

Energie und Klima: Ist eine klimaverträgliche Energieversorgung erreichbar?

A. Voß, Stuttgart
Institut für Energiewirtschaft
und Rationelle Energieanwendung

Vorbemerkung

Die energiewirtschaftliche Entwicklung der letzten beiden Jahrzehnte war wie wohl keine Zeitperiode zuvor gekennzeichnet durch ständig neue Herausforderungen und nicht vorhergesehene Ereignisse. Waren es 1973 die drastischen Ölpreiserhöhungen, die uns die Gefahren einer einseitigen Abhängigkeit schmerzlich erfahren ließen, so waren es Anfang der achtziger Jahre der "Saurer Regen" und die "neuartigen Waldschäden", die drastische Maßnahmen zur Reduktion des energiebedingten Schadstoffausstoßes notwendig machten. Die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl im Jahr 1986 entfachte die Kontroverse über die Notwendigkeit und Verantwortbarkeit der Kernenergie in unserem Lande aufs Neue. Die zunehmend deutlicher erkennbaren Indizien anthropogener Klimaveränderungen rückten dann den Treibhauseffekt in den Mittelpunkt der energiepolitischen Diskussion und zwar zu einem Zeitpunkt, wo aus Sicht des Energieverbrauchers die Weltenergielage entspannt und eher durch ein Überangebot als durch Knappheiten gekennzeichnet war. Die Versorgungsrisiken des Erdöl, des auch heute noch wichtigsten Energieträgers, machten uns dann die Ereignisse in Kuwait und Irak wieder bewußt.

Und es bedarf wohl keiner besonderen Weitsicht um festzustellen, daß die gesellschaftlichen und politischen Veränderungen in den Ländern Osteuropas nicht ohne Auswirkungen auf die Energiesysteme bleiben werden. Die Überwindung der Ost-West-Konfrontation, das Zusammenwachsen der Länder West- und Osteuropas, schaffen aber auch neue Möglichkeiten einer energiewirtschaftlichen Arbeitsteilung, von der alle profitieren können. Diese positiven politischen Entwicklungen, die sich gegenwärtig vollziehen, geben darüber hinaus auch zu der Hoffnung Anlaß, daß die Staaten dieser Erde die grenzüberschreitenden und globalen Energie- und Umweltprobleme, die die zentrale Herausforderung der Menschheit am Ende

dieses Jahrhunderts sind und die nur gemeinsam, im Rahmen eines international abgestimmten Vorgehens zu bewältigen sind, einer Lösung näher bringen können.

Auch wenn die Umweltprobleme derzeit im Vordergrund der öffentlichen Energiediskussion stehen, darf man nicht vergessen, daß die Energiepolitik neben der Minderung der energiebedingten Umweltbelastungen nach wie vor noch sehr eigenständige Ziele hat, nämlich der Bereitstellung ausreichender und aus volkswirtschaftlicher Sicht preiswerter Energie. Die Energie- und Umweltprobleme stehen dabei gleichrangig nebeneinander. Die Sicherung der Zukunft ist nur möglich, wenn beide Probleme gelöst werden.

Wichtig erscheint in diesem Kontext aber die Feststellung, daß es für eine vorsorgende, den Belangen der kommenden Generationen verpflichtete Energiepolitik einer Begründung durch mögliche katastrophale Klimaveränderungen gar nicht bedarf, denn die energiepolitischen Konsequenzen aus dem Treibhauseffekt sind in wesentlichen Punkten identisch mit den Konsequenzen, die aus den Energieproblemen zu ziehen sind, mit denen wir seit Jahren konfrontiert sind und die sich aus der folgenden, unstrittigen Faktenlage ergeben.

1. Die mit vertretbarem Aufwand zu gewinnenden fossilen Rohstoffmengen, insbesondere von Erdöl und Erdgas sind begrenzt, auch wenn die Reserven in den letzten Jahren zugenommen haben. Mit der Verbrennung der begrenzten fossilen Energieträger leben wir, wie keine Generation vor uns, auf Kosten zukünftiger Generationen, woraus eine besondere Verpflichtung erwächst Alternativen zum fossilen Feuer zu entwickeln und verfügbar zu machen.
2. Energiemangel und Hunger sowie das Bevölkerungswachstum in den Ländern der Dritten Welt haben zu einer stetig zunehmenden Waldvernichtung geführt, deren ökologische Konsequenzen globaler Natur sind. Die Abholzung von Wäldern als einzige Energiequelle im täglichen Überlebenskampf ist so schnell wie möglich überflüssig zu machen.
3. Auch aus diesem Grund, aber insbesondere wegen des Bevölkerungswachstums und zur Beseitigung inhumaner Lebensumstände in den Ländern der

Dritten Welt wird der weltweite Energiebedarf weiter zunehmen. Hierfür ist Vorsorge zu treffen.

4. Die Umweltbelastung durch Staub, SO₂, NO_x, CO und flüchtige organische Verbindungen ist auf ein für die "menschliche" Gesundheit, die Ökosysteme und die Natur verträgliches Ausmaß zurückzuführen.

Diese Situationsanalyse aber macht deutlich, daß auch bei Nichtexistenz des Klimarisikos, weitreichende energiepolitische Handlungsnotwendigkeiten bestehen, um die Energieversorgung in Zukunft sicherzustellen. Sie werden nun zusätzlich auch noch aus Gründen der Vermeidung von Klimaveränderungen notwendig und machen ggf. eine noch konsequentere Umstrukturierung unserer Energieversorgung erforderlich, wobei die Begrenzung bzw. die Zurückdrängung des Verbrauchs von Kohle und Erdöl eine besondere Bedeutung erlangen.

Vor diesem Hintergrund der Einordnung der Klimaproblematik in die energiepolitischen Notwendigkeiten wird im folgenden nun auf die Frage eingegangen, ob und ggf. wie eine klimaverträgliche Energieversorgung erreichbar ist. Die Erläuterungen und Ausführungen beziehen sich dabei auf die Bundesrepublik Deutschland ohne die fünf neuen ostdeutschen Bundesländer, da nur für das Gebiet der Bundesrepublik vor dem 3. Oktober 1990 bisher ausführliche Untersuchungen zu dieser Frage vorliegen. Eine Ausweitung der Analysen und der Einbezug der neuen Bundesländer, unter Berücksichtigung ihrer strukturell andersartigen Ausgangslage, ist noch zu leisten.

Klimaänderungen und Treibhausgasreduktionnotwendigkeiten

Mit der Ausweitung der Nutzung der fossilen Energieträger im Zuge der Industrialisierung haben die Menschen begonnen die chemische Zusammensetzung und die Strahlungsbilanz der Atmosphäre nachhaltig zu verändern. Unter den Klimatologen herrscht heute, wie die zweite Weltklimakonferenz Anfang November 1990 in Genf festgestellt hat, weitgehende Übereinstimmung über die prinzipiellen Wirkungen des Treibhauseffektes und seine Größenordnung /1/, obwohl in Teilbereichen noch Unsicherheiten bestehen. Bei Fortsetzung des Trends der

Freisetzung von Treibhausgasen wird die globale mittlere Temperatur um 2 bis 5 °C im Laufe des nächsten Jahrhunderts ansteigen. Ein derartiger Temperaturanstieg ist in den letzten 10.000 Jahren nicht aufgetreten.

Der Beitrag der Energieversorgung zum anthropogenen Treibhauseffekt wird gegenwärtig auf fast 50 % geschätzt. Das wichtigste Treibhausgas ist CO₂, mit einem Anteil von rd. 55 % am Treibhauseffekt in der letzten Dekade. 24 % der anthropogenen Treibhauswirkung werden den FCKW's, 15 % dem Methan zugeordnet. Die verbleibenden 6 % entfallen auf andere Treibhausgase wie z. B. das Distickstoffoxid.

Um die Klimaänderungen und ihre Konsequenzen auf ein tolerierbares Maß zu begrenzen, hat die Weltkonferenz "The Changing Atmosphere" von Toronto gefordert, die weltweiten CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005 um 20 % und bis zum Jahr 2050 um 50 % gegenüber dem Niveau des Jahres 1987 zu reduzieren und die zweite Weltklimakonferenz von Genf weist daraufhin, daß es notwendig wäre, die weltweiten CO₂-Emissionen kontinuierlich um 1 % pro Jahr zu reduzieren, um bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts den Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration auf ein Niveau zu begrenzen, das 50 % über dem der vorindustriellen Zeit liegt. In ähnlicher Weise sind auch die Freisetzungen der anderen Treibhausgase zu vermindern.

Diese Reduktionen der globalen CO₂-Emissionen bzw. die damit verbundenen Einschränkungen des Verbrauchs fossiler Energieträger sind dabei vor dem Hintergrund zu sehen, daß nahezu alle Energieprognosen von einem weiteren Anstieg des weltweiten Verbrauchs an fossilen Energieträgern ausgehen.

Was aber bedeuten diese globalen Minderungsziele für die einzelnen Staaten? Welche Treibhausgasemissionsminderungen resultieren daraus für die Bundesrepublik Deutschland, damit sie ihren Beitrag zur Erreichung der globalen Ziele leistet?

Einen allgemein akzeptierten Schlüssel zur Ableitung nationaler Treibhausgasminderungsziele gibt es bisher nicht. Angesichts des Faktums, daß die energiebedingte Freisetzung von Treibhausgasen in der Vergangenheit nahezu ausschließlich durch die Industrieländer erfolgt

ist, die auch heute noch für rund 75 % der CO₂-Emissionen verantwortlich sind, werden sie den Hauptbeitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen leisten müssen.

