Tabelle 4). Während die Zahlen für Haushalte mit drei und mehr Personen ungefähr konstant bleiben, nehmen die Ein- und Zweipersonenhaushalte stark zu. Dieser Trend ist bedingt durch die frühere Selbständigkeit der Kinder, durch mehr kinderlose Ehepaare, mehr Scheidungen und mehr Single-Haushalte allgemein. Nach 2030 kommt es wegen des starken Bevölkerungsrückgangs auch zu einem Abfall der Haushaltszahlen.

Der Wohnflächenbedarf pro Person steigt im Betrachtungszeitraum von 36,9 m<sup>2</sup> auf 52,3 m<sup>2</sup> an. Verursacht wird dies durch einen weiter steigenden Lebensstandard aufgrund des unterstellten Wirtschaftswachstums, durch mehr Ein- und Zweipersonenhaushalte und durch den sog. "Remanenzeffekt" (BLB 1999). Dies sind nicht umziehende Haushalte, wo ältere Personen allein in großen Familienwohnungen zurück bleiben. Dieser Effekt wird durch die zunehmende Überalterung der Gesellschaft immer stärker. Zusammenfassend ergibt sich, dass der gesamte Wohnflächenbedarf von 3.005 Mio. m<sup>2</sup> auf 3.505 Mio. m<sup>2</sup> anwächst.



		1995	2005	2020	2050
Bevölkerung	Mio.	81,7	82,0	80,7	67,1
Haushaltsgröße	Pers./Haushalt	2,21	2,17	2,12	1,90
Haushalte	Mio.	36,9	37,7	38,2	35,3
Wohnfläche/Person	m <sup>2</sup>	36,8	39,3	41,3	52,3
Wohnfläche/Haushalt	m <sup>2</sup>	81,3	85,4	87,4	99,3
Gesamter Wohnflächenbedarf	Mio. m <sup>2</sup>	3.005	3.220	3.334	3.505

Tabelle 4: Haushalts- und Wohnflächenentwicklung

### Bestandsveränderungen durch Abriss und Neubau

Aus Tabelle 5 lässt sich ableiten, dass im Wohnbereich der langfristige Zubau pro Jahr im Mittel 22,5 Mio. m<sup>2</sup> oder 0,9 % beträgt. Der mittlere jährliche Abriss beläuft sich bis 2020 auf 10 Mio. m<sup>2</sup> (0,4 %) und danach 16 Mio. m<sup>2</sup> (0,6%). Bei Fortschreibung dieser Abrissraten wäre, zumindest theoretisch, der Bestand von 1995 in ca. 200 Jahren verschwunden. Die niedrigere Abrissrate bis 2020 berücksichtigt, dass bei einem Teil der Altbauten durch An- und Umbau (Dach, Keller) weitere Wohnflächen geschaffen werden. Interessant ist, dass im Jahre 2050 noch 75 % der heute existierenden Bausubstanz im Wohnbereich vorhanden ist.

		Bestand	Veränderung	Bestand	Veränderung	Bestand
		1995	1995-2020	2020	2021-2050	2050
Altbau ABL	W <sup>1)</sup>	2.510	-176	2.334	-334	2.000
Altbau NBL	W <sup>1)</sup>	495	-83	412	-147	265
Neubau BRD	W <sup>1)</sup>		588	588	652	1.240
Gesamt BRD	W <sup>1)</sup>	3.005	-	3.334	-	3.505
Gesamt BRD	NW <sup>2)</sup>	926	-297	989	-280	1.035
			360		326	

Tabelle 5: Entwicklung des Gebäudebestandes in Mio. m<sup>2</sup> (Quelle: IKARUS-Datenbank)

1) W = Wohnbereich (Haushalte), 2) NW = Nichtwohnbereich (Kleinverbrauch)

Im Nichtwohnbereich sind die Veränderungen relativ wesentlich stärker (vgl. Tabelle 4 - 5). So beträgt der mittlere Zubau bis 2050 rund 1,3 % pro Jahr und der Abriss 1,1 % pro Jahr (Bezug 1995). Von den heute existierenden Gebäuden sind 2050 nur noch 38 % vorhanden.

### **Ordnungsrechtliche Entwicklung**

In den letzten 30 Jahren sind die Bestimmungen für den Wärmeschutz im Gebäudebereich fünf Mal, d.h. alle sechs Jahre, verschärft worden. Dabei hat sich der mittlere zulässige Heizwärmeverbrauch etwa um den Faktor fünf verringert. Obwohl der Spielraum für zusätzliche Einsparungen inzwischen klein geworden ist, existieren noch weitere Möglichkeiten. Die derzeit in Schweden geltende Baunorm von 1990 hat gegenüber der gerade in Kraft getretenen Energieeinsparverordnung (EnEV) z.B. im Neubaubereich im Mittel um 40 % bis 45 % niedrigere Wärmeübergangskoeffizienten (außer Fenster). Trotz der in Schweden häufig praktizierten Holzbauweise, bei der sich das Gebäude leichter dämmen lässt als bei der hier üblichen Steinbauweise, kann man davon ausgehen, dass auch bei uns noch weitere über die EnEV hinausgehende Sparpotenziale bestehen.

Im Trendfall wird ab dem Jahr 2002 durchgehend die EnEV unterstellt. Der Reduktionsfall geht dagegen von einer 25-prozentigen Verschärfung der Wärmeschutzmaßnahmen ab 2010 für Neubauten aus. Dadurch wird die Mehremission der Neubauten verringert. Eine solche Maßnahme ist im Reduktionsfall sinnvoll, um die gesetzten Minderungsziele zu erreichen. Grundsätzlich ist langfristig eine weitere Verschärfung der Verordnungen nicht auszuschließen.

#### **4.2.4.2 Auswirkungen der Sanierung auf einzelne Gebäudetypen**

Bild 6 zeigt die flächenspezifischen Endenergieverbräuche für Raumwärmeerzeugung und Warmwasserbereitstellung für unsanierte und vollsanierte, freistehende Einfamilienhäuser (EFH) aller Altersklassen. Die Bereiche für die Baujahre sind unter dem Diagramm angegeben. Bei Vollsanierung beziehen sich die Einsparungen auf die Dämmung aller Gebäudeteile mit zusätzlichem Heizungsaustausch. Die Einsparungen der Vollsanierung belaufen sich, bezogen auf den unsanierten Zustand, auf 100 bis 290 kWh/m<sup>2</sup>a oder 45 bis 70 %. Die Abbildung zeigt deutlich, dass insbesondere bei den alten Gebäuden die Einsparpotenziale höher sind.

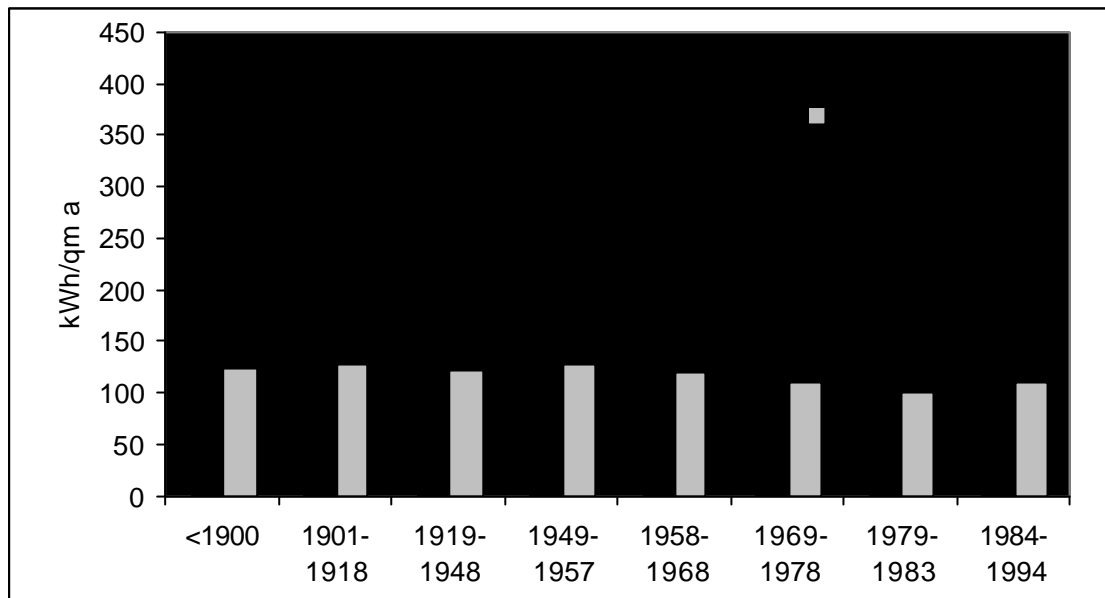


Bild 6: Spezifische Endenergieverbräuche für Raumwärme und Warmwasser nach EnEV für EFH

Solch hohe Einsparraten lassen sich bei Reihen- und Mehrfamilienhäusern nicht erzielen wie Bild 7 zeigt. Reihenhäuser (RDH) haben wegen der gemeinsamen Wände mit Nachbarhäusern einen geringeren Verbrauch im unsanierten Zustand. Kleine und große Mehrfamilienhäuser (KMH, GMH) besitzen wegen ihrer Kompaktheit ebenfalls einen geringeren spezifischen Verbrauch als Einfamilienhäuser. Für die Altersklasse 1949-1957 ergeben sich nach Bild 7 folgende Einsparungen durch Vollsanierung:

- Freistehendes Einfamilienhaus (EFH): 270 kWh/m<sup>2</sup>a                      68 %
- Reihenhäuser (RDH)    175 kWh/m<sup>2</sup>a                      58 %
- Kleines Mehrfamilienhaus (KMH)    160 kWh/m<sup>2</sup>a                      55 %
- Großes Mehrfamilienhaus (GMH)    130 kWh/m<sup>2</sup>a                      55 %.

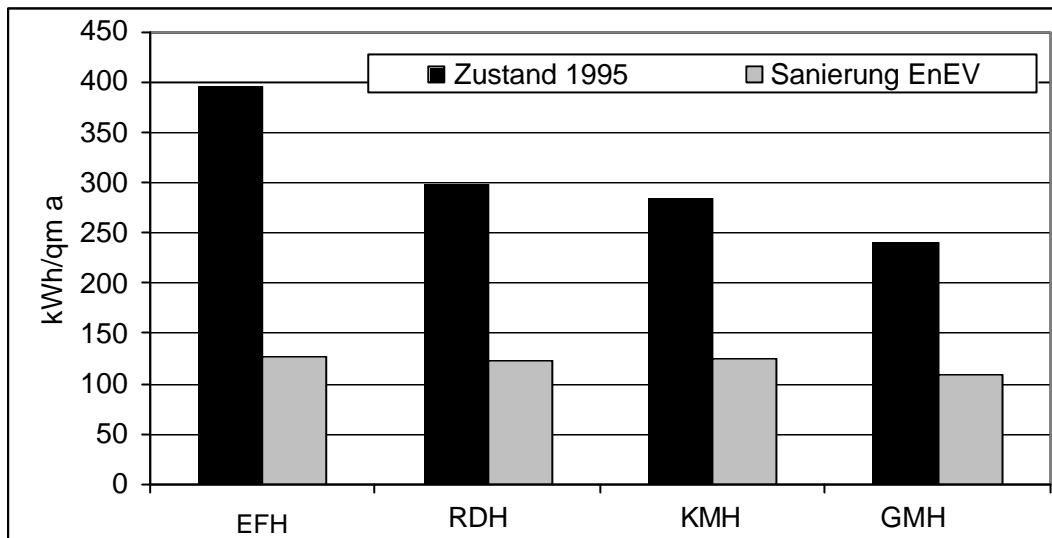


Bild 7: Spezifische Endenergie-Einsparpotenziale für Raumwärme und Warmwasser bei Vollsanierung nach EnEV (Altersklasse 1949-1957)

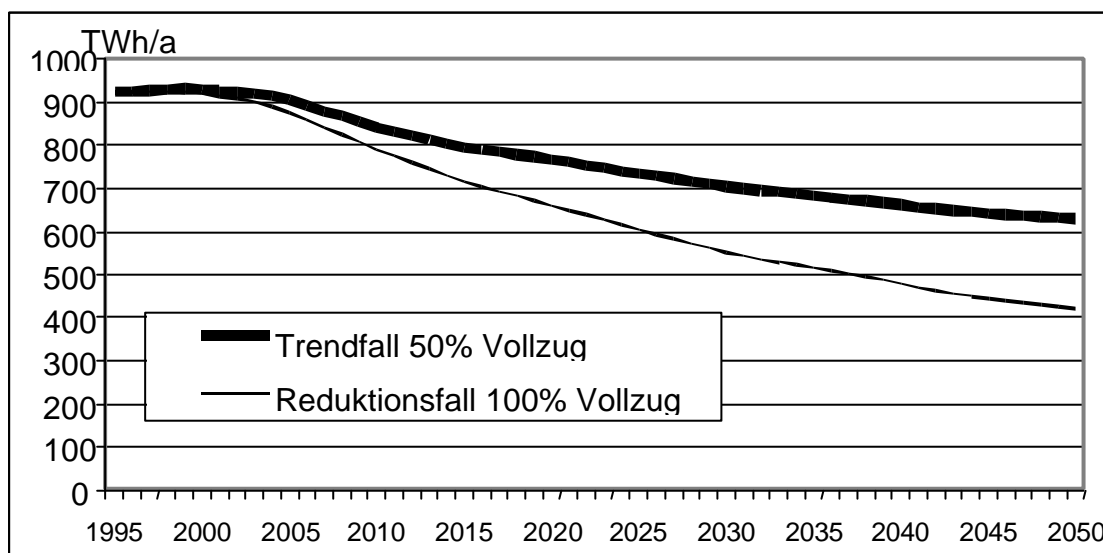
**Anmerkungen zu den Sanierungskosten:** Sanierungsmaßnahmen kommen an die Grenze der Wirtschaftlichkeit und können diese auch überschreiten, wenn die energetische Sanierung zusammen mit der ohnehin fälligen Gebäudesanierung durchgeführt wird. Für die Energiesparmaßnahmen sind dann nur die Mehrkosten gegenüber den Sowieso-Kosten in Anrechnung zu bringen. Insbesondere bei Mehrfamilienhäusern wird wegen ihrer kompakten Bauweise dann Wirtschaftlichkeit erreicht, wenn mit der technischen Lebensdauer gerechnet wird.

Außerdem ist zu berücksichtigen, dass der Gebäudebesitzer dann, wenn er aus baulichen Gründen das Gebäude sanieren muss, ohnehin verpflichtet ist entsprechende Wärmedämmmaßnahmen durchzuführen, und zwar ohne Rücksicht auf die Kosten.

#### 4.2.4.3 Langfristige Klimaschutzziele im Gebäudebestand kaum erreichbar

Nach den Szenariorechnungen wird sich der Energieverbrauch zur Wärmebereitstellung im Gebäudesektor bis etwa 2005 nur geringfügig ändern. Dies stimmt auch mit der realen Entwicklung der letzten Jahre gut überein.

Nach 2005 setzt jedoch zunehmend die Sanierung derjenigen Bauten ein, die zwischen dem zweiten Weltkrieg und dem Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung gebaut wurden, und die zu einem großen Teil noch unzureichend gedämmt sind, so dass hier erhebliche Einsparungen erschlossen werden können. Ein Teil der alten Gebäude mit hohem Verbrauch wird abgerissen, was sich ebenfalls verbrauchsmindernd auswirkt. Außerdem sind bis 2015 alle alten Heizungen gegen neue Anlagen mit wesentlich besserem Wirkungsgrad ausgetauscht, was auch einen deutlichen Einfluss auf den Verbrauchsrückgang hat. Die Dämmung der obersten Geschossdecken und der Kellerdecken, die von der EnEV vorgeschrieben wird, hat dann in einem gewissen Umfang zu greifen begonnen. Der zusätzlich Bedarf des Neubaubereichs, der hier mit eingerechnet ist, kompensiert die Minderungseffekte wieder. Die Entwicklung des gesamten Endenergieverbrauchs ist für die beiden Fälle in Bild 8 dargestellt.



**Bild 8:** Entwicklung des zukünftigen Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser der Gebäude im Wohn- und Nichtwohnbereich

Im Trendfall fällt der Gesamtverbrauch von 1990 bis 2020 um 17 % und bis 2050 um 32 % ab.

Im Reduktionsfall macht sich die Sanierungseffizienz von 100 % deutlich bemerkbar. Im Vergleich zu 1990 wird damit bis 2020 eine Verbrauchsminderung von 29 % erreicht und bis 2050 von 55 %.

