

---

# Strategien zur Reduktion der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen

Alfred Voß\*)

---

Die energiewirtschaftliche Entwicklung der letzten beiden Jahrzehnte war wie wohl keine Zeitperiode zuvor gekennzeichnet durch ständig neue Herausforderungen und nicht vorhersehbare 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 „Saure 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 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 Weltenergiefrage entspannt und eher durch ein Überangebot als durch Knappheiten gekennzeichnet waren. Die Versorgungsrisiken des Erdöls, des auch heute noch wichtigsten Energieträgers, machten uns dann die Ereignisse in Kuwait und Irak wieder bewußt.

Und es bedarf wohl keiner besonderen Weitsicht festzustellen, daß die gesellschaftlichen und politischen Veränderungen in den Ländern Osteuropas nicht ohne Auswirkungen auf die Energieversorgung bleiben werden. Die Überwindung der Ost-West-Konfrontation sowie das Zusammenwachsen der Länder West- und Osteuropas schaffen auch neue Möglichkeiten einer energiewirtschaftlichen Arbeitsteilung, von der alle profitieren können. Diese positiven politischen Entwicklungen, die wir gegenwärtig miterleben, geben aber auch zu der Hoffnung Anlaß, ich meine sogar, sie sind eine Vorbedingung dafür, 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 Diskussion 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.

Die Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages, die ihre umfassenden Untersuchungen zum Klimaproblem im letzten Herbst veröffentlicht hat, hat noch einmal eindringlich vor den Gefahren und Konsequenzen des unkontrollierten Experiments mit dem Klimasystem gewarnt und trotz der noch bestehenden wissenschaftlichen Unsicherheiten sofortige Gegenmaßnahmen zur Reduktion der Freisetzung von klimarelevanten Spurengasen, insbesondere aus der Energienutzung, gefordert.

Wichtig erscheint mir 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 auch wir zu spüren bekommen. Die

---

\*) Prof. Dr.-Ing. Alfred Voß, Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung



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 steigen. Hierfür ist Vorsorge zu treffen.
4. Die Umweltbelastung durch Staub, Schwefeldioxid  $\text{SO}_2$ , Stickstoffoxide  $\text{NO}_x$  und Kohlenstoffdioxid  $\text{CO}_2$  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 will ich im folgenden nun auf die Frage eingehen, ob und ggf. wie eine klimaverträgliche Energieversorgung erreichbar ist. Ich will dies am Beispiel der Bundesrepublik Deutschland tun.

### **Klimaänderungen und Treibhausgasreduktionsnotwendigkeiten**

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 10000 Jahren nicht aufgetreten.

Der Beitrag der Energieversorgung zum anthropogenen Treibhauseffekt wird gegenwärtig auf fast 50 % geschätzt. Das wichtigste Treibhausgas ist  $\text{CO}_2$ , mit einem Anteil von rd. 50 % am Treibhauseffekt in der letzten Dekade. 22 % der anthropogenen Treibhauswirkung werden dem FCKW, 13 % dem Methan

zugeordnet. Die verbleibenden 15 % entfallen auf andere Treibhausgase wie z. B. das Distickstoffoxid und das Ozon.

Um die Klimaänderungen und ihre Konsequenzen auf ein tolerierbares Maß zu begrenzen, hat die Weltkonferenz „The Changing Atmosphere“ von Toronto gefordert, die weltweiten  $\text{CO}_2$ -Emissionen bis zum Jahr 2005 um 20 % und bis zum Jahr 2050 um 50 % gegenüber dem Niveau des Jahres 1987 zu reduzieren. Die zweite Weltklimakonferenz von Genf weist daraufhin, daß es notwendig wäre, die weltweiten  $\text{CO}_2$ -Emissionen kontinuierlich um 1 % pro Jahr zu reduzieren, um bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts den Anstieg der atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -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  $\text{CO}_2$ -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 Treibhausgasreduktionsziele 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  $\text{CO}_2$ -Emissionen verantwortlich sind, werden sie den Hauptbeitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen leisten müssen.

Eine erste Orientierung über die Größenordnung der  $\text{CO}_2$ -Reduktion in unserem Land zur Erreichung der zuvor genannten globalen Minderungsziele mag die folgende einfache Überlegung geben. Um die Zielvorgaben der Toronto-Konferenz aus dem Jahr 1988 zu erreichen, wären die weltweiten  $\text{CO}_2$ -Emissionen des Jahres 1987 in Höhe von rd. 20 Mrd. t bis zum Jahr 2005 auf rd. 16 Mrd. t und bis 2050 auf 10 Mrd. t zu verringern. Bei rund 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  $\text{CO}_2$  pro Jahr durch die Nutzung fossiler Energieträger freisetzen dürfte.

In der Bundesrepublik Deutschland betragen die  $\text{CO}_2$ -Emissionen je Einwohner im Jahr 1987 rd. 12 t



und in der ehemaligen DDR rd. 21 t. Gleiches Emissionsrecht vorausgesetzt, müßten wir also unsere CO<sub>2</sub>-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 Erreichung 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 Erreichung 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 CO<sub>2</sub>-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 Umfangs 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 insbe-

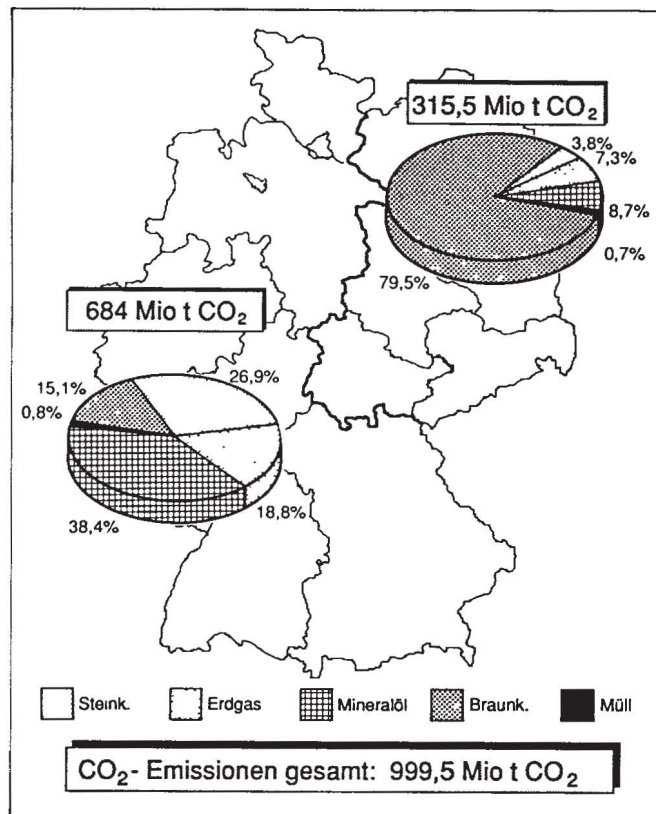


Bild 1. CO<sub>2</sub>-Emissionen in Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 1989

sondere die Länder der Dritten Welt auch ihre anderen, ihnen derzeit viel wichtigeren Entwicklungsziele erreichen können. Aus diesem Grund gewinnen kosteneffiziente CO<sub>2</sub>-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 erreichen. 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 CO<sub>2</sub>-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 Bundestages /2/ erarbeitet wurden, an dem der Autor beteiligt war. Als Bezugszeitpunkte für quantitative Aussagen dienen dabei die Jahre 1987 und 2005.

### Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen

– Die auf die Energieversorgung in Gesamtdeutschland zurückzuführenden CO<sub>2</sub>-Emissionen betragen im Jahr 1989 rd. 1000 Mio. t CO<sub>2</sub>.



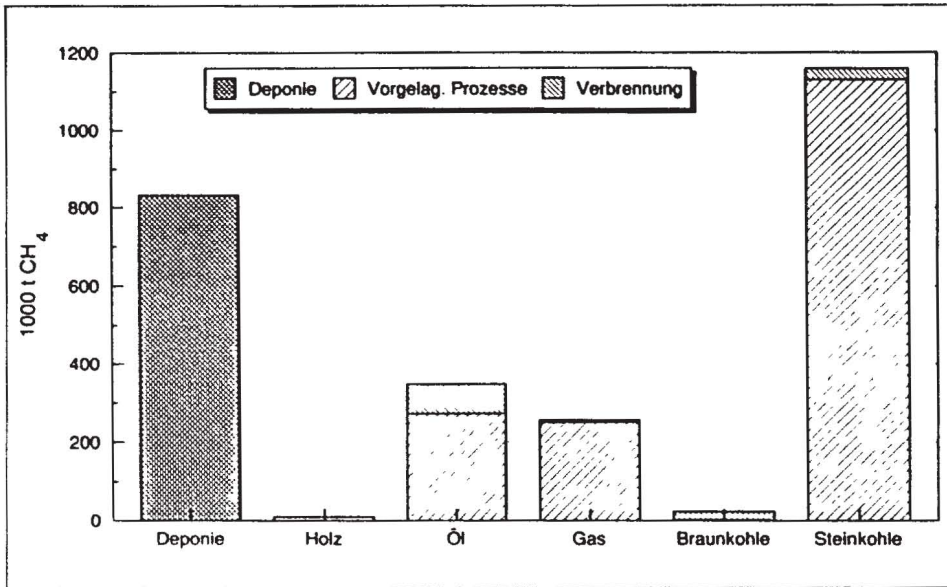


Bild 2. Methan-Emissionen des Energie- und Abfallsektors in der Bundesrepublik Deutschland 1987.

- Auf das Gebiet der alten Bundesrepublik entfielen rd. 700 Mio. t CO<sub>2</sub>; auf das der ehemaligen DDR rd. 315 Mio. t CO<sub>2</sub>.
- Von den 700 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen entfallen 38 % auf das Mineralöl 27 % auf die Steinkohle 19 % auf das Erdgas 15 % auf die Braunkohle
- Alle energieverbrauchenden Sektoren sind an den Emissionen beteiligt.

### Methan-Emissionen

- Die für die Bundesrepublik Deutschland (alt) geschätzten CH<sub>4</sub>-Emissionen des Energie- und Abfallsektors belaufen sich auf rd. 2,6 Mio. t/a.
- Die höchsten Emissionen entfallen auf den Steinkohlebereich mit 44 % und auf den Deponiebereich mit 31 %.
- Wichtig ist, daß die CH<sub>4</sub>-Emissionen im Zusammenhang mit der Nutzung fossiler Energieträger im wesentlichen in den vorgelagerten Prozessen wie Gewinnung, Transport und Verteilung und nicht bei der Verbrennung selbst entstehen.
- Berücksichtigt man die durchaus unterschiedlichen CH<sub>4</sub>-Emissionen der einzelnen fossilen Energieträger und die höhere Klimawirksamkeit des Methans, so verschieben sich die auf den Energieinhalt bezogenen CO<sub>2</sub>-äquivalenten Treibhausgasemissionen zu Lasten der Steinkohle.

### Optionen zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen

- Eine Steigerung der Energieeffizienz in allen Bereichen der Energieumwandlung und Energieanwendung kann zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen.

- Die fossilen Energieträger weisen einen unterschiedlichen Kohlenstoffgehalt auf. Eine Substitution C-reicher durch C-arme Energieträger kann CO<sub>2</sub>-Emissionen mindern.
- Die Kernenergie und die erneuerbaren Energiequellen stellen CO<sub>2</sub>-freie Optionen dar.
- Vermeidung der Freisetzung von CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre bei der Verbrennung fossiler Energieträger ist ein denkbarer Weg, der allerdings einer sicheren Endlagerstätte für die großen CO<sub>2</sub>-Mengen bedarf.