Eine erste Orientierung über die Größenordnung der CO₂-Reduktion in unserem Land, um die zuvor genannten globalen Minderungsziele zu erreichen, mag die folgende einfache Überlegung geben. Entsprechend der Toronto-Konferenz-Forderung wären die weltweiten CO₂-Emissionen des Jahres 1987 in Höhe von rd. 20,5 Mrd t bis zum Jahr 2005 auf rd. 16,4 Mrd t/a und bis 2050 auf 10,25 Mrd t/a zu verringern. Bei rd. 6,5 Mrd. Menschen im Jahr 2005 und rd. 10 Mrd Menschen im Jahr 2050 würden diese Minderungsziele bedeuten, daß im Weltdurchschnitt jeder Erdenbürger dann 2,5 bzw. 1 t CO₂ pro Jahr durch die Nutzung fossiler Energieträger freisetzen dürfte.

In der Bundesrepublik Deutschland betragen die CO₂-Emissionen je Einwohner im Jahr 1987 rd. 12 t und in der ehemaligen DDR rd. 21 t. Gleiches Emissionsrecht vorausgesetzt, müßten wir also unsere CO₂-Emissionen bis 2005 um weit mehr als 50 % und bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts um mehr als 90 % reduzieren. Diese Zahlen mögen zum einen die Dimension der notwendigen Umstrukturierung unserer vornehmlich auf fossilen Energieträgern beruhenden Energieversorgung zur Verwirklichung eines klimaverträglichen Energiesystems umreißen und zum anderen andeuten, mit welchen Reduktionsforderungen an die Industrieländer, z. B. von Seiten der Entwicklungsländer, im Rahmen der bevorstehenden internationalen Verhandlungen zur Vereinbarung einer Konvention über den Schutz der Erdatmosphäre zu rechnen ist.

Unter Berücksichtigung der berechtigten Belange der Entwicklungsländer ergibt sich, daß die von der Bundesregierung angestrebte Minderung der CO₂-Emissionen um 25 % bis zum Jahr 2005 bzw. die von der Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" geforderte Reduktion um 30 % /2/ nicht ausreichen werden, um die weltweiten Zielvorgaben der Toronto-Konferenz zu erreichen.

Die für eine Internationale Konvention zum Schutz der Erdatmosphäre notwendige Festlegung nationaler Reduktionsvorgaben, d. h. des Umfanges und des Tempos der national erforderlichen Begrenzungen der energiebedingten Treibhausgasemissionen ist noch zu

leisten. Diese schwierige Aufgabe wird wohl nur gelingen, wenn für die einzelnen Länder bzw. Ländergruppen fundierte Informationen über die jeweiligen Minderungsmöglichkeiten und ihre Konsequenzen vorliegen, um die Belastungen der notwendigen tiefgreifenden Umstrukturierung der Energieversorgung gerecht verteilen zu können.

Unabhängig von dem letztendlich notwendigen Umfang der Treibhausgasminderung kommt bei der Formulierung von energiepolitischen Strategien und Konzepten zur Erreichung einer klimaverträglichen Energieversorgung der Differenzierung zwischen dem technisch Möglichen, dem wirtschaftlich Darstellbaren und dem ökologisch Effizienten eine besondere Bedeutung zu.

Rein technisch gesehen stehen uns zumindest auf längere Sicht sehr weitgehende Treibhausgasminderungsmöglichkeiten zur Verfügung. Aber nicht alles was technisch machbar ist, ist auch wirtschaftlich darstellbar und schon gar nicht effizient im Sinne der Nutzung knapper verfügbaren Ressourcen zur Vermeidung von Klimaveränderungen.

Eine Politik, die die Klimagefahren auf ein tolerierbares Maß eingrenzen will, ist auf ein gleichgerichtetes Handeln aller Staaten angewiesen. Dies wird wohl nur zu erreichen sein, wenn die Lasten gerecht verteilt und so gering wie möglich sind, damit insbesondere die Länder der Dritten Welt auch ihre anderen, ihnen derzeit viel wichtigeren Entwicklungsziele erreichen können. Aus diesem Grund gewinnen kosteneffiziente CO₂-Reduktionsmaßnahmen ihre große Bedeutung. Anders ausgedrückt, eine klimaverträgliche Begrenzung der Treibhausgasemissionen wird wohl nur erreicht werden können, wenn die dafür verfügbaren, begrenzten Aufwendungen streng nach dem ökonomischen Prinzip verwendet werden, mit jeder aufgewendeten Mark eine möglichst hohe Treibhausgasminderung zu realisieren. Dies ist ein zentrales Kriterium für die Erarbeitung von Strategien und Konzepten zur Abwendung der Klimagefahren.

Im folgenden wird nun auf die Möglichkeiten zur Minderung der CO₂-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland (ohne die Gebiete der ehemaligen DDR) näher eingegangen. Dabei werden Untersuchungsergebnisse verwendet, die im Rahmen eines Studienprogramms für die Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bun-

destages /2/ erarbeitet wurden, an dem der Autor beteiligt war. Als Bezugszeitpunkte für quantitative Aussagen dienen dabei die Jahre 1987 und 2005.

CO₂-Emissionen und Minderungsmöglichkeiten

Die energiebedingten CO₂-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland betragen im Jahr 1987 ca. 715 Mio t CO₂/a (einschl. 10 Mio t CO₂/a aus dem internationalen Luftverkehr). Damit trug die Bundesrepublik Deutschland mit einem Anteil von rund 3,2 % zu den weltweiten energiebedingten CO₂-Emissionen bei. Die ehemalige DDR emittierte in diesem Jahr rund 350 Mio t CO₂.

In Bild 1 sind die CO₂-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland nach Energieträgern und Emittentenbereichen dargestellt. Die Aufschlüsselung der CO₂-Emissionen nach Energieträgern zeigt, daß im Jahr 1987 der Hauptbeitrag mit 37,4 % auf die Verbrennung von Mineralölprodukten entfiel. Auf die Steinkohle entfielen 26,1 % und das Erdgas bzw. die Braunkohle trugen mit 17,5 % bzw. 13,9 % zum gesamten Ausstoß an CO₂ bei.

Hauptemittent in der Bundesrepublik Deutschland war im Jahr 1987 die Stromerzeugung, auf die 231 Mio t CO₂ oder 32 % der CO₂-Emissionen zurückzuführen waren. Daneben waren der Verkehr mit rd. 20 % sowie die Industrie und die Haushalte mit jeweils 16 % an den energiebedingten CO₂-Emissionen beteiligt.

Grundsätzlich lassen sich die energiebedingten CO₂-Freisetzungen in die Atmosphäre reduzieren durch

eine Minderung des Verbrauchs fossiler Energieträger durch rationellere Energieverwendung oder Energieeinsparung (z. B. durch Steigerung der Nutzungsgrade in Kraftwerken oder Kesselanlagen) oder durch den Verzicht auf Energiedienstleistung,

- den Ersatz fossiler Energieträger durch CO₂-freie Energiequellen wie die Kernenergie und die erneuerbaren Energiequellen,
- eine Substitution kohlenstoffreicher (z. B. Kohle) durch kohlenstoffärmere (z. B. Erdgas) fossile Energieträger sowie

durch eine Vermeidung der Freisetzung des bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehenden CO₂'s in die Atmosphäre (CO₂-Rückhaltung und Entsorgung).

Auf die einzelnen Minderungsoptionen, ihr Minderungspotential und ihre Minderungskosten sei nun näher eingegangen.

Rationelle Energienutzung und Energieeinsparung

Auf allen Stufen der Prozeßkette von der Energiegewinnung über die Umwandlung bis zur Nutzung beim Verbraucher konnten in den letzten Jahren deutliche Fortschritte in bezug auf eine Steigerung der Energieeffizienz erzielt werden. Die Energieproduktivität unserer Volkswirtschaft hat sich seit 1973 durch eine rationellere Energieverwendung um fast 30 % erhöht. In vielen Energieverwendungsbereichen konnte der spezifische Energieverbrauch deutlich reduziert werden. So z. B. sank der spezifische Stromverbrauch bei Waschmaschinen und Geschirrspülern seit 1970 um 60 bzw. 44 %.

Gleichwohl gilt die Feststellung, daß mit den in der Vergangenheit erreichten Nutzungsgradverbesserungen und Effizienzsteigerungen die technischen Möglichkeiten zur Minderung des Energieverbrauchs bei gleicher Energiedienstleistung, d. h. ohne Konsumverzicht, noch keineswegs ausgeschöpft sind.

Im Rahmen der Arbeiten für die Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" wurden die aus heutiger Sicht technisch möglichen Energieeinsparungen und die damit verbundenen CO₂-Minderungen abgeschätzt. Bild 2 zeigt diese technisch möglichen

CO₂-Reduktionspotentiale für verschiedene Verwendungsbereiche der Energie. In Summe belaufen sie sich auf 35 bis 45 % der CO₂-Emissionen des Jahres 1987. Die Realisierung dieser durch Einsparmaßnahmen rein technisch möglichen CO₂-Minderungen ist dabei je nach Maßnahme mit einem unterschiedlichen Aufwand verbunden, der in der Regel mit einer steigenden Ausschöpfung des technischen CO₂-Minderungspotentials überproportional ansteigt, d. h. die Grenzkosten der CO₂-Minderung nehmen zu. Eine Quantifizierung der CO₂-Minderungskosten durch Energieeinsparung oder gar die Angabe von CO₂-Minderungskosten-Funktionen der verschiedenen Energieeinsparmaßnahmen ist gegenwärtig nur für Teilbereiche möglich.