Die in Bild 8 gezeigten Entwicklungen des Energieverbrauchs lassen sich mit ausreichender Genauigkeit auch als Trends für die CO<sub>2</sub>-Minderung interpretieren, da sich die Struktur der Verbräuche nicht so wesentlich ändern wird. Heizöl und Gas werden zusammen auch langfristig den weitaus überwiegenden Anteil an der Versorgung bereit stellen. Ihre Anteile werden sich weiter zugunsten des Gases gegeneinander verschieben. Langfristig wird also der CO<sub>2</sub>-Ausstoß gegenüber dem Energieverbrauch etwas stärker sinken.

Trotzdem ist der Schluss erlaubt, dass sich die derzeitigen Minderungsvorstellungen von 40 % bis 2020 und 80 % bis 2050 selbst im Reduktionsfall nicht erreichen lassen. Ursache hierfür ist die Tatsache, dass der Sanierungsprozess im Gebäudebestand sehr träge ist. Aufgrund der Lebensdauer der Bauteile liegt der mittlere Renovierungszyklus bei rund 50 Jahren. Die Einspareffekte durchdringen den Bestand also sehr langsam. Wenn die Werte des Reduktionsfalls erreicht werden sollen, dann müsste sofort eine ganz erheblich Verstärkung der Klimaschutzbemühungen im Gebäudebereich erfolgen. Die Klimaschutzziele müssen angesichts der Systemträgheit der Gebäudesanierung realistischer angesetzt werden.

#### **4.2.5. Warum die laufenden Förderprogramme nicht ausreichen**

##### ***Die laufenden Förderprogramme***

Auf Länder- und Kommunenebene gibt es eine Reihe von Förderprogrammen zur Altbausanierung. Als Förderinstrument werden in den meisten Fällen bevorzugt zinsverbilligte Darlehen eingesetzt. Die Konditionen variieren von Land zu Land. In Einzelfällen werden auch begrenzte Investitionszuschüsse gewährt. Die Bemessungsgrenze ist auch hier nicht einheitlich. Gelegentlich wird die Förderhöhe nach der konkret erzielten Einsparung bemessen. Im Vergleich zu den KfW Programmen handelt es sich hier um kleinere Programme. Die KfW Programme sind derzeit die bedeutendsten Förderprogramme zur Altbausanierung.

Die KfW-Programme dienen der zinsgünstigen, langfristigen Finanzierung von Investitionen zur Energieeinsparung und zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung in Wohngebäuden sowie der Errichtung von Passivhäusern, wobei der Zinssatz verbilligt wird und tilgungsfreie Anlaufjahre gewährt werden. Gefördert werden bis zu 100 % der Investitionskosten einschließlich der Nebenkosten zur Wärmedämmung und zur Heizungserneuerung. Die Anträge können von Privatpersonen, Wohnungsunternehmen, Gemeinden, Kreisen sowie sonstigen Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts gestellt werden.

Seit Anfang 2001 wurde neben dem schon seit 1996 laufenden alten Programm (Programm96) ein neues Förderprogramm (Programm01) eingerichtet. Während das alte Programm Einzelmaßnahmen fördert, konzentriert sich das neue Programm auf Maßnahmenbündel, die ein Mindesteinsparung von 40 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>a erreichen müssen. Für diese qualitativ bessere Sanierung werden 2 % mehr an Zinsverbilligung gewährt.

### ***Kreditzusagen und angestoßene Investitionen bis Ende 2001***

Die jährlichen Kreditzusagen und die insgesamt angestoßenen Investitionen als die kennzeichnenden Parameter der Programmumsetzung sind von 1996 bis 2001 in Tabelle 6 zusammengestellt (KfW 2002).

Die Kreditzusagen für den Altbaubereich im alten Programm sinken von 716 Mio. EUR im Startjahr 1996 auf ein absolutes Minimum von 386 Mio. EUR im Jahre 1998. Danach ist ein deutlich aufsteigender Trend zu verzeichnen. Die Kreditzusagen wachsen bis 2001 auf den Höchstwert der bisherigen Laufzeit von 786 Mio. EUR. Bezogen auf den Tiefststand von 1996 bedeutet dies eine Verdoppelung des Kreditvolumens. Der Anstieg bleibt offensichtlich unberührt davon, dass im Rahmen des neuen Programms Jahr 2001 zusätzlich 495 Mio. EUR nachgefragt werden.

Für das Programm01 wurden 2001 erstmalig rund 495 Mio. EUR an Krediten zugesagt. Interessant ist, dass der Betrag für das Programm01 deutlich geringer ist als für das Programm96, obwohl der Zinssatz hier erheblich günstiger ist. Dies lässt erkennen, dass der überwiegende Teil der Kreditnehmer offensichtlich Einzelmaßnahmen gegenüber Maßnahmenpaketen bevorzugt. Im unteren Teil von Tabelle 6 ist der Verlauf der angestoßenen Investitionen gezeigt. Sie verlaufen für den Altbaubereich etwa proportional zu den Krediten für die Altbausanierung. Das Verhältnis von Investitionen zu Kreditzusagen liegt im Mittel bei rund 1,5. Diese Zahl bedeutet, dass rund zwei Drittel der gesamten Investitionssumme durch KfW Kredite abgedeckt werden.

		1996	1997	1998	1999	2000	2001	Summe
<b>Kreditzusagen</b>								
Programm96	Altbau	716	436	386	685	564	786	3.573
Programm01	Altbau	0	0	0	0	0	495	495
Beide Programme	Altbau	716	436	386	685	564	1281	4.068
<b>Angestoßene Investitionen</b>								
Programm96	Altbau	1.152	767	798	1.032	697	1.092	5.538
Programm01	Altbau	0	0	0	0	0	694	694
Beide Programme	Altbau	1.152	767	798	1.032	697	1.786	6232

Tabelle 6: Jährliche Kreditzusagen und angestoßene Investitionen in Mio. EUR zu laufenden Preisen (Quelle: KfW 2002)

### ***Bisher geförderte Wohneinheiten***

Die Entwicklung der geförderten Wohnflächen und Wohneinheiten ist in Tabelle 7 für die beiden Programme zusammengestellt. Im Rahmen des Programms96 wurden in der Laufzeit von 1996 bis 2001 insgesamt 438.000 Wohneinheiten saniert. Das entspricht im Jahresmittel rund 73.000 Wohneinheiten. Im Jahr 2001 kommen dann Sanierungen im Rahmen des Programms01 von 29.900 Wohneinheiten dazu.

		1996	1997	1998	1999	2000	2001	Summe
Programm96	Altbau	109.500	61.500	46.000	72.600	58.500	89.900	438.000
Programm01	Altbau	0	0	0	0	0	29.900	29.900

Tabelle 7: Geförderte Wohneinheiten von 1996 bis 2001 (Quelle: KfW 2002)



In der Praxis hat sich gezeigt, dass Gebäude spätestens nach 50 Jahren renoviert werden sollten, um die Bausubstanz zu erhalten und um den Wohnkomfort zu verbessern. Außerdem sind alte Gebäude meist schlecht gedämmt und verschwenden deshalb große Mengen Energie. Ein mittlerer Renovierungszyklus von 50 Jahren bedeutet, dass jährlich 2 % des Gebäudebestandes modernisiert werden sollten. Bei insgesamt 37 Mio. Wohnungen entspricht dies einem mittleren jährlichen Sanierungsbedarf von rund 800.000 Wohnungen. Die mit KfW Programmen geförderten Wohnungen haben am rechnerischen Sanierungsvolumen im Mittel einen Anteil von weniger als 10 %. Im Jahr 2001 beträgt der Anteil wegen des neuen Programms insgesamt rund 15 %.

### ***CO<sub>2</sub>-Minderung und Arbeitsplatzeffekte***

Durch die Sanierung ergibt sich eine Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparung an den Gebäuden. Bei den Produzenten der Baustoffe und der Heizungsanlagen dagegen entstehen zusätzliche Emissionen. Die Nettoeinsparung resultiert dann aus der Differenz der Einsparungen bei den Gebäudebesitzern und den produktionsbedingten Mehremissionen.

Diese Netto-Einsparung kumuliert sich von Jahr zu Jahr, da immer mehr sanierte Gebäude dazu kommen. Bis 2001 haben beide KfW-Programme eine kumulative Nettoeinsparung von rund 1 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> erreicht<sup>19</sup>. Legt man diesen Wert auf die Laufzeit von sechs Jahren um, dann entspricht das etwa 0,17 Mio. Tonnen pro Jahr.

Würden Fassaden, Dächer, Fenster und Heizungsanlagen der 800.000 Wohnungen durch eine Vollsanierung erneuert, dann könnten jährlich 1 bis 1,5 Mio. t CO<sub>2</sub> eingespart werden. Das KfW Programm erreicht pro Jahr lediglich 11 bis 17 % dieses Wertes.

Ähnlich ist der Anteil bei den Arbeitsplätzen. Von dem rechnerischen Höchstwert von 240.000 Arbeitsplätzen werden durch das KfW Programm im Jahre 2001 nur rund 10 % ausgeschöpft.

### **Fazit**

Im Gebäudebereich sind die Möglichkeiten, durch Renovierungsmaßnahmen Energie zu sparen, erheblich, wie die Analysen in den vorstehenden Abschnitten zeigen. Im Gegensatz dazu sind aber die Wirkungen der Gebäudemodernisierung im Gesamtbestand von 1990 bis heute wenig spürbar. Trotz vieler Bekenntnisse zum Klimaschutz ist der

---

<sup>19</sup> Kleemann et al., 2002.

Heizenergieverbrauch in Deutschland seit 1990 nicht kleiner, sondern über viele Jahre laufend größer geworden. Erst in den letzten Jahren ist eine zaghafte Trendumkehr zu erkennen, was sicher mit auf die Wirkung des langsam stärker greifenden KfW Programms zurückzuführen ist. Der mögliche Einfluss der Ökosteuer lässt sich wegen der starken, weltmarktbedingten Fluktuationen des Ölpreises schwer abschätzen.

Trotzdem werden durch das wichtigste existierende Förderprogramm lediglich 10 bis 15 % der jeweiligen Potenziale ausgeschöpft, wie die vorstehenden Ausführungen zeigen. Das ist bei weitem zu wenig, um die gesetzten Klimaschutzziele zu erreichen. Wird die negative Entwicklung im Gebäudesektor weiterhin politisch akzeptiert bzw. ignoriert, dann sind auch die langfristigen Klimaschutzziele, auf die sich die Diskussion zunehmend bezieht, nicht zu erreichen. Der dann entstehende Schaden dürfte gravierende politische, ökologische und bauwirtschaftliche Auswirkungen haben.

#### **4.2.6. Empfehlung für eine erweiterte Förderung**

Eine größere Breitenwirkung erzielte Ende der siebziger und Anfang der achtziger Jahre die steuerliche Abschreibung nach §82a EStDV<sup>20</sup>. Die pro Jahr angestoßenen Investitionen waren im Vergleich zum KfW-Programm z.T. mehr als zehnmal so hoch. Da steuerliche Anreize aller Erfahrung nach wirksamer sind und stärker greifen als sonstige Förderkonzepte, wird vorgeschlagen, als Ergänzung zu den laufenden KfW-Programmen eine verbesserte Förderung durchzuführen, die auf einer steuerlichen Abschreibungsvariante beruht. Sie sollte an den Erfolg, d. h. an die jeweils erreichte Einsparung gekoppelt sein. Das KfW Programm sollte auf jeden Fall weiter laufen, damit insbesondere diejenigen Gebäudeeigentümer mit erfasst werden, die auf Kredite angewiesen sind.

Mit einer verbesserten Förderung sollten qualifizierte, energiesparende Investitionsmaßnahmen in großer Breite angestoßen werden, ähnlich wie mit dem §82a EStDV. Der Gebäudesektor würde dann endlich aus dem Bereich der roten, d.h. steigenden, CO<sub>2</sub>-Zahlen kommen und stärker sinkende Emissionen verzeichnen. Der positive wirtschaftliche Effekt eines solchen Förderprogramms wäre ein dringend notwendiger Auftragsimpuls für die Baubranche. Daneben würde das Programm die Schwarzarbeit reduzieren und die Kosten der Arbeitslosigkeit senken. Bei nur 100.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen, sparte der Staat rund 2 Mrd. € an Arbeitslosenunterstützung. Der Förderaufwand für eine steuerliche Abschreibung würde dadurch kompensiert, und das Programm wäre für den Staat aufkommensneutral.

---

<sup>20</sup> Bartholomai, 2001.

Außerdem sind weiterhin flankierende Maßnahmen wie Motivation, Information und Beratung der Gebäudeeigentümer sowie die Weiterbildung der Planer und Handwerker verstärkt notwendig.

### **4.3 Der motorisierte Verkehr**

#### **4.3.1 Vorbemerkung**

Der motorisierte Verkehr in den Formen des Land-, See- und Luftverkehrs von Personen und Gütern ist gleichzeitig eine Voraussetzung und die Folge einer Wirtschaftsform, die sich national und international hochgradig arbeitsteilig ausdifferenziert hat. Transportprozesse ermöglichen es, Waren und Dienstleistungen jeweils dort zu erzeugen oder zu erbringen, wo dies – auch unter Berücksichtigung der Kosten des Transports – unter Beachtung der Anforderungen an die Qualität besonders kostengünstig möglich ist. Weltweit greifen in einem komplexen Wirkungsgefüge unter Nutzung leistungsfähiger IuK-Technologien Transportprozesse im Güterverkehr, im Tourismus und im Geschäftsreiseverkehr dergestalt ineinander, dass globale Wirtschaftsbeziehungen und auch globalisierte Lebensstile entstehen.

Neben wirtschaftlichen Bedürfnissen im engeren Sinn dient der Verkehr in hohem Maße der Organisation des Alltags, der Ermöglichung eines angenehmen Wohnens, des Reisens aus allen denkbaren Gründen usw. Die Verfügbarkeit über Mobilität macht für die Mehrheit der Deutschen einen wesentlichen Teil der Lebensqualität aus<sup>21</sup>. Nicht zuletzt wird über die Mobilität selber oder auch über den Besitz von Fahrzeugen (z.B. Pkw) die Zugehörigkeit zu Gruppen oder Schichten, der eigene Status und vieles andere ausgedrückt. In der Summe ist Mobilität in ihren vielen Ausprägungen zutiefst in den Strukturen unsere Gesellschaft verankert<sup>22</sup>.

Die Nachfrage nach Verkehrsleistungen ist daher über die Jahrzehnte stetig gestiegen. Diese Tendenz wird sich weiter fortsetzen, wobei die Wachstumsraten in den entwickelten Ländern geringer werden, während sie in allen anderen Ländern beträchtlich bleiben.

Die weltweite Nachfrage nach Verkehrsleistungen hat eine hoch differenzierte Industrie hervor gebracht, die leistungsfähige Transportmittel zu vertretbaren Kosten herzustellen und

---

<sup>21</sup> Aschebach, 2001.

<sup>22</sup> Es gibt Untersuchungen, die zeigen, dass Mobilität geradezu eine Grundkonstante des Lebens und insbesondere des menschlichen Lebens darstellt (siehe z. B. Gleich, 1998).

zu vermarkten vermag. Deutsche Firmen haben auf diesem Gebiet eine weltweit führende Position und tragen so erheblich zu Beschäftigung und Wohlstand bei.

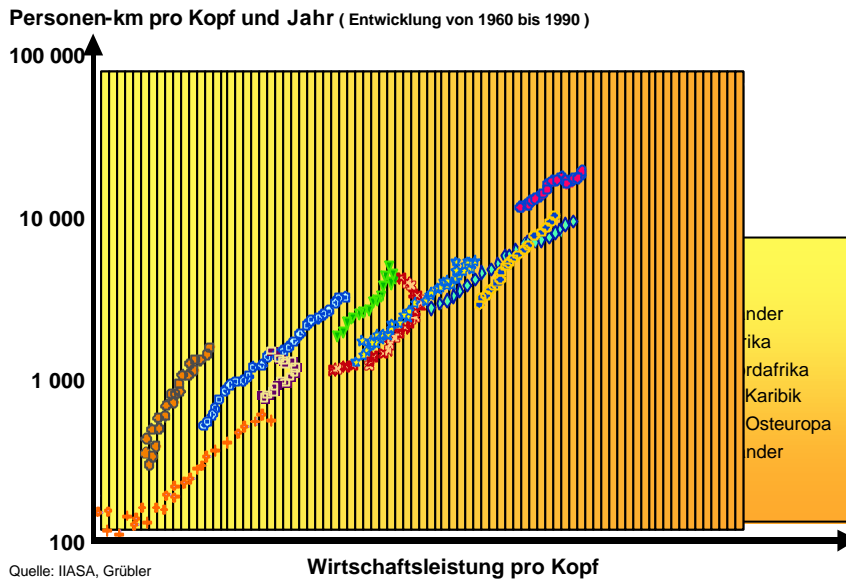


Bild 9: Zusammenhang von Wohlstand und Verkehrsleistung (Quelle: Shell 2001)

Die wichtige Rolle, die dem Verkehr von unserer Gesellschaft eingeräumt wird, hat auch dazu geführt, dass

- seine Infrastrukturen vielerorts landschaftsprägend geworden sind,
- die Menge der Verkehrsprozesse zur Belastung werden kann, weil sie die Aufenthaltsqualität mancherorts erheblich beeinträchtigt,
- die Emissionen des Verkehrs an Schadstoffen und Lärm zu Immissionen führen können, die schädigend sind,
- fossile Energie in erheblichem Umfang für den Verkehr eingesetzt werden muss und damit treibhauswirksame Gase freigesetzt werden.