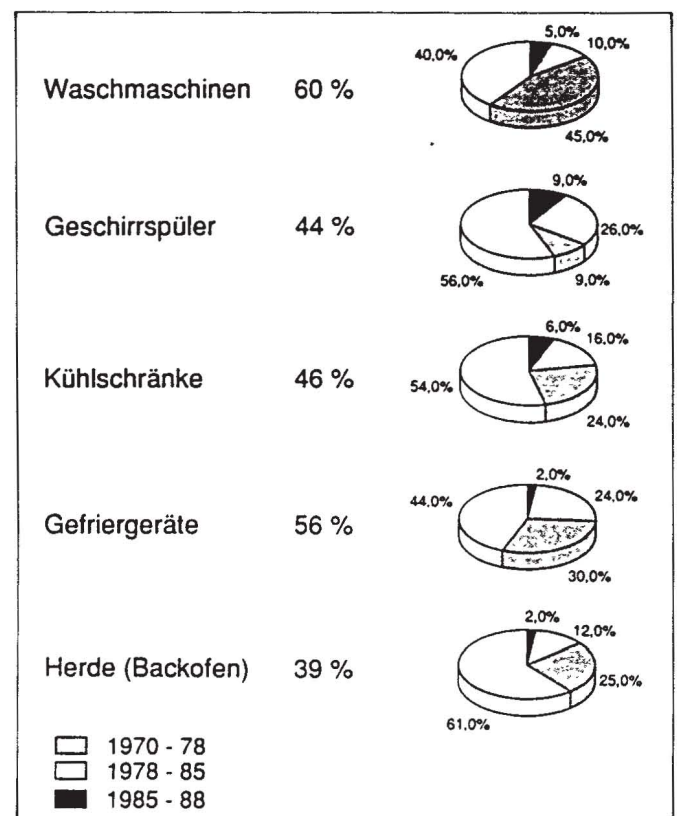


Bild 3. Minderung des spezifischen Stromverbrauchs bei Elektrogeräten bezogen auf 1970



- Letztlich bleibt noch die Möglichkeit des Konsumverzichts, d. h. der Verzicht auf Komfort, auf den Verbrauch von Gütern und Dienstleistungen.

### 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 die Energieeffizienz erzielt werden.
- Die Energieintensität unserer Volkswirtschaft, also der Energieverbrauch pro Einheit der volkswirtschaftlichen Wertschöpfung, konnte seit 1973 um fast 30 % reduziert werden.
- Rationelle Energienutzung hat Fortschritte in allen Bereichen gemacht. Beispiel: Stromverbrauch der elektrischen Haushaltsgeräte (Bild 3).
- Die technischen Möglichkeiten zur Energieeinsparung sind aber noch nicht ausgeschöpft.

### Technische Einsparmöglichkeiten

- Energieeinsparmöglichkeiten bestehen in allen Bereichen der Energieumwandlung und Energienutzung (Beispiel: GuD-Kraftwerke).
- Verminderung des Energieverbrauchs, also Einsparung von Energie, kann dabei in der Regel in

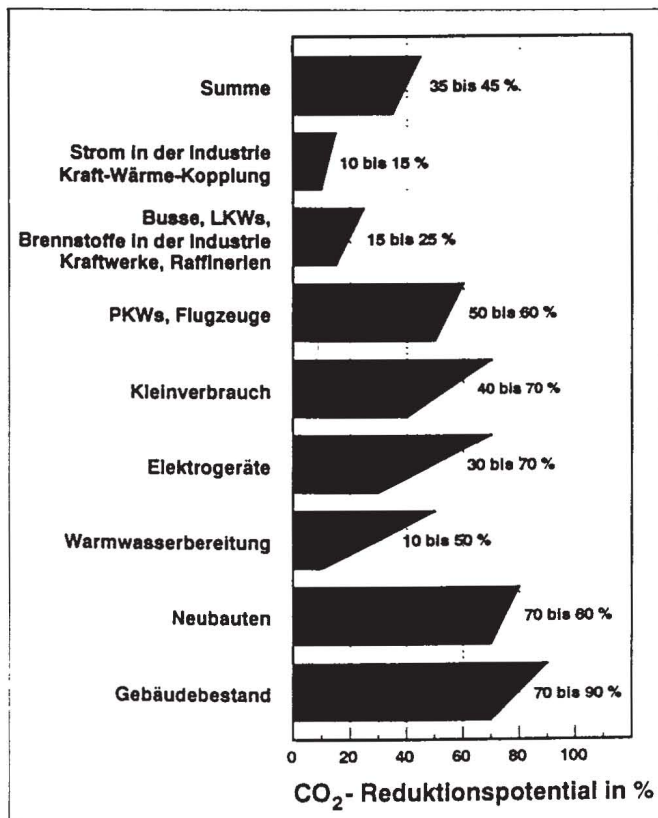


Bild 4. Technische Potentiale der Energieeinsparung in der Bundesrepublik Deutschland in % des Energieverbrauchs des Jahres 1987

nennenswertem Umfang nur über Investitionen, z. B. Investitionen in neue energietechnisch günstige Geräte, Investitionen in die Wärmedämmung bei Altbauten, erfolgen.

- Technisch ist auch hier sehr viel möglich, z. B. ein Nullenergiehaus, bei dem bei Zwangsbelüftung nahezu allein die internen Wärmequellen zur Aufrechterhaltung einer angenehmen Raumtemperatur ausreichen. Die Frage ist aber auch hier, ob all das, was mit höherem Aufwand technisch möglich ist, auch aus Sicht der Vermeidung von Treibhausgasen effizient ist.
- Als Maß für die Effizienz, d. h. für das Kosten-Nutzen-Verhältnis von CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen werden im folgenden die spezifischen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten verwendet, die den Aufwand angeben, um die Emissionen einer Tonne CO<sub>2</sub> zu vermeiden, Maßzahl DM/t CO<sub>2</sub>.

### CO<sub>2</sub>-Minderungskosten durch Energieeinsparung

- Spezifische Minderungskosten weisen eine große Bandbreite auf.
- Negative Werte bedeuten, daß diese Maßnahme auch ohne Betrachtung ihrer CO<sub>2</sub>-Minderung wirtschaftlich sinnvoll ist, d. h. die Kostenersparnis durch geringeren Energieverbrauch ist größer als der Aufwand für die Energiesparmaßnahme.

Maßnahme	Energieeinsparung [%]	spez. CO <sub>2</sub> -Mind.-kosten [DM/t CO <sub>2</sub> ]
<b>Wärmedämmung</b>		
* Schwedenstandard	30	0 bis 90
* Niedrigenergiehaus	60 bis 80	220
<b>Gasbrennwertkessel</b>		
	15 bis 20	- 90 bis 55
<b>Wirkungsgradsteigerung fossiler Kraftwerke (GuD-Anlagen)</b>		
	5 bis 20	- 155 bis 290
<b>Kompaktleuchtstofflampe</b>		
	70 bis 80	- 80 bis 130
<b>Gesamtpotential: 140 bis 350 Mio t CO<sub>2</sub>/a</b>		

Bild 5. Energieeinsparung und spezifische CO<sub>2</sub>-Minderungskosten einiger Energiesparmaßnahmen



- Die Zahlen zeigen, daß man mit demselben Aufwand, je nach Energiesparmaßnahme, viel oder wenig Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes erreichen kann.
- Die hier und im weiteren angegebenen spezifischen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten sind aus volks- und nicht aus betriebswirtschaftlicher Sicht ermittelt und beziehen sich auf die Energiepreissituation des Jahres 2005.
- Das technische CO<sub>2</sub>-Minderungspotential der rationellen Energienutzung und Energieeinsparung ist beachtlich: Für 2005 bis zu 350 Mio. t CO<sub>2</sub>/a; bezogen auf die gegenwärtigen CO<sub>2</sub>-Emissionen entspricht dies fast 50 %.

### CO<sub>2</sub>-Minderung durch fossile Brennstoffsubstitution

- Wegen des unterschiedlichen Wasserstoff-Kohlenstoff-Verhältnisses der verschiedenen fossilen Brennstoffe – CH<sub>4</sub> ist sehr wasserstoffreich und kohlenstoffarm – entsteht bei der Verbrennung, bezogen auf dieselbe Energiemenge, unterschiedlich viel CO<sub>2</sub>.
- Setzt man die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Steinkohle zu 100, so entstehen bei der Braunkohle 120, beim Heizöl 78 und beim Erdgas nur 59 Einheiten CO<sub>2</sub>.
- Dies zeigt, daß die Substitution C-reicher Energieträger, sprich Kohle, durch C-arme Energieträger, sprich Erdgas, zu einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen führt.
- Die Techniken für einen Ersatz fester und flüssiger fossiler Energieträger durch Erdgas sind vorhanden.
- Auch die Verfügbarkeit von Erdgas stellt aus heutiger Sicht keinen begrenzenden Faktor für eine mittelfristige Ausweitung der Erdgasnutzung zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen dar.
- Beispiele für die technischen Minderungspotentiale der Substitution durch Erdgas und ihre spezifischen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten zeigt *Bild 6*.
- Spezifische CO<sub>2</sub>-Minderungskosten sind ermittelt aufgrund der erwarteten Preisentwicklung. Sie beinhalten keine Preiserhöhungen aufgrund einer klimainduzierten Erdgasnachfragesteigerung. Hier liegt das ökonomische Risiko einer auf Erdgas setzenden CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategie.
- Selbst eine vollständige Umstellung auf den Energieträger Erdgas könnte die CO<sub>2</sub>-Emissionen nur um 30 % reduzieren.

<u>Maßnahme</u>	Minderungspotential in Mio t CO <sub>2</sub>	Spezifische Mind.-kosten in DM/t CO <sub>2</sub>
<b>Stromerzeugung</b>		
- Braunkohle durch Gas	53,4	+ 23
- Steinkohle durch Gas	53,2	+ 11 <sup>1)</sup>
<b>Fernwärme</b>		
- Steinkohle durch Gas	2,1	- 160 bis - 20 <sup>1)</sup>
<b>Industrie</b>		
- Braunkohle durch Gas	1,4	- 100 bis + 600
- Steinkohle durch Gas	10,1	- 210 bis + 450 <sup>1)</sup>
- Heizöl schwer durch Gas	3,5	- 200 bis + 100
<b>Haushalte</b>		
- Heizöl durch Gas	11,7	- 270 bis + 450
- Kohle durch Gas	2,0	- 170 bis + 100 <sup>1)</sup>
<b>Kleinverbraucher</b>		
- Heizöl schwer durch Gas	0,4	+ 30 bis + 40
- Heizöl leicht durch Gas	4,2	- 240 bis + 410
<b>Gesamtpotential: bis 150 Mio t CO<sub>2</sub>/a</b>		

<sup>1)</sup> ermittelt auf der Basis der Importkonzepte

Bild 6. CO<sub>2</sub>-Minderungsmöglichkeiten der Substitution C-reicher durch C-arme fossile Brennstoffe im Jahr 2005

- Erdgas allein reicht zur Erreichung einer klimaverträglichen Energieversorgung nicht aus. Erdgas kann aber einen wichtigen Beitrag in der Übergangsphase auf eine klimaverträgliche Energieversorgung leisten.