In Tabelle 1 sind für einige ausgewählte Energieeinsparmaßnahmen die damit verbundenen CO₂-Minderungskosten angegeben. Als Maß für die Effizienz der CO₂-Minderung werden dabei die spezifischen CO₂-Minderungskosten verwendet, die den Aufwand in DM angeben um die Emission einer Tonne CO₂ zu vermeiden.

Die hier und im weiteren genannten spezifischen CO₂-Minderungskosten sind dabei anhand einer für das Jahr 2005 unterstellten Energiepreissituation ermittelt worden, die dadurch gekennzeichnet ist, daß die Importpreise von Öl, Erdgas und Kohle gegenüber 1987 um rd. 50 % ansteigen, während die Strompreise nur leicht zunehmen. Die in Tabelle 1 aufgeführten negativen Minderungskosten bedeuten, daß unter den getroffenen Preisannahmen für das Jahr 2005 diese Einsparmaßnahmen auch ohne eine Bewertung ihrer CO₂-Minderung wirtschaftlich sind, d. h. die Kostenersparnis durch geringeren Energieverbrauch ist, über die Nutzungsdauer betrachtet, größer als der Aufwand für die Energieeinsparmaßnahme. Die große Bandbreite der angegebenen spezifischen CO₂-Minderungskosten einer Maßnahme resultiert zum einen aus den unterschiedlichen Einsatzbedingungen (z. B. Leistungsgröße, jährliche Nutzungsstunden, usw.) und zum anderen aus der Art des eingesparten fossilen Energieträgers (Kohle, Mineralöl oder Gas). Dennoch machen die Zahlen eindrucksvoll deutlich, daß mit demselben Kostenaufwand je nach durchgeführter Energieeinsparmaßnahme viel oder wenig Minderung des CO₂-Ausstoßes erreicht werden kann.

Austausch fossiler Energieträger untereinander

Aufgrund des unterschiedlichen Wasserstoff-Kohlenstoff-Verhältnisses der verschiedenen fossilen Brennstoffe entsteht bei ihrer Verbrennung bezogen auf dieselbe Energiemenge unterschiedlich viel CO₂. Setzt man die direkten CO₂-Emissionen der Steinkohle zu 100, so entstehen bei der Verbrennung bezogen auf dieselbe Energiemenge bei der Braunkohle 120, beim Heizöl 78 und beim Erdgas nur 59 Einheiten CO₂. Diese Angaben zeigen, daß die Substitution C-reicher Energieträger, wie z. B. Kohle, durch C-ärmere Energieträger, wie z.B. Erdgas, zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen führt.

Die Techniken für einen Ersatz fester und flüssiger fossiler Energieträger durch Erdgas sind, wenn man den Verkehrssektor ausklammert, vorhanden und auch die Ressourcensituation und die Erdgasproduktionsmöglichkeiten würden es nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand erlauben, die Erdgasnutzung mittelfristig auszuweiten um damit zur CO₂-Minderung beizutragen.

In Tabelle 2 sind die technischen CO₂-Minderungspotentiale und Minderungskosten einer Substitution von Kohle und Heizöl durch Erdgas für die Bereiche Stromerzeugung, Fernwärme, Industrie, Haushalte und Kleinverbraucher angegeben. Das gesamte durch einen verstärkten Erdgaseinsatz bis zum Jahr 2005 technisch erschließbare CO₂-Minderungspotential liegt bei rund 150 Mio t, die Verfügbarkeit der notwendigen Erdgasmengen vorausgesetzt. Bezogen auf die CO₂-Emissionen des Jahres 1987 entspricht dies 20 %.

Die, ausgehend von den zugrunde gelegten Energiepreisen im Jahr 2005, ermittelten spezifischen CO₂-Minderungskosten einer Substitution durch Erdgas weisen eine große Bandbreite auf, die sich wieder aus den jeweiligen spezifischen Randbedingungen (Anlagekostenrelationen, Ausnutzungsdauern, usw.) ergibt. Geht man, wie bei den Zahlenangaben in Tabelle 2, bei der Ermittlung der spezifischen CO₂-Minderungskosten von den Preisen für Importkohle aus, so wäre bei den getroffenen Preisannahmen für das Jahr 2005 der größte Teil (85 %) des technischen CO₂-Minderungspotentials von 150 Mio t CO₂ eines verstärkten Gaseinsatzes nur mit zusätzlichen Kosten (d.h. positiven spez. Minderungskosten) zu erschließen.

Die spezifischen CO₂-Minderungskosten eines verstärkten Erdgaseinsatzes werden ganz wesentlich durch die Energieträgerpreisrelation zwischen den fossilen Energieträgern bestimmt. Die zukünftige Energieträgerpreisentwicklung und damit auch die Entwicklung der fossilen Energieträgerpreisrelationen ist aber mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Hinzu kommt, daß eine Strategie der CO₂-Reduktion durch Austausch fossiler Energieträger untereinander über die damit verbundenen Nachfrageeffekte (verstärkte Nachfrage nach Erdgas und reduzierte Nachfrage nach Kohle) auf den Weltenergiemärkten zu Preisreaktionen führen kann, die die spezifischen CO₂-Minderungskosten erhöhen und die Kosteneffizienzen eines verstärkten Erdgaseinsatzes erheblich verschlechtern können. Hierin liegt das ökonomische Risiko einer auf Erdgas setzenden CO₂-Minderungsstrategie. Der verstärkte Einsatz von Erdgas stellt allein aufgrund seines begrenzten technischen CO₂-Minderungspotentials keine langfristig tragfähige Option zur Erreichung einer klimaverträglichen Energieversorgung dar. Erdgas könnte aber einen wesentlichen Beitrag für die Eingrenzung negativer Klimaveränderungen in der Übergangsphase hin zu einer weitgehend CO₂-freien Energieversorgung leisten.

Kernenergie

Die Kernenergie trug im Jahr 1989 mit einer Stromerzeugung von 149 TWh zu einem Drittel zur gesamten Bruttostromerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland bei. Würde diese Stromerzeugung in Kohlekraftwerken erfolgen, so bedeutet dies eine zusätzliche CO₂-Emission in Höhe von ca. 130 Mio t/a.

Mit dem derzeit erreichten Stand der Kerntechnik sind aber weder ihre technischen bzw. sicherheitstechnischen noch ihre ökonomischen Entwicklungsmöglichkeiten sowie ihr Potential zur Deckung des Energiebedarfs und zur CO₂-Minderung ausgeschöpft.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird die Kernenergie fast ausschließlich zur Stromerzeugung eingesetzt. Die Wärmeauskopplung aus Kernkraftwerken, in Entwicklung befindliche kleine Heizreaktoren sowie der Hochtemperaturreaktor ermöglichen es mittelfristig aber auch, daß

die Kernenergie einen Beitrag zur Versorgung des nichtelektrischen Energiemarktes leisten könnte.

Kurzfristig könnte eine Erhöhung der Auslastung der bestehenden Kernkraftwerke einen Beitrag zur CO₂-Minderung in der Höhe von 18 bis 27 Mio t CO₂/a leisten, wenn die Stromerzeugung in Kohlekraftwerken entsprechend zurückgefahren würde. Mittelfristig sind weitergehende CO₂-Reduktionen nur durch den Zubau von Kernkraftwerken zu erreichen.

Das technische CO₂-Minderungspotential durch einen Ausbau der Kernenergie bis zum Jahr 2005, worunter die unter Außerachtlassung von Wirtschaftlichkeitsaspekten und Hemmnissen technisch möglichen Reduktionen von CO₂-Emissionen zu verstehen sind, ist in Tabelle 3 aufgeführt.

Das - maximal technisch mögliche CO₂-Minderungspotential ergibt sich zu rd. 200 Mio t CO₂/a, was etwa 25 % der gesamten CO₂-Emissionen des Jahres 1987 entspricht. Das größte Einzelpotential liegt im Bereich der Stromerzeugung, wenn im Rahmen des Ersatz- und Erweiterungsbedarfs Kernkraftwerke anstelle von Kohlekraftwerken zugebaut würden. Die technischen CO₂-Minderungspotentiale bis zum Jahr 2005 der nuklearen Fernwärme- und Prozeßwärmeerzeugung sind mit bis zu 15 bzw. 35 Mio CO₂/a deutlich kleiner.

Für die Stromerzeugung aus Kernenergie ergeben sich dabei durchweg negative spezifische CO₂-Minderungskosten, selbst wenn man gegen die Importkohle und nicht gegen die teure heimische Steinkohle rechnet. Im Bereich der Fernwärme- sowie Prozeßdampf- und Prozeßwärmeerzeugung wären dagegen die Minderungspotentiale nur mit zusätzlichen Kosten auszuschöpfen. Die Wasserstoffherzeugung mittels Kernenergie wäre mit sehr hohen Minderungskosten behaftet.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß auch der Ausbau der Kernenergie bis zum Jahr 2005 nur einen begrenzten Beitrag zur Minderung der CO₂-Emissionen leisten könnte, der allein die Minderungsziele nicht erreichen läßt. Die Nutzung eines großen Teils des CO₂-Minderungspotentials der Kernenergie wäre dabei aus heutiger Sicht möglich, ohne die Kosten der Energiebereitstellung zu erhöhen.