Diese negativen Auswirkungen müssen durch entsprechende technische und organisatorische Maßnahmen in ihren Auswirkungen so begrenzt werden, dass sie weder eine Gefahr noch eine unzumutbare Belastung für die Bevölkerung darstellen und die Umwelt nicht schädigen.

Die Wahrnehmung dieser negativen Auswirkungen hat sich in der Vergangenheit immer wieder verändert und ist auch international unterschiedlich. Während in Deutschland zunächst die toxischen Emissionen im Vordergrund standen, waren es später die Säurebildner („Waldsterben“), dann die photochemisch aktiven („Ozon-Problem“)<sup>23</sup>. Rückblickend kann man feststellen, dass alle jeweils adressierten Probleme so weitgehend gelöst werden konnten, dass eine Gefährdung bzw. schwere Beeinträchtigung fast überall vermieden werden konnte<sup>24</sup>. Als Beispiel zeigt Bild 10 die Entwicklung der Luftschadstoffemissionen aus dem deutschen Straßenverkehr.

Der Prozess zur Lösung solcher Probleme geht in der Regel durch einige Phasen:

- deutliche, häufig übertreibende Darstellung eines speziellen Problembereichs durch Umweltgruppen; Übernahme der Argumente durch politische Gruppen;
- Abwehrhaltung der betroffenen Industrien;
- Erarbeitung einer gemeinsamen Problemsicht und Festlegung von Zielen z. B. in Form von Verordnungen oder Selbstverpflichtungen; Schaffung von Anreizen über steuerliche Maßnahmen;
- technische Umsetzung.

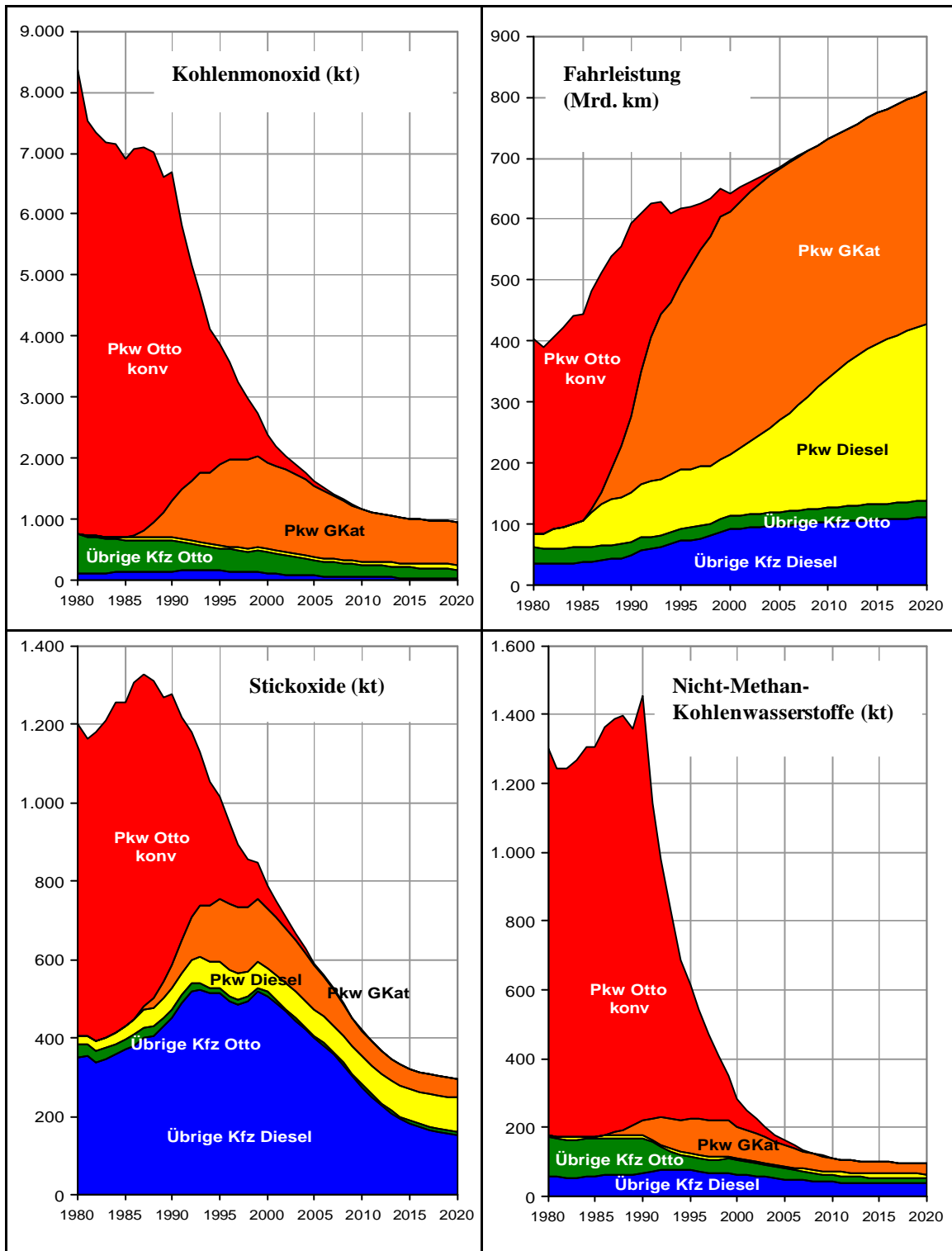
Diese Phasen überlappen sich teilweise. Es dauert jedoch immer rund zehn Jahre, bis wesentliche Veränderungen in der Breite wirksam werden.

Heute konzentriert sich die Aufmerksamkeit auf die Freisetzungen von Treibhausgasen (THG). In Deutschland trägt der Verkehr heute zu rd. 22 % zu den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei. Der Endenergieverbrauch im Landverkehr stieg Anfang der 90er Jahre vereinigungsbedingt deutlich an; seither wächst er unter Schwankungen nur noch wenig; der Luftverkehr zeigt eine stark wachsende Tendenz. In weltweiter Perspektive sind für den gesamten Verkehrssektor weiter steigende CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erwarten. Vor diesem Hintergrund haben Maßnahmen im Bereich Verkehr auch in Deutschland eine hohe Bedeutung bei der Realisierung von Klimaschutzzielen.

---

<sup>23</sup> Teilweise parallel liefen die Bemühungen um die Vermeidung der Emissionen von Blei, um eine bessere Unabhängigkeit vom importierten Öl, zur Verminderung der Geräuschemissionen, zur Verbesserung der Verkehrssicherheit, zur Entschärfung des Abfallproblems usw.

<sup>24</sup> für Details siehe Hoepfner, (2001 a).



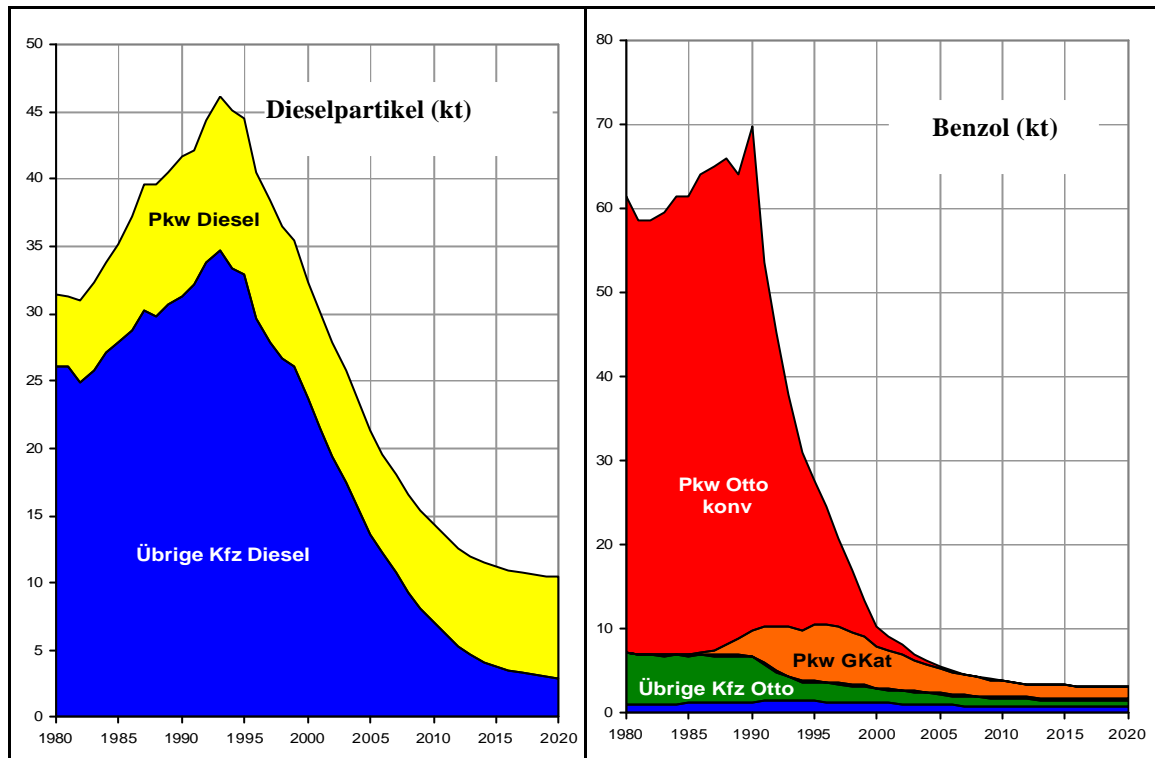


Bild 10: Zeitlicher Verlauf der Menge an Emissionen verschiedener Luftschadstoffe aus dem Verkehr (Quelle: Hoepfner 2001 b).

Die wichtigsten Energieträger im Bereich Verkehr sind heute mit 45,1 % das Benzin (Normal- und Super-Benzin), Diesel mit 41,7 % und das ausschließlich im Flugverkehr eingesetzte Kerosin mit 10,8 %. Die übrigen Anteile entfallen mit 2,1 % auf elektrischen Strom (vor allem Bahnstrom) und zu 0,2 % auf Biodiesel. Alle anderen Treibstoffe sind statistisch unbedeutend.

#### 4.3.2 Die wesentlichen Verkehrsentwicklungen

Zwei Drittel des Energieeinsatzes im Verkehrsbereich sind heute auf den Personenverkehr zurückzuführen. Den Hauptanteil hat daran der motorisierte Individualverkehr (MIV). Er bewältigte im Jahre 2000 rd. 740 Mrd. Personenkilometer (Pkm) (+ 4 % gegenüber 1991), die Gesamtfahrleistungen der Pkw/Kombi lagen bei 517 Mrd. Fz-km. In den nächsten Jahren wird sich der durch den MIV bedingte Energieeinsatz zunächst stabilisieren und dann langsam sinken. Ursache für diese Entwicklung sind zum einen die nur mehr geringen Änderungen im Verkehrsaufkommen, zum anderen der schrittweise Übergang zu Fahrzeugen mit höherer Treibstoffeffizienz.

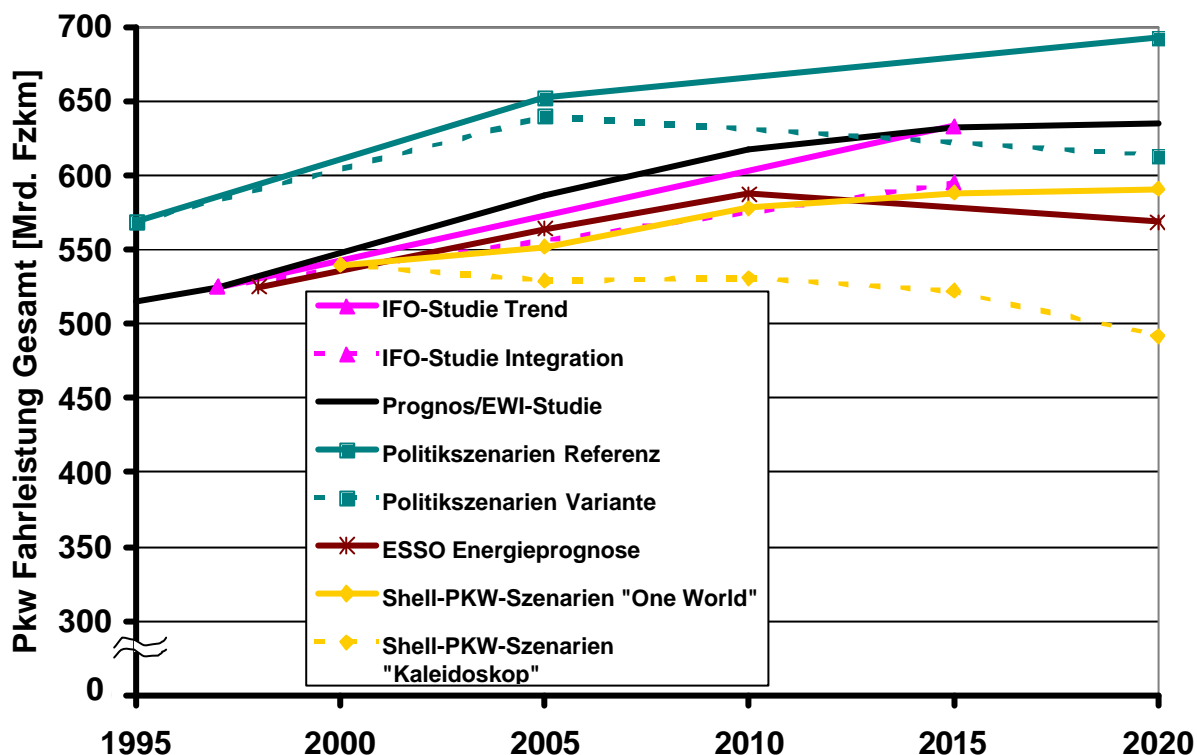


Bild 11: Annahmen verschiedener Szenarien über die künftige Entwicklung der Pkw-Fahrleistungen in Deutschland (Quelle: Forschungszentrums Jülich 2002)

Bei gegebenen Siedlungsstrukturen hängt die Entwicklung des Pkw-Verkehrs i. W. von der Zahl der Führerscheinbesitzer und deren verfügbarem Einkommen ab. Seit 1991 hat der Pkw-Bestand von ca. 37 Mio. auf ca. 43 Mio. Einheiten zugenommen; bis zum Jahre 2020 weisen Prognosen 48 bis 55 Mio. Pkw aus. Bei leicht rückläufigen jährlichen Fahrleistungen pro Auto – rund 12.000 km im Jahre 2000, rund 11.000 km im Jahre 2020 – wird die Gesamtfahrleistung bis 2020 nach den vorliegenden Prognosen und Szenarien zwischen 7 % und 20 % zunehmen (Basis 1995). Nur Szenarien, die von einer starken staatlichen Lenkung der Verkehrsentwicklung ausgehen, lassen einen Rückgang der gesamten Pkw-Fahrleistung erwarten.<sup>25</sup>

Der Straßengüterverkehr hat während der letzten Dekade in Deutschland eine deutlich höhere Dynamik gezeigt als der MIV. Die Transportleistung stieg von 1991 bis 2000 um rund 41 % auf 347 Mrd. tkm. Zugleich verringerte sich das Aufkommen des Schienenverkehrs um 5 % auf ca. 76 Mrd. tkm.

<sup>25</sup> Forschungszentrum Jülich 2002.