### Kernenergie

- Ein Drittel unseres Stroms wird heute mittels Kernenergie erzeugt. Dies vermeidet die Freisetzung von rd. 140 Mio. t CO<sub>2</sub>/a.
- Die technischen CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale sind in der Stromerzeugung, durch Ersatz von Stein- und Braunkohlekraftwerken, bis zum Jahr 2005 mit fast 150 Mio. t CO<sub>2</sub> beachtlich.
- Die technischen CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale der nuklearen Fernwärme- und Prozeßwärmeerzeugung sind naturgemäß mit maximal 15 bzw. 35 Mio. t CO<sub>2</sub> kleiner.
- Für die Stromerzeugung aus Kernenergie ergeben sich dabei durchweg negative spezifische CO<sub>2</sub>-Minderungskosten, selbst wenn man gegen Importkohle und nicht gegen die teure heimische Steinkohle rechnet.
- Faßt man zusammen, so läßt sich feststellen, daß, wenn keine Hemmnisse die verstärkte Nutzung



Bereich / Maßnahmen	Technisches CO <sub>2</sub> -Minderungspotential [Mio t CO <sub>2</sub> /a]	Spezifische Minderungskosten [DM/t CO <sub>2</sub> ]
<b>Stromerzeugung</b>		
* Zubau 1 KKW/a ab 1997	50 bis 95	-5 bis -15 <sup>1)</sup>
* Zubau von 2 KKW/a ab 1997	88 bis 149	-3,5 bis -13 <sup>1)</sup>
<b>Öffentliche Nah- und Fernwärmeversorgung</b>		
* Auskopplung aus KKW (LWR)	5 bis 13	-50 bis +750
* Einsatz von Kernheizwerken	7 bis 16,5	-190 bis +140
<b>Ind. Prozeßdampf- und Prozeßwärmeerzeugung</b>		
* Prozeßdampf u. Prozeßwärme	35	bis +20
<b>Wasserstoffherzeugung (Elektrolyse)</b>		
* Wasserstoff als Substitut für Kohle, Öl, Gas	k.A.	300 bis 530 <sup>2)</sup>
<b>Gesamtpotential: 90 bis 200 Mio t CO<sub>2</sub>/a</b>		

1) ermittelt anhand der Preise von Import- u. Braunkohle  
2) nur auf Basis der Herstellungskosten von Wasserstoff ermittelt

Bild 7. Technische CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale und spezifische Minderungskosten der Kernenergie im Jahr 2005

der Kernenergie behindern oder verzögern würden, aus technischer Sicht bis zum Jahr 2005 eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von bis zu 200 Mio. t/a erreichbar wäre, was etwa 25 % der derzeitigen gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) entspricht. Eine Ausnutzung eines großen Teils dieses CO<sub>2</sub>-Minderungspotentials durch Vermeidung fossiler Energieerzeugung wäre dabei aus gegenwärtiger Sicht möglich, ohne die Kosten der Energiebereitstellung zu erhöhen. Aber es gilt auch festzustellen, daß allein durch eine Ausweitung der Kernenergienutzung die CO<sub>2</sub>-Minderungsziele nicht erreichbar wären.

- Eine verstärkte Nutzung der Kernenergie bedeutet dabei keineswegs, wie gelegentlich behauptet wird, den Teufel mit dem Belzebub auszutreiben, also die Klimagefahr gegen noch höhere nukleare Risiken einzutauschen.

### Erneuerbare Energiequellen

- Auch das technische Potential der CO<sub>2</sub>-Vermeidung durch erneuerbare Energiequellen bis zum Jahr 2005 ist mit 130 bis 220 Mio. t CO<sub>2</sub>/a beachtlich.
- Die Diskrepanz zwischen dem technisch Möglichen und dem Aufwand, d. h. den Minderungskosten, ist hier besonders groß.

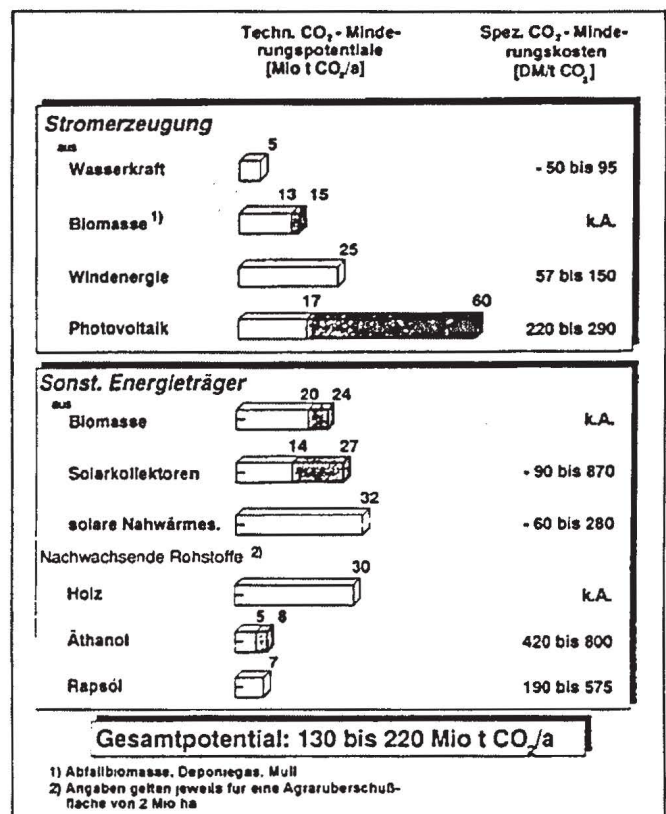


Bild 8. CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale und Minderungskosten der erneuerbaren Energiequellen für das Jahr 2005

- Von einigen Ausnahmen und Nischenanwendungen abgesehen, stellen die erneuerbaren Energiequellen zumindest mittelfristig keine effiziente und wirtschaftlich tragfähige Option zur Minderung der Treibhausgase dar.
- Gleichwohl gilt es vor dem Hintergrund der ggf. notwendig werdenden drastischen Reduktion des Verbrauchs fossiler Energieträger, die Option der erneuerbaren Energiequellen durch intensive Weiterentwicklung voranzubringen.

### Entsorgungsmöglichkeiten von CO<sub>2</sub>

- Grundsätzlich denkbar ist auch eine Nutzung fossiler Energieträger ohne eine CO<sub>2</sub>-Belastung der Atmosphäre, wenn das bei der Verbrennung entstehende CO<sub>2</sub> zurückgehalten und so endgelagert werden kann, daß es dauerhaft von der Atmosphäre ferngehalten wird.
- Wegen der Dimension des CO<sub>2</sub>-Problems sind auch die hier bestehenden Möglichkeiten zu betrachten.
- Grundbedingung für alle Überlegungen zur CO<sub>2</sub>-Entsorgung ist, daß der damit verbundene Energieaufwand kleiner ist als der Heizwert jener Menge an fossilem Brennstoff, aus der das CO<sub>2</sub> entstanden ist, und daß eine sichere Endlagermöglichkeit gefunden werden kann.



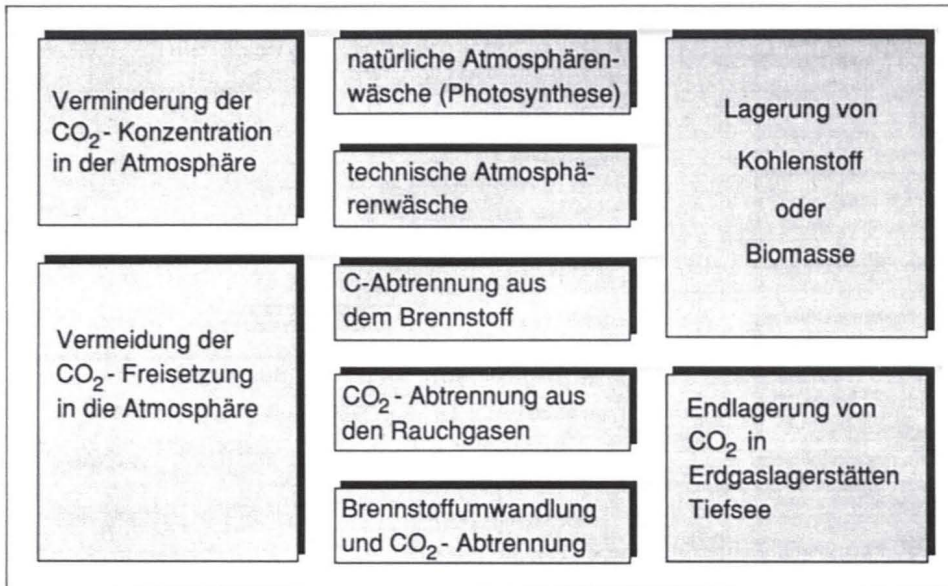


Bild 9. Entsorgungsmöglichkeiten von CO<sub>2</sub> bei Nutzung fossiler Energieträger

- Die Verminderung der CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre
  - ist sehr aufwendig, da CO<sub>2</sub> stark verdünnt (350 ppm) vorliegt; eine technische Atmosphärenwäsche ist damit energetisch unsinnig.
  - durch Photosynthese: Da Pflanzen nur in der Wachstumsphase CO<sub>2</sub> binden, wären sehr große Landflächen notwendig, die nicht vorhanden sind (Aufforsten sollte den weiteren Abbau von Biomasse kompensieren).

- Vermeidung der CO<sub>2</sub>-Freisetzung
  - Die C-Abtrennung aus dem Brennstoff, der sogenannte HYDROCARB-Prozeß, bewirkt, daß nur noch ein Teil der Energie des Brennstoffs genutzt werden kann – bei Kohle sind es 18 %, bei Erdgas 47 %.
- Die CO<sub>2</sub>-Abtrennung aus Rauchgasen
  - CO<sub>2</sub>-Konzentration in Rauchgasen beträgt 8-15 Vol %. Chemische Waschverfahren sind verfügbar. Allerdings reduziert der hohe Energieaufwand dieser Verfahren den bisherigen Wirkungsgrad von 40 % auf etwa 18 bis 28 % je nach CO<sub>2</sub>-Endlagerung.
  - Die Verbrennung mit O<sub>2</sub> ist wegen der Luftzerlegung ebenfalls sehr energieaufwendig.
  - Energetisch sinnvoller ist die Brennstoffumwandlung (Vergasung) und CO<sub>2</sub>-Abtrennung.
- Angesichts der gewaltigen Mengen an CO<sub>2</sub>, die zu entsorgen wären, kommen nur leere Erdgaslagerstätten und die Tiefsee als potentielle Endlager in Betracht.