Erneuerbare Energiequellen

Der Beitrag der erneuerbaren Energiequellen zur Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland liegt gegenwärtig bei 2,6 % des Primärenergieverbrauchs. Mit rd. 1,5 % hat dabei die Wasserkraft die größte Bedeutung, gefolgt von der energetischen Abfallverwertung und dem Brennholz.

Bei der Entwicklung der Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen sind in den letzten beiden Jahrzehnten deutliche Fortschritte gemacht worden. Kleine Windenergiekonverter werden heute aus einer seriennahen Produktion angeboten. Solarkollektoranlagen zur Erwärmung von Schwimmbadwasser und Brauchwasser können heute als weitgehend technisch ausgereift bezeichnet werden. Die intensiven Forschungs- und Entwicklungsprogramme haben auch bei den Solarzellen deutliche Fortschritte in Bezug auf die Steigerung der Wirkungsgrade und die Reduktion der Herstellungskosten gebracht, auch wenn die letzteren hinter den Kostenprognosen der späten siebziger Jahre zurückgeblieben sind. Nach allgemeiner Auffassung ist aber das physikalisch-technische Entwicklungspotential der Photovoltaik ebenso wie das Kostensenkungspotential noch keineswegs ausgeschöpft.

Ohne auf die technischen Entwicklungsaspekte und die Entwicklungsperspektiven der erneuerbaren Energiequellen hier näher eingehen zu können, läßt sich allgemein feststellen, daß trotz der erzielten Fortschritte nur wenige Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen heute schon wirtschaftlich konkurrenzfähig sind.

Stellt man die Frage nach dem zukünftigen Beitrag der regenerativen Energiequellen zur Reduktion von Treibhausgasen, so ist zwischen dem technischen Potential und dem unter Beachtung wirtschaftlicher Aspekte zu realisierenden Beitrag zu differenzieren.

In Bild 3 sind die Ergebnisse der für die Enquete-Kommission durchgeführten Potentialabschätzung für das Jahr 2005 dargestellt. Für die Stromerzeugung aus Wasserkraft, Biomasse, Windenergie und Photovoltaik ergibt sich in der Bundesrepublik Deutschland (ohne das Gebiet der ehemaligen DDR) ein technisches Potential von bis zu 140 TWh/a. Dies entspricht einem CO₂-Minderungspotential von bis zu 106 Mio t CO₂/a. Für die Erzeugung von Wärme

und anderen Energieträgern liegt das technische Potential im Bereich von 700 bis 890 PJ/a. Die gesamten technisch möglichen CO₂-Minderungen ergeben sich zu 130 bis 220 Mio t CO₂/a, dies entspricht 18 bis 30 % der CO₂-Emissionen des Jahres 1987. Bei den hier unterstellten Energiepreissteigerungen bis zum Jahr 2005 wären aber nur ein Teil des Wasserkraftpotentials und etwa 20 % des Wärmeerzeugungspotentials wirtschaftlich erschließbar.

Die bis zu diesem Zeitpunkt nicht erreichte Wirtschaftlichkeit drückt sich, wie z. B. im Falle der Photovoltaik oder der Erzeugung flüssiger Energieträger aus nachwachsenden Rohstoffen, in hohen spezifischen CO₂-Minderungskosten aus. Dies gilt auch für die in dem Bild 3 nicht aufgeführte Option des solaren Wasserstoffs.

Trotz des beachtlichen technischen CO₂-Minderungspotentials stellen sich die erneuerbaren Energiequellen also mittelfristig als eine wenig effiziente Möglichkeit zur Treibhausgasmin- derung dar.

Rückhalte- und Entsorgungsmöglichkeiten von CO₂

Grundsätzlich ist auch eine nicht klimabeeinflussende Nutzung fossiler Energieträger denkbar, wenn das bei der Verbrennung entstehende CO₂ zurückgehalten und so endgelagert werden kann, daß es dauerhaft von der Atmosphäre ferngehalten wird. Grundbedingung für alle Überlegungen zur CO₂-Rückhaltung und -Entsorgung ist, daß der damit verbundene Energieaufwand kleiner ist, als der Heizwert jener Menge an fossilem Brennstoff aus der das CO₂ entstanden ist. Unter dem Gesichtspunkt des Energieaufwandes stellen sich die Verbrennung mit reinem Sauerstoff oder die Abtrennung von CO₂ vor der Gasverbrennung in einem Gasturbinen/Dampfturbinenkraftwerk mit Kohlevergasung als die derzeit interessantesten technischen Möglichkeiten dar. Als Endlager für das anfallende CO₂ kommen wegen der großen Mengen praktisch nur leere Erdgasfelder oder die Tiefsee in Betracht. Die Erdgasfelder können theoretisch nur die Mengen an CO₂ aufnehmen, die der CO₂-Erzeugung aus Erdgas entsprechen. Der Ozean stellt zwar ein großes Reservoir für die Endlagerung von CO₂ dar, ungeklärt sind aber noch eventuelle ökologische Auswirkungen einer Tiefseelagerung und das tatsächliche Rückhaltevermögen der Tiefsee. Diese Fragen sind zunächst zu klären,

bevor die CO₂-Rückhaltung und -Endlagerung als Möglichkeit zur Minderung von CO₂-Emissionen weiterverfolgt werden kann.

CO₂-Reduktionsstrategien

In Bild 4 sind die zuvor diskutierten technischen CO₂ Reduktionspotentiale der uns im Prinzip zur Verfügung stehenden CO₂-Minderungsmöglichkeiten noch einmal im Vergleich dargestellt. Die einzelnen Potentialangaben bezeichnen die CO₂-Minderungen, die aus technischer Sicht, unter Vernachlässigung ökonomischer und sonstiger Aspekte, für die Bundesrepublik Deutschland (ohne die Gebiete der ehemaligen DDR) mittels erheblicher Anstrengungen gegebenenfalls bis zum Jahr 2005 erreichbar wären. Die technischen CO₂-Minderungspotentiale der einzelnen Optionen können nicht zu einem Gesamtpotential aufsummiert werden, da sie sich teilweise auf denselben fossilen Energieverbrauch beziehen.

Dennoch erscheint die Feststellung gerechtfertigt, daß für die Bundesrepublik Deutschland bereits mittelfristig nennenswerte CO₂-Minderungen technisch möglich erscheinen.

Das Vorhandensein nennenswerter technischer CO₂-Minderungsmöglichkeiten sagt aber, wie anfangs bereits erläutert, noch nichts darüber aus, welche gesamtwirtschaftlichen Belastungen mit der Minderung von CO₂-Emissionen verbunden sind und welche CO₂-Minderungsmöglichkeiten es erlauben, vorgegebene Minderungsziele mit den geringsten gesamtwirtschaftlichen Belastungen zu erreichen oder wie die Aufwendungen für die CO₂-Emissionsminderungen möglichst effizient genutzt, d.h. in maximale CO₂-Minderungen umgesetzt werden. Um aber die Volkswirtschaft angesichts der gewaltigen Umstrukturierungsaufgabe der Energieversorgung zur Vermeidung nicht tolerierbarer Klimaveränderungen nicht unvertretbar zu belasten, kommt effizienten Minderungsstrategien eine besondere Bedeutung zu.

Im Rahmen der Arbeiten für die Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" sind aufbauend auf den Einzelanalysen der verschiedenen CO₂-Minderungsoptionen erste Überlegungen bezüglich der Ausgestaltung von Strategien zur Verminderung energiebedingter CO₂-Emissionen angestellt worden. Nach Vorgabe der Enquete-Kommission waren

dabei drei Reduktionsszenarien für das Jahr 2005 zu erarbeiten, die sich an dem Ziel einer etwa 30 %igen CO₂-Minderung (bezogen auf die Emissionen des Jahres 1987) orientieren und unterschiedliche energiepolitische Auffassungen reflektieren sollten. In einem ersten Szenario "Hemmnisabbau und Preispolitik" sollten der Energieeinsparung Priorität gegeben werden. Die Kernkraftwerkskapazität sollte auf dem gegenwärtigen Niveau eingefroren, aber höher ausgelastet werden und der Erdgaseinsatz sollte um nicht mehr als 30 % zunehmen. In einem zweiten Szenario "Kernenergieausstieg" sollten die CO₂-Minderungen unter der Annahme eines Verzichts auf die Nutzung der Kernenergie ab dem Jahr 2005 untersucht werden. Schließlich war ein drittes Szenario mit Ausbau der Kernenergie zu erstellen.

Allen Szenarien gemeinsam ist die Annahme einer Bevölkerungszahl von 60 Mio im Jahr 2005 (Bundesrepublik Deutschland, ohne das Gebiet der ehemaligen DDR) und eines Wachstums des Bruttoinlandproduktes von durchschnittlich 2,4 %/a bis 2005.

Die durchgeführten Szenarioanalysen beschränkten sich auf die Abschätzung der energie-, emissions- und soweit möglich kostenseitigen Aspekte. Andere für die Bewertung von Minderungsstrategien wichtige Bereiche, wie die Auswirkungen auf die Wirtschafts- und Wirtschaftsstrukturentwicklung, auf die Wettbewerbsfähigkeit und die Beschäftigung wurden ebensowenig untersucht wie die Fragen der Durchsetzbarkeit und der Robustheit der Ergebnisse hinsichtlich unsicherer Annahmen. Insofern können die Ergebnisse nur eine erste Orientierung liefern.