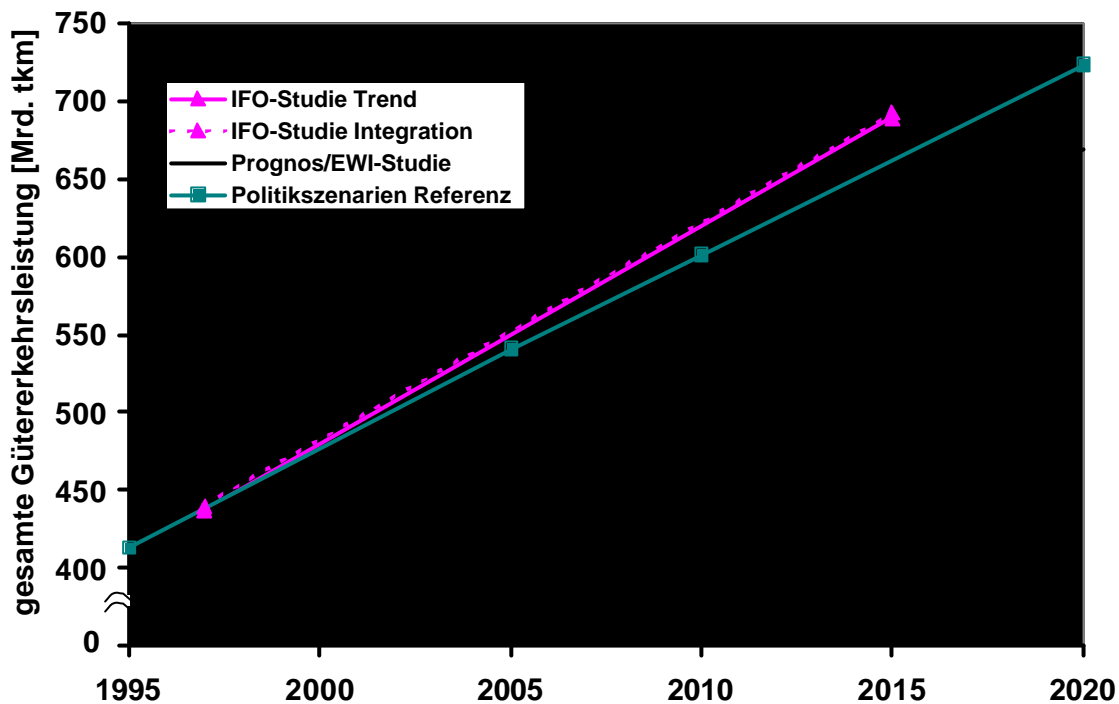


Bild 12: Annahmen verschiedener Szenarien über die künftige Entwicklung der Güterverkehrsleistung in Deutschland (Quelle: Forschungszentrums Jülich 2002)

Treibende Kräfte des Verkehrsanstiegs beim Straßengüterverkehr ist die weitere Ausdifferenzierung der arbeitsteiligen Wirtschaft bei gleichzeitiger Öffnung der Grenzen nach Osten. Die Liberalisierung der Transportmärkte in der EU hat einerseits zu zusätzlichem Kostendruck (niedrigere Personalkosten, geringere Kraftstoffkosten, geringere Besteuerung in einigen wichtigen Drittstaaten) geführt, andererseits zur Steigerung der durchschnittlichen Auslastung der Lkw beigetragen. Es ist derzeit noch schwer abzuschätzen, ob die Einführung des Internethandels und verwandter Techniken netto zu einer Zu- oder Abnahme des Straßenverkehrs führen wird.<sup>26</sup>

Die relative Bedeutung der Schiene im Güterverkehr ging in Deutschland seit 1991 kontinuierlich zurück. Auch im internationalen Verkehr haben sich die Bahnen in Deutschland und in den Nachbarländern weder in Bezug auf die Qualität und Flexibilität ihrer Leistungsangebote noch durch günstigere Tarife einen Anteil am wachsenden Volumen der Frachtmärkte sichern können. Betriebliche Schwierigkeiten, aber auch die immer noch zu unbeweglichen Organisationsstrukturen erschweren es ihnen auch weiterhin, konkurrenzfähige Leistungen anzubieten. Auch die Verkehre aus den östlichen Nachbarländern drängen auf die Straßen, obwohl die Voraussetzungen bezüglich der Eisenbahn-Netzichte dort grundsätzlich nicht ungünstig wären. Diese Entwicklung trägt wesentlich zu der erwarteten Verdoppelung des Güter-Transitverkehrs auf den Straßen bei. Die

Verlagerung von Güterverkehr von der Straße auf die Schiene ist seit langem ein weithin geteiltes politisches Ziel; man muss allerdings erkennen, dass selbst bei einer Verdoppelung des Schienengüterverkehrs bis 2020 der Straßengüterverkehr immer noch um 10 % oder mehr wachsen würde.

Im Luftverkehr ist eine Stabilisierung des Verkehrsaufkommens und damit des Energieverbrauchs vor allem wegen des Wachstums des internationalen Verkehrs nicht absehbar<sup>27</sup>. Er ist daher ein wichtiger Adressat von THG-Minderungsmaßnahmen, zumal der grenzüberschreitende Luftverkehr in den bisherigen statistischen Abgrenzungen nicht angemessen berücksichtigt wird<sup>28</sup>.

### **4.3.3 Die Entwicklung des Energieverbrauchs und der THW-Emissionen im Verkehr**

#### **4.3.3.1 Bestimmende Faktoren für den Energieverbrauch**

Den Endenergieverbrauch des Verkehrs wird durch die folgenden Faktoren bestimmt:

- Die Entwicklung des Verkehrsaufkommens in Personen- und Tonnenkilometern insgesamt,
- die Aufteilung des Verkehrsaufkommens auf die verschiedenen Verkehrsträger (Modal Split),
- die Auslastung der Fahrzeuge,
- die technischen Merkmale der Fahrzeuge, die den Bedarf an Antriebsenergie für die Fahrzeugbewegung bestimmen, insbesondere Masse (inkl. rotierende Massen), Roll- und Luftwiderstand,
- der Wirkungsgrad der Fahrzeugantriebe,
- die Ausstattung der Fahrzeuge mit Nebenverbrauchern bzw. mit Energierückgewinnungseinrichtungen,
- der Zustand der Verkehrswege,
- das Verhalten der Fahrzeugführer,

---

<sup>26</sup> Zoche et al., 2001.

<sup>27</sup> Es wird angenommen, dass die Rückgänge infolge des 11.9.2001 nur vorübergehender Natur sind.

<sup>28</sup> Die übliche statistische Abgrenzung nach dem Territorialprinzip erfasst nur die über dem betreffenden Land abgewickelten Flüge; Flüge über internationalem Gewässer bleiben außer Betracht. Zudem ist eine Zuordnung von Emissionen zu Verursachern so nicht möglich. Die statistische Verfälschung liegt bei einem Faktor 10.

- die Organisation des Verkehrs (Direktheit der Verbindungen, Flüssigkeit des Verkehrs, einfache Möglichkeit zum Wechsel zwischen Verkehrsträgern, usw.),
- die Qualität der Information für den Fahrzeugführer über optimale Wege, Verkehrsbehinderungen und andere den Verbrauch oder die Länge der zurück zu legenden Strecken bestimmenden Faktoren.

Für die Menge der erforderlichen Primärenergien ist daneben die Umwandlungskette relevant. In der weitaus überwiegenden Zahl der Straßen-, See- und Luftfahrzeuge und in vielen Schienenfahrzeugen muss die Nutzenergie an Bord aus chemischen Speichermedien gewonnen werden; dies erfordert „edle“, leicht umsetzbare, sehr sauber verbrennende Endenergien (Benzin, Diesel, Kerosin)<sup>29</sup>. Elektrisch betriebene Fahrzeuge werden fast immer über Leitungen versorgt.<sup>30</sup> Die Emissionen an THG ergeben sich aus der eingesetzten Primärenergie, den Verlusten im Umwandlungssektor und dem erforderlichen Endenergiebedarf; die reine Betrachtung von Auspuffemissionen ist nicht zielführend<sup>31</sup>.

Etwa 95% des heutigen Energieverbrauchs im Verkehr entfallen auf die Bereiche

- Motorisierter Individualverkehr (MIV),
- bodengebundener Güterverkehr,
- Luftverkehr.

Sie werden im Folgenden eingehender betrachtet. Die nicht berücksichtigten Bereiche – Personenverkehr mit Bussen und Bahnen, motorisierter Individualverkehr mit Zweirädern, Binnenschifffahrt, Pipelines – sind zwar in globaler Betrachtung unerheblich, können aber durchaus relevante lokale Wirkungen haben. So sind Stadtbusse wesentliche Emittenten von Lärm und Ruß. Motorräder können signifikant zur Bildung von bodennahem Ozon beitragen und sind ebenfalls teilweise erhebliche Lärmemittenten.

Wegen der Veränderungen in den Verkehrsstatistiken nach der Wiedervereinigung sind geschlossene Zahlenreihen erst ab 1991 verfügbar, daher wird im Folgenden dieses Jahr als Referenz herangezogen.

<sup>29</sup> Eine Ausnahme bilden die Antriebsmaschinen großer Schiffe. Hier sind genügend Platz für aufwändige Kraftanlagen und ein passendes Betriebsregime mit langen Phasen im Stationärbetrieb vorhanden, so dass – wie in stationären Kraftwerken – billige Energieträger (z. B. Destillationsrückstände) genutzt werden können.

<sup>30</sup> Das Problem der Speicherung von Elektrizität in fahrzeugtauglichen Batterien ist trotz einiger Fortschritte weiter ungelöst.

<sup>31</sup> Das gilt auch für den Bahnstrom. Der Einfluss des Schienenverkehrs auf die THG-Bilanz wird i. W. von der Stromerzeugungsstruktur bestimmt.

#### 4.3.3.2 Der Pkw-Verkehr

Der spezifische Verbrauch des Fahrzeugbestandes hat zwischen 1991 und 2000 bei PKW mit Otto-Motor von 9,5 auf 8,8 l/100 km abgenommen, bei Diesel-PKW von 7,7 auf 7,4 l/100 km. Der Verbrauchsvorteil des Dieselantriebs relativiert sich durch die um 13 % höhere Dichte und die entsprechend höhere CO<sub>2</sub>-Emission. In den nächsten Jahren wird der Verbrauch weiter sinken; die im ACEA zusammengeschlossenen Autohersteller haben sich gegenüber der EU-Kommission verpflichtet, die CO<sub>2</sub>-Emissionen neuer Fahrzeuge bis 2008 auf 140 g/km zu reduzieren (entspricht 5,8 l/100 km Ottokraftstoff bzw. 5,3 l/100 km Diesel). Die Importeure haben eine ähnliche Zusage gemacht. Es ist daher davon auszugehen, dass in der Überlagerung von Fahrleistungsentwicklung und spezifischen Kraftstoffverbrauch der Gesamtverbrauch der Pkw insgesamt deutlich rückläufig sein wird. Die vorliegenden Studien gehen von einer Reduktion der Verbrauchswerte im Fahrzeugbestand um 22 - 37 % im Zeitraum 1997 bis 2020 aus<sup>32</sup>.

#### 4.3.3.3 Der Lkw-Verkehr

Die Entwicklung des Straßengüterverkehrs hängt ab von

- weiter zunehmender nationaler und internationaler wirtschaftlicher Verflechtung mit einer erwarteten Zunahme der grenzüberschreitenden Güterverkehrsleistung um 97 %<sup>33</sup>,
- einem um 105 % steigenden Transitverkehr vor allem infolge zunehmender wirtschaftlicher Verflechtung unserer östlichen Nachbarländer mit der EU<sup>34</sup>,
- einem wachsenden Volumen im Bereich der flexiblen Lieferdienste, die typischerweise mit gering ausgelasteten kleinen bis mittelgroßen Fahrzeugen bedient werden.

---

<sup>32</sup> Forschungszentrum Jülich, 2002.

<sup>33</sup> Verkehrsbericht 2000 der Bundesregierung.

<sup>34</sup> Verkehrsbericht 2000 der Bundesregierung.

von 1991 bis 2000 wuchs die Transportleistung auf der Straße um 41 % auf 347 Mrd. tkm. Die gleichzeitig erreichten Verbesserungen bei den spezifischen Verbräuchen der verschiedenen Lkw-Kategorien konnten diesen Anstieg nicht kompensieren, zumal sie teilweise durch verschlechterte Verkehrsbedingungen aufgezehrt wurden; der Endenergieverbrauch (ausschließlich Dieselmotoren) und damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen ist daher um 38 % auf 17 Mio. t angestiegen.

Die verschiedenen Prognosen und Szenarien weisen eine Steigerung der Güterverkehrsleistung von 1997 bis 2020 zwischen 53 % und 65 % aus. Der Anteil des Transports von Gütern auf der Straße an den gesamten Verkehrsleistungen des Güterverkehrs betrug im Jahr 2000 knapp 71 %; für das Jahr 2015 wird ein Anteil zwischen 70 % und 74 % vorhergesagt.<sup>35</sup>

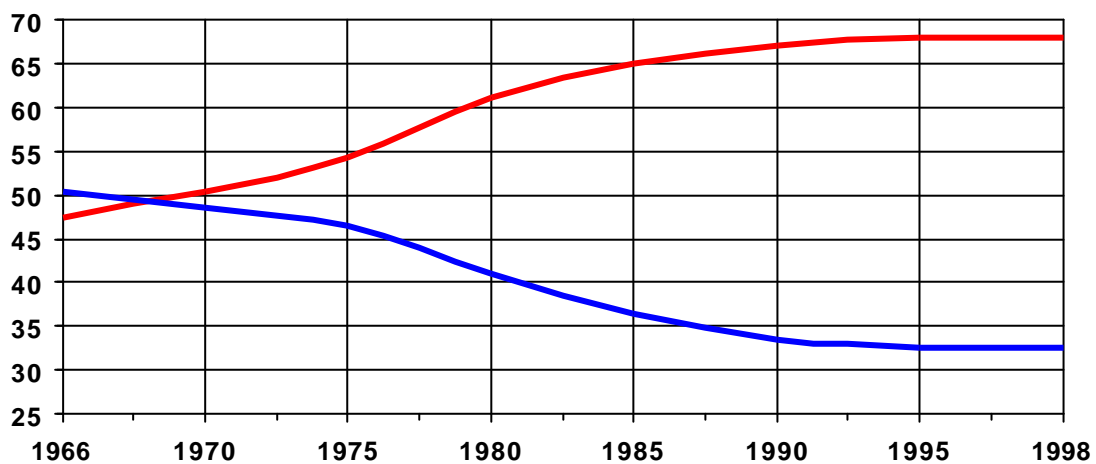


Bild 13: Kraftstoffverbrauch in l/100 km (blau) und Durchschnittsgeschwindigkeit in km/h (rot) von 38 t-Lkw-Zügen (Quelle: MAN Nutzfahrzeuge, 2001)

Die vorliegenden Studien gehen von einer 10 % bzw. 5 % bis 7 % Reduktion des Verbrauchs im Bestand von 1997 bis 2015 aus; generell wird den Straßengüterverkehrsfahrzeugen ein niedrigeres Kraftstoffverbrauch-Reduktionspotenzial im Vergleich zum Pkw-Sektor unterstellt.<sup>36</sup>

<sup>35</sup> Forschungszentrum Jülich, 2002.

<sup>36</sup> Forschungszentrum Jülich, 2002.

#### 4.3.3.4 Der Luftverkehr

Bezogen auf die Verkehrsleistungen von 1995 wird in den vorliegenden Studien ein absolutes Wachstum des Personenluftverkehrs mit einer Bandbreite zwischen 50 % und 200 % angegeben<sup>37</sup>. Langfristig werden Minderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Passagier-km um 50 % und der NO<sub>x</sub>-Emissionen um 80 % durch Maßnahmen an den Flugzeugen, den Triebwerken, den Flugprozeduren und durch ein Größenwachstum der Maschinen für realisierbar gehalten<sup>38</sup>. Die Nachfrageentwicklung wird dennoch zu einem Anstieg des Energieverbrauches führen, zumal diese Verbesserungen erst allmählich in der Flotte wirksam werden.

#### 4.3.3.5 THG-Emissionen des gesamten Verkehrssektors

In der Summe ergibt sich für den gesamten Verkehrssektor je nach Annahmen von 1997 bis 2020 eine Spannweite der Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von – 16,1 % - + 10,2%.<sup>39</sup>

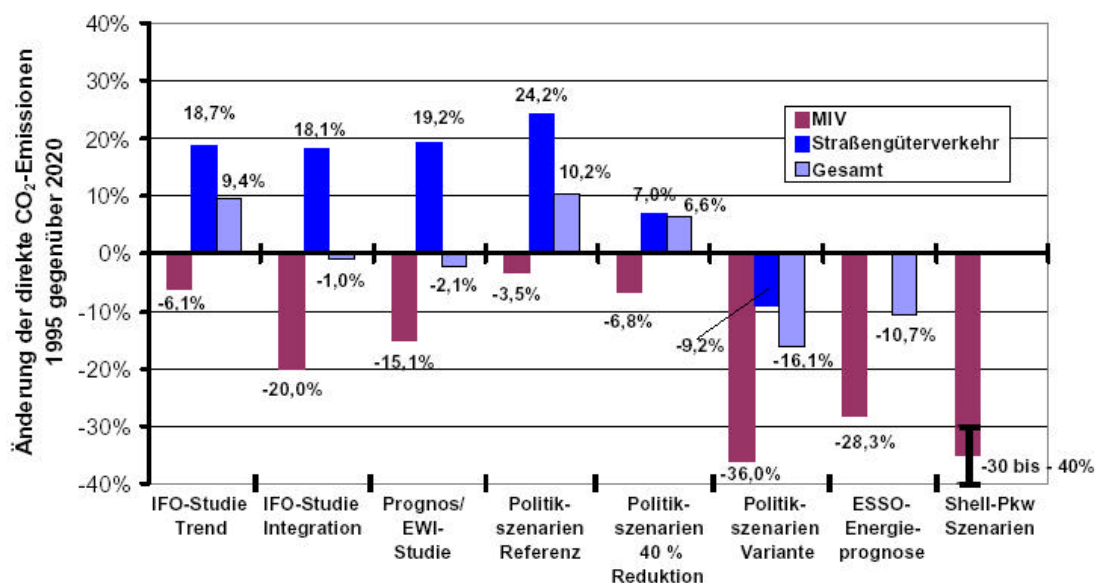


Bild 14: Änderung der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors von 1995 bis 2020 nach verschiedenen aktuellen Szenariorechnungen (Quelle: Forschungszentrum Jülich 2002)

<sup>37</sup> Forschungszentrum Jülich, 2002.