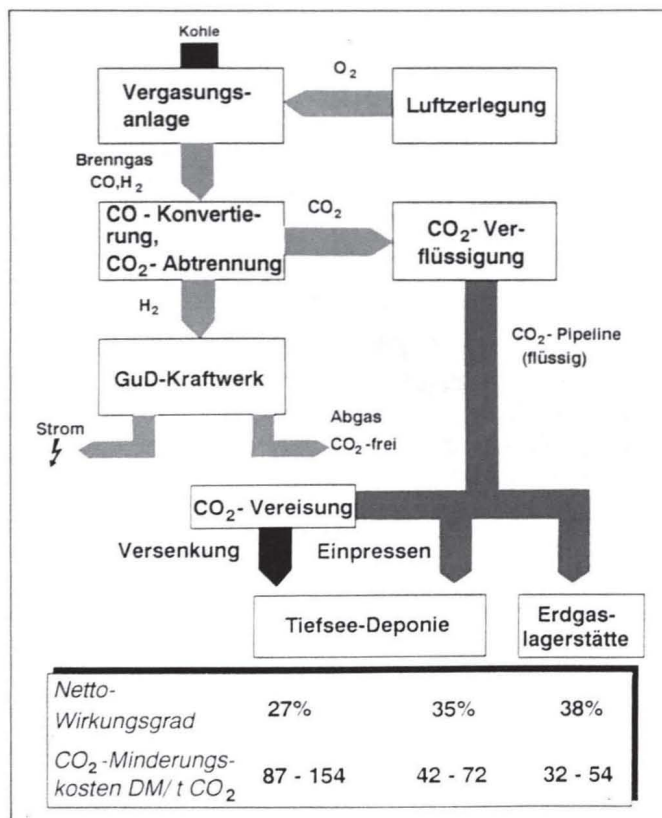


Bild 10. CO<sub>2</sub>-Entsorgungsmöglichkeiten beim GuD-Kraftwerk mit Kohlevergasung

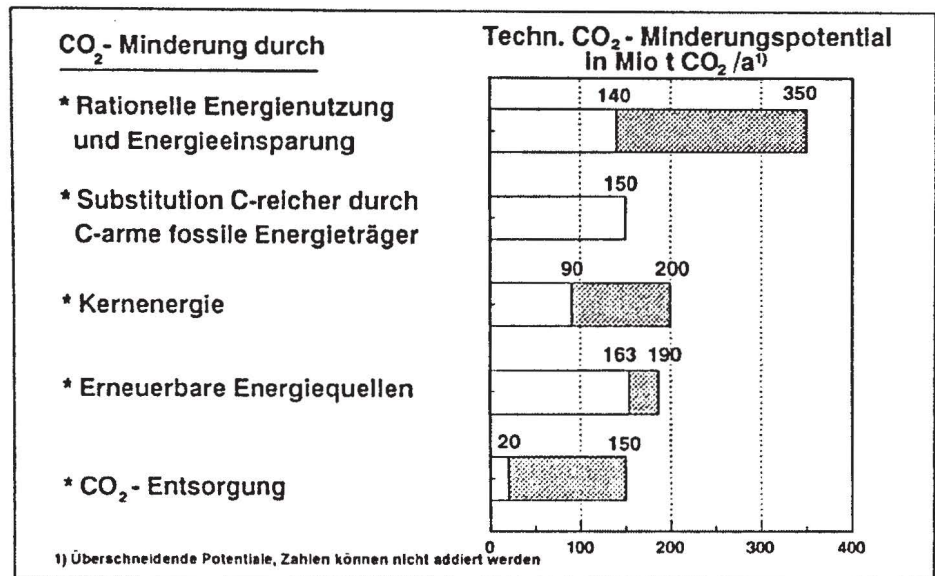
### CO<sub>2</sub>-Entsorgung bei GuD-Kraftwerk

Nach der Vergasung der Kohle wird das CO zu CO<sub>2</sub> geschiftet und abgetrennt. Der Wasserstoff wird dann mittels einer Gas- und Dampfturbine zur Stromerzeugung genutzt.

- Der Energieaufwand für die CO<sub>2</sub>-Abtrennung aus Kohlegas ist geringer (physikalische Absorption).
- Bei diesem Verfahren wird der Wirkungsgrad von 44 % auf 27 bis 38 % reduziert.



Bild 11.  
Technische CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2005



- Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten sind nicht extrem hoch.
- Für die großen CO<sub>2</sub>-Mengen gibt es praktisch nur zwei denkbare Endlager: Leere Erdgasfelder und die Tiefsee.
- Leere Erdgasfelder können theoretisch nur das aus Erdgas erzeugte CO<sub>2</sub> aufnehmen.
- Der Ozean ist eine große CO<sub>2</sub>-Senke: CO<sub>2</sub> muß in große Tiefen gebracht werden, denn erst bei mehr als 3000 m ist die Dichte von flüssigem CO<sub>2</sub> größer als die von Wasser.
- Noch nicht geklärt sind eventuelle ökologische Auswirkungen einer Tiefsee Lagerung und das tatsächliche Rückhaltevermögen. Offene Fragen sind zu klären, bevor eine Nutzung dieses Weges in Betracht kommt.

Damit sind die aus heutiger Sicht bestehenden technischen Möglichkeiten zur Minderung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in unserem Land beschrieben, sowohl im Hinblick auf ihr jeweiliges Reduktionspotential als auch im Hinblick auf die damit verbundenen Kosten.

### Technische CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale

- Bild 11 zeigt die technischen Reduktionspotentiale der verschiedenen Optionen im Vergleich.
- Die Potentialangaben bezeichnen das, was allein aus technischer Sicht, ohne Berücksichtigung ökonomischer oder sonstiger Aspekte, mittels erheblicher Anstrengungen erreichbar wäre.

- Die technischen CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale der einzelnen Optionen können nicht aufsummiert werden, da sie sich teilweise auf denselben fossilen Brennstoffeinsatz beziehen.

- Dennoch gilt die Feststellung, daß aus technischer Sicht, auch mittelfristig, nennenswerte Minderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen erreichbar sind.

- Angesichts der für eine klimaverträgliche Energieversorgung notwendigen Begrenzungen der Treibhausgasemissionen kann, auch dies zeigen die technischen Potentialabschätzungen, eine Option allein das Problem nicht lösen.

- In Anbetracht der begrenzten Ressourcen bzw. Aufwendungen, die zur Minderung der Treibhausgasemissionen zur Verfügung stehen, und um möglichst schnell wirksam werdende Minderungen zu erreichen, kommen Kosten-Nutzen-Überlegungen, kommt der Entwicklung einer effizienten Minderungsstrategie eine besondere Bedeutung zu, auch, um die Volkswirtschaft angesichts der gewaltigen Umstrukturierungsaufgabe der Energieversorgung nicht unverträglich zu belasten.

- Wegen der unterschiedlichen spezifischen CO<sub>2</sub>-Minderungskosten, d. h. der unterschiedlichen Kosten-Nutzen-Relationen von Treibhausgasminderungsmaßnahmen, ist dazu eine differenzierte Betrachtung der prinzipiell verfügbaren Möglichkeiten notwendig.

### CO<sub>2</sub>-Reduktionsszenarien im Vergleich

Im Rahmen der Arbeiten der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ /2/ sind



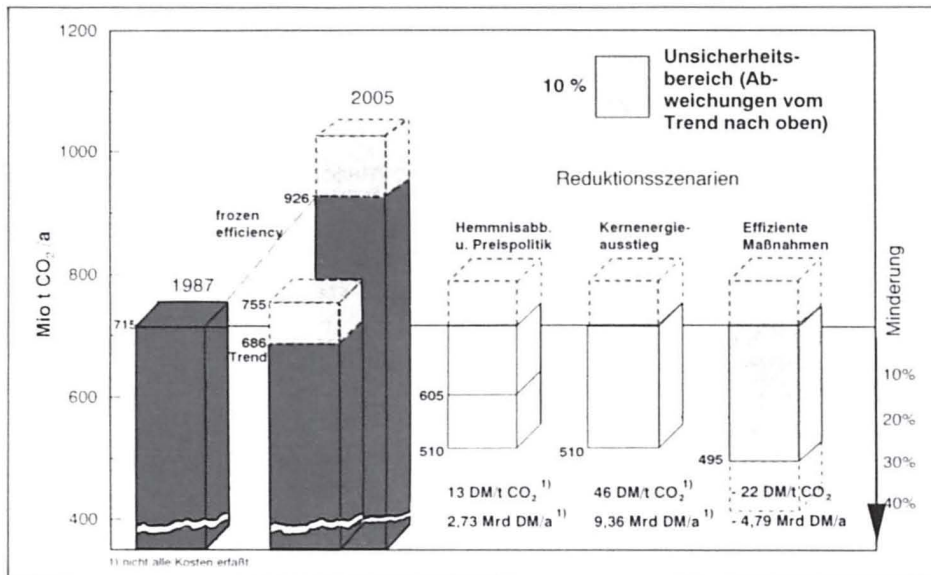


Bild 12.  
CO<sub>2</sub>-Reduktionsszenarien  
im Vergleich

aufbauend auf einer Vielzahl von Einzelanalysen der verschiedenen CO<sub>2</sub>-Minderungsoptionen erste Überlegungen bezüglich der Ausgestaltung von Strategien zur Verminderung energiebedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen angestellt worden. Dabei werden drei unterschiedliche Reduktionsszenarien für das Jahr 2005 erarbeitet, die sich an dem Ziel einer 30%igen CO<sub>2</sub>-Minderung bezogen auf das Referenzjahr 1987 orientierten und unterschiedliche energiepolitische Auffassungen repräsentieren sollten. Das Szenario des **Hemmnisabbaus und der Preispolitik** gab der Energieeinsparung höchste Priorität. Die Kernkraftwerkskapazität sollte bei gleichbleibender Kapazität höher ausgelastet werden, die Zunahme des Erdgaseinsatzes war auf 30% beschränkt. Das Szenario **Kernenergieausstieg** untersuchte CO<sub>2</sub>-Minderungsoptionen unter der Annahme eines Verzichtes auf die Nutzung der Kernenergie ab dem Jahr 2005. Ein drittes Szenario, hier **„effiziente Maßnahmen“** genannt, untersuchte die Potentiale der CO<sub>2</sub>-Minderung bei gleichzeitigem Ausbau der Kernenergienutzung.

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 und die Beschäftigung, wurden ebensowenig untersucht, wie die Fragen der Durchsetzbarkeit und der Robustheit der Ergebnisse hinsichtlich unsicherer Annahmen. Die in *Bild 12* gegenübergestellten wesentlichen Ergebnisse der drei untersuchten Szenarien können deshalb nur erste Anhaltspunkte für die Ableitung rationaler CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategien geben.

Die mit **Trend** bezeichnete Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen beruht auf der Annahme, daß die gegenwärtigen Rahmenbedingungen der Energie-

versorgung im wesentlichen unverändert fortbestehen. Insbesondere werden keine speziellen Eingriffe zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen unterstellt. Unter diesen Status-Quo-Bedingungen bleiben die CO<sub>2</sub>-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 Bruttoinlandproduktes und einer gestiegenen Energiedienstleistungsnachfrage bedeutet dies aber, daß die im Trendszenario zugrundeliegenden Effizienzsteigerungen und Energieträgersubstitutionen bereits zu einer deutlichen Minderung des spezifischen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes geführt haben. Die implizite CO<sub>2</sub>-Minderung, die 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 CO<sub>2</sub>-Emissionen auf rund 920 Mio. t CO<sub>2</sub> ergeben. Die Differenz zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen der Trendentwicklung in Höhe von 240 Mio. t CO<sub>2</sub> ist als Minderungsbedarf mit zu beachten, wenn man die angestrebte CO<sub>2</sub>-Minderung, d. h. die Minderungsziele, an dem CO<sub>2</sub>-Emissionenniveau des Jahres 1987 orientiert.

Im Reduktionsszenario **„Hemmnisabbau und Energiepolitik“** nehmen die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zum Jahr 1987 um rd. 205 Mio. t, d. h. um 28,7% auf 510 Mio. t CO<sub>2</sub>/a ab. Diese CO<sub>2</sub>-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 erneuerbarer Energiequellen, nahezu eine Verdoppelung der Erzeugung mittels Kraft-Wärme-Kopplung und einen um 20% zunehmenden Erdgaseinsatz. Des weiteren werden CO<sub>2</sub>-Emissionen in



Höhe von 27 Mio. t CO<sub>2</sub> durch eine bessere Auslastung der bestehenden Kernkraftwerke vermieden.