In Bild 5 ist der Versuch gemacht worden wesentliche Ergebnisse der Reduktionsszenarien im Vergleich darzustellen. Die mit "Trend" bezeichnete Entwicklung der CO₂-Emissionen beruht auf der Annahme, daß die gegenwärtigen Rahmenbedingungen der Energieversorgung im wesentlichen unverändert fortbestehen. Insbesondere werden keine speziellen Eingriffe zur Minderung der CO₂-Emissionen unterstellt. Unter diesen Status-quo-Bedingungen bleiben die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005 nahezu unverändert auf dem Niveau des Jahres 1987 (Reduktion um 4 %). In Anbetracht des im Jahr 2005 gut 50 % höheren Bruttoinlandsproduktes und einer gestiegenen Energiedienstleistungsnachfrage bedeutet dies aber, daß die dem Trendszenario zugrundeliegenden Effizienzsteigerungen und Energieträgersubstitutionen bereits zu einer deutlichen Minderung des spezifischen CO₂-Ausstoßes geführt haben. Diese

implizite CO₂-Minderung, die ja aus heutiger Sicht auch noch zu leisten ist, läßt sich näherungsweise quantifizieren, wenn man die energetischen Nutzungsgrade und die Energieträgerstruktur des Jahres 1987 bis zum Jahr 2005 festschreibt. Unter dieser Annahme der "frozen efficiency" würde sich für das Jahr 2005 ein Anstieg der CO₂-Emissionen auf rund 920 Mio t CO₂ ergeben. Die Differenz zu den CO₂-Emissionen der Trendentwicklung in Höhe von 240 Mio t CO₂ ist als Minderungsbedarf mit zu beachten, wenn man die angestrebte CO₂-Minderung, d.h. die Minderungsziele, an dem CO₂-Emissionsniveau des Jahres 1987 orientiert.

Wenden wir uns nun den Reduktions Szenarien zu. Im Reduktionsszenario "Hemmnisabbau und Energiepolitik" nehmen die CO₂-Emissionen im Vergleich zu 1987 um rund 205 Mio t, d.h. um 28,7 % auf 510 Mio t CO₂/a ab. Diese CO₂-Minderung ist zurückzuführen auf eine weitgehende Ausschöpfung der Einsparmöglichkeiten in allen Endverbraucherbereichen, eine Verlagerung und Reduktion von Verkehrsleistung, eine erhebliche Ausweitung der Strom- und Wärmeerzeugung mittels erneuerbaren Energiequellen, nahezu eine Verdoppelung der KWK-Erzeugung und einen um 20 % zunehmenden Erdgaseinsatz. Des weiteren werden CO₂-Emissionen in Höhe von 27 Mio t CO₂ durch eine bessere Auslastung der bestehenden Kernkraftwerke vermieden.

Das Reduktionsszenario "Kernenergieausstieg" weist mit 510 Mio t CO₂ dieselben CO₂-Emissionen und damit auch dieselben Emissionsreduktionen wie das Szenario "Hemmnisabbau und Energiepolitik" aus. Um dies zu erreichen, wären aufgrund der Beendigung der Nutzung der Kernenergie im Jahr 2005 die Energieeinsparungen weiter zu verstärken, die Nutzung der erneuerbaren Energiequellen auszuweiten und der Erdgaseinsatz zu erhöhen. Die dazu notwendigen Maßnahmen seien an einigen Beispielen verdeutlicht. Für den Raumwärmebereich wird unterstellt, daß nahezu 40 % des Altbaubestandes wärmetechnisch so saniert werden, daß der durchschnittliche Heizenergieverbrauch um zwei Drittel absinkt und alle Neubauten bis zum Jahr 2005 im Durchschnitt einen spez. Nettoheizenergiebedarf von 40 kWh/m²a bei Einfamilienhäusern bzw. 25 kWh/m²a bei Mehrfamilienhäusern aufweisen. Die Stromerzeugung in der Kraft-Wärme-Kopplung müßte etwa 2,8 mal so hoch sein wie 1987. Die Stromerzeugungskapazität auf Basis erneuerbarer Energiequellen wäre bis 2005 um etwa 11,3 GW_e auszuweiten, allein auf die Windkraft entfielen davon 5,2 GW_e. Letztlich sei

noch erwähnt, daß der Erdgaseinsatz um insgesamt 50 % zunehmen müßte und die Stromerzeugung in erdgasgefeuerten Kondensationskraftwerken müßte von 21,5 TWh in 1987 auf 103,6 TWh in 2005, d.h. um fast 500 % ansteigen.

Im Reduktionsszenario mit Ausbau der Kernenergie sind die einzelnen CO₂-Minderungsmaßnahmen weitgehend nach den Effizienzkriterien ausgewählt worden. Im Sinne einer effizienzorientierten CO₂-Minderungsstrategie werden dabei alle im Rahmen der erwarteten Energiepreissteigerungen aus volkswirtschaftlicher Sicht sinnvollen Energieeinsparmöglichkeiten, auch durch eine verstärkte Kraft-Wärme-Kopplung, ebenso genutzt, wie die diesbezüglichen Potentiale der erneuerbaren Energiequellen. Die Kernenergie trägt sowohl im Bereich der Stromerzeugung wie auch durch die Bereitstellung von Fern- und Prozeßwärme zur CO₂-Minderung bei. Mit vermiedenen CO₂-Emissionen in Höhe von fast 92 Mio t CO₂/a entfällt der bei weitem größte Anteil der durch den Ausbau der Kernenergie reduzierten CO₂-Emissionen auf eine Ausweitung der Stromerzeugung in Kernkraftwerken. Dabei wird unterstellt, daß sich die installierte Bruttoengpaßleistung der Kernkraftwerke von heute 23,6 GW_e auf 36,6 GW_e im Jahr 2005 erhöht. Der Anteil der Kernenergie an der gesamten Stromerzeugung würde dann im Jahr 2005 rd. 56 % betragen.

Insgesamt ergeben sich in diesem effizientorientierten Reduktionsszenario mit Kernenergieausbau CO₂-Emissionen im Jahr 2005 in Höhe von 495 Mio t. Dies entspricht einer Minderung um 220 Mio t CO₂ oder 31 % gegenüber dem Jahr 1987.

Vergleicht man nun die drei Reduktionsszenarien untereinander, so ergeben sich trotz der in der Größenordnung vergleichbaren CO₂-Minderungen doch einige wesentliche Unterschiede. Sie liegen einmal in dem unterschiedlichen Kostenaufwand für die Erreichung der CO₂-Minderung. Die jährlichen Nettokosten für die CO₂-Minderungsmaßnahmen belaufen sich im Falle des Reduktionsszenarios "Hemmnisabbau und Energiepolitik" auf rd. 2,7 Mrd/a und im Fall des Reduktionsszenarios "Kernenergieausstieg" auf mehr als 9 Mrd DM/a, wobei hier wegen fehlender Daten nicht alle Zusatzkosten erfaßt werden konnten und im Falle des Kernenergieausstiegs z.B. auch die Kapitalvernichtung durch die vorzeitige Stilllegung der Kernkraftwerke nicht bewertet worden ist.

Die Minderung der CO₂-Emissionen im effizienzorientierten Reduktionsszenario mit Ausbau der Kernenergie wäre dagegen mit einer Kostenentlastung der Volkswirtschaft von rund 4,8 Mrd DM/a verbunden. Der Beitrag der verschiedenen Maßnahmen zur Minderung der CO₂-Emissionen und die damit verbundenen Kosteneinsparungen (bzw. Kosten) sind in Bild 6 dargestellt. Im Vergleich zum Kernenergieausstiegsszenario ergäbe sich damit bei einer CO₂-Minderung von rd. 30 % eine jährliche Kostendifferenz von mehr als 15 Mrd DM.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen den drei Reduktionsstrategien besteht im Hinblick auf ihre Möglichkeiten, falls notwendig, weitergehende CO₂-Minderungsziele zu erreichen. Diese sind im Falle des Kernenergieausstiegs wohl nicht vorhanden. Würde man hingegen bei der Reduktionsstrategie mit Ausbau der Kernenergie, die in den beiden anderen Szenarien unterstellten weitergehenden Maßnahmen im Bereich der Energieeinsparung, der Ausweitung der Nutzung erneuerbarer Energiequellen und von Erdgas auch durchführen, so ließen sich die CO₂-Emissionen und weitere 65 Mio t/a reduzieren.

Letztlich sei noch darauf hingewiesen, daß sich die drei Reduktionsszenarien auch hinsichtlich der notwendigen politischen Eingriffstiefe zu ihrer Umsetzung unterscheiden, wobei die CO₂-Minderung mit gleichzeitigem Kernenergieausstieg wohl den größten politischen Eingriffs- und Regelungsbedarf hat.

Einordnung und Fazit

Eine kritische Würdigung und Einordnung der zuvor erläuterten CO₂ Reduktionsszenarien muß zunächst feststellen, daß sie allenfalls eine erste Orientierungshilfe sind, die in vielerlei Hinsicht noch zu erweitern und abzusichern sind. Zum einen liegen für einzelne CO₂-Minderungsmaßnahmen belastbare Kostenangaben und insbesondere Angaben zu Kosten in Gestalt von Zielverzichten nicht oder nur rudimentär vor. Externe Kosten sind in die Kalkulation der CO₂-Minderungskosten miteinzubeziehen. Eine umfassende Analyse und Bewertung der Vor- und Nachteile unterschiedlicher Treibhausgasreduzierungsstrategien, die auch die gesamtwirtschaftlichen Effekte, die sonstigen umweltseitigen Vor- und Nachteile sowie die möglichen

Preiswirkungen auf den internationalen Energiemärkten und die Aspekte des europäischen Binnenmarktes miteinbezieht, ist noch zu leisten.