<sup>38</sup> Group of Personalities, 2001.

<sup>39</sup> Forschungszentrum Jülich, 2002.

#### 4.3.4 Übersicht über effizienzverbessernde Techniken

Wie jedes Produkt, werden Verkehrsmittel wie Pkw, Lkw, Schiffe, Flugzeuge höchstens entsprechend dem jeweiligen technischen Wissensstand realisiert. Sie werden von Generation zu Generation kontinuierlich verbessert. Ansatzpunkte bieten

- die Konzepte der Produkte selber,
- die zur Anwendung kommenden Technologien (z. B. Werkstoffe, elektronische Steuerungen, Reibpaarungen, Schmiermittel, Kraftstoffqualitäten),
- die Fertigungsprozesse (z. B. Fügeverfahren, Automatisierung schwierig durchzuführender Arbeiten, Umform- und Urformverfahren),
- die Entwicklungsmethoden (z. B. Konstruktionsverfahren, Berechnungsmethoden, Versuchsmethodik, Qualitätsmanagement).

Es hängt von der Einschätzung des Marktes durch den Produzenten ab, welche Ziele mit diesen Verbesserungspotenzialen angestrebt werden. In der Vergangenheit hat die Fahrzeug- und Flugzeugindustrie wiederholt bewiesen, dass sie in der Lage ist, strenge Anforderungen bezüglich Verbrauch, Emissionen von Gasen, Partikeln und Lärm, Recycling usw. zu erfüllen. Dies gelingt umso besser, je klarer und langfristig verlässlich die entsprechenden Ziele formuliert sind.

Es ist eine häufige Situation, dass sich Vorgaben aus verschiedenen Politikfeldern in der technischen Realisierung widersprechen. Ein Beispiel dafür sind Maßnahmen zu Verbesserung der passiven Sicherheit, die über das zwangsläufig zunehmende Gewicht durch Verstärkungen an der Karosserie, Einbau von Rückhaltesystemen usw. zu einer Verschlechterung des Kraftstoffverbrauchs führen.<sup>40</sup> Ein anderes Beispiel ist die Forderung des europäischen Gesetzgebers nach einer sehr hohen Quote an materieller Wiederverwertung von Werkstoffen beim Recycling. Dies wird schon bei konventioneller Bauweise immer schwieriger, je leichter das betreffende Fahrzeug ist, da vor allem an den großen Komponenten Gewicht gespart werden kann. Zudem sind nach heutigem Wissen extrem leichte Materialien wie CFK im Straßenfahrzeugbau nur mit unwirtschaftlichem Aufwand materiell wieder zu verwerten. Die theoretischen Potenziale zur Verbrauchsminderungen sind daher in der Praxis oft nicht voll umsetzbar<sup>41</sup>.

<sup>40</sup> Mehrgewicht für Maßnahmen zu Verbesserung der passiven Sicherheit und zur Begrenzung von Schäden durch Bagatellunfälle für einen Mittelklasse-Pkw ca. 110 kg; das entspricht einem Mehrverbrauch von ca. 0,6 l/100 km. (Quelle: Schindler, 1997).

<sup>41</sup> Schaper, 2001.

#### 4.3.4.1 Kategorisierung der Maßnahmen

Zur Minderung der verkehrsbedingten Emissionen können am einzelnen Fahrzeug bzw. Fluggerät Maßnahmen aus den folgenden Kategorien einzeln oder in Kombination eingesetzt werden<sup>42</sup>:

- Verminderung aller Betriebswiderstände (z. B. Trägheitsmomente, Gewicht, Roll- und Luftwiderstand),
- Energiemanagement im Fahrzeug (z. B. Abwärmenutzung, Bremsenergierückgewinnung, Management der Nebenverbraucher),
- Effizienzverbesserung an konventionellen Antrieben (Erhöhung des Wirkungsgrades bei der Umsetzung des Treibstoffes in Bewegungsenergie des Fahrzeuges),
- Verwendung neuer Antriebe (z. B. Brennstoffzellen, Elektromotor),
- Einsatz alternativer Treibstoffe mit geringerem Gehalt an fossilem Kohlenstoff (z. B. Erdgas, Synfuel, „Sunfuel“, Methanol, Wasserstoff; dabei muss die Bereitstellungskette mit betrachtet werden),
- Unterstützung des Fahrers bei der energieeffizienten Nutzung eines Fahrzeugs durch Fahrerassistenzsysteme.

Ein weiteres wesentliches Potenzial liegt in einer Veränderung des Verhaltens der Fahrer, das durch entsprechendes Training und durch technische Unterstützung verbessert werden kann.

Nicht betrachtet werden hier Einsparmöglichkeiten durch Verzicht auf Fahrten (Suffizienzstrategien) und Wechsel des Transportmittels (Modal Mix). Auswirkungen von Verbesserungen an der Straßeninfrastruktur z. B. durch Beseitigung von Engpässen und Verkehrslenkungs- und -beeinflussungsmaßnahmen z. B. durch Einsatz von Telematik werden hier ebenfalls nicht behandelt, obwohl sie durch Verflüssigung und Verstetigung der Fahrzeugbewegungen, durch rationelle Routenplanung sowie Verringerung von Suchverkehren (Adresse, Parkplatz) erhebliche Energieeinsparungen ermöglichen. Gleichfalls unbetrachtet bleiben Methoden, mit deren Hilfe die durchschnittliche Auslastung von Verkehrsmitteln erhöht werden kann; sie können insbesondere im Güterverkehr sehr hilfreich sein.

---

<sup>42</sup> Für eine detailliertere Darstellung siehe Braess/ Seiffert, 2000.



#### **4.3.4.2 Verbesserung der Fahrzeugtechnik und konventioneller Antriebe**

Im Folgenden werden einige Hinweise auf Potenziale zur Verbesserung der Energieeffizienz von Transportmitteln gegeben. Dabei werden überwiegend Beispiele aus der Pkw-Technik gegeben, ohne dass damit eine politische Priorisierung ausgedrückt werden soll.

##### **4.3.4.2.1 Wirkungsgrad der Fahrzeugantriebe**

Dieselmotoren sind heute die effizientesten Antriebsmaschinen für Land- und Seefahrzeuge. Sie werden in den nächsten Jahrzehnten durch noch differenzierter steuerbare Einspritzanlagen, geregelte Abgasrückführungen, Einsatz neuer Materialien, Variabilitäten in den Frischgas- und Auspuffsystemen und viele andere Detailverbesserungen weiter optimiert werden. Eine große Rolle wird auch die Verfügbarkeit besserer (z.B. schwefelfreier) Kraftstoffe spielen. Bisher hat der Diesel im Vergleich zum Ottomotor noch den Nachteil wesentlich höherer Partikelemissionen. Durch weitere innermotorische Verbesserungen oder durch den Einsatz von Partikelfiltern wird diese Problematik innerhalb der nächsten fünf Jahre bei Pkw und leichten Nfz entschärft werden. Bei schweren Nfz werden zur Erfüllung der Abgasminderungsstufe Euro 4 wahrscheinlich NOx-reduzierende Katalysatoren erforderlich.

Bei Ottomotoren bestehen ähnlich große Effizienzpotenziale. Die wichtigsten Ansätze sind:

- Vollvariable Sauganlagen
- Vollvariable Ventilsteuerungen
- Direkteinspritzung (nur in Verbindung mit schwefelfreien Kraftstoffen möglich)
- Aufladung ggf. kombiniert mit einer Verkleinerung des Hubraums
- Zylinderabschaltung
- Variable Verdichtung
- Verbesserte Kraftstoffe

In der Summe werden von einschlägigen Forschungsinstituten beim Ottomotor Verbesserungen der spezifischen Verbräuche um bis zu 35 % für grundsätzlich möglich gehalten.

Fahrzeuge mit Diesel- und Ottomotoren werden sich sowohl hinsichtlich ihrer Schadstoffemissionen als auch bezüglich ihrer Verbrauchskennwerte weiter annähern. Die derzeitigen Unterschiede in der Behandlung durch den Gesetzgeber bezüglich Kfz-Steuer, Mineralölsteuer und Abgasgrenzwerten verlieren damit ihre Berechtigung.

Neue Brennverfahren, die den Unterschied zwischen Benzin- und Dieselmotor weitgehend aufheben könnten, befinden sich im Forschungsstadium. Sie bieten theoretisch nochmals ein beträchtliches Potenzial zur Verbrauchsminderung, ihre praktische Umsetzbarkeit ist aber noch nicht sicher einschätzbar.

Eine Fülle von weiteren Maßnahmen im Antriebsstrang ist nicht an das gewählte Verbrennungsverfahren gekoppelt. Einige davon sind:

- Übergang auf ein 42 V-Bordnetz mit vielfältigen Möglichkeiten zur Verminderung der Energieaufnahme von Nebenverbrauchern und teilweise Verzicht auf den Nebetrieb,
- Schwung-Nutz-Automatik,
- Kurbelwellen-Schwungrad-Generator mit neuen Möglichkeiten zur teilweisen Bremsenergieerückgewinnung, für den Start-Stop-Betrieb, für eine verbrauchsgünstigere Stromerzeugung usw.,<sup>43</sup>
- kennfeldgesteuerte oder geregelte Kühler, Lüfter, Wasser- und Ölpumpen,
- Antriebsstrangmanagement unter Einschluss von automatisierten Getrieben.

Alle genannten Technologien befinden sich in der Entwicklung. Nach heutigem Wissen werden sie nicht kostenneutral darzustellen sein.

#### **4.3.4.2.2 Reduzierung des Antriebs-Energiebedarfes**

Korrespondierend zu den antriebsseitigen sind zahlreiche Maßnahmen möglich, die den Energiebedarf für den Betrieb eines Fahrzeugs reduzieren können:

- Reduzierung der Rollwiderstände
- Reduzierung des Luftwiderstandes
- Reduzierung des Beschleunigungswiderstandes

Der Rollwiderstand kann über die Eigenschaften der Reifen (auch der Fahrbahn) gemindert werden. Verbesserungen stehen hier aber in einem latenten Widerspruch zu anderen Eigenschaften wie z. B. der Haftung bei Kälte oder Nässe oder der Haltbarkeit.

Dennoch sind für Neureifen Verbesserungen in der Größenordnung von ca. 20 % im nächsten Jahrzehnt vorstellbar.<sup>44</sup> Eine weitere Maßnahme zur Minderung des Rollwiderstandes ist die Reduzierung des Fahrzeuggewichtes (siehe weiter unten).

Der Luftwiderstand bestimmt sich durch die Querschnittfläche des Fahrzeugs und den  $c_x$ -Wert, der die aerodynamische Qualität der Fahrzeugform beschreibt. Die Querschnittfläche wird durch die Funktion des Fahrzeugs festgelegt und kann für übliche Pkw kaum unter 1,9 m<sup>2</sup> gesenkt werden. Beim  $c_x$ -Wert erscheint eine Reduktion um weitere 10 - 20 % nicht ausgeschlossen.<sup>45</sup>

Der Beschleunigungswiderstand hängt – wie der Rollwiderstand – wesentlich vom Gewicht des Fahrzeugs (und von dessen rotierenden Massen) ab. In den vergangenen Jahren wurden daher bereits erhebliche Anstrengungen unternommen, leichtere Konstruktionen zu entwickeln. Die entsprechenden Fortschritte wurden aber i. W. durch den Trend zu höheren Standards bei aktiver und passiver Sicherheit, zu verminderter Anfälligkeit bei Bagatellunfällen, zu Komfortverbesserungen usw. kompensiert. Die dennoch zu beobachtenden Verbrauchssenkungen gehen also überwiegend auf Verbesserungen am  $c_x$ -Wert, am Rollwiderstand und vor allem am Antriebsstrang zurück.

Die Bemühungen der Fahrzeughersteller zum Leichtbau werden weiter gehen. Bei den Ausstattungen wurde mit der breiten Einführung von Airbag-Systemen, Klimaanlage und elektrischen Verstellmechanismen wahrscheinlich eine Sättigung bei gewichtstreibenden Komponenten erreicht. Die Gesamtgewichte werden daher künftig fallen (ceteris paribus, d. h. kein weiteres Wachstum der mittleren Fahrzeuggröße unterstellt<sup>46</sup>). Die Technologien zur Senkung der Fahrzeugmasse sind vielfältig. Sie gehen von der Verwendung neuartiger hoch- und höchstfester Stähle in speziell angepassten Konstruktionen, über die Substitution durch Leichtbaumaterialien (Aluminium, Magnesium, verstärkte Kunststoffe) bis zur Reduktion von Leitungsquerschnitten ermöglicht durch die 42 V-Technik.

---

<sup>43</sup> Trotz mancher Fortschritte werden sich Hybridfahrzeuge wegen der immer noch teuren Batterien, die eine zu kurze Lebensdauer haben, voraussichtlich nicht durchsetzen. Möglicherweise haben Konzepte mit Ultra-Kondensatoren größeres Potenzial.

<sup>44</sup> Basis  $f_R=0,09$

<sup>45</sup> Basis  $c_x=0,3$

<sup>46</sup> Diese Annahme ist für die USA nicht zutreffend; dort findet seit langem eine Verschiebung von der Limousine zu Light Trucks statt.

#### 4.3.4.2.3 Zusätzliche technische Potenziale?

Es wird immer wieder über Möglichkeiten berichtet, für Pkw noch wesentlich über die oben geschriebenen Entwicklungen hinaus gehende Verbrauchsminderungen zu erzielen. Für Nutzfahrzeuge, Schienenfahrzeuge, Flugzeuge und Schiffe liegen vergleichbare Darstellungen nicht vor; grundsätzlich sind die Gedanken aber übertragbar. Lovins<sup>47</sup> geht davon aus dass die Masse eines amerikanischen Mittelklassefahrzeugs von ca. 1.600 kg durch Einsatz von kohlefaserverstärkten Werkstoffen unter 600 kg reduziert werden kann. Unter extremen Annahmen zum Luft- und Rollwiderstand sowie mittels angenommener Rückspeisung von Bremsenergie errechnet er eine Verbesserung des Kraftstoffverbrauches um etwa den Faktor 10. Ein fahrfähiger Prototyp existiert nicht. Die US-Regierung hat 1993 ein groß angelegtes „Program for a New Generation of Vehicles“ initiiert, das bei weitem nicht so anspruchsvolle Ziele anstrebte; es wurde im Februar 2002 abgebrochen.

##### **PNGV**

Das "Program for a New Generation of Vehicles" wurde im September 1993 der Öffentlichkeit vorgestellt. Unter Beteiligung der Automobilindustrie (Chrysler, Ford, General Motors) und vieler, teilweise zuvor militärisch orientierter Großforschungseinrichtungen wurde mit den Zielen gearbeitet:

- Alle Funktion einer typischen US-Limousine müssen erfüllt werden (6 Sitzplätze); als Maßstab wurden die Modelle Chrysler Concord, Ford Taurus und Chevrolet Lumina des Jahrgangs 1995 zugrunde gelegt.
- Schwingungs- und Akustikkomfort, Komfortzubehör (Klimaanlage, Audioanlage, ...) entsprechend heutigen US-Limousinen
- Beschleunigung von 0 auf 60 mph unter 12 s
- Aktive Sicherheit auf dem Niveau heutiger US-Limousinen; Erfüllung aller Standards für passive Sicherheit
- Verbrauch besser als 80 mpg (2,9 l/100 km) oder 0,94 MJ/km
- Reichweite im combined cycle besser als 610 km
- Emissionen nicht höher als: HC 0,125 g/mile, CO 1,7 g/mile, NOx 0,2 g/mile
- Lebensdauer > 160.000 km bei Serviceaufwendungen gleich oder besser heutigen US-Limousinen; Rezyklierbarkeit mindestens 80 %
- Anschaffungs- und Unterhaltskosten nicht höher als heute
- Realisierung "production prototypes" durch jeden der "Großen Drei" bis 2005

Es wurden zahlreiche Techniken aus der Luft- und Raumfahrt auf ihre Eignung für massenproduzierte Kfz untersucht. Besonderes Augenmerk fanden Hybridantriebe unterschiedlicher Form, kleine Gasturbinen, Schwungradspeicher, Leichtbautechniken, ....