Das Reduktionsszenario „Kernenergieausstieg“ weist mit 510 Mio. t CO<sub>2</sub> dieselben CO<sub>2</sub>-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 spezifischen Nettoheizenergiebedarf von 40 kWh/m<sup>2</sup>a bei Einfamilienhäusern bzw. 25 kWh/m<sup>2</sup>a 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 auszuweiten, allein auf die Windkraft entfielen davon 5,2 GW. 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 „effizienzorientierten“ Reduktionsszenario sind die einzelnen CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen weitgehend nach den Effizienzkriterien ausgewählt worden. Im Sinne einer effizienzorientierten CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategie werden dabei alle im Rahmen der erwarteten Energiepreiserhöhungen aus volkswirtschaftlicher Sicht sinnvollen Energieeinsparmöglichkeiten, auch durch eine verstärkte Kraft-Wärme-Koppelung, 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 CO<sub>2</sub>-Minderung bei. Mit vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von fast 92 Mio. t CO<sub>2</sub>/a entfällt der bei weitem größte Anteil der durch den Ausbau der Kernenergie reduzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf eine Ausweitung der Stromerzeugung in Kernkraftwerken. Dabei wird unterstellt, daß sich die installierte Bruttoengpaßleistung der Kernkraftwerke von heute 23,6 GW auf 36,6 GW 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 effizienzorientierten Reduktionsszenario mit Kernenergieausbau CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2005 in Höhe von 495 Mio. t.

Dies entspricht einer Minderung um 20 Mio. t CO<sub>2</sub> oder 31 % gegenüber dem Jahr 1987.

Vergleicht man nun die drei Reduktionsszenarien untereinander, so ergeben sich trotz der in der Größenordnung vergleichbaren CO<sub>2</sub>-Minderungen doch einige wesentliche Unterschiede. Sie liegen einmal in dem unterschiedlichen Kostenaufwand für die Erreichung der CO<sub>2</sub>-Minderung. Die jährlichen Nettokosten für die CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen belaufen sich im Falle des Reduktionsszenarios „Hemmnisabbau und Energiepolitik“ auf rd. 2,7 Mrd. DM/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 CO<sub>2</sub>-Emissionen im effizienzorientierten Reduktionsszenario mit Ausbau der Kernenergie wäre dagegen mit einer Kostenentlastung der Volkswirtschaft von rd. 4,8 Mrd. DM/a verbunden. Der Beitrag der verschiedenen Maßnahmen zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und die damit verbundenen Kosteneinsparungen (bzw. Kosten) sind im Bild 13 dargestellt. Im Vergleich zum Kernenergieausstiegsszenario ergäbe sich damit bei einer CO<sub>2</sub>-Minderung von rd. 30 % eine jährliche Kostendifferenz von mehr als 15 Mrd. DM.

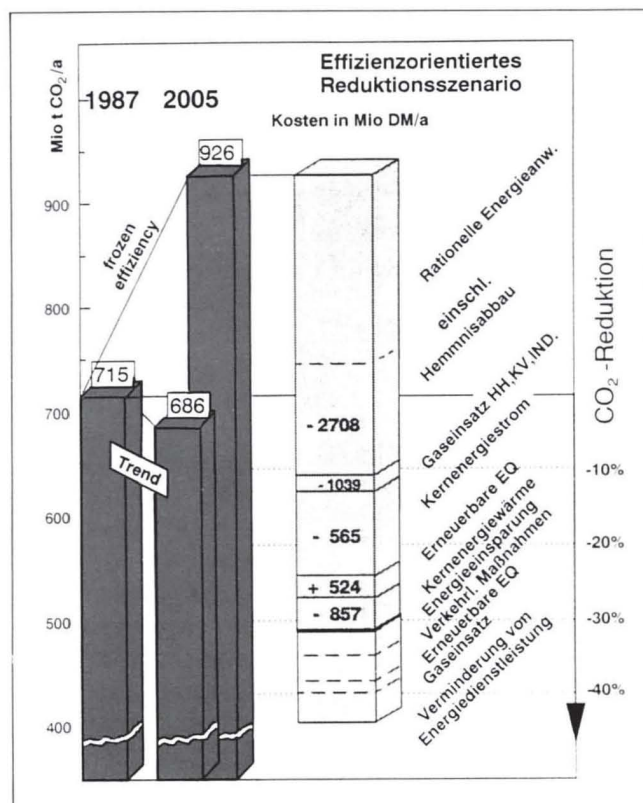


Bild 13. Effizienzorientiertes Reduktionsszenario mit Ausbau der Kernenergie



Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen den drei Reduktionsstrategien besteht im Hinblick auf ihre Möglichkeiten falls notwendig weitergehende CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Emissionen und weitere 65 Mio. t/a reduzieren.

Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Kostendaten weist dieses Ergebnis bei vorsichtiger Wertung darauf hin, daß nennenswerte CO<sub>2</sub>-Minderungen ohne zusätzliche Kostenbelastungen für die Volkswirtschaft möglich erscheinen. Weitergehende Minderungen sind durch Maßnahmen mit höheren Minderungskosten erzielbar.

Mit der hier beschriebenen Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im effizienzorientierten Reduktions-szenario wäre auch eine Reduktion anderer klima-relevanter Spurengase verbunden. Diese würden sich bei Methan (CH<sub>4</sub>) auf 41 %, bei Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen auf 87 % und bei Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) auf 53 % der Emissionen des Jahres 1987 belaufen.

Die Dimension des Anpassungsbedarf zur Erreichung der von der Bundesregierung /3/ bzw. der Enquete-Kommission /2/ geforderten Ziele läßt sich durch eine „makro-energiewirtschaftliche“ Analyse veranschaulichen /4/. Die hier erläuterten Überlegungen basieren auf der Abhängigkeit der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen von der Höhe des Bruttoinlandsprodukts (BIP), dem spezifischen Energieverbrauch – das ist die Primärenergie-menge, die notwendig ist, um eine Einheit BIP zu erstellen – und der Kohlenstoffintensität der Ener-

gieversorgung. Als Kohlenstoffintensität bezeichnet man die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die je Primärenergie-einheit freigesetzt werden.

Bild 14 zeigt die Entwicklung der Kohlenstoffintensität aufgetragen über dem spezifischen Energieverbrauch für die Bundesrepublik Deutschland (alt) in den Jahren 1950 bis 1989. Der spezifische Energieverbrauch als Indikator für die Energieeffizienz einer Volkswirtschaft lag im Jahr 1989 bei 218,6 kg SKE pro DM BIP. Er hat sich von 1970 bis 1989 um ca. 36 % vermindert. Die Kohlenstoffintensität in der Bundesrepublik Deutschland (alt) hat sich in den letzten Jahren ebenfalls stark vermindert, von 2,2 t CO<sub>2</sub>/t SKE im Jahr 1970 auf 1,8 t CO<sub>2</sub>/SKE im Jahr 1989. Ursache hierfür waren insbesondere der gestiegene Einsatz von Kernenergie (1970/1989: + 46 Mio. t SKE) und Erdgas (1970/1989: + 47 Mio. t SKE).

Mit dieser Verminderung des spezifischen Energieverbrauchs und der Absenkung der Kohlenstoffintensität konnten in der Bundesrepublik Deutschland (alt) zwischen 1970 und 1989 trotz eines Anstiegs des realen BIP um 55 % die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen um ca. 11 % reduziert werden.

Bei gegebenem BIP für das Betrachtungsjahr 2005 können nun mögliche Entwicklungen der Kohlenstoffintensität und des spezifischen Verbrauchs für die Erreichung des Reduktionsziels der Bundesregierung (25 %) /3/, der Enquete-Kommission (30 %) /3/ oder weiterreichender Reduktionsziele angegeben werden (siehe Bild 13).

Eine Analyse des „Trends“ der letzten 20 Jahre zeigt, daß die Ziele der Bundesregierung bei einer Fortsetzung der Entwicklungen der letzten Jahre (rationellere Energienutzung, verstärkter Einsatz von Erdgas und Kernenergie) erreichbar scheinen. Eine detailliertere Betrachtung läßt jedoch erkennen, daß dies erheblicher Anstrengungen bedarf.

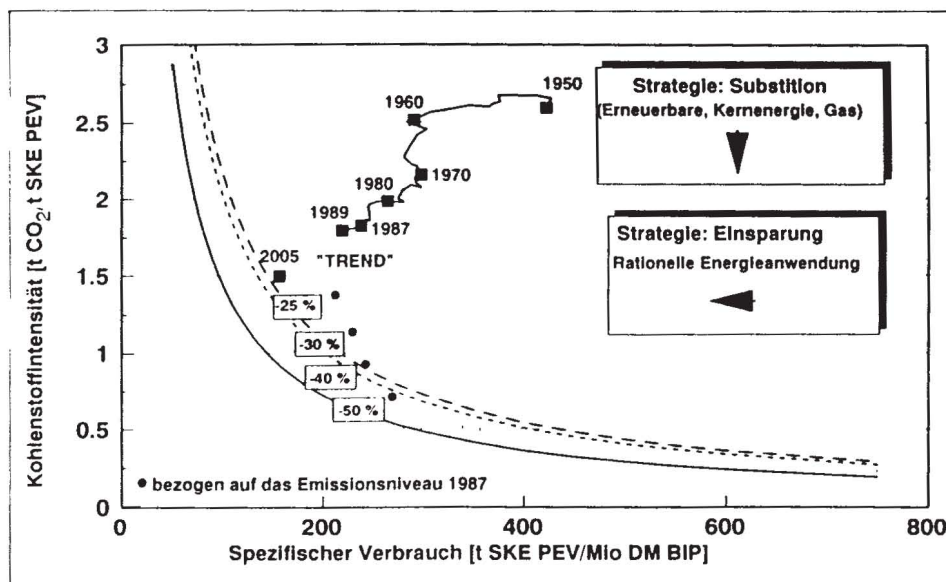


Bild 14. Kohlenstoffintensität und spezifischer Energieverbrauch Entwicklung in der Vergangenheit und Anforderung zur Erreichung unterschiedlicher CO<sub>2</sub>-Minderungsziele



## Fazit

Eine kritische Würdigung der zuvor dargestellten Ergebnisse führt zu dem Schluß, daß sie allenfalls eine erste Orientierungshilfe dienen können und in vielerlei Hinsicht noch zu erweitern und abzusichern sind. Für einzelne Minderungsmaßnahmen liegen belastbare Kostenangaben und insbesondere Angaben zu Kosten in Gestalt von Zielverzichten nicht oder nur rudimentär vor. Eine umfassende Analyse und Bewertung der Vor- und Nachteile unterschiedlicher Treibhausgasminderungsstrategien, die auch die gesamtwirtschaftlichen Effekte, die umweltseitigen Vor- und Nachteile sowie die möglichen Preisrückwirkungen auf den internationalen Energiemärkten einbezieht, ist noch zu leisten.

Nimmt man die Warnungen der Klimatologen ernst, so stehen die Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländer vor einer der gewaltigsten Herausforderungen, der sich die Menschheit je gegenüber sah. Auf dem Weg zu einer klimaverträglichen Energieversorgung, die globales Handeln erfordert, kommt in internationaler Abstimmung den Industrienationen, insbesondere in Ost- und Westeuropa, eine Schrittmacherrolle, eine wegweisende Funktion zu. Für die Bundesrepublik Deutschland existieren auch mittelfristig schon beachtliche technische Möglichkeiten zur Minderung der energiebedingten Treibhausgasemissionen. Ein Teil dieser Minderungspotentiale ließe sich dabei ausschöpfen, ohne die Volkswirtschaft mit zusätzlichen Kosten zu belasten.

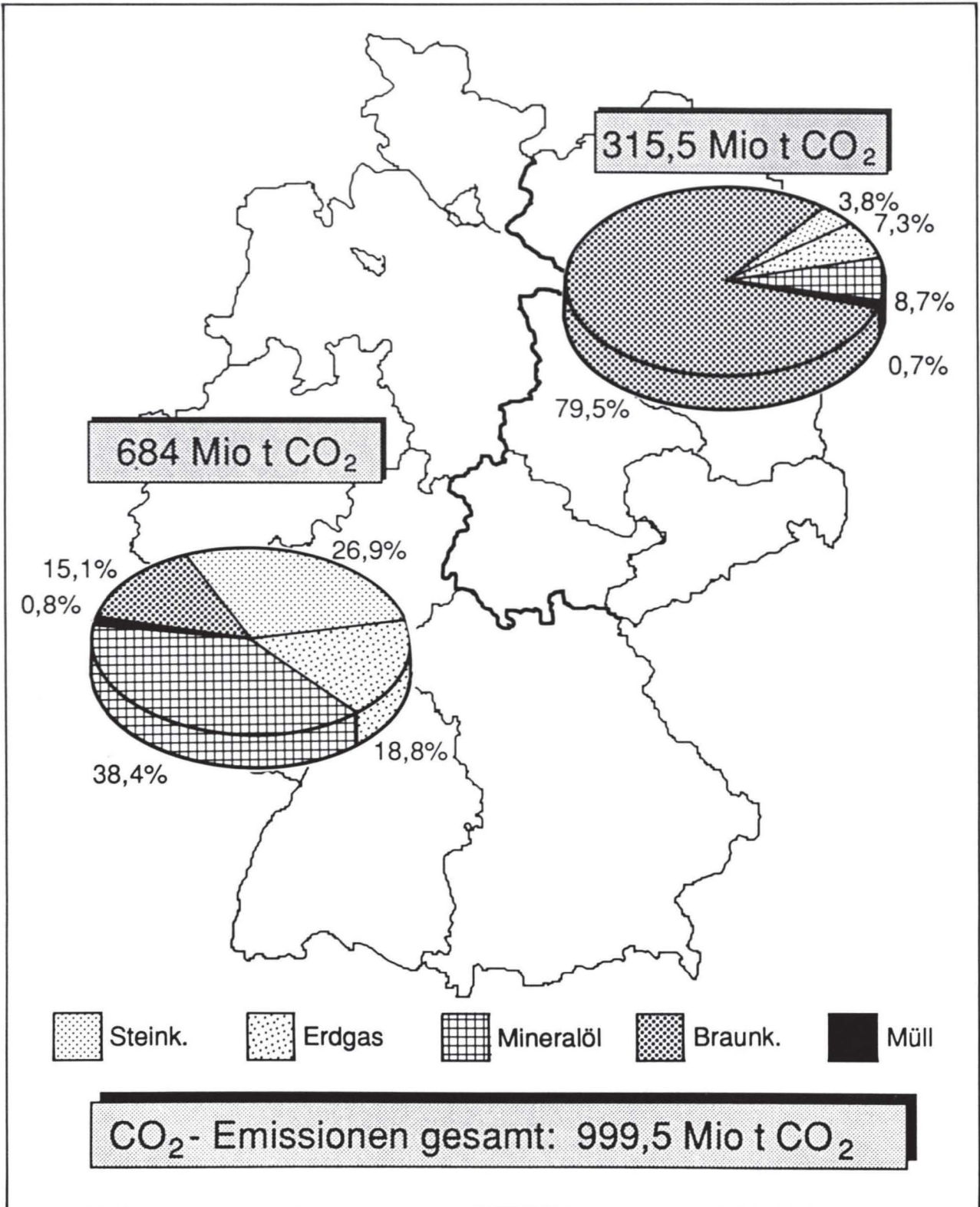
Eine robuste und flexible Politik zur Minderung der energiebedingten Treibhausgase sollte entsprechend dem Effizienzgebot zunächst die CO<sub>2</sub>-Minderungsmöglichkeiten, deren ökonomischer Nutzen allein schon größer ist als ihre Kosten, ausschöpfen.

Die Ausnutzung der hier vorhandenen 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 dieser Richtung tragen dabei gleichzeitig zur Realisierung mehrerer Ziele, wie der Reduzierung der sonstigen Schadstoffbelastungen der Luft, der Preiswürdigkeit der Energie und der Ressourcenschonung bei. Eine effizienzorientierte Treibhausgasminderungspolitik wird dabei auf keine der vorhandenen Optionen, die einen spürbaren Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion leisten können, verzichten können.

## Literatur

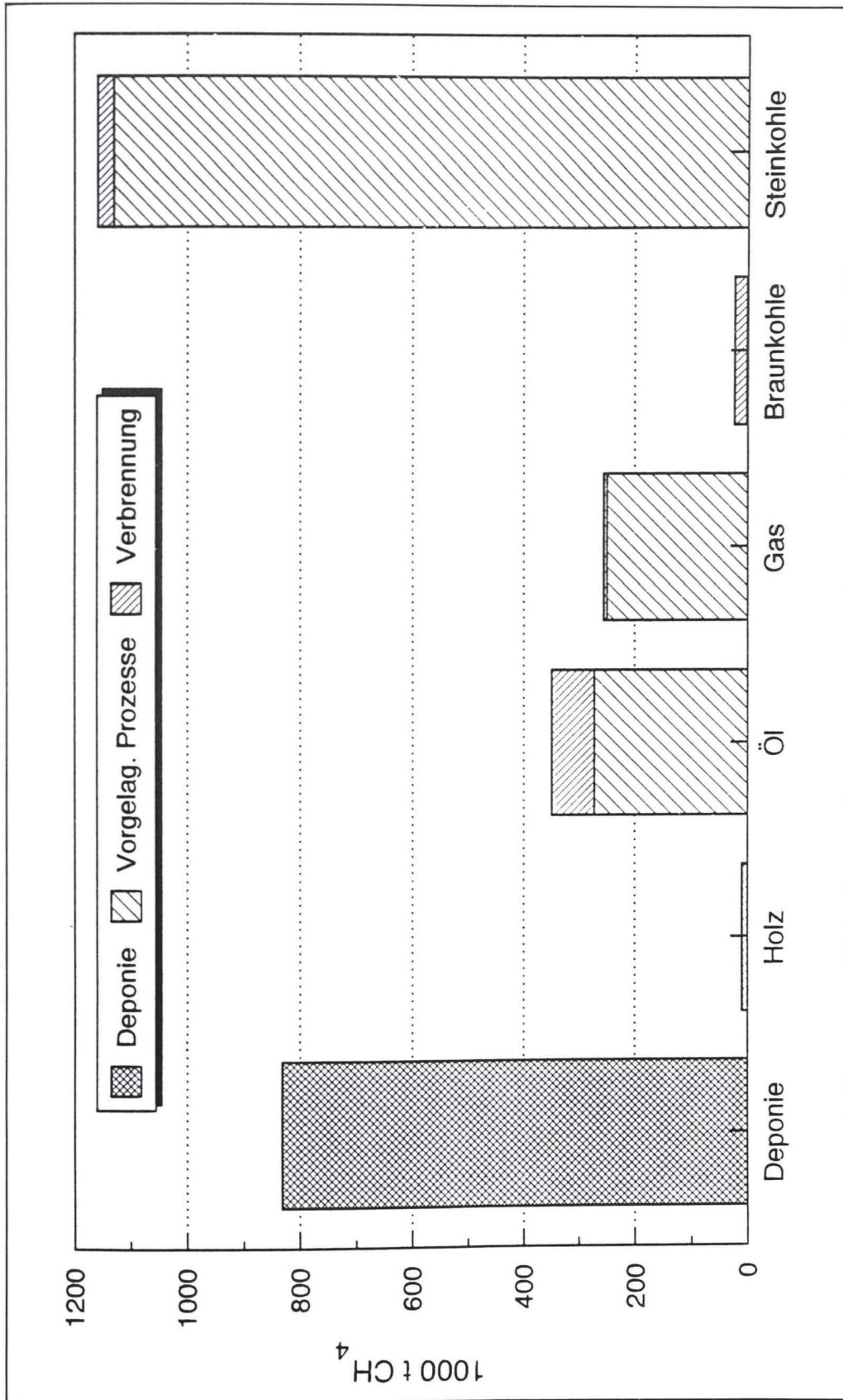
- /1/ Second World Climate Conference: Final Conference Statement Scientific/Technical Sessions, Geneva, November 1990
- /2/ Enquete-Kommission (Hrsg.): Schutz der Erde, 3. Zwischenbericht der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages. Bonn: Economica Verlag, 1991
- /3/ BMU: Umweltpolitik – Beschluß der Bundesregierung zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2005. Arbeitsunterlage 12/17, Bonn, September 1990
- /4/ Fahl, U., u. a.: Emissionsminderung von energiebedingten klimarelevanten Spurengasen in der Bundesrepublik Deutschland und in Baden-Württemberg. Studie im Auftrag der Stiftung Energieforschung, Baden-Württemberg, 1. Zwischenbericht. IER Stuttgart, Oktober 1990





CO<sub>2</sub>-Emissionen in Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 1989

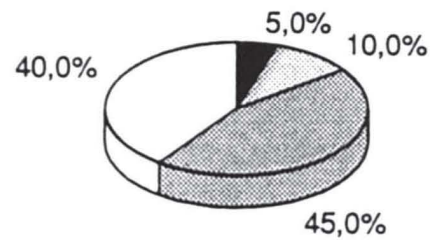




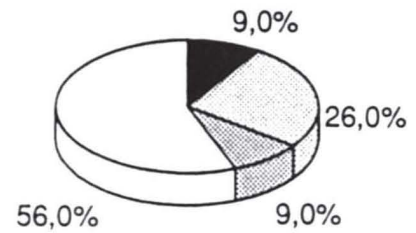
Methan-Emissionen des Energie- und Abfallsektors in der Bundesrepublik Deutschland 1987



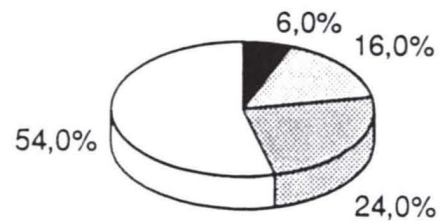
Waschmaschinen 60 %



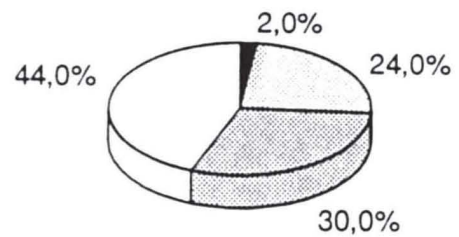
Geschirrspüler 44 %



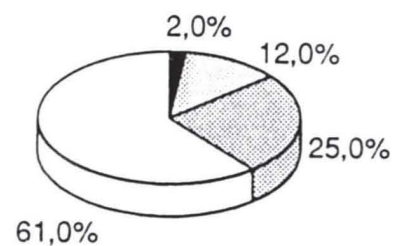
Kühlschränke 46 %



Gefriergeräte 56 %

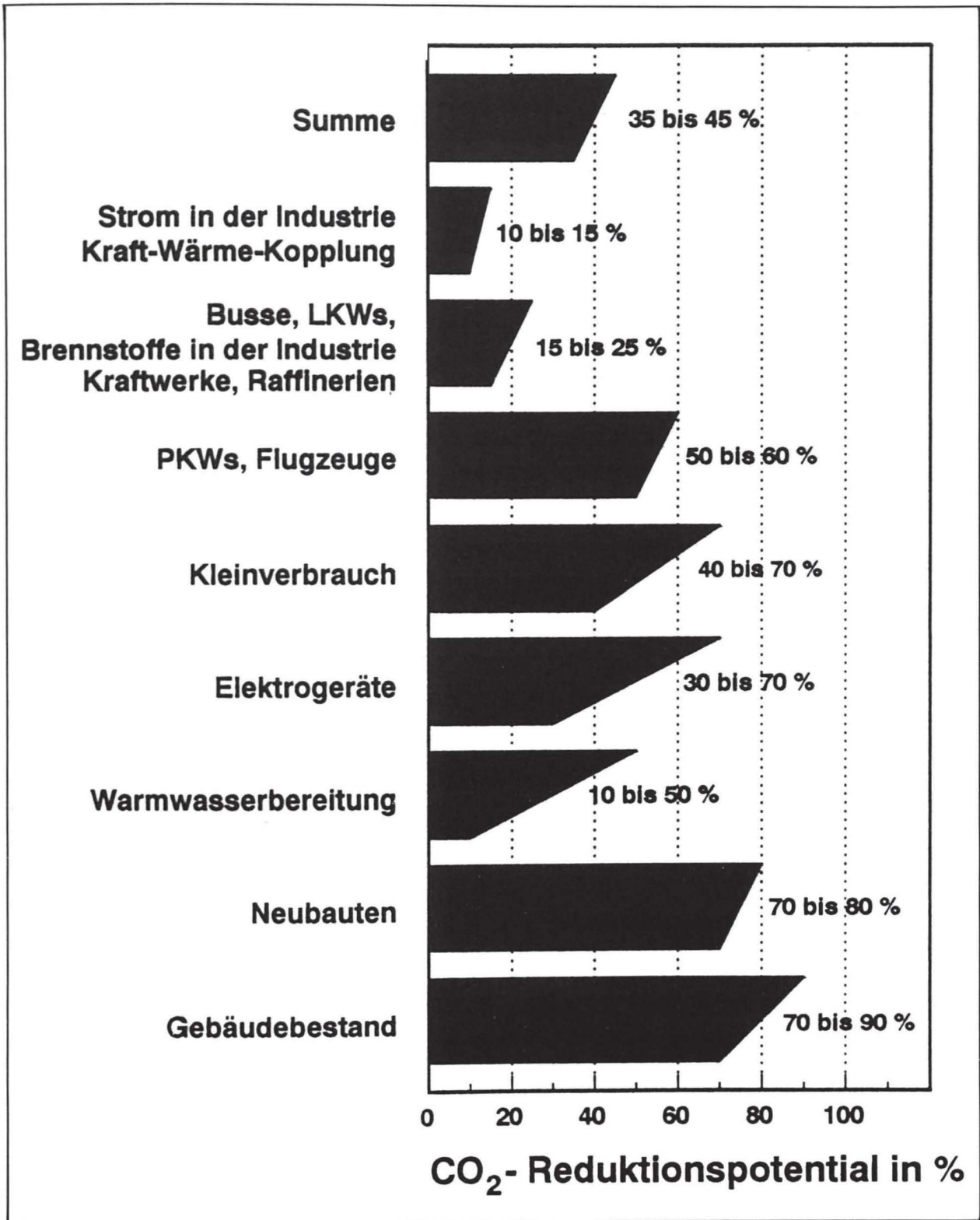


Herde (Backofen) 39 %



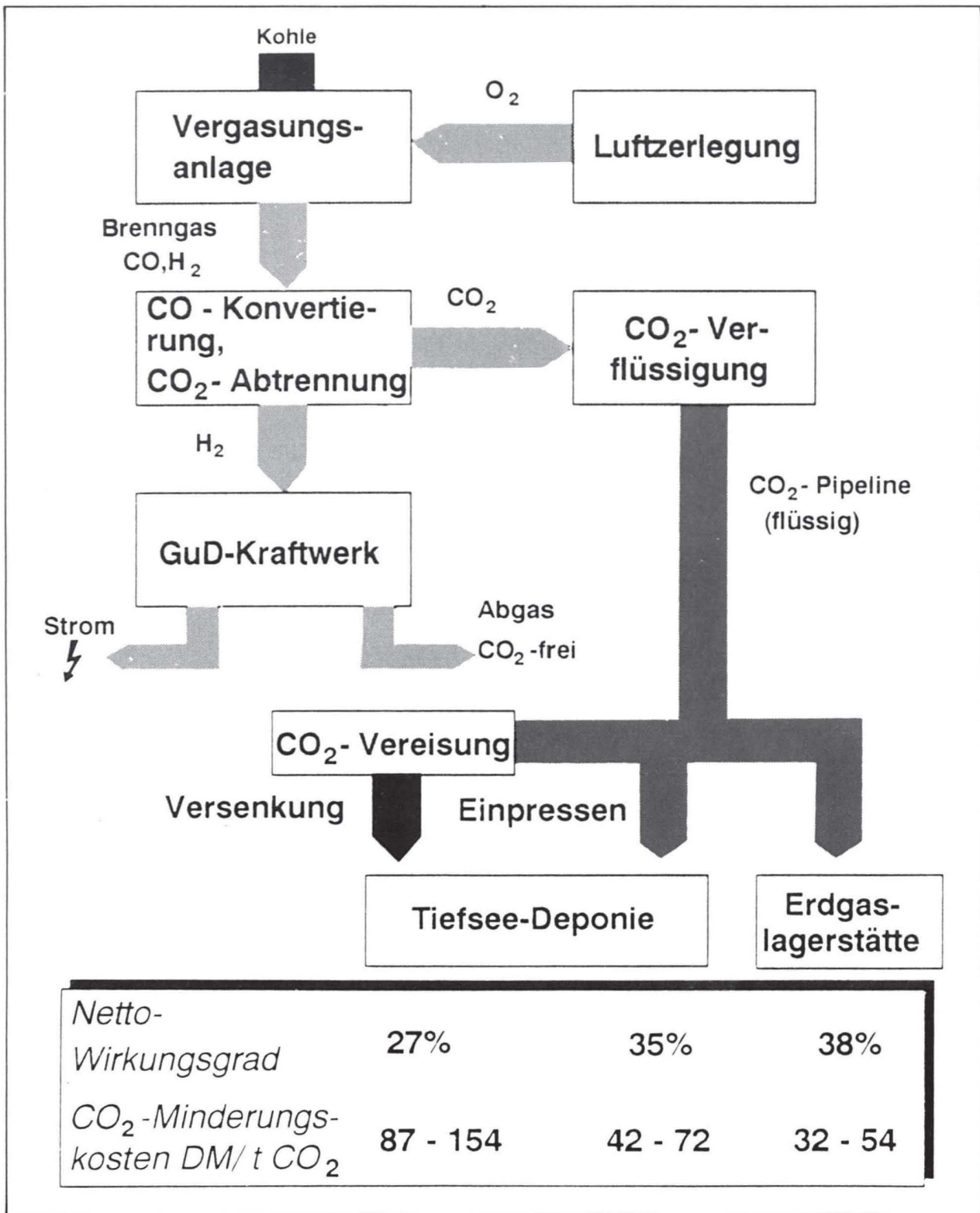
Minderung des spezifischen Stromverbrauchs bei Elektrogeräten bezogen auf 1970





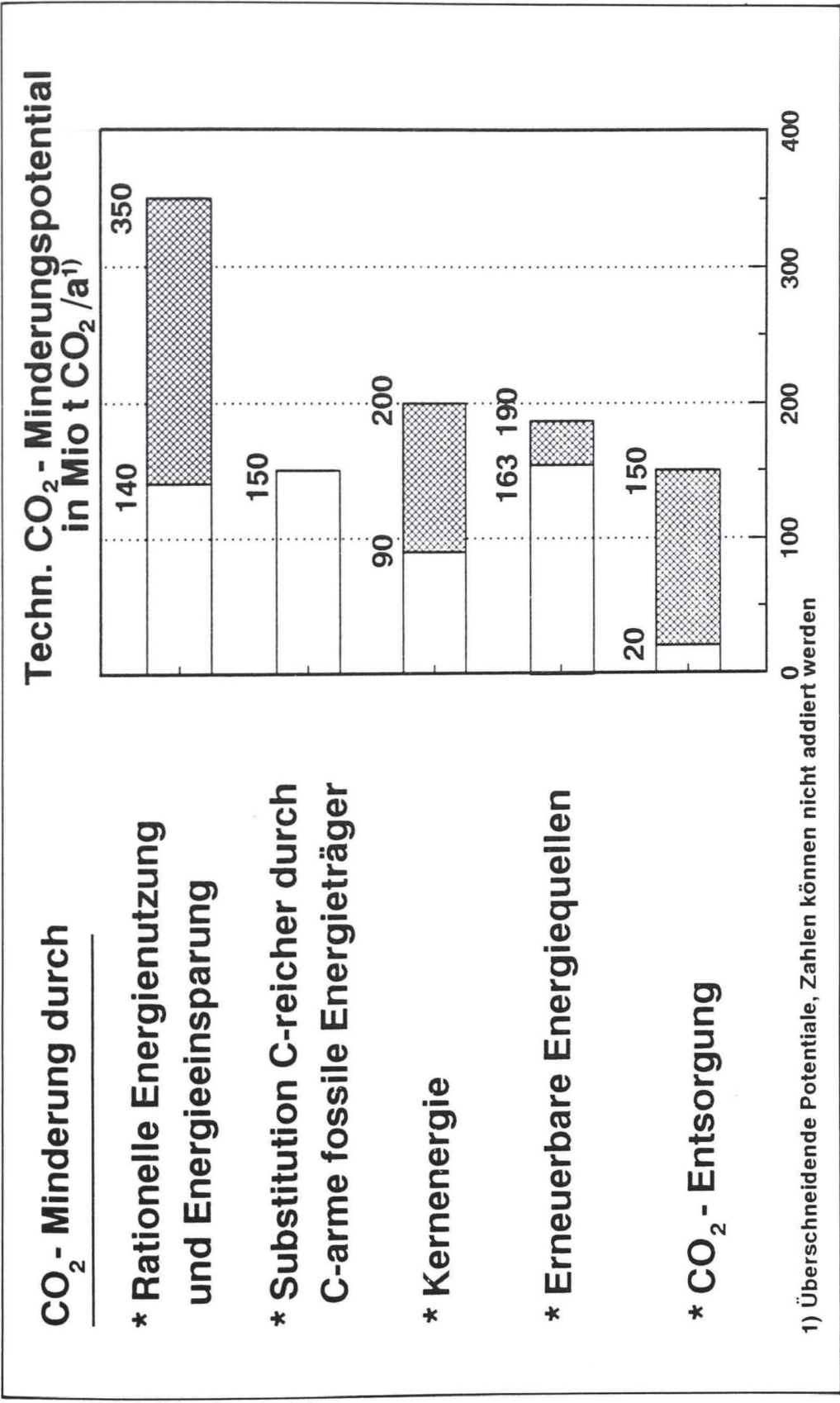
Technische Potentiale der Energieeinsparung in der Bundesrepublik Deutschland in % des Energieverbrauchs des Jahres 1987



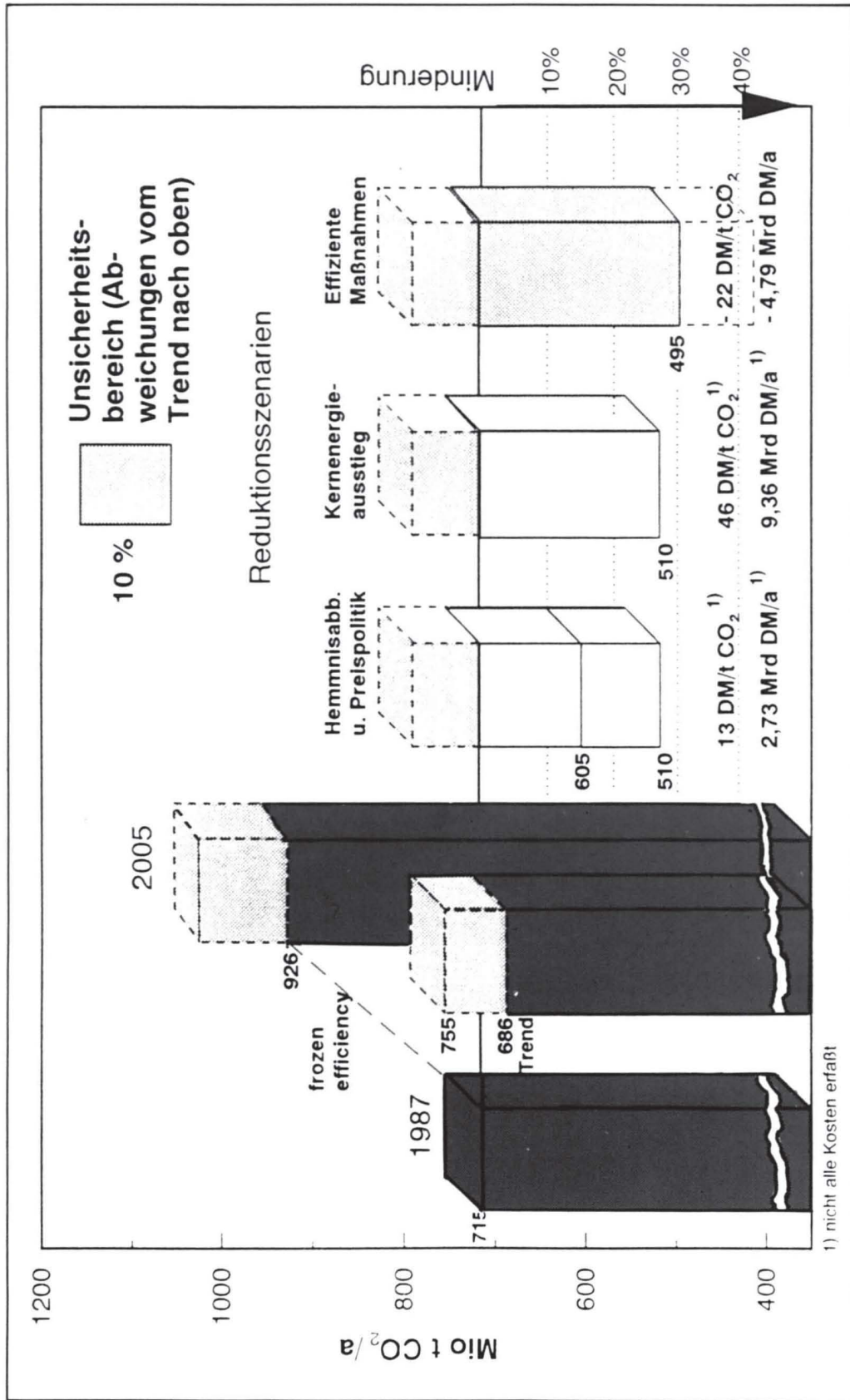


CO<sub>2</sub>-Entsorgungsmöglichkeiten beim GuD-Kraftwerk mit Kohlevergasung



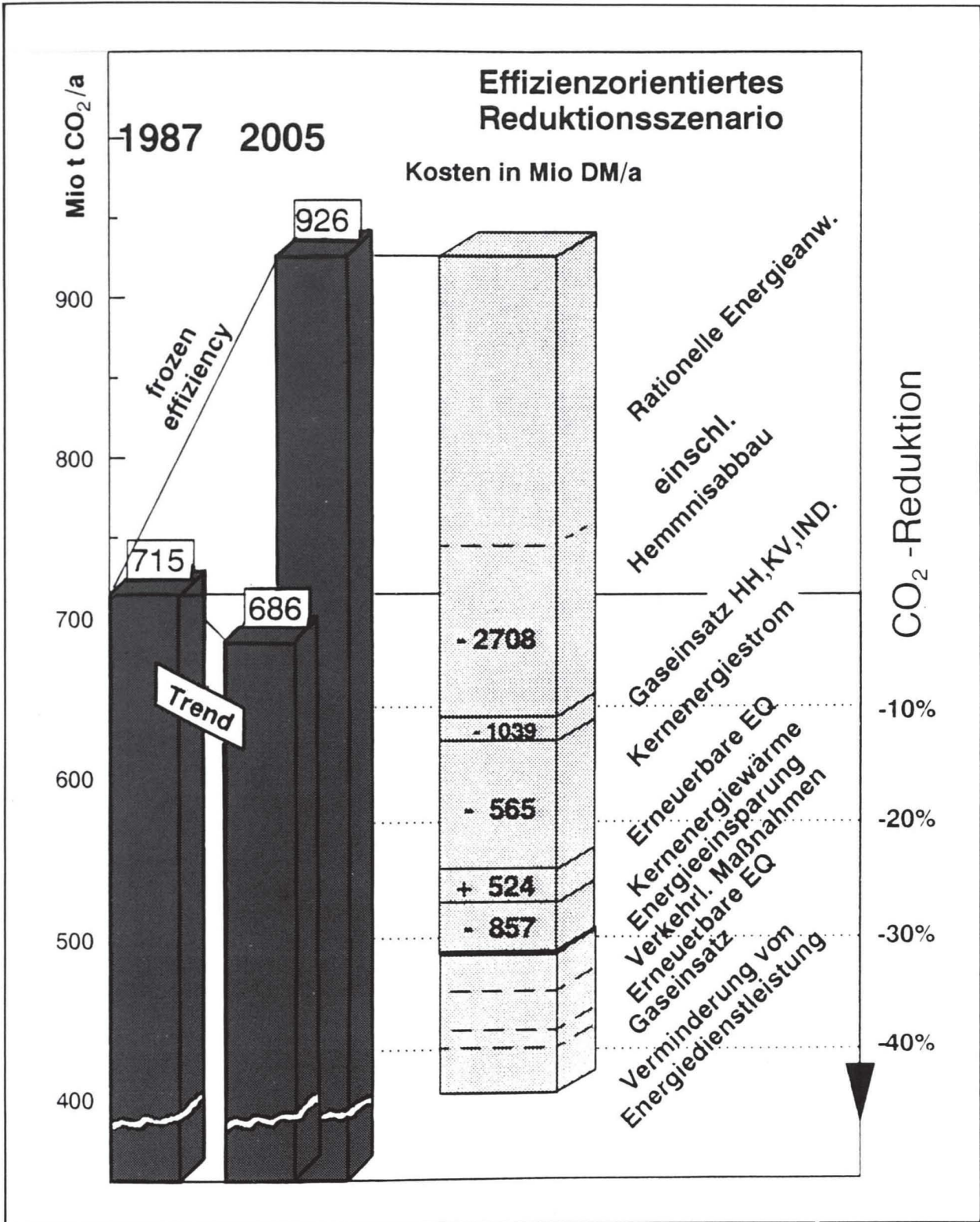


Technische CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2005

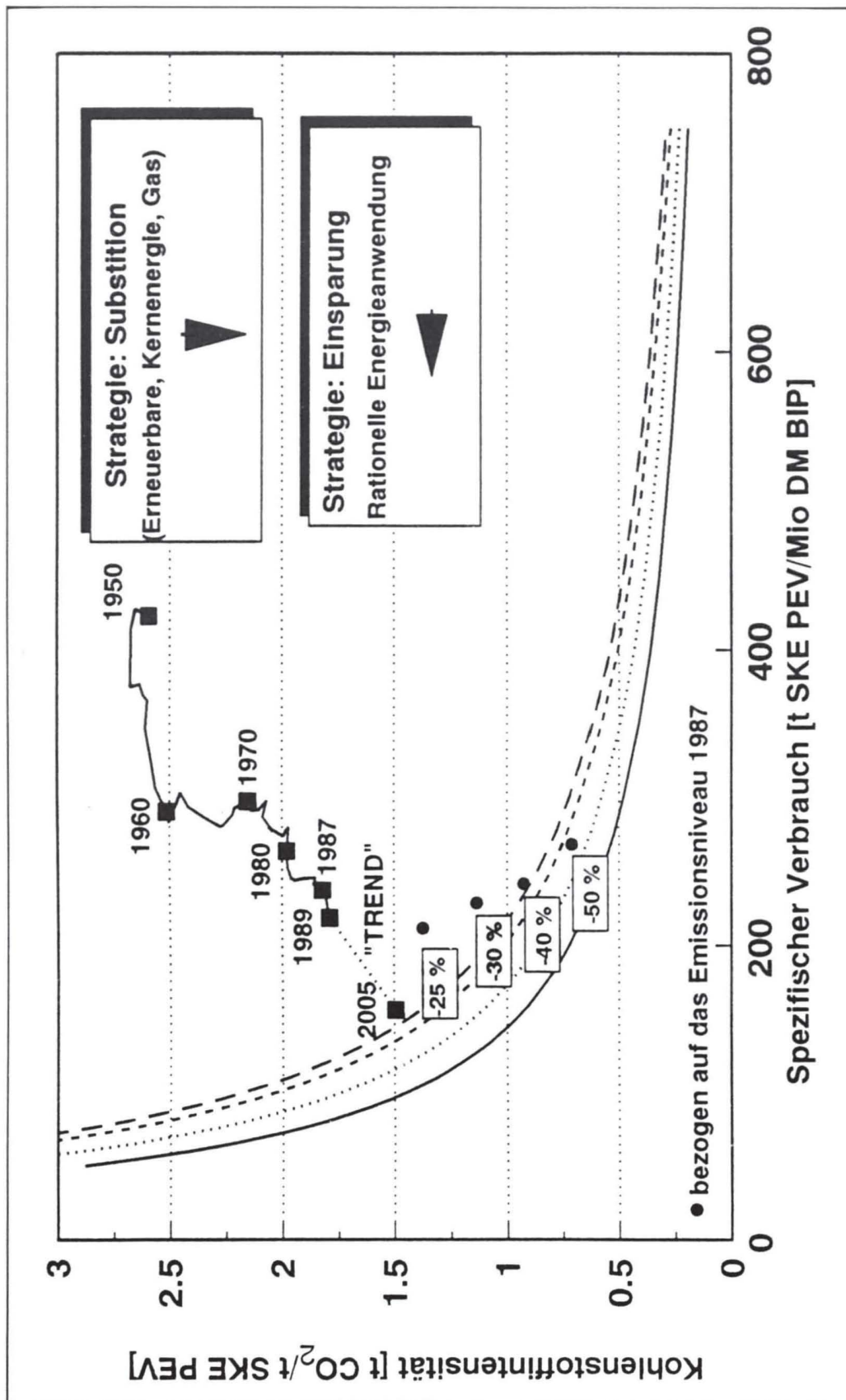


CO<sub>2</sub>-Reduktionsszenarien im Vergleich





Effizienzorientiertes Reduktionsszenario mit Ausbau der Kernenergie



Kohlenstoffintensität und spezifischer Energieverbrauch  
Entwicklung in der Vergangenheit und Anforderung zur Erreichung unterschiedlicher CO<sub>2</sub>-Minderungsziele