Dennoch lassen sich aus den hier erläuterten Treibhausgasminderungspotentialanalysen sowie den Reduktionsszenarien schon erste wesentliche Schlußfolgerungen für eine Politik zur Eingrenzung der Klimagefahren und zur Erreichung einer klimaverträglichen Energieversorgung ableiten.

Für die Bundesrepublik Deutschland existieren bereits mittelfristig, d.h. bis zum Jahr 2005, beachtliche technische Möglichkeiten zur Minderung der energiebedingten Treibhausgase. Ein Teil dieser Minderungspotentiale ließe sich ausschöpfen, ohne daß die Energiewirtschaft bzw. die Volkswirtschaft mit zusätzlichen Kosten zu belasten wäre.

Eine robuste und flexible Politik zur Minderung der energiebedingten Treibhausgase sollte entsprechend dem Effizienzgebot zunächst diese CO₂-Minderungsmöglichkeiten, deren ökonomischer Nutzen allein schon größer ist als ihre Kosten, ausschöpfen.

Die Ausnutzung dieser Treibhausgasminderungspotentiale erlaubt es der Bundesrepublik Deutschland und den anderen Industrieländern auch, eine Schrittmacherrolle zu übernehmen, ohne die Volkswirtschaft einseitigen Belastungen auszusetzen. Schritte und Maßnahmen in diese Richtung tragen dabei gleichzeitig zur Realisierung anderer Ziele, wie der Reduzierung der sonstigen Schadstoffbelastung der Luft, der Preiswürdigkeit der Energie und der Ressourcenschonung bei.

Eine effizienzorientierte und robuste Treibhausgasminderungspolitik wird auf keine der vorhandenen Optionen, die einen spürbaren Beitrag zur CO₂-Reduktion leisten kann, wegen der noch offenen Minderungsnotwendigkeiten im Sinne einer Risikominimierungsstrategie verzichten können.

Zurückkommend auf die im Titel gestellte Frage: "Ist eine klimaverträgliche Energieversorgung erreichbar?" sei - soweit es die Bundesrepublik Deutschland - betrifft mit einem Zitat von Carl Friedrich von Weizsäcker geantwortet, daß "alle Gefahren, die wir vor uns

sehen, keine technischen Ausweglosigkeiten sind, sondern eher umgekehrt, die Unfähigkeit unserer Kultur, mit den Geschenken ihrer eigenen Erfindungskraft vernünftig umzugehen".

Literatur

**/1/ Second World Climate Conference. Final- Conference Statement Scientific-
Technical Sessions, Geneva, November 1990**

**/2/ Dritter Bericht der Enquete-Kommisison Vorsorge zum Schutz der Erdatmo-
sphäre zum Thema Schutz der Erde.
Deutscher Bundestag, 11. Wahlperiode, Drucksache 11/8030, 1990.**

| <u>Maßnahme</u> | Energieein- sparung [%] | spez. CO ₂ - Mind.-kosten [DM/t CO ₂] |
|---|-------------------------------|--|
| Wärmedämmung | | |
| * Schwedenstandard | 30 | 0 bis 90 |
| * Niedrigenergiehaus | 60 bis 80 | 220 |
| Gasbrennwertkessel | 15 bis 20 | - 90 bis 55 |
| Wirkungsgradsteigerung fossiler Kraftwerke (GuD-Anlagen) | | |
| | 5 bis 20 | - 155 bis 290 |
| Kompaktleuchtstofflampe | 70 bis 80 | - 80 bis 130 |

Tabelle 1: Energieeinsparung und spez. CO₂- Minderungskosten einiger Energie-sparmaßnahmen

| <u>Maßnahme</u> | Minderungs- potential in Mio t CO ₂ | Spezifische Mind.-kosten in DM/t CO ₂ |
|--------------------------------|--|--|
| <u>Stromerzeugung</u> | | |
| - Braunkohle durch Gas | 53,4 | + 23 |
| - Steinkohle durch Gas | 53,2 | + 11 ¹⁾ |
| <u>Fernwärme</u> | | |
| - Steinkohle durch Gas | 2,1 | - 160 bis - 20 ¹⁾ |
| <u>Industrie</u> | | |
| - Braunkohle durch Gas | 1,4 | - 100 bis + 600 |
| - Steinkohle durch Gas | 10,1 | - 210 bis + 450 ¹⁾ |
| - Heizöl schwer durch Gas | 3,5 | - 200 bis + 100 |
| <u>Haushalte</u> | | |
| - Heizöl durch Gas | 11,7 | - 270 bis + 450 |
| - Kohle durch Gas | 2,0 | - 170 bis + 100 ¹⁾ |
| <u>Kleinverbraucher</u> | | |
| - Heizöl schwer durch Gas | 0,4 | + 30 bis + 40 |
| - Heizöl leicht durch Gas | 4,2 | - 240 bis + 410 |

1) ermittelt auf der Basis der Importkohlepreise

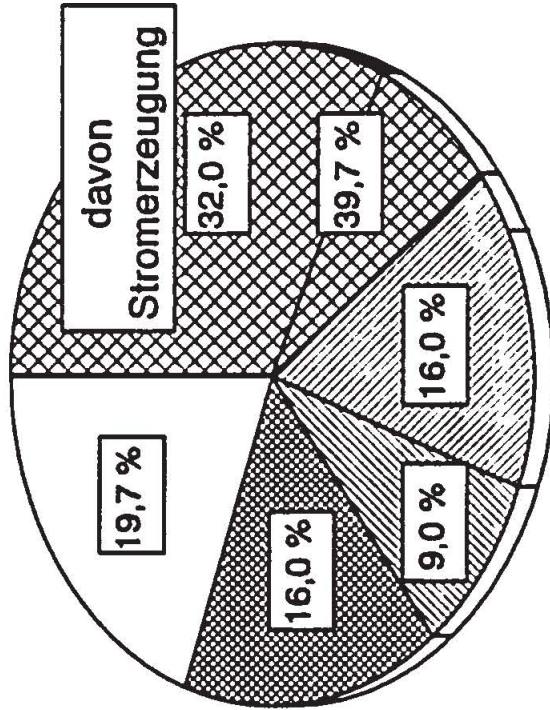
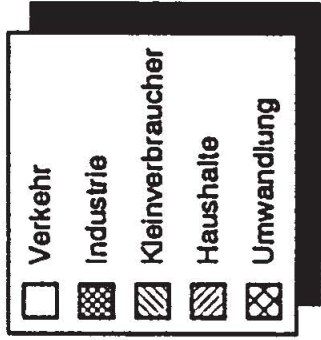
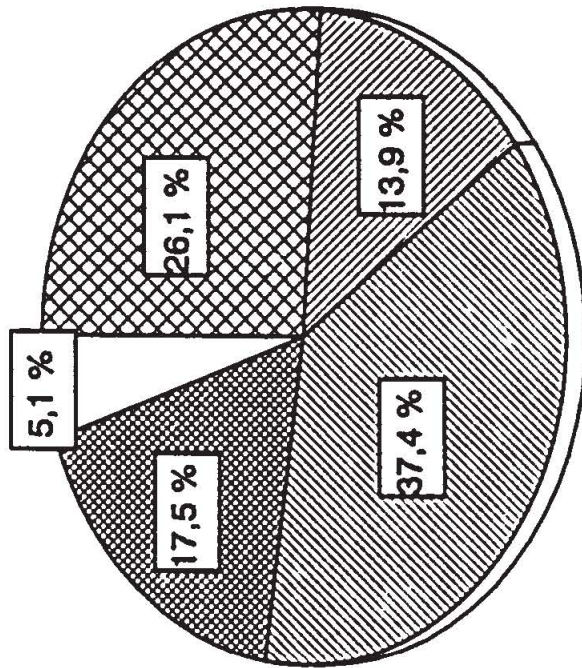
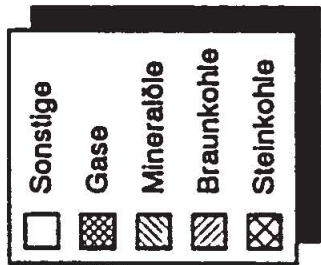
Tabelle 2: CO₂- Minderungsmöglichkeiten der Substitution C-reicher durch C-arme fossile Brennstoffe im Jahr 2005

| <u>Bereich</u> / Maßnahmen | Technisches CO₂-Minde- rungspotential [Mio t CO₂/a] | Spezifische Minderungs- kosten [DM/t CO₂] |
|--|--|---|
| <u>Stromerzeugung</u> | | |
| * Zubau 1 KKW/a ab 1997 | 50 bis 95 | -5 bis -15 ¹⁾ |
| * Zubau von 2 KKW/a ab 1997 | 88 bis 149 | -3,5 bis -13 ¹⁾ |
| <u>öffentliche Nah- und Fern- wärmeversorgung</u> | | |
| * Auskopplung aus KKW (LWR) | 5 bis 13 | -50 bis +750 |
| * Einsatz von Kernheizwerken | 7 bis 16,5 | -190 bis +140 |
| <u>Ind. Prozeßdampf- und Prozeßwärmeerzeugung</u> | | |
| * Prozeßdampf u. Prozeßwärme | 35 | bis +20 |
| <u>Wasserstoffherzeugung (Elektrolyse)</u> | | |
| * Wasserstoff als Substitut für Kohle, Öl, Gas | k.A. | 300 bis 530 ²⁾ |