Das PNGV-Programm hatte für die Jahre 1994-96 ein Volumen von 933 Mio. US \$

Quellen: Automotive Engineering, Jan. 1996, S. 39 - 43; EU-Kommission SEK(96) 501; Ratsdok. 6022/96

Ähnliche Ansätze in der Schweiz (Horlacher, Isoro) haben zu interessanten Prototypen geführt, aber – überwiegend aus fertigungstechnischen Gründen – selbst in kleinsten Stückzahlen keinen Weg in die Serienproduktion gefunden. In der Automobilindustrie wurden und werden Ansätze zu “radikalem“ Leichtbau seit längerem verfolgt. Neben extremen Sportwagen ist hier der Bus Neoplan Metroliner in Carbondesign zu nennen, der erstmalig fast vollständig aus Kunststoffverbundmaterialien hergestellt wurde; die Produktion wurde inzwischen wieder eingestellt. Von BMW und VW ist bekannt, dass intensiv an der serientauglichen Umsetzung von CFK-Strukturen gearbeitet wird. VW hat gerade (15.4.2002) ein „1-Liter-Auto“ als Zweisitzer in Tandemanordnung öffentlich vorgestellt, das unter Nutzung aller Möglichkeiten des Leichtbaus realisiert wurde.

#### **4.3.4.2.4 Zusammenfassung der technischen Möglichkeiten**

Generell sind erhebliche Entwicklungsanstrengungen erforderlich, um die an Labormustern erprobten Einzeltechnologien als großserientaugliche Gebrauchsgüter mit langfristig garantierbarer Funktion umzusetzen. Die Durchdringung der industriellen Produktion mit diesen neuen Technologien erfolgt heute mit einer Geschwindigkeit von ca. 2 - 3 % Verbesserung pro Jahr. Sie wird kaum wesentlich und dauerhaft zu steigern sein. In der Summe werden die genannten Maßnahmen es der Pkw-Industrie ermöglichen, die Selbstverpflichtung des ACEA gegenüber der Europäischen Union einzuhalten (siehe Bild 15).

Neue, verbrauchssenkende Technologien sind in der Regel deutlich aufwändiger als konventionellere Lösungen. Für einen ökonomisch rechnenden Pkw-Kunden lohnt sich eine Mehrinvestition in ein Fahrzeug, das einen um 1 l/100 km verminderten Kraftstoffverbrauch hat, nur bis zu einer Grenze von ca. 1.000 €. Die Umsetzbarkeit verbrauchssenkender Maßnahmen wird also mehr durch wirtschaftliche Aspekte als durch technische Grenzen eingeschränkt. Es könnte im gemeinsamen Interesse der Industrie, der Fahrzeugnutzer und der Klimapolitik liegen, durch geeignete Rahmensetzungen die Grenze zu verschieben, bis zu der sich die Substitution von Kraftstoffverbrauch durch aufwändigere Technik lohnt. Die heutige Ökosteuer ist dazu ungeeignet, weil sie den Verbrauchern genau die Mittel entzieht, die für den Kauf sparsamerer Fahrzeuge erforderlich wären.

---

<sup>47</sup> Lovins, 1996.

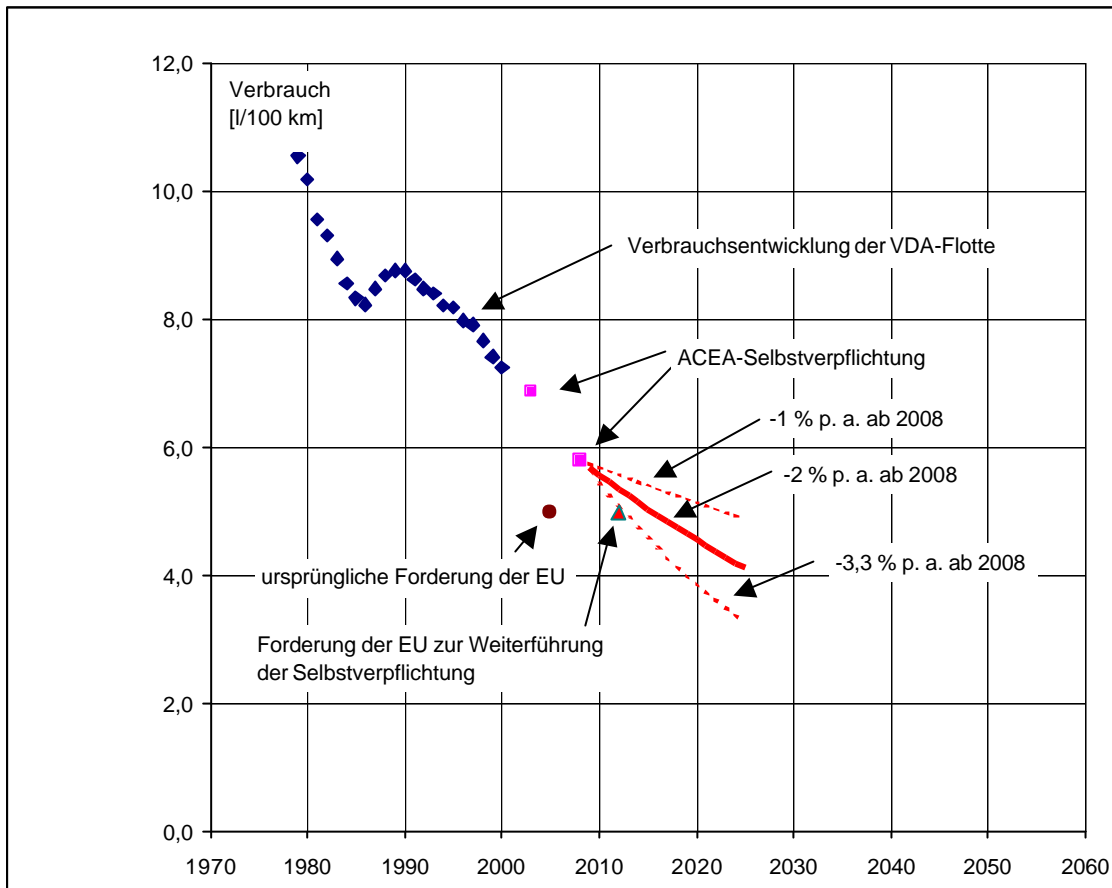


Bild 15: Historische Entwicklung der Flottenverbräuche für die jährlich neu zugelassenen Pkw in Deutschland, Zusagen des ACEA gegenüber der EU und mögliche Fortschreibungen für die Zeit nach 2008.

#### 4.3.4.3 Neue Antriebe und neue Treibstoffe

##### 4.3.4.3.1 Otto- und Dieseltreibstoffe

Kraftstoffe (und Schmiermittel) und Motoren haben eine lange Geschichte einer parallelen Entwicklung hinter sich. Für viele der oben skizzierten Innovationen bei Diesel- und Ottomotoren sind weitere Verbesserungen erforderlich. Im Rahmen von großen gemeinsamen Forschungsprogrammen (Auto Oil I und II) haben die Automobilindustrie und die Mineralölwirtschaft die Grundlagen dafür geschaffen.<sup>48</sup> Noch weitergehende Forderungen wurden seitens der Fahrzeugindustrie in der World Fuel Charta definiert. Künftige Vereinbarungen werden über die umweltverträgliche Adaption von Kraftstoffen hinaus die Sicherstellung der Verfügbarkeit von neuen Kraftstoffen betreffen, die für neue

<sup>48</sup> Für nahezu schwefelfreie Kraftstoffe ist eine europaweit flächendeckende Verfügbarkeit ab 2005 vorgeschrieben; in Deutschland wird eine frühere Einführung steuerlich gefördert.

Brennverfahren bzw. Wandlertechnologien benötigt werden. Weit fortgeschritten sind die Überlegungen zu Erdgas, Methanol und Wasserstoff.

Der Verkehrsbereich ist heute nahezu vollständig abhängig von nur einem Rohstoff, dem Mineralöl. Es gestattet mit relativ geringem Aufwand die Gewinnung der Endenergieträger Kerosin, Benzin und Diesel. Eine physische Verknappung des Rohöls ist nicht absehbar, eine politisch verursachte ist zeitweilig – für Monate – möglich. Zudem sind Preisrisiken wahrscheinlich; sie wirken sich aber auf den Tankstellenpreis wegen der hohen Steuerbelastung nur im Bereich von < 10 c€ aus.

Grundsätzlich sind auch viele andere Primärenergieträger bzw. Quellen für den Kohlenstoff und den Wasserstoff möglich, aus denen wiederum die bekannten Endenergieträger Kerosin, Benzin und Diesel synthetisiert werden können. Darunter sind Kohle, Erdgas, Biomasse, regenerative oder Kernenergie plus wasser- und kohlenstoffhaltige Materialien.<sup>49</sup> Die CO<sub>2</sub>-Problematik kann gelöst werden, wenn auf nicht-fossilen Kohlenstoff umgestellt wird. Synthetisch erzeugte Kraftstoffe unterscheiden sich grundsätzlich nicht von denen, die aus Erdöl hergestellt werden. Eine solche Strategie gestattet es daher, ohne Systembruch mit frei wählbarer Geschwindigkeit von einer rein auf Erdöl basierenden Kraftstoffversorgung auf eine davon völlig unabhängige überzugehen und erfordert keine wesentlichen Sprunginvestitionen. Synthetische Kraftstoffe können zudem qualitativ so verbessert werden, dass weitere Optimierungsspielräume bei der Motorenentwicklung entstehen.

#### **4.3.4.3.2 Alternative Kohlenwasserstoffe**

Neben den konventionellen Kraftstoffen kommt eine große Zahl anderer Kohlenwasserstoffe und auch anderer chemischer Verbindungen als Kraftstoffe in Frage. Eine Auswahl bilden Methanol, Erdgas, LPG, Pflanzenölester, Ethanol und Wasserstoff.

Die Eignung als Kraftstoff für Ottomotoren ist für Methanol in verschiedenen Untersuchungen nachgewiesen worden (u. a. Großversuch in Berlin 1984 - 89, gefördert durch den BMFT). Methanol kann relativ einfach aus Synthesegas erzeugt werden, das seinerseits aus einer Vielzahl von Rohstoffen gewonnen wird. Unter anderem sind großtechnische Prozesse für Kohle, Rohöl, Erdgas und verschiedene Formen von Biomasse erprobt. Die Umweltbelastung hängt vom gewählten Weg ab; nur Biomasse erlaubt eine nahezu THG-freie Herstellung.<sup>50</sup> Die Kosten für Methanol liegen in der Regel deutlich über denen für Benzin; Ausnahmen sind dort möglich, wo sonst unverkäufliches Erdgas als Rohstoff dienen

---

<sup>49</sup> Für Details siehe Schindler, 1997

<sup>50</sup> Auch die Gewinnung von CO<sub>2</sub> aus der Luft zur Gewinnung von Methanol wäre möglich; dabei handelt es sich jedoch um eine Laborkuriosität, die einen grundsätzlichen Gedanken deutlich macht: Wir sind nicht auf fossilen Kohlenstoff für die Gewinnung von Kraftstoffen angewiesen.

kann. Der Aufbau einer Methanol-Infrastruktur erscheint relativ einfach möglich. Allerdings ist es giftig. Zudem bestehen Grundwasserrisiken.

Erdgas ist ebenfalls ein ausgezeichneter Ottokraftstoff<sup>51</sup>. Es findet heute schon als Treibstoff Verwendung; dazu werden Benzinmotoren umgerüstet. Auf Erdgas optimierte Motoren sind aufwändiger, erlauben aber langfristig eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Auspuff um bis zu 40 %. Gleichzeitig ist die Einhaltung extrem geringer Abgaswerte möglich. Zur Speicherung benötigt Erdgas allerdings – ähnlich wie Wasserstoff – Tieftemperatur- (-161 °C) oder Hochdrucktanks. Der Energieaufwand für die Verflüssigung bzw. Kompression muss bei vergleichenden Bilanzen berücksichtigt werden. Die Markteinführung von Erdgas wird durch bis eine zum Jahr 2009 befristete Vergünstigung bei der Mineralölsteuer (bis auf 20 % des vergleichbaren Satzes für Benzin) unterstützt. Wegen des auch auf mittlere Sicht noch dünnen Tankstellennetzes und der Nachteile für das Fahrzeugkonzept wird Erdgas im Verkehrssektor auf einen relativ kleinen Teilmarkt beschränkt bleiben.

#### **4.3.4.3.3 Biogene Kraftstoffe**

Ethanol ist ebenfalls ein ausgezeichneter Ottokraftstoff. Es wird in den USA und in Brasilien in großem Umfang dem Benzin beigemischt bzw. in nahezu reiner Form (E95) verwendet. Ethanol wird aus Getreide, Zuckerrüben oder Zuckerrohr gewonnen. Die Produktion ist energieintensiv und in Europa teurer als die Methanolherstellung.

Pflanzenöle – in Europa überwiegend Rapsöl – können nur ganz bedingt, die Methylester von Pflanzenölen – RME - mit geringen Einschränkungen als Dieselkraftstoffe verwendet werden, wenn sie der Norm gerecht werden. Besondere Vorteile bietet die Verwendung von RME und gegebenenfalls auch reiner Pflanzenöle in Arbeitsmaschinen, die „in der freien Natur“ eingesetzt werden (Ackerschlepper, Baumaschinen, aber auch Binnenschiffe); allerdings wird gerade diese Anwendung durch die gegenwärtige Besteuerung entmutigt.

Für Biodiesel sprechen zumindest grundsätzlich die Unabhängigkeit vom Mineralölimport und die günstige CO<sub>2</sub>-Bilanz. Allerdings kann in Deutschland nur ein Anteil in Höhe von rd. 6 % des deutschen Dieselkraftstoffverbrauches gewonnen werden. Beim herkömmlichen Anbau entstehen durch die Düngung erhebliche Mengen an klimarelevantem Lachgas. In

---

<sup>51</sup> Liquefied Petroleum Gas (LPG), ein Gemisch aus Propan und Butan, ist ebenfalls ein ausgezeichneter Ottokraftstoff; es steht aber in Deutschland nicht in ausreichenden Mengen zur Verfügung.



einer Gesamtklimabilanz verringern sich dadurch die Vorteile von RME im Vergleich zu Diesel.<sup>52</sup>

Die EU-Kommission hat mit einem Richtlinienentwurf vom November 2001 die Absicht bekundet, Mindestanteile von Bio-Kraftstoffen an den Benzin- und Dieselmengen zu fordern; Ziel ist ein Anteil von 8 % im Jahr 2020 (23 % für die Biokraftstoffe, Erdgas und Wasserstoff zusammen). Die Besteuerung von Bio-Kraftstoffen soll grundsätzlich 50 % des Mineralölsatzes betragen ab. Angesichts der hohen Kosten für die Herstellung der biogenen Kraftstoffe (ca. 1 €/l unsubventionierte Vollkosten) führt dieser Vorschlag zu einer erheblichen Subventionierung des agrar-industriellen Sektors durch Steuerverzichte, durch Agrarsubventionen und auf anderen Wegen. Dieser Ansatz ist daher nur dann sinnvoll, wenn außerhalb des Energie- und Verkehrssektors liegende politische Ziele angestrebt werden sollen<sup>53</sup>; dabei ist darauf zu achten, dass die Kosten angemessen zugeordnet werden.<sup>54</sup>

Eine andere Situation könnte sich ergeben, wenn aus Ländern mit hohem Biomassepotenzial und geringen Kosten biogene Kraftstoffe gebrauchsfertig eingeführt würden. Eine Konkurrenz zur Nahrungsproduktion scheint in vielen möglichen Anbauländern nicht zu bestehen.

#### **4.3.4.3.4 Wasserstoff als Kraftstoff für Verbrennungsmotoren und Brennstoffzellen**

Neben den obigen Kraftstoffen wird vielfach Wasserstoff als langfristige Lösung für die Energieversorgung des Verkehrs diskutiert. Wasserstoff ist ein sehr guter, extrem sauber verbrennender Ottokraftstoff und der derzeit einzige praktikable Energieträger für mobile Brennstoffzellen (BZ)<sup>55</sup>.

Der Wasserstoff muss entweder im Fahrzeug mitgeführt werden (Speicherung mit akzeptablen Energiedichten nur tiefkalt bei -253 °C, 18 ° über dem absoluten Nullpunkt oder bei sehr hohen Drücken (300 bar oder mehr; 700 bar werden angestrebt)) oder an Bord aus wasserstoffhaltigen Stoffen erzeugt werden. Beide Gruppen von Techniken sind komplex und bisher nicht serientauglich entwickelt.

<sup>52</sup> Man kann vermuten, dass in Zukunft viele der Einschränkungen, die heute in Bezug Verfügbarkeit und Umweltauswirkungen biogener Energieträger gemacht werden müssen, durch neue Entwicklungen wie „Präzisionslandwirtschaft“ und „grüne Gentechnik“ gelöst werden können.

<sup>53</sup> Z. B. im Zusammenhang mit einer Agrarpolitik, die den ost-mitteleuropäischen Beitrittsstaaten gerecht werden muss.

<sup>54</sup> KOM(2001) 54/endgültig.

<sup>55</sup> An der Direkt-Methanol-BZ wird gearbeitet; eine Umsetzung in Muster, die für den Betrieb eines Autos geeignet wäre, ist offenbar noch nicht gelungen.

Für die Bewertung der mobilen Nutzung von Wasserstoff aus Sicht der THG-Emissionen ist die Bereitstellung entscheidend. Grundsätzlich sind folgende Wege praktikabel<sup>56</sup>:

- Elektrolyse von Wasser,
- Vergasung von Kohlenwasserstoffen.

In beiden Fällen hängt die THG-Bilanz davon ab, aus welcher Primärenergie der Strom hergestellt wird bzw. welche Kohlenwasserstoffe vergast werden. Die heute kostengünstigsten Verfahren beruhen auf der Vergasung von Öl bzw. Erdgas mit Wasserdampf (Steam Reforming). Der Kohlenstoff in den Ausgangsstoffen wird als CO<sub>2</sub> freigesetzt. Elektrolyseverfahren benötigen viel Strom.

Für den Einsatz von Wasserstoff im Verkehrssektor wäre der Aufbau einer vollständig neuen Betankungs- und Versorgungsinfrastruktur notwendig. Aus heutiger Sicht stellen sich keine unlösbaren technischen Probleme, es entstehen jedoch erhebliche Kostenbelastungen.

Seit einigen Jahren wird die Brennstoffzelle (BZ) als neue Antriebsmöglichkeit für Fahrzeuge diskutiert. Sie bieten das Potenzial, erheblich niedrigere Verbräuche zu realisieren als es heute mit konventionellen Motoren möglich ist. Unter Berücksichtigung der Vorleistungskette haben sie jedoch gegenüber optimierten herkömmlichen Fahrzeugen nicht zwangsläufig Vorteile hinsichtlich des Primärenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen.<sup>57</sup> Bislang ist eine Reihe von Versuchs- Demonstrationsfahrzeugen in Betrieb; erste Kleinst-Serienproduktionen sind von verschiedenen Herstellern für die nahe Zukunft angekündigt; die US-Regierung will die Entwicklung der BZ in ihrem Anfang 2002 verkündeten FreedomCAR-Projekt massiv fördern.

Die Nutzung von Wasserstoff als Kraftstoff für Ottomotoren ist über mehrere Fahrzeuggenerationen hinweg in vielen Einzelheiten entwickelt worden. Es lassen sich extrem niedrige Schadstoffemissionen realisieren. BMW hat die Serienentwicklung eines entsprechenden Produktes angekündigt.

#### **4.3.4.3.5 Die Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie VES**

Automobilindustrie und Energieunternehmen haben gemeinsam mit der Bundesregierung 1999 eine Gruppe gebildet, die sich der Identifizierung und Bewertung von Treibstoffoptionen

---

<sup>56</sup> Grundsätzlich gibt es eine große Zahl weiterer Prozesse, die aber aus praktischen oder politischen Gründen in Deutschland nicht in Betracht kommen. So beruhen thermochemische Verfahren auf der Nutzung von nuklearer Hochtemperaturwärme. Biologische Verfahren haben viel zu kleine Ausbeuten; es ist unklar, ob sie sich z. B. durch Genmanipulation geeigneter Organismen ausreichend steigern lassen. (für Details siehe Schindler, 1997)

<sup>57</sup> Kolke, 1999.

systematisch annimmt.<sup>58</sup> Von den zunächst 70 betrachteten Energieträgern hat die VES neben den klassischen Treibstoffen Benzin und Diesel vor allem drei Optionen herausgearbeitet. Neben Erdgas für eine Übergangsphase sind dies Wasserstoff und Methanol. Langfristig habe Wasserstoff die besten Chancen sofern es gelinge, ihn auf der Basis erneuerbarer Energien bereitzustellen und eine entsprechende Infrastruktur aufzubauen. Methanol werden Vorteile bei den Nutzfahrzeugen zugeschrieben.

#### **4.3.4.3.6 Bewertung der alternativen Kraftstoffe**

Zahlreiche Analysen und praktische Erfahrungen zeigen, dass Alternativen zu den heutigen Kraftstoffen für den mobilen Einsatz möglich und machbar sind. In ihrer Auswirkung auf die THG-Bilanz werden sie vor allem durch die Umwandlungsketten bei ihrer Erzeugung bestimmt. Besondere Vorteile ergeben sich dann, wenn nichtfossile Energien eingesetzt werden können. Bei Betrachtung des gesamten Energiesystems erscheint es jedoch häufig sinnvoller, diese Energien in stationären Anlagen zu nutzen, da hiermit keine neuen anwendungstechnischen Probleme verbunden sind und zudem eine größere CO<sub>2</sub>-Minderungswirkung erzielt werden kann. Dies gilt insbesondere für Strom, aber auch für Erdgas und Wasserstoff. Auf diese Weise können flüssige Kohlewasserstoffe in stationären Anwendungen substituiert und damit für den mobilen Sektor verfügbar gemacht werden. Bei gleicher oder höherer THG-Minderung wäre mit deutlich geringeren volkswirtschaftlichen Kosten zu rechnen.

---

<sup>58</sup> VES 2000

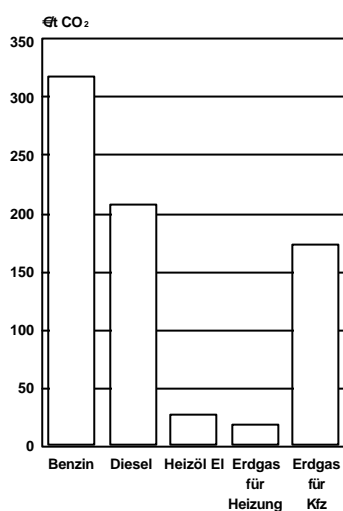
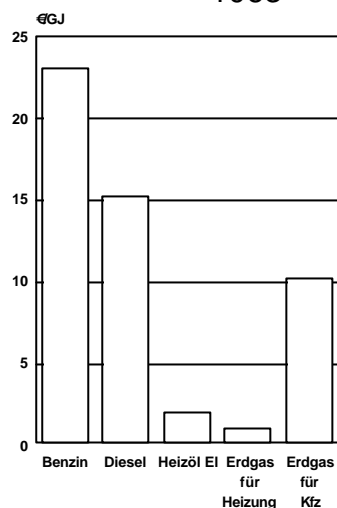


Bild 16: Besteuerung unterschiedlicher Energieträger bezogen auf den Energiegehalt und auf die freigesetzte Menge an CO<sub>2</sub>.

Voraussetzung für ein solches Vorgehen ist die Setzung von Kostensignalen durch den (Steuer-) Gesetzgeber, die sich stärker als bisher an den tatsächlichen Umweltauswirkungen orientieren, ohne dass das Gesamtaufkommen erhöht wird. Die würde unter anderem die allmähliche Anpassung der Steuersätze für alle fossilen Energieträger in der Form bedeuten, dass die Freisetzung von THG in jeder Anwendung gleich behandelt wird. Die extrem unterschiedlichen Besteuerungen von Benzin, Diesel, Heizöl, Erdgas und Kohle müssten also harmonisiert werden.

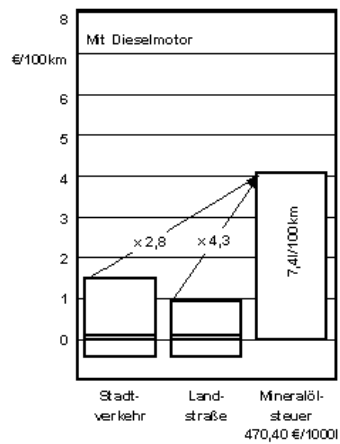
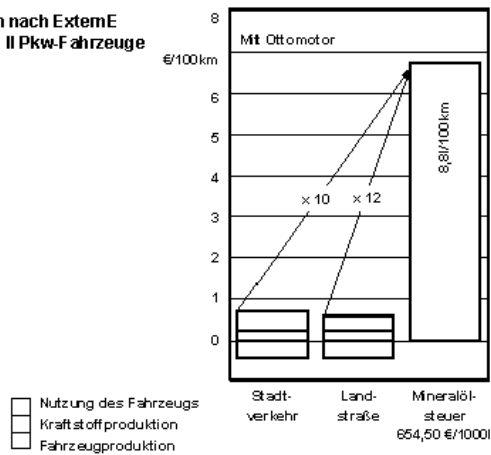
### 4.3.5 Nutzen und Kosten des Verkehrs

Der Verkehr bringt für die unmittelbar Betroffenen einen Nutzen, der höher ist, als die Kostenbelastung durch den Transport; wäre es anders, würde er unterbleiben. Es entstehen jedoch – wie bei vielen anderen Tätigkeiten – auch Nebeneffekte, die nicht im einzelwirtschaftlichen Kalkül oder in der privaten Kosten-Nutzen-Betrachtung berücksichtigt sind. Um die Wirksamkeit marktwirtschaftlicher Such- und Optimierungsprozesse auch dafür wirksam werden zu lassen, müssten alle externen Kosten und Nutzen „internalisiert werden“. Typische externe Kosten sind

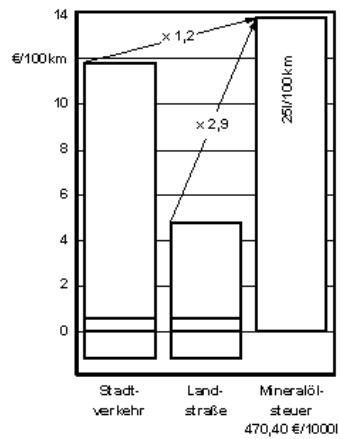
- Auswirkungen von Emissionen auf das Wohlbefinden und die Gesundheit unbeteiligter Dritter,
- Auswirkungen auf Güter unbeteiligter Dritter Auswirkungen auf die Umwelt inkl. des Klimas

Zu den externen Nutzen kann man den Gewinn an Wohlstand und Wohlfühlen sowie an persönlicher Sicherheit rechnen, der sich aus der leichteren Möglichkeit zum Überwinden von Distanzen mit Personen, Gütern und Hilfsdiensten ergibt. Die arbeitsteilige Wirtschaft mit ihren Effizienzverbesserungen kann nur auf der Basis von Verkehrssystemen existieren.

**Externe Kosten nach ExternE bezogen auf EURO II Pkw-Fahrzeuge**



**Externe Kosten nach ExternE bezogen auf EURO II Lkw**



Quelle: R. Friedrich, P. Bickel, "Environmental External Costs of Transport", Springer, 2001

5020505.1

Bild 17: Externe Umweltkosten für Pkw und Lkw nach ExternE im Vergleich zur Mineralölsteuer (niedrigster Steuersatz für schwefelfreie Kraftstoffe)<sup>60</sup>

Bezüglich der externen Nutzen gibt es einen Streit um die Frage, ob sie in den einzelwirtschaftlichen Kalkülen schon vollständig abgebildet sind oder nicht. Die Bestimmung des

<sup>60</sup> Friedrich, Bickel 2001.

Umfangs von externen Kosten ist vielfach versucht worden. Während die Ermittlung von emittierten Mengen von Schadstoffen noch relativ einfach erscheint, stößt man bei deren Bewertung an die Grenzen des naturwissenschaftlich-technischen Verständnisses. Dosis-Wirkungsbeziehungen sind in den wenigsten Fällen für die relevanten, sehr niedrigen Immissionen genau genug bekannt. Über die Wechselwirkung von Belastungen unterschiedlicher Art besteht große Unsicherheit. Die monetäre Bewertung der Schäden ist schwierig. Die Kosten für die Beseitigung von Schäden, die durch die Freisetzung von THG verursacht werden sind schwer zu schätzen. So kommt es, dass die Kostenangaben beträchtlich auseinander gehen. Hinzu kommt, dass sich die Höhe der Emissionen mit verschärften Vorschriften bezüglich der Abgastechnik erheblich verringern. Es ist also nur unter vielen Einschränkungen möglich, sinnvolle Schätzungen zu den Kosten externer Effekte des Verkehrs zu machen. Die umfassendste Studie dazu wurde unter dem Kurzzeichen ExternE im Auftrag der EU durchgeführt. Eine Auswertung für den Straßenverkehr zeigt, dass bereits heute<sup>61</sup>

- Die externen Kosten für den Betrieb von Pkw von den Steuern auf die Kraftstoffe (Mineralölsteuer inkl. Ökosteuer plus Mehrwertsteuer auf die Mineralölsteuer) um den drei bis zehn übertroffen werden;
- Pkw mit Ottomotor nach heutigem Wissen um den Faktor zwei niedrigere externe Kosten aufweisen als Pkw mit Dieselmotor (jeweils gleiche Abgasstufe Euro II unterstellt);
- auch bei schweren Lkw die externen Umweltkosten über die Mineralölsteuer bereits internalisiert sind (hier wäre auch die erheblich stärkere Abnutzung der Straßen mit zu betrachten).

Selbst wenn man annimmt, dass die Kosten des Klimawandels sich in diesen Zahlen noch nicht angemessen ausdrücken, bleibt kein Raum für die Argumentation, im Interesse einer Internalisierung der externen Kosten für Umweltwirkungen sei eine Erhöhung der Mineralölsteuer (oder Ökosteuer) erforderlich. Zudem erscheint es auch nicht sinnvoll, alle externen Kosten über den Kraftstoffverbrauch zu internalisieren, da es offensichtlich einen erheblichen Unterschied macht, ob eine potentiell krankheitsverursachende Substanz in einer dicht besiedelten Stadt oder auf dem Land freigesetzt wird. Es erscheint jedoch im Interesse einer sinnvollen Allokation knapper volkswirtschaftlicher Ressourcen auf die kosteneffizientesten Wege zur Senkung der THG-Emissionen sinnvoll, die außerordentlich unterschiedlichen Steuersätze für Kraftstoffe und Brennstoffe langfristig aufkommensneutral anzugleichen.

---

<sup>61</sup> Friedrich, Bickel 2001

### 4.3.6 Zusammenfassung

Die oben dargestellten Zusammenhängen erlauben folgende zusammenfassende Bewertung:

- Verkehr ist ein konstitutives Element unserer Gesellschafts- und Wirtschaftsform. Er kann nicht ohne beträchtliche Rückwirkungen wesentlich beschränkt werden.
- Das Aufkommen an Verkehr wird weltweit weiter wachsen, wenn auch im MIV in Deutschland Sättigungstendenzen zu erkennen sind. Besondere Dynamik entfalten der Luftverkehr und der Straßengüterverkehr.
- Der Verkehr wird heute aus Kostengründen praktisch ausschließlich mit erdölstämmigen Kraftstoffen versorgt. Dies wird vermutlich auch für die nächsten Jahrzehnte überwiegend so bleiben.
- Die THG-Emissionen aus dem Verkehr steigen bei Fortschreibung der heutigen technischen Trends wegen erheblich effizienterer Fahr- und Flugzeuge und wegen verkehrsoptimierender Maßnahmen in Zukunft deutlich langsamer als das Verkehrsaufkommen; bezogen auf den MIV kommt es wahrscheinlich zu einem erheblichen Rückgang.
- Technisch ist es möglich, den Verkehr teilweise oder vollständig mit Kraftstoffen zu versorgen, bei deren Erzeugung und Nutzung kein fossiler Kohlenstoff freigesetzt wird. Bekannte Ansätze dafür sind regenerativ oder nuklear erzeugter Wasserstoff und biogene Kraftstoffe. Damit kann grundsätzlich bis 2050 jedes politisch gewollte THG-Ziel erreicht werden. Über die Zweckmäßigkeit einer solchen Politik müsste vor dem Hintergrund einer alle Verbrauchssektoren und alle Nachhaltigkeitsdimensionen betrachtenden Strategie entschieden werden.
- Wesentliche Änderungen im Verkehrssektor erfordern Vorlaufzeiten von 15 – 20 Jahren und binden ganz beträchtliche Ressourcen; Weichenstellungen sollten daher so erfolgen, dass sie weitgehend robust gegen Neueinschätzungen von Prioritäten aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse oder politischer Bedingungen sind.



#### **4.4 Bildung, Wissenschaft und Forschung – Das Fundament einer nachhaltigen Entwicklung**

Nachhaltige Entwicklung basiert in entscheidendem Maße auf Bildung und der Fähigkeit zu lernen. Erst umfassende Kenntnisse über wirtschaftliche, ökologische und soziale Systeme und ihre Wechselwirkungen ermöglichen es, nachhaltige Entwicklung in ihrer Komplexität und Dynamik schrittweise zu verstehen, Risiken und Chancen zu erkennen und sie hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Menschen zu bewerten und schließlich zu gestalten. Ein leistungsfähiges Schulsystem sowie international wettbewerbsfähige Universitäten und Forschungsinstitute sind dafür unverzichtbar.

Die sichere, ressourcenschonende und effiziente Versorgung mit Energie stellt eine grundlegende Voraussetzung für nachhaltige Entwicklung dar. Gegenwärtig ist diese Voraussetzung für viele Menschen nicht erfüllt (Fuel Poverty). Mit den heute zur Verfügung stehenden Strukturen ist es nahezu unmöglich, alle lebenden Menschen ausreichend mit Energie zu versorgen. Dieses Problem wird sich in Zukunft durch eine weiter anwachsende Weltbevölkerung und wirtschaftliche Entwicklung gerade in den Entwicklungs- und Schwellenländern noch verschärfen. Nur eine systematische, umfassende und langfristig angelegte Energieforschung kann die notwendigen Voraussetzungen dafür schaffen, dass die zukünftige Energienachfrage - in welcher Höhe auch immer - befriedigt werden kann, ohne die weitere wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung zu beeinträchtigen oder die natürlichen Lebensgrundlagen gar zu zerstören.

Energieforschung ist eine zentrale Aufgabe von Wirtschaft und Wissenschaft. Während die Wirtschaft Forschung eher im Sinne von Produktentwicklung beginnend beim Prototypen betreibt, übernimmt die Wissenschaft eher die Entwicklung von Grundlagen und Verfahren bis hin zum Prototypen. Diese Aufgabenteilung führt aber nur in dem Maße zu Innovation, wie es gelingt Technologie- und Know-how-Transfer zwischen beiden Bereichen zu organisieren. Energieforschung hat sich zu einem ausgesprochenen Hochtechnologiebereich entwickelt, der hinsichtlich seines wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Potenzials gleichwertig neben Informations- und Kommunikationstechnik und Biotechnologie steht.

Eine Aufgabe der Politik besteht darin, geeignete Rahmenbedingungen für eine innovative Energieforschung zu schaffen. Hierzu gehören eine an den Zielen orientierte angemessene finanzielle Ausstattung, die Organisation der mit öffentlichen Mitteln geförderte Forschung sowie geeignete Instrumente zu ihrer Erfolgskontrolle.

Die Aufwendungen des Bundes für Energieforschung und Energietechnologie sind im langfristigen Trend rückläufig. Der Faktenbericht Forschung 2002 des Bundesministeriums für Bildung und Forschung weist für das Jahr 2002 ein Niveau von 590 Mio. € p.a. aus. Der Wissenschaftsrat hat bereits 1999 in seiner Stellungnahme zur Energieforschung darauf hingewiesen, dass er dieses Niveau für zu niedrig hält, und kurzfristig eine deutliche Steigerung empfohlen.

Die inhaltlichen Schwerpunkte der Förderung liegen auf erneuerbare Energien und Rationelle Energieverwendung (161 Mio. €), Kernfusionsforschung(113 Mio. €), Nukleare Energieforschung einschl. Entsorgung (306 Mio. €) sowie auf Kohle und andere fossile Energieträger (10 Mio. €). Hinzu kommen Aufwendungen der Länder und der Wirtschaft.

Ziele und Schwerpunkte von Energieforschung sind in einem demokratisch legitimierten und kooperativen Verfahren festzulegen und in einem kontinuierlichen Prozess weiterzuentwickeln. Richtungsweisend für einen derartigen politischen Prozess sind die vom Wissenschaftsrat ausgesprochenen Empfehlungen

- Energieversorgung sichern,
- Umweltbelastungen reduzieren,
- Energie wirtschaftlich und nachhaltig bereitstellen,
- Energie haushälterisch nutzen,
- Energieoptionen öffnen.

Eine am Leitbild einer nachhaltigen Energieversorgung orientierte Energieforschung muss dabei eine angemessene Breite und Diversifizierung der Forschungs- und Entwicklungsfelder aufweisen, die alle Energiesysteme umfasst, die ein plausibles Potenzial für Wirtschaftlichkeit, Umwelt- und Klimaverträglichkeit haben.

Nationale Prioritäten sind dabei auf EU-Ebene (Rahmenprogramme) abzugleichen und in Einzelfällen auch darüber hinausgehend mit internationalen Programmen zur Global Change und Energieforschung zu verzahnen.

Die politische Zuständigkeit für Energieforschung muss dort angesiedelt sein, wo auch die übrige öffentlich geförderte Forschung koordiniert wird. Nur diese enge Verbindung kann gewährleisten, dass andere Disziplinen schon auf Ebene der Koordination von Forschung von Energieforschung – und in umgekehrter Richtung natürlich auch - von einander profitieren können.

Forschungspolitisch ist streng zwischen Forschungsprogrammen und Markteinführungsprogrammen zu unterscheiden. Forschungsprogramme dienen der Entwicklung neuer oder der Verbesserung existierender Methoden, Verfahren und Techniken. Ihr Ziel besteht darin, Spielräume und Optionen für nachhaltige Entwicklung durch Erkenntnisgewinn zu erweitern und zur Beseitigung von Hemmnissen, die einer nachhaltigen Entwicklung entgegenstehen, beizutragen.

Markteinführungsprogramme sind zeitlich befristet und degressiv zu gestalten. Sie machen nur Sinn, wenn das Ziel der Wettbewerbsfähigkeit der geförderten Technologien im Rahmen der Programmmittel und befristeten Förderzeiträume auch erreichbar ist. Markteinführungsprogramme für unterschiedliche Verfahren, die letztendlich zu einer identischen oder ähnlichen Energiedienstleistung führen, müssen vorab hinsichtlich ihres voraussichtlichen Beitrags zur nachhaltigen Entwicklung im Energiebereich bewertet werden. Bei neuen Techniken und Verfahren, die einerseits über ein großes technisches Potenzial verfügen, andererseits aber durch einen noch anhaltend hohen Bedarf an FE-Mitteln gekennzeichnet sind, besteht die Gefahr, zu früh Einführungsprogramme zu starten und damit falsche Erwartungen zu wecken. Einführungsprogramme sind hinsichtlich ihres Ergebnisses zu evaluieren; die Resultate sind zu veröffentlichen.

Energieforschung muss das gesamte Energiesystem mit allen Optionen von der Versorgung mit Rohstoffen über die Umwandlung, den Transport und die Verteilung bis zur Dienstleistung in den Endverbrauchssektoren einschließlich der Entsorgung der Rückstände aus Umwandlungs- und Bereitstellungsprozessen abdecken. Grundlage bildet ein umfassendes Know-how über alle relevanten möglichen Prozesse der Energiewandlung, des Transports, der Bereitstellung und Anwendung von Energieträgern.

Die einzelnen Techniken sind hinsichtlich ihrer Bedeutung für nachhaltige Entwicklung mit geeigneten und ggf. noch zu entwickelnden Kriterien, Indikatoren und Verfahren zu bewerten. Geeignet dafür erscheinen in jedem Fall der Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz, der Beitrag zur Kostensenkung in einem Energiesystem, aber auch die Auswirkungen auf die Binnenwirtschaft wie z.B. Effekte auf den Arbeitsmarkt.

Den Kosten – und zwar den volkswirtschaftlichen Kosten, die externe Effekte einschließlich Umweltfolgen mit erfassen – kommt eine besondere Bedeutung für die Bewertung von Energieträgern und Energietechnologien im Hinblick auf die Realisierung einer nachhaltigen Entwicklung zu.

Energieforschung hat eine zeitliche Dimension. Etablierte Techniken wie Kondensations- und Kernkraftwerke müssen weiterentwickelt werden. Hier geht es im wesentlichen um eine Verständigung darüber, wo die Grenze zwischen Industrie und öffentlich geförderter Forschung liegt. So haben selbst unter scharfen Auflagen für Klimaschutz moderne Kraftwerke auf Kohlebasis ein Potenzial, wenn die Abtrennung und Deponierung von Kohlendioxid eine realisierbare Option darstellt. Dies gilt es zu untersuchen. Da außerdem in vielen Ländern auf absehbare Zeit die fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas ein Pfeiler der Energieversorgung bleiben werden, ist mit Blick auf nachhaltige Entwicklung Forschung in diesem Gebiet unabdingbar.

Die Nutzung erneuerbarer Energiequellen ist gegenüber fossilen Energieträgern oder Kernenergie im Bereich Strom und Niedertemperaturwärme noch nicht wirtschaftlich. In Anbetracht des großen technischen Potenzials und der bisherigen Fortschritte bei der Kostensenkung wie z.B. bei der Nutzung der Windenergie dürfen aber die Anstrengungen bezüglich Forschung und Entwicklung nicht nachlassen. Im Zusammenhang mit fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen sind Fragen der Speicherung und der Regelung großer Netze zu untersuchen. Energieforschung, insbesondere in den Industrieländern, muss sich auch den lediglich langfristig erschließbaren Optionen wie beispielsweise der Fusion widmen. Hier geht es darum, die prinzipiellen technologischen Voraussetzungen für eine zukünftige Nutzung zu schaffen.

Ebenfalls eher langfristigen Charakter haben Überlegungen zu einer alternativen auf dem Sekundärenergieträger Wasserstoff basierenden Infrastruktur. Im Zusammenhang mit einer zukünftig verstärkten Nutzung regenerativer Energien werden dezentralere Energieversorgungsstrukturen propagiert. Die fachlichen Grundlagen, insbesondere aber die Voraussetzungen für eine breite Umsetzung sind für beide Ansätze noch nicht ausreichend untersucht. Eine politische Weichenstellung wäre demnach verfrüht.

Fortschritte in der Energieforschung basieren sehr oft auf Resultaten anderer Disziplinen. Für die Energieforschung sind die Materialwissenschaften von aller größter Bedeutung. Neue oder weiterentwickelte Materialien bilden die Grundlage für technischen Fortschritt bei den etablierten Techniken wie z. B. bei Gas- und Dampfturbinen.

Alternative Techniken, die noch nicht den Reifegrad ihrer bereits etablierten Konkurrenten erreicht haben, sind ebenfalls auf Fortschritte in anderen Disziplinen angewiesen. Beispiele hierfür sind Brennstoffzelle und Photovoltaik. Nur wenn es gelingt, die Herstellungskosten deutlich zu senken, besitzen diese Optionen ein signifikantes wirtschaftliches Potenzial.

Neben der Materialforschung sind hier auch weitere Fortschritte in der Verfahrenstechnik erforderlich.

Die Computational Sciences ermöglichen die computerbasierte Entwicklung virtueller Prototypen und virtueller Demo-Anlagen. Sie bieten die Werkzeuge, Forschung und Entwicklung drastisch zu beschleunigen.

Umwelt- und Klimaforschung liefern wesentliche Randbedingungen für eine zukünftige Energieversorgung. Die Begrenzung und Rückführung von energiebedingten Umweltbelastungen auf ein Maß, das die Regenerations- und Assimilationsfähigkeit der natürlichen Stoffkreisläufe nicht übersteigt, sowie die Verringerung von anderen ökologischen Gefährdungspotenzialen stellt eine der zentralen Herausforderungen auf dem Weg zur nachhaltigen Entwicklung dar. Dazu müssen die verschiedenen Möglichkeiten der Energieversorgung auf ihre ökologischen Folgen und Gefahrenpotenziale hin untersucht werden, damit sie auch in Kenntnis ihrer Umweltfolgen ausgewählt und genutzt werden können.

Energieforschung wird fast ausschließlich als naturwissenschaftlich-technische Forschung betrieben. Dies wird den verschiedenen Dimensionen des Energieproblems nicht gerecht. Energiesysteme und andere technische Systeme sind eingebettet in Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft zu betrachten. Dazu müssen wirtschafts- und sozialwissenschaftliche, geisteswissenschaftlich und ökologische Aspekte im Sinne einer interdisziplinären Zusammenarbeit stärker einbezogen werden als bisher. Dies ist beispielsweise unerlässlich für eine wissenschaftlich fundierte Technikfolgenabschätzung und Politikberatung. Die entsprechenden interdisziplinären Ansätze einer umfassenden systemaren Analyse sind weiter zu entwickeln.

Gut ausgebildeter wissenschaftlich qualifizierter Nachwuchs in ausreichendem Umfang wird auch künftig in allen Bereichen des Energiesektors einschließlich der Forschung benötigt. In der Vergangenheit wurde entsprechender Nachwuchs ausgebildet; aufgrund des starken Rückgangs der Anfängerzahlen in ingenieur- und naturwissenschaftlichen Studiengängen scheint dies jedoch in naher Zukunft nicht gesichert, so dass für diese Studiengänge im allgemeinen und die Energietechnik im speziellen schon in der Schule Interesse geweckt werden sollte. Die notwendige Konzentration und Schwerpunktbildung der universitären Energieforschung sollte genutzt werden, um die energietechnische Ausbildung den veränderten Anforderungen an eine zukunftsorientierte Ingenieurausbildung anzupassen.

Energieforschung muss vor einem internationalen Hintergrund gesehen werden. Sie ist auf lange Sicht nur dann erfolgreich, wenn sie im internationalen Vergleich bestehen kann.

Im Sinne von nachhaltiger Entwicklung sind in den sich entwickelnden Ländern und Schwellenländern die Möglichkeiten zu schaffen, um eigenständige (Energie-)Forschung vor Ort betreiben zu können. Voraussetzung hierfür ist ein Bildungssystem, das die Qualifikation geeigneter Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen ermöglicht und fördert, aber in vielen dieser Länder noch nicht vorhanden ist. Dieses „capacity building“ ist von den Industrieländern zu fördern. Geeignete Netzwerke müssen hierzu ausgebaut bzw. geschaffen werden.

#### **4.5 Zusammenfassung und Ausblick**

Die vorangestellten Ausführungen zeigen die große Vielfalt und das umfangreiche Volumen der Potenziale zur Steigerung der Effizienz bei der Erzeugung und Bereitstellung von Endenergie. Sie werden ergänzt durch entsprechende Potenziale zur rationellen Energieverwendung in den Sektoren Industrie, Gewerbe, Haushalte, Dienstleistungen und Verkehr.

Dieses Spektrum von Potenzialen unterscheidet sich jedoch im Einzelnen zum Teil beträchtlich im Hinblick auf Faktoren wie technischer Entwicklungsstand, Wirtschaftlichkeit oder sonstige Hemmnisse, die einer Realisierung entgegenstehen. Kapital und Wissen werden in gleicher Weise benötigt, um die gewünschten oder erforderlichen Veränderungen anzustoßen. Offenkundige Hemmnisse und Restriktionen, die einer Nutzung dieser Potenziale entgegenstehen, sind sorgfältig zu analysieren und gegebenenfalls durch geeignete Maßnahmen zu beseitigen. Hierzu zählen unter anderem die fehlende technische Reife oder ausreichende Erfahrungen hinsichtlich der Verfügbarkeit, das Vorliegen ausgeprägter Zeitkonstanten, mangelnde Wirtschaftlichkeit, Finanzierungsengpässe, Informationsdefizite oder institutionelle Hemmnisse (Vgl. Kap. 6).

Einzelne Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz stehen untereinander im Wettbewerb. Maßnahmen mit gleicher Wirkung auf Mensch und Umwelt können sich hinsichtlich der mit ihnen verbundenen Kosten stark unterscheiden. Hier hilft das Prinzip der Wirtschaftlichkeit eine geeignete Auswahl zu treffen.

Mit Blick auf den Klimaschutz ist festzustellen, dass Potenziale zur Minderung von Treibhausgasemissionen sektorübergreifend bezüglich ihrer Kosten bewertet werden müssen. Dies kann dazu führen, dass die einzelnen Sektoren unterschiedlich stark belastet werden.

Nicht außer Betracht gelassen werden darf, dass der Kyoto-Prozess darüber hinaus die Möglichkeit bietet, kostengünstigere Potenziale in anderen Ländern zuerst zu erschließen.

In Anbetracht der Komplexität des Problems, Potenziale im Kontext nachhaltiger Entwicklung zu bewerten, stellen Szenarien gestützte Analysen häufig die einzige Möglichkeit dar, politischen Entscheidungsprozessen eine rationale Grundlage zu geben (vgl. Kap. 5).