

CO₂-Minderungsmöglichkeiten im Kraftwerkssektor

Ulrich Fahl, Peter Schaumann,
Alfred Voß

Unter Klimatologen besteht weitgehende Übereinstimmung, daß die durch menschliche Tätigkeit freigesetzten Spurengase das Klima verändern. Unter diesen Spurengasen nimmt Kohlendioxid eine herausragende Rolle ein. Es gilt also, den CO₂-Ausstoß zu verringern. Vorgestellt werden die im Kraftwerkssektor entstehenden CO₂-Emissionen und mehrere Möglichkeiten der CO₂-Minderung. Dabei werden auch die CO₂-Minderungspotentiale in den fünf neuen Bundesländern analysiert.



Dr. rer. pol. **Ulrich Fahl** (32) ist Leiter der Abteilung Energiewirtschaft und Systemtechnische Analysen des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart und beschäftigt sich mit energiewirtschaftlichen und umweltpolitischen Fragestellungen. Er studierte Wirtschaftswissenschaften an der Universität Freiburg.



Dipl.-Ing. **Peter Schaumann** (28) ist Mitarbeiter der Abt. Energiewirtschaft und Systemtechnische Analysen des IER und beschäftigt sich mit Linearen Optimierungsmodellen zur Abbildung der Energiewirtschaft in Deutschland. Er studierte Maschinenbau an der Universität Stuttgart und war Mitarbeiter am Department of Nuclear and Energy Engineering der University of Arizona.



Prof. Dr.-Ing. **Alfred Voß** (46) ist seit 1990 Leiter des IER. Nach dem Studium des Maschinenbaus und Promotion an der RWTH Aachen war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am International Institute for Applied System Analysis in Laxenburg. Anschließend leitete er die Programmgruppe „Systemforschung und Technologische Entwicklungen“ im Kernforschungszentrum Jülich. Bis 1989 war er Professor am Institut für Kernenergie und Energiesysteme der Universität Stuttgart.

Problemstellung

Mit Beginn der industriellen Revolution begann der Mensch, verstärkt Einfluß auf seine Umwelt zu nehmen. Immer mehr Menschen beeinträchtigen mit ihren Aktivitäten – wenn auch unabsichtlich – die Atmo-, Bio- und Hydrosphäre der Erde. Seit dieser Zeit haben z. B. anthropogene Aktivitäten den Kohlendioxid(CO₂)-gehalt der Atmosphäre um etwa 25 % erhöht. Bei einer weiteren Erhöhung des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre wird heute davon ausgegangen, daß sich die klimatischen Bedingungen auf der Erde aufgrund einer Veränderung des natürlichen Wärmerückhaltungseffekts drastisch verändern werden – die elektromagnetische Strahlung der Erde entspricht in ihrer Intensitätsverteilung über das gesamte Spektrum der eines Körpers von –18 °C, die mittlere Temperatur an der Erdoberfläche ist aufgrund dieses Effekts um etwa 33 °C höher.

Die Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des 11. Deutschen Bundestags hat sich in den letzten Jahren eingehend mit der Klimaproblematik befaßt [1]. Dabei wurden u. a. Möglichkeiten zur Minderung der CO₂-Emissionen aus fossilen Kraftwerken sowie Minderungspotentiale durch die Nutzung CO₂-freier Energiequellen und Energieträger untersucht. Aufbauend auf diesen Ergebnissen werden nachfolgend einige Minderungsmöglichkeiten, ihre Potentiale und Kosten diskutiert. Dabei beschränkt sich die Analyse nicht nur, wie die Untersuchungen der Enquete-Kommission, auf die Bundesrepublik Deutschland vor der Wiedervereinigung, sondern schließt die fünf neuen Bundesländer mit ein.

Ausgangssituation in der Bundesrepublik Deutschland

Der Primärenergieverbrauch in Deutschland (neu) betrug 1990 insgesamt 14,5 EJ (494 Mio. t SKE). Der Rückgang des Primärenergieverbrauchs von 3,1 % gegenüber 1989 wurde vor allem dadurch ausgelöst, daß der Energieverbrauch in Ostdeutschland aufgrund des wirtschaftlichen Umstrukturierungsprozesses mit 18 % stark rückläufig war. Höhe und Struktur des Primärenergieverbrauchs sind in **Bild 1** getrennt für die alten und neuen Bundesländer dargestellt.

