

Kosteneffektivitätsanalyse von CO₂-Reduktionsmaßnahmen in Österreich*

Dr.-Ing. Henryk Wojciech Balandynowicz, geboren am 26. Jänner 1951 in Bydgoszcz/Polen, Studium des Maschinenbaus an der Technischen Universität Warschau. Seit 1977 an der Polnischen Akademie der Wissenschaften in Warschau als wissenschaftlicher Assistent tätig, seit 1989 Associate Professor. Am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart ist der Autor seit 1991 Gastwissenschaftler.

Dr.-Ing. Albrecht Leopold Reuter wurde am 8. September 1954 in Ellwangen/Jogst geboren und studierte Maschinenwesen an der Universität Stuttgart. Von 1978 bis 1983 bei den Firmen Brown, Boveri & Cie AG, Mannheim, und Lahmeyer International GmbH, Frankfurt, für thermische Kraftwerksprojekte tätig. Seit 1983 Projektleiter am Institut für Kernenergie und Energiesysteme (IKE) der Universität Stuttgart und seit 1990 verantwortlich für die Abteilungen „Systemtechnische Grundlagen und Methoden“ und „Energieplanung in Entwicklungsländern“ am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart.

Prof. Dr.-Ing. Alfred Voß, geboren am 1. Februar 1945 in Wanne-Eickel, Studium des Maschinenbaus an der RWTH, Aachen (Diplom 1970), Promotion 1973. Nach wissenschaftlicher Mitarbeit am Institut für Reaktorentwicklung der Kernforschungsanlage Jülich (KFA) war Voß vorerst stellvertretender Leiter und später Leiter der Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE) der KFA. Seit 1983 ist er ordentlicher Professor für Energiewirtschaft und Energiesysteme an der Universität Stuttgart und leitet dort seit 1990 das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Seit 1991 ist Prof. Voß Mitglied der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestages.

1. Hintergrund und Zielsetzung der Untersuchung

Die Gefahren für das Erdklima, verursacht durch CO₂ und andere klimarelevante Emissionen, sollen nach den Beschlüssen der Rio-Konferenz (1992) der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung (UNCED) durch solidarisches Handeln aller Staaten gemildert und langfristig abgewendet werden. Bereits auf der Weltkonferenz „The Changing Atmosphere“ in Toronto im Jahr 1988 wurde gefordert, die weltweiten CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005 um 20 Prozent und bis zum Jahr 2050 um 50 Prozent zu reduzieren [1].

Die CO₂-Emissionen des Jahres 1988, die fast ausschließlich aus Energiewandlungsprozessen stammen, betragen in Österreich 53,7 Millionen Tonnen [2]; derzeit werden 57,8 Millionen Tonnen energiebedingt freigesetzt. Eine 20prozentige Reduktion, die nach dem Willen der österreichischen Regierung bis 2005 erreicht werden soll, würde bedeuten, daß nur noch 43 Millionen Tonnen CO₂ emittiert werden [3]. Die deutsche Bundesregierung hat eine 25- bis 30prozentige Reduzierung bis 2005 auf der Basis der Emissionen von 1987 beschlossen, und die Europäische Union will ihre CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2000 auf der Basis von 1990 stabilisieren.

Derartige Treibhausgasreduktionsziele zur Begrenzung klimatischer Veränderungen werden wohl nur erreicht werden können, wenn die gesamtwirtschaftlichen Belastungen einer CO₂-Minderung volkswirtschaftlich verkraftbar sind. Aus diesem Grunde gewinnen kosteneffiziente Reduktionsstrategien, die den Aufwand zur Erreichung der Minderungsziele so gering wie möglich halten, ihre große Bedeutung.

Der Verband der Elektrizitätswerke Österreichs (VEÖ), die Wirtschafts-

kammer, die Industriellenvereinigung und das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart haben im Rahmen eines kooperativen Forschungsprojekts die Kohlendioxidminderungsmöglichkeiten in Österreich untersucht und erste kosteneffiziente Strategien zur Erreichung des Minderungsziels analysiert.

2. Methodischer Ansatz

2.1 Methode der Kosteneffektivitätsanalyse

Der methodische Ansatz des Kooperationsprojekts beruht auf einer integrierten, systemaren Betrachtung aller möglichen Treibhausgasminderungsmaßnahmen, die alle Stufen der Energienutzungskette von der Primärenergiegewinnung bis zur Bereitstellung der Energiedienstleistungen einschließt. Im Rahmen einer dynamischen Kosten-Effektivitäts-Analyse werden dabei die Energieeinsparmöglichkeiten wie auch die Substitutionsmöglichkeiten fossiler Energieträger sowohl in der Energiewirtschaft wie auch bei den Endverbrauchern erfaßt und entsprechend ihrem Kosten-Nutzen-Verhältnis zur Reduzierung der energiebedingten CO₂-Emissionen ausgewählt.

Zu diesem Zweck wurde das Computermodell EFOM-ENV verwendet, das in vereinfachter Form in Abb. 1 dargestellt ist. EFOM-ENV ist ein dynamisches, lineares Optimierungsmodell, das bereits für verschiedene Länder der Europäischen Union (EU) zur Analyse von Treibhausgasminderungsmöglichkeiten eingesetzt wurde. Mit diesem Modell werden verschiedene Szenarien, die mögliche Zukunftsentwicklungen des Energiesystems darstellen, analysiert. Die Szenarien dürfen hierbei nicht als Prognosen mißverstanden werden, da es nicht darum geht, den Energieverbrauch und die damit verbundenen CO₂-Emissionen, z. B. des Jahres 2010 vorherzusagen. Sondern sie dienen dazu, unter Berücksichtigung unsicherer Zukunftsentwicklungen, Informatio-

* Vortrag von Prof. A. Voß im Rahmen der Zweijahrestagung des Verbandes der Elektrizitätswirtschaft Österreichs vom 30. Mai bis 1. Juni 1994 in Maria Enzersdorf.