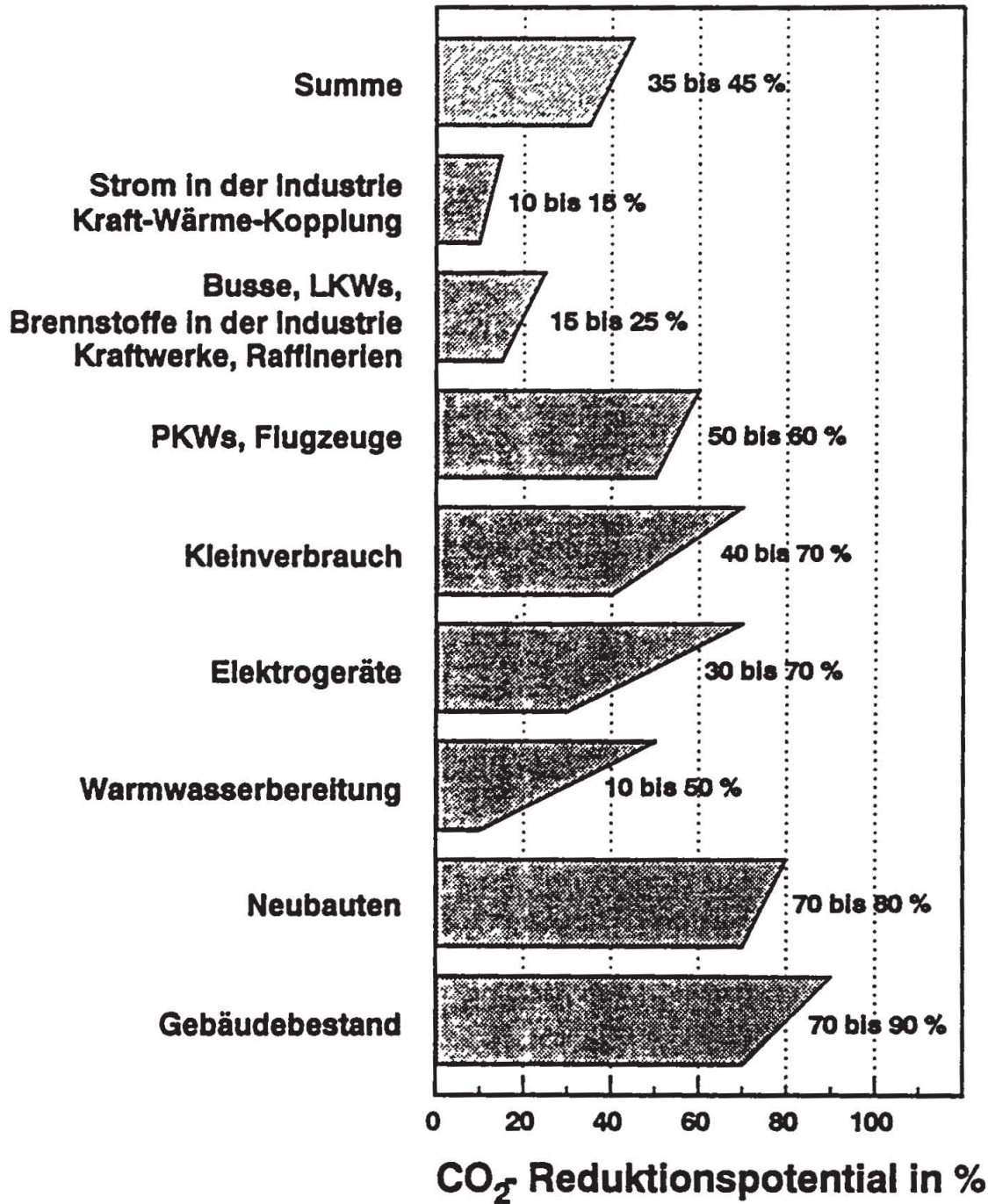
1) ermittelt anhand der Preise von Import- u. Braunkohle

2) nur auf Basis der Herstellungskosten von Wasserstoff ermittelt

Tabelle 3: Technische CO₂-Minderungspotentiale und spezifische Minderungskosten der Kernenergie im Jahr 2005

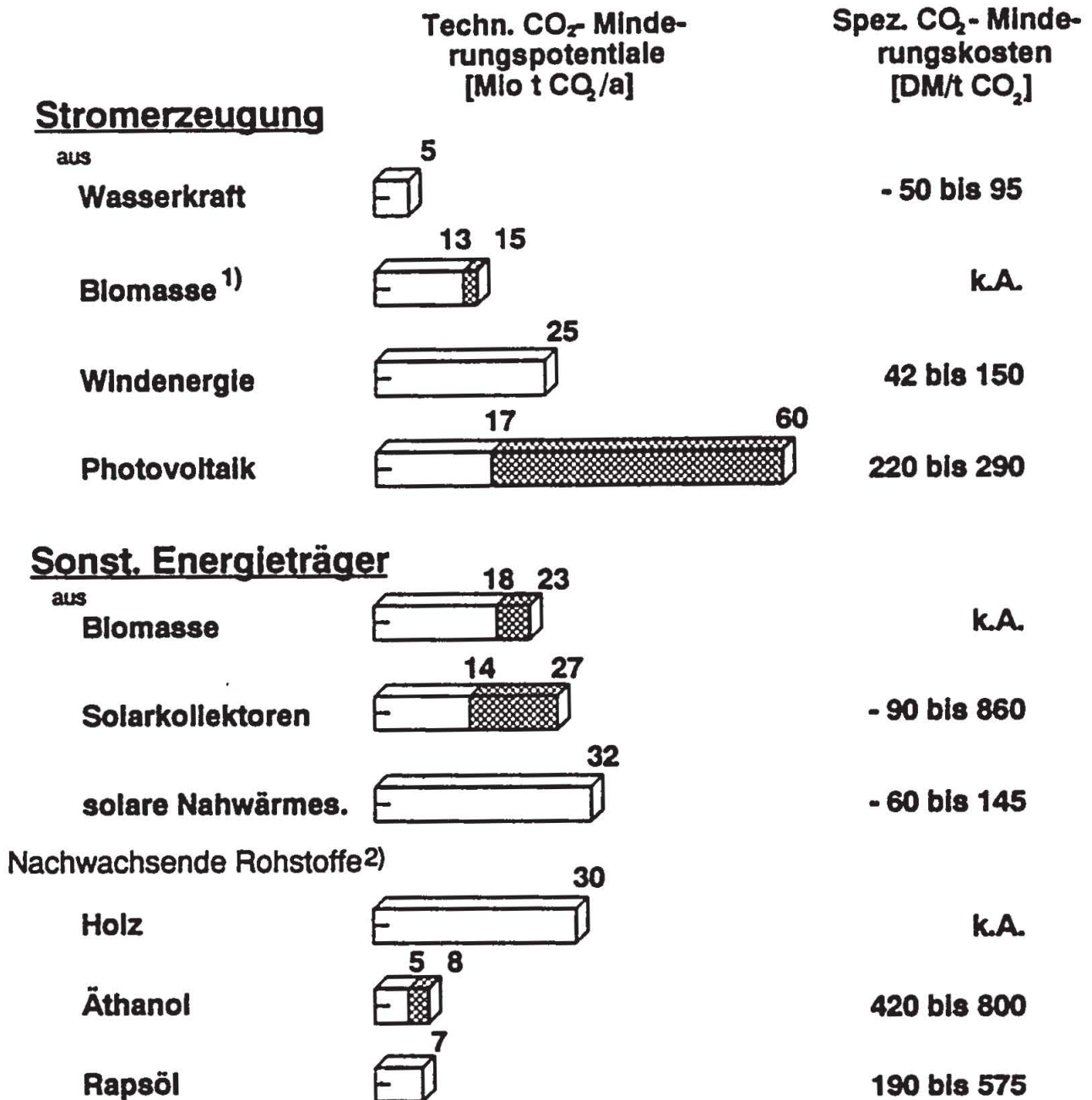


Gesamtemissionen: 715 Mio t CO₂/a



TECHPOT.DRW

Bild 2: Technische Potentiale der Energieeinsparung in der Bundesrepublik Deutschland in % des Energieverbrauches des Jahres 1987



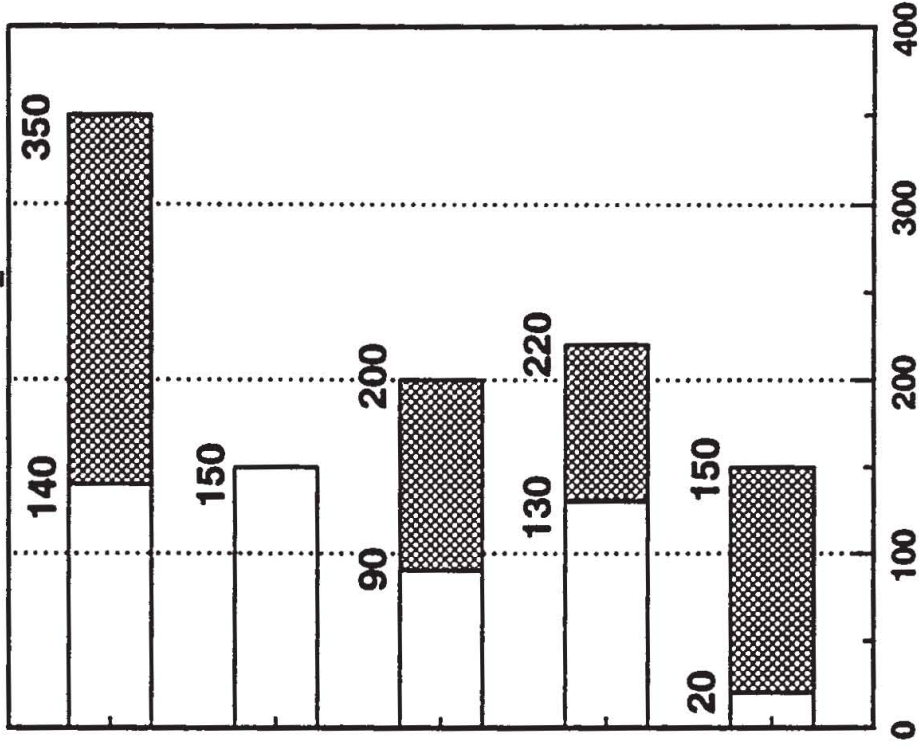
Gesamtpotential: 130 bis 220 Mio t CO₂/a