In **Bild 2** ist die Struktur der Bruttostromerzeugung nach Energieträgern in der Bundesrepublik Deutschland (neu) im Jahr 1990 skizziert. Deutlich zeigt sich hier die einseitige Erzeugungsstruktur in Ostdeutschland mit einem Braunkohleanteil von 79 % an der Bruttostromerzeugung. Demgegenüber gibt es in Westdeutschland eine diversifizierte Erzeugungsstruktur mit 31 % Steinkohle, 18 % Braunkohle und 33 % Kernenergie. Der Stromverbrauch ist in Ostdeutschland zwischen 1988 und 1990 um 14,8 % zurückgegangen, während dieser in Westdeutschland um 3,5 % gestiegen ist. Die energiebedingten Umweltbelastungen sind zu einer neuen Herausforderung für die Energiepolitik und Energiewirtschaft geworden. In **Tabelle 1** ist die Situation der Luftschadstoffemissionen im Jahr 1989 in der Bundesrepublik Deutschland (alt) und der ehemaligen DDR illustriert. Die CO₂-Emissionen betragen im vereinten Deutschland etwa 1 Mrd. t/a im Jahr 1989. Die Pro-Kopf-Emissionen waren in der ehemaligen DDR rund 20 % höher, was primär durch den hohen Braunkohleanteil bedingt war.

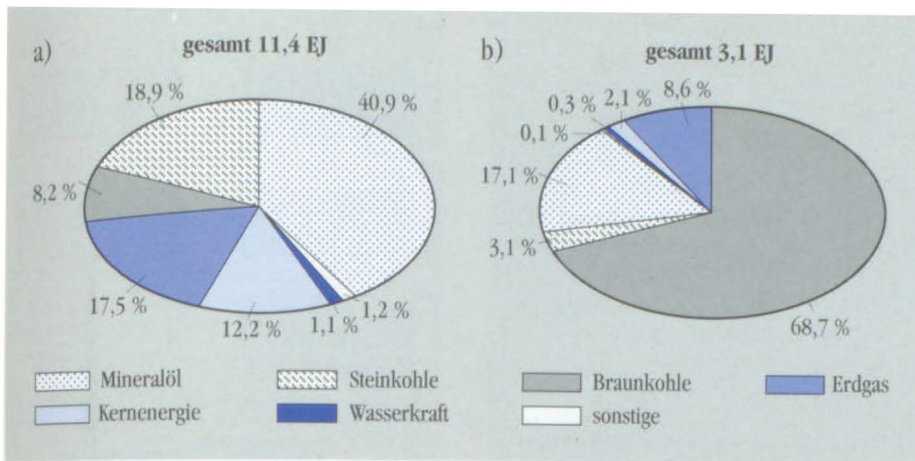


Bild 1. Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1990 nach Energieträgern
 a) alte Bundesländer
 b) ehemalige DDR

Notwendigkeit zur Reduktion des Treibhausgases

Um die Klimaveränderung und ihre Konsequenzen auf ein tolerierbares Maß zu begrenzen, hat die „World Conference the Changing Atmosphere“ in Toronto gefordert, die weltweiten CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005 um etwa 20 % und bis 2050 um mehr als 50 % gegenüber dem Niveau des Jahres 1987 zu reduzieren. Die Bundesregierung hat für die alten Bundesländer ein Reduktionsziel von 25 % bis 2005 vorgegeben. Für das vereinigte Deutschland wurde das Reduktionsziel mit „25 % + x %“ formuliert [6]. Diese Reduktion der CO₂-Emissionen und die damit verbundenen Einschränkungen in der Nutzung fossiler Energieträger sind vor dem Hintergrund zu sehen, daß alle Prognosen über den

zukünftigen Energiebedarf weltweit von einem weiteren Anstieg ausgehen. Die Dimension des Anpassungsbedarfs zur Erreichung der von der Bundesregierung geforderten Ziele läßt sich durch eine „makro-energiewirtschaftliche“ Analyse veranschaulichen. Der hier präsentierte Ansatz basiert auf der Abhängigkeit der energiebedingten CO₂-Emissionen von der Höhe des Bruttoinlandsprodukts (BIP), dem spezifischen Energieverbrauch – das ist die notwendige Primärenergieemenge, um eine Einheit BIP zu erstellen – und der Kohlenstoffintensität der Energieversorgung. Als Kohlenstoffintensität bezeichnet man die CO₂-Emissionen, die je Primärenergieeinheit freigesetzt werden. Bei gegebenem BIP für das Betrachtungsjahr 2005 können nun mögliche Entwicklungen von Kohlenstoffintensität

	Emissionen		Emissionen je Einwohner	
	Mio. t		kg	
	BRD	DDR	BRD	DDR
SO ₂	1,05	5,2	17	313
NX _x	2,7	1,0	44	60
CO ₂	683,8	315,5	11 030	19000