1) Abfallbiomasse, Deponiegas, Müll

2) Angaben gelten jeweils für eine Agrarüberschußfläche von 2 Mio ha

Bild 3: CO₂- Minderungspotentiale und Minderungskosten der erneuerbaren Energiequellen für das Jahr 2005

**Techn. CO₂-Minderungspotential
in Mio t CO₂/a ¹⁾**



CO₂-Minderung durch

- * Rationelle Energienutzung und Energieeinsparung
- * Substitution C-reicher durch C-arme fossile Energieträger
- * Kernenergie
- * Erneuerbare Energiequellen
- * CO₂-Entsorgung

¹⁾ Überschneidende Potentiale, Zahlen können nicht addiert werden

Bild 4: Technische CO₂-Minderungspotentiale in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2005

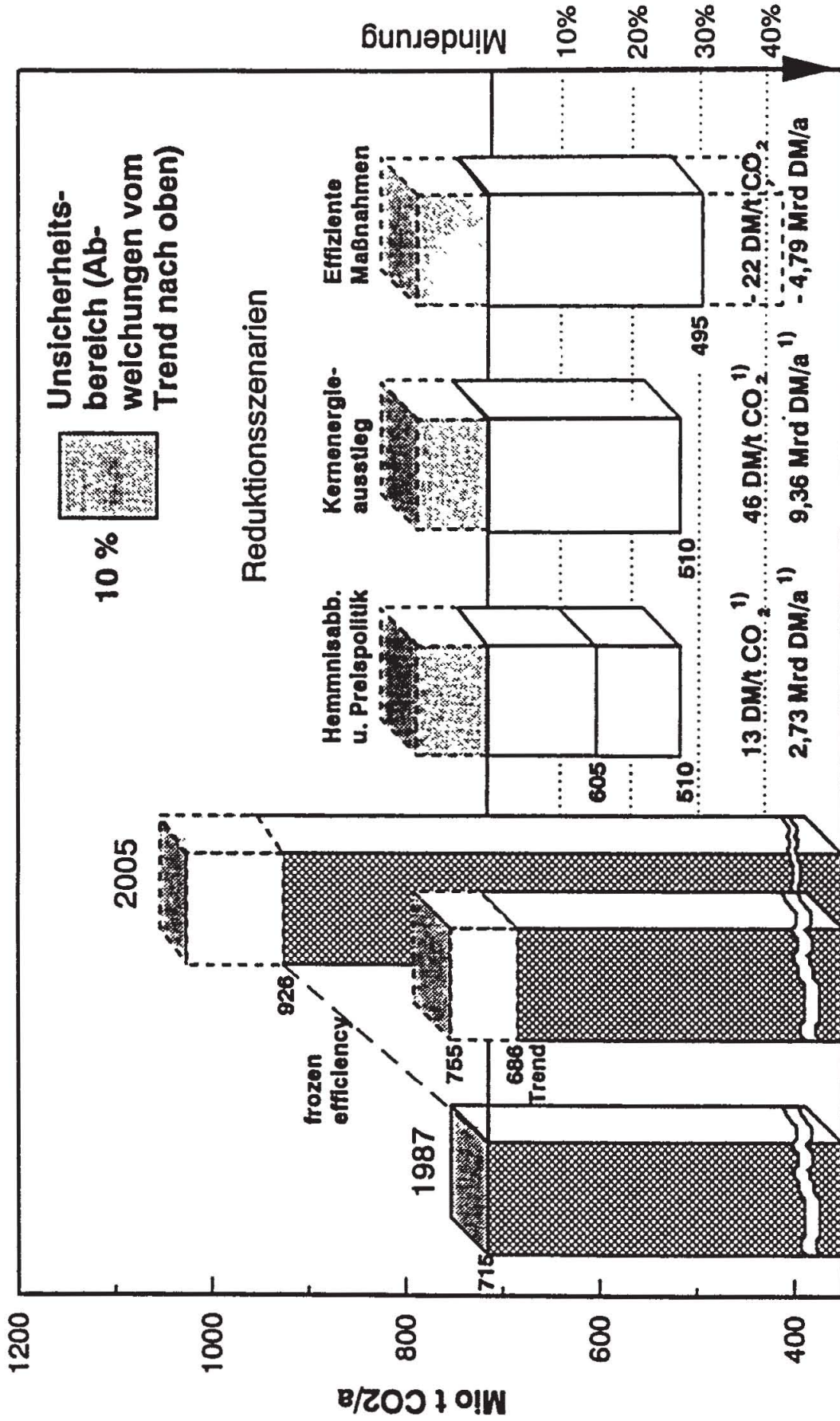


Bild 5: CO₂- Reduktionsszenarien im Vergleich

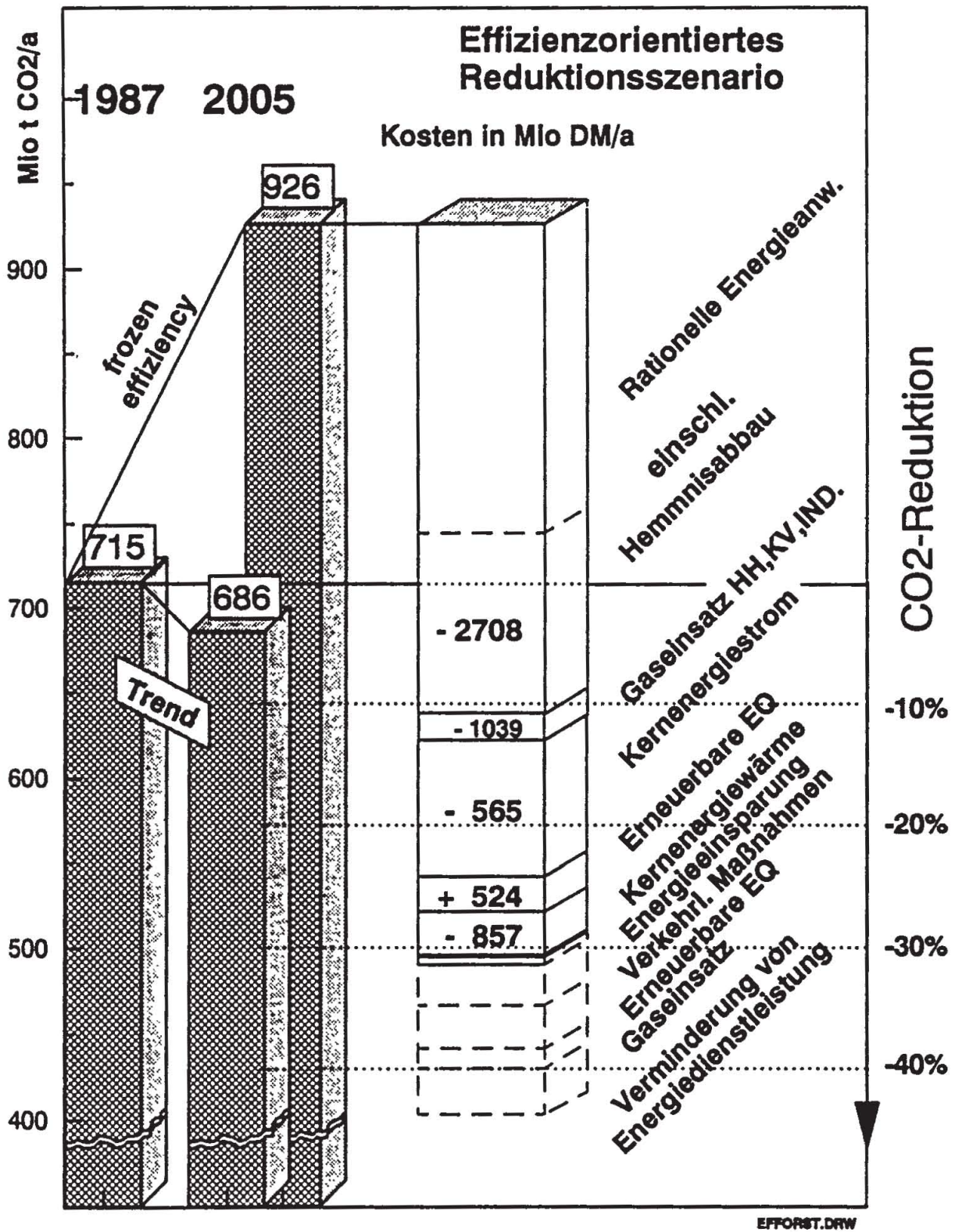


Bild 6: Effizienzorientiertes Reduktionsszenario mit Ausbau der Kernenergie