Tabelle 1. Luftschadstoffemissionen in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1989

und spezifischem Verbrauch für die Erreichung des Reduktionsziels der Bundesregierung (25 %) in **Bild 3** veranschaulicht werden. Hieraus lassen sich zwei Strategien zur Reduzierung der CO₂-Emissionen ableiten, d. h. Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs (Strategie: Einsparung) oder Verringerung der Kohlenstoffintensität der Energieversorgung (Strategie: Substitution). Zwischen beiden Strategien besteht eine „trade-off-Beziehung“ – je stärker die Kohlenstoffintensität reduziert werden kann, um so geringer sind die notwendigen Anstrengungen zur Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs, um eine 25%ige Reduktion der CO₂-Emissionen zu erreichen. Eine Analyse des „Trends“ der letzten 20 Jahre zeigt, daß die Ziele der Bundesregierung bei einer Fortsetzung der Entwicklungen der letzten Zeit (rationellere Energienutzung, verstärkter Einsatz von Erdgas und Kernenergie) erreichbar scheinen. Eine detailliertere Betrachtung läßt jedoch erkennen, daß dies erheblicher Anstrengungen bedarf. Geht man beispielsweise von einer Verringerung der Kohlenstoffintensität um 14 % bis zum Jahr 2005 aus – dies entspricht der Veränderung von 1974 bis 1989 – so muß der spezifische Energieverbrauch um rund 44 % verringert werden, um das geforderte Reduktionsziel zu erreichen.

CO₂-Minderungsoptionen im Kraftwerkssektor

Der Kraftwerkssektor ist bei der Betrachtung von Minderungsoptionen der CO₂-Emissionen von besonderer Bedeutung. 1989 war die Elektrizitätserzeugung mit einem Anteil von 36 % (362 Mio. t CO₂) an den gesamten CO₂-Emissionen in Deutschland beteiligt. In **Tabelle 2** sind die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung nach Energieträgern im Jahr 1989 für die Bundesrepublik Deutschland (alt) und die ehemalige DDR zusammengestellt.

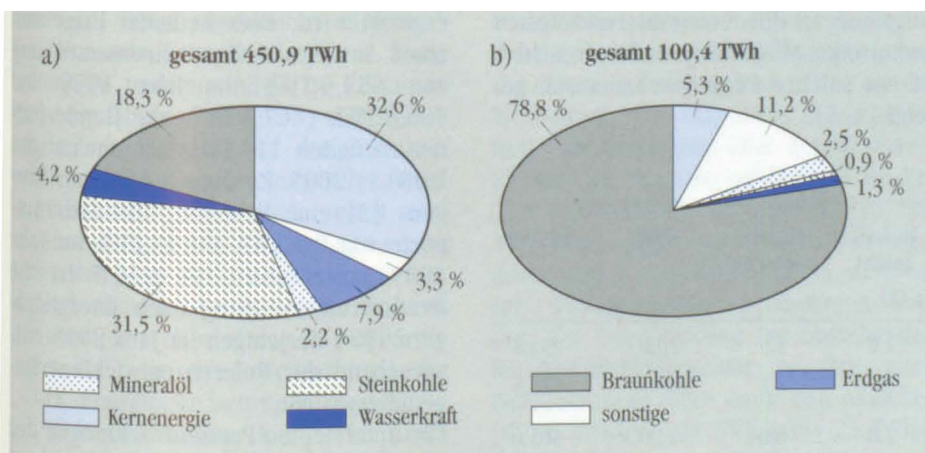


Bild 2. Bruttostromerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1990 nach Energieträgern
 a) alte Bundesländer
 b) ehemalige DDR

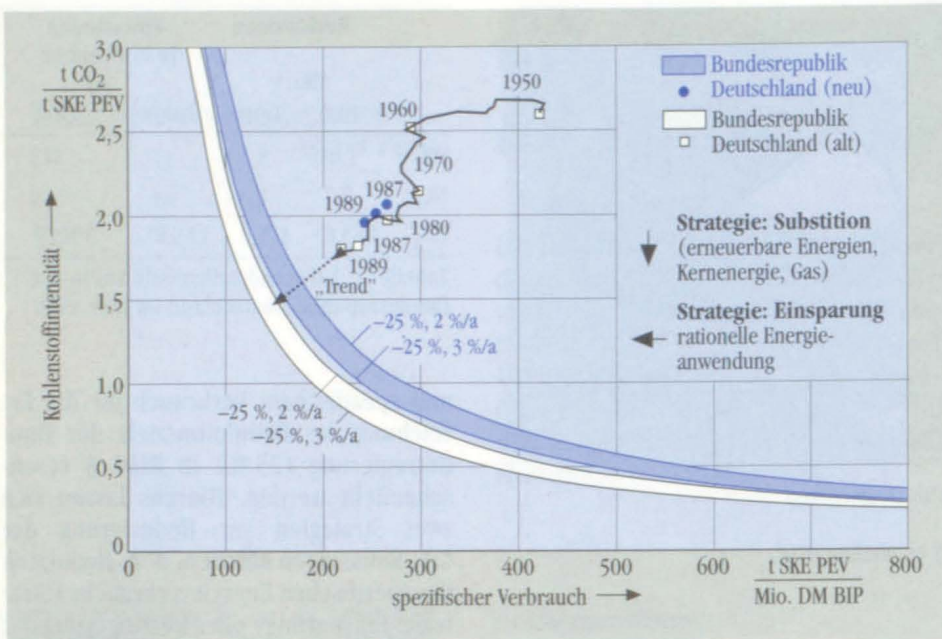


Bild 3. Kohlenstoffintensität und spezifischer Energieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland

Auf die Braunkohle entfiel dabei ein Anteil von 59,3 %; 30,6 % wurden durch Steinkohle- und 6,4 % durch Gaskraftwerke emittiert. In der ehemaligen DDR war die Braunkohle mit über 96 % der dominierende Emittent von CO₂. In der alten Bundesrepublik verteilten sich dagegen die Anteile der einzelnen Energieträger an den Gesamtemissionen der Stromerzeugung gleichmäßiger. Braun- und Steinkohle trugen dabei mit 39 % bzw. 47 % den größten Anteil bei.

Prinzipiell steht neben der Möglichkeit der Rückhaltung der CO₂-Emissionen mit anschließender Endlagerung und der Wirkungsgradverbesserung der Kraftwerke durch neue Technologien auch die strukturelle Veränderung der Zusammensetzung des Kraftwerkssektors zur Verfügung. Dabei ist an eine Substitution von kohlenstoffreichen (Braun- und Steinkohle) durch kohlenstoffarme (Erdgas) oder kohlenstofffreie Energieträger (er-

neuerbare Energieträger und Kernenergie) zu denken. Grundsätzlich ist auch eine nicht klimabeeinflussende Nutzung fossiler Energieträger möglich, wenn das bei der Verbrennung entstehende Kohlendioxid zurückgehalten und so endgelagert werden kann, daß es dauerhaft von der Atmosphäre ferngehalten wird. Grundbedingung für alle Überlegungen zu CO₂-Rückhaltung und -Entsorgung ist, daß der damit verbundene Energieaufwand kleiner sein muß als der Heizwert jener Menge an fossilem Brennstoff, aus der das CO₂ entstanden ist. Unter dem Gesichtspunkt des Energieaufwands stellen sich die Verbrennung mit reinem Sauerstoff oder die Abtrennung von CO₂ vor der Gasverbrennung in einem Gas- oder Dampfturbinenkraftwerk mit Kohlevergasung als die derzeit interessantesten technischen Möglichkeiten dar. In Bild 4 ist ein solcher Prozeß schematisch gezeigt [4, 5].

	Steinkohle	Braunkohle	Müll	Heizöl leicht	Heizöl schwer	Gas	Summe
	Mio. t CO ₂						
BRD (alt)	111,3	92,3	4,1	2,0	5,5	20,6	234,8
ehemalige DDR	0,4	122,0	0,8	0,0	1,1	2,4	126,8
gesamt	110,7	214,3	4,9	2,0	6,6	23,0	361,6
Prozent	30,6	59,3	1,4	0,5	1,8	6,4	100,0

Tabelle 2. CO₂-Emissionen in der Stromerzeugung der Bundesrepublik Deutschland 1989

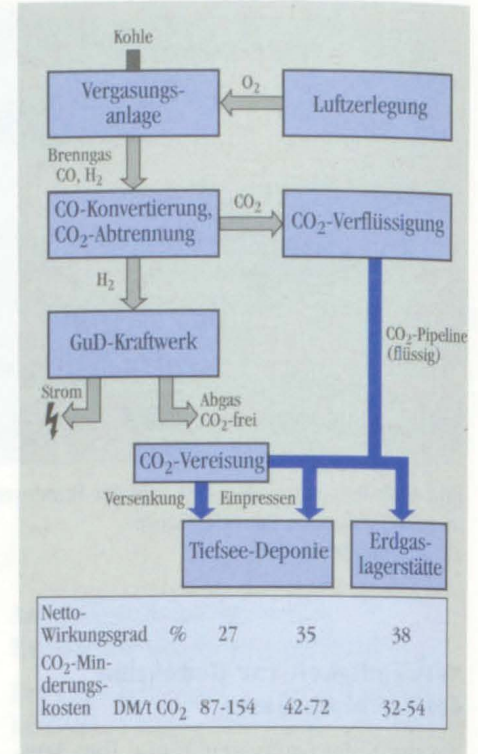


Bild 4. Grundprinzip der CO₂-Entsorgung im Kraftwerksprozeß (GuD)

Nachfolgend sollen aufgrund der hohen Anteile an den CO₂-Emissionen des Kraftwerkssektors primär die Potentiale der Substitution von Braun- und Steinkohlekraftwerken zur Stromerzeugung untersucht werden. Hierbei ergibt sich aufgrund des spezifischen Kohlenstoffgehalts der Braunkohle das größte Minderungspotential. Die Berechnungen basieren dabei auf einer von „Prognos“ [2] angenommenen Entwicklung der Kraftwerkskapazität bis zum Jahr 2005 in Deutschland (alt) und der Annahme, daß in den neuen Bundesländern 2005 wieder die Stromerzeugung des Jahres 1989 erreicht wird. Dies bedeutet insgesamt einen Anstieg der Bruttostromerzeugung von 559,9 TWh im Jahr 1989 auf 586,3 TWh (467,3 TWh alte Bundesländer zuzüglich 119 TWh der ehemaligen DDR) in 2005. Zusätzlich wird von Prognos [2] eine Erhöhung der Stromimporte von 0,2 TWh auf 19 TWh im Jahr 2005 angenommen. In Bild 5 ist die Bruttostromerzeugung nach Energieträgern 1989 derjenigen im Jahr 2005 entsprechend der Referenzentwicklung gegenübergestellt.

Die unterstellten Preisentwicklungen der fossilen Energieträger sind [1] entnommen. Danach steigen die realen Preise für Erdgas (Durchschnittserlöse bezogen auf den oberen Heizwert ohne Mehrwert-

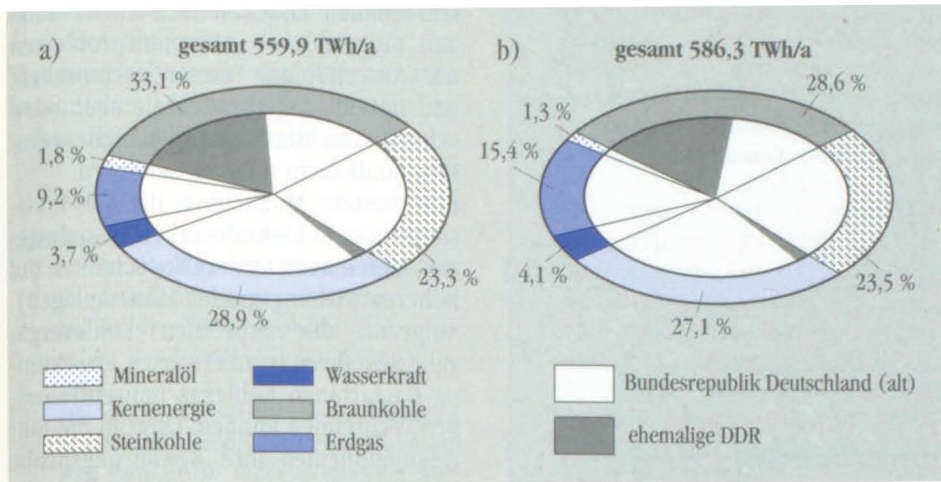


Bild 5. Bruttostromerzeugung nach Energieträgern
 a) 1989
 b) 2005 entsprechend der Referenzentwicklung

steuer) für Kraftwerke von 7,1 DM/GJ im Jahr 1987 auf 9,1 DM/GJ im Jahr 2005 jeweils bezogen auf den Geldwert 1987. Bei den realen Preisen für Importkohle wurde eine Kostenentwicklung von 3,0 DM/GJ auf 4,7 DM/GJ angenommen, die Preise für deutsche Steinkohle für Großabnehmer steigen um 0,7 DM/GJ auf 10,5 DM/GJ. Die realen Preise für deutsche Braunkohle bleiben mit 3,5 DM/GJ im Jahr 2005 über die betrachtete Zeit auf nahezu konstantem Niveau.

Substitution der Stromerzeugung in Braun- und Steinkohlekraftwerken

Die Abschätzung technischer Potentiale zur Minderung von CO₂-Emissionen zielt darauf ab, die unter Außerachtlassung von Wirtschaftlichkeits- und Kostenaspekten, technisch möglichen CO₂-Reduktionen der betrachteten Maßnahmen zu ermitteln. Diese beschreiben diejenigen Emissionsminderungen, die mit heute bekannten und zumindest im Pilotmaßstab erprobten Techniken realisierbar erscheinen. In bezug auf den Zeitfaktor werden zwei Kategorien unterschieden:

- Maßnahmen, durch die sofort eine Minderung der CO₂-Emissionen erzielt werden kann (Sofortmaßnahmen) und
- Maßnahmen, die in naher Zukunft (exemplarisch wird das 5C_i 2005 betrachtet) zu einer Reduzierung der CO₂-Emissionen beitragen können.

Als *Sofortmaßnahme* kommt im Kraftwerkssektor nur eine Erhöhung der Auslastung bestehender, CO₂-armer oder CO₂-freier Kraftwerke in Betracht. Diese wurden in [1] diskutiert und sollen hier

am Beispiel der Kernenergie erläutert werden. Dabei wird davon ausgegangen, daß die Kernkraftwerke in den fünf neuen Bundesländern nicht wieder in Betrieb gehen, sondern stillgelegt bleiben. Begrenzt wird eine Strommehrerzeugung durch Auslastungserhöhung im wesentlichen durch die Lastcharakteristik der Stromnachfrage und die erreichbare Ausnutzung der Kernkraftwerke. Einer technisch möglichen Strommehrproduktion können gegebenenfalls auch die Abnahmeverpflichtung des Jahrhundertvertrags entgegenstehen. Die Zeit- und Arbeitsverfügbarkeit der LWR-Kernkraftwerke konnte in den achtziger Jahren deutlich erhöht werden. Die Zeitverfügbarkeit lag dabei in der Zeit von 1984 bis 1988 zwischen 83,6 % und 89,2 %. Falls die bestehenden Kernkraftwerke einen möglichst großen Beitrag zur Minderung von CO₂-Emissionen leisten sollen, könnten diese aufgrund der bisherigen Betriebserfahrungen mit einer Arbeitsausnutzung von bis zu 85 % betrieben werden. Dann ist eine gemeinsame, an der Minderung von CO₂-Emissionen orientierte Einsatzplanung aller Kernkraftwerke und ein Verzicht auf Stretch-Out-Betrieb erforderlich. Ausgehend von den 1987 und 1988 erreichten Ausnutzungsdauern kann eine Erhöhung um sechs bis acht Prozentpunkte angenommen werden. Bei Ausschöpfung der bestehenden Kernkraftwerkskapazität in den alten Bundesländern wäre es in den nächsten Jahren möglich, 21 TWh/a bis 25 TWh/a Strom mehr zu erzeugen als 1989, womit CO₂-Emissionen in Höhe von 18 Mio. t/a bis 27 Mio. t/a aus fossilen Kraftwerken vermieden werden könnten [3]. Die

schlechten Sicherheitsbedingungen der inzwischen stillgelegten Kernkraftwerke der ehemaligen DDR erlauben bei der Betrachtung von Sofortmaßnahmen keine Einbeziehung in das ausgewiesene Minderungspotential.

Maßnahmen zur CO₂-Minderung der *nahen Zukunft* sind zum einen neue Techniken mit höheren Wirkungsgraden und zum anderen Substitutionsmaßnahmen. Nachfolgend werden zunächst Substitutionsmaßnahmen beschrieben.

Aus den zugrundeliegenden Annahmen ergibt sich für das vereinigte Deutschland bis zum Jahr 2005 in Zusammenhang mit dem Erneuerungs- und Zubaubedarf ein Substitutionspotential von insgesamt 19,4 GW elektrischer Leistung aus Braunkohle- oder 6,9 GW aus Steinkohlekraftwerken [3]. In **Tabelle 3** sind die technischen CO₂-Minderungspotentiale der Substitution dieser Braun- bzw. Steinkohle-Kraftwerksleistung durch Steinkohlekraftwerke, Erdgas-GuD-Anlagen und Kernkraftwerke zusammengefaßt. Dabei wird davon ausgegangen, daß die ersetzten Kohlekraftwerke Wirkungsgrade zwischen 37 % und 39 % haben. Würde man zugrundelegen, daß die alten Braunkohlekraftwerke der ehemaligen DDR mit Wirkungsgraden unter 30 % substituiert werden, fallen die ausgewiesenen Potentiale um 21 Mio. t CO₂/a höher aus.

Bei der Substitution von Braunkohle durch Steinkohle müssen rund 30 Steinkohlekraftwerke mit einer Nettoleistung von 630 MW bis zum Jahr 2005 zugebaut werden. Die damit verbundene CO₂-Reduktion beträgt 25 Mio. t CO₂/a. Vergleicht man die Gesamtkosten der beiden Optionen – Bau eines neuen Braunkohle- und Bau eines Steinkohlekraftwerks

Maßnahme	Minderungspotential	spezifische Minderungskosten
	10 ⁶ t CO ₂	DM/t CO ₂
Braunkohle durch Steinkohle	25	18
Braunkohle durch Erdgas	77	22
Braunkohle durch Kernenergie	119	-5
Steinkohle durch Erdgas	15	16
Steinkohle durch Kernenergie	28	-3

Tabelle 3. CO₂-Minderungsmöglichkeiten im Kraftwerkssektor im Jahr 2005

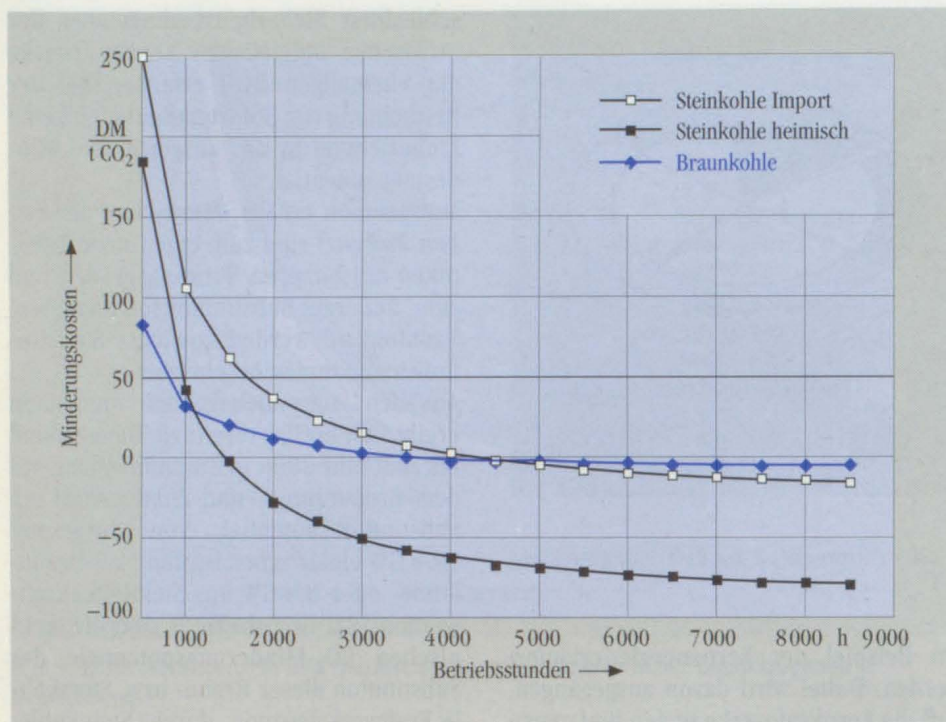


Bild 6. Spezifische CO₂-Minderungskosten der Substitution fossiler Stromerzeugung durch Kernenergie abhängig von der Auslastung

– zur Erzeugung der gleichen Arbeit, ergeben sich bei gleicher Auslastung und unter Zugrundelegung von Importkohlepreisen Kosten von 449 Mio. DM/a, bezogen auf den Geldwert 1989. Damit betragen die spezifischen Minderungskosten 18 DM/t CO₂. Die spezifischen Minderungskosten dienen als Maß der Effizienz einer Minderungsoption und geben den Aufwand an, um die Emission von 1 t CO₂ zu vermeiden. Negative Minderungskosten bedeuten, daß unter den getroffenen Preisannahmen für das Jahr 2005 die Maßnahme auch ohne Bewertung ihrer CO₂-Minderung wirtschaftlich ist.

Die spezifischen CO₂-Minderungskosten werden ganz wesentlich durch die Energieträger-Preis-Relation zwischen substituierendem und substituierten Energieträger bestimmt. Dabei ist die Entwicklung des Energieträgerpreises und damit auch die der Energieträger-Preis-Relationen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Außerdem kann eine Strategie der CO₂-Reduktion durch Austausch fossiler Energieträger über die damit verbundenen Nachfrageeffekte auf den Weltenergiemärkten zu Preiswirkungen führen, welche die spezifischen CO₂-Minderungskosten erhöhen und die Kosteneffizienz erheblich verschlechtern können. Dies trifft vor allem für Erdgas zu. Bei einem Ersatz von Braun- oder Steinkohlekraftwerken durch Kernkraftwerke,

ergibt sich naturgemäß die größte CO₂-Minderung mit 119 Mio. t CO₂ bzw. 28 Mio. t CO₂. Dazu müßten bis zum Jahr 2005 16 Anlagen mit einer elektrischen Blockleistung von 1300 MW zugebaut werden; dies entspricht einem Zubau von zwei Kernkraftwerken pro Jahr beginnend 1998. Bei Substitution der Steinkohle wären fünf Anlagen mit einer elektrischen Leistung von 1300 MW notwendig. Die Kostendifferenz beträgt hierbei gegenüber Braunkohle etwa -583 Mio. DM/a bzw. gegenüber Importkohle rund -99 Mio. DM/a, so daß sich spezifische Minderungskosten von ungefähr -5 DM/t CO₂ (Braunkohle) bzw. -3 DM/t CO₂ ergeben. Eine Substitution wäre also, unter den getroffenen Annahmen, auch ohne Betrachtung der CO₂-Reduzierung volkswirtschaftlich sinnvoll.

In Bild 6 sind die spezifischen CO₂-Minderungskosten der Substitution fossiler Stromerzeugung durch Kernenergie abhängig von der Auslastung aufgetragen. Außer im Grund- und oberen Mittellastbereich können Kernkraftwerke auch im unteren Mittellastbereich einen effizienten Beitrag zur CO₂-Minderung leisten. Das Gesamtpotential der Kernenergie zur CO₂-Minderung im Kraftwerkssektor von 119 Mio. Kohlendioxid entspricht etwa 34 % der CO₂-Emissionen der Stromerzeugung in der Deutschland (neu) im Jahr 1989. Die genannten Minderungs-

maßnahmen lassen jedoch außer acht, daß aufgrund von Akzeptanzproblemen die Ausschöpfung dieser technischen, und im Fall der Kernenergie auch wirtschaftlichen Minderungspotentiale gegebenenfalls nicht möglich sein wird.

Eine weitere Möglichkeit die CO₂-Emissionen aus Kohlekraftwerken zu reduzieren, bieten neue Kraftwerkstechniken mit höheren Wirkungsgraden (GuD-Anlagen). Aufgrund der erprobten Kohlevergasungsverfahren ist zu erwarten, daß künftig Gasturbinen Kohlegas umweltfreundlich verbrennen können. Obwohl die Einzelkomponenten ihre Bewährungsprobe bestanden haben, wird mit großem Interesse das Zusammenwirken aller Komponenten (Vergaser, Gasturbine und Dampfturbine) in einer technischen Anlage erwartet. Eine erste Pilotanlage eines Gas-Dampfturbinenkraftwerks mit integrierter Braunkohlevergasung (Kobra) soll 1995 den Testbetrieb aufnehmen [7, 8], Pilotanlagen für Steinkohlevergasung mit kombinierter Gas-Dampfturbinenschaltung befinden sich noch in der Konzeptionsphase [9]. Allgemein werden von diesen Kraftwerken Wirkungsgrade zwischen 43 % bei Stein- und 47 % bei Braunkohle erwartet. Theoretisch könnten damit die CO₂-Emissionen um weitere 23 Mio. t CO₂/a bei Braunkohle und um weitere 3 Mio. t CO₂/a bei Steinkohle, jeweils bezogen auf das Jahr 2005, vermindert werden, wenn statt herkömmlicher Kraftwerke GuD-Anlagen gebaut würden.

Ausblick

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß im Bereich der Stromerzeugung durchaus ein nennenswertes Potential zur CO₂-Minderung besteht. Die Reduktionsmöglichkeiten im Kraftwerkssektor sind mit den jeweiligen Optionen in anderen Bereichen in Zusammenhang zu sehen. Die Entwicklung einer kosteneffizienten Gesamtstrategie ist somit noch zu leisten. Die gewaltige Umstrukturierungsaufgabe, die mit einer Reduktion der CO₂-Emissionen von 25 % bis 30 % noch keineswegs abgeschlossen ist – langfristig ist mit Reduktionszielen von 80 % bis 90 % zu rechnen –, wird nur zu bewältigen sein und die Belastung für die Volkswirtschaft verkraftbar bleiben, wenn die Maßnahmen umgesetzt werden, die bei gegebenem Aufwand die größte Treibhausgas-minderung erreichen.

Die angestellten Betrachtungen deuten darauf hin, daß allein durch verbesserte

Kraftwerke die Minderungsziele nicht zu erreichen sind. Die Nicht-Nutzung der Kernenergie bedeutet die Aufgabe eines beachtlichen Minderungspotentials zu volkswirtschaftlich geringen Kosten.

Literatur

- [1] Schutz der Erde. 3. Zwischenber. der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des deutschen Bundestages. Bonn: Economica, 1991
- [2] Die energiewirtschaftliche Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2010. Untersuchung im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft. Basel: Prognos AG, 1989
- [3] *Fabl, 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. Stuttgart: Inst. für Energiewirtsch. und Rationelle Energieanwendung (IER), 1990
- [4] *Seifritz, W.*: Der Treibhauseffekt, Technische Maßnahmen zur CO₂-Entsorgung. München: Carl Hanser, 1991
- [5] *Obsumi, T.*: Sequestering of CO₂ in a Deep Ocean. Chiba-Ken/Japan: Cent. Res. Inst. of Electric Power Ind., 1991
- [6] Umweltpolitik – Beschluß der Bundesregierung zur Reduzierung der CO₂-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2005. Arbeitsunterlage 12/17, Bonn: Enquete-Kommission, 1990
- [7] *Ewers, J.; Kwasny, J.*: Braunkohlenveredlung und -verwendung. Brennstoff-Wärme-Kraft 43 (1991) H. 4
- [8] *Schippers, K.; Femmer, U.*: Projekt KoBra – Kombikraftwerk für Braunkohle. Energiewirtsch. Tagesfragen 40 (1990) H. 5, S. 330–332
- [9] Dokumentation – Anhörung der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO₂-Reduktion“. Bonn: Bundesminist. für Umwelt, Ref. Z III 5, 1991
- [10] Potentiale zur Minderung der CO₂-Emissionen in der Elektrizitätswirtschaft der Bundesrepublik Deutschland. Ber. des VDEW-Gesprächskreises „Klimafragen“. Frankfurt: Verein. Dt. Elektriz.-werke (VDEW), 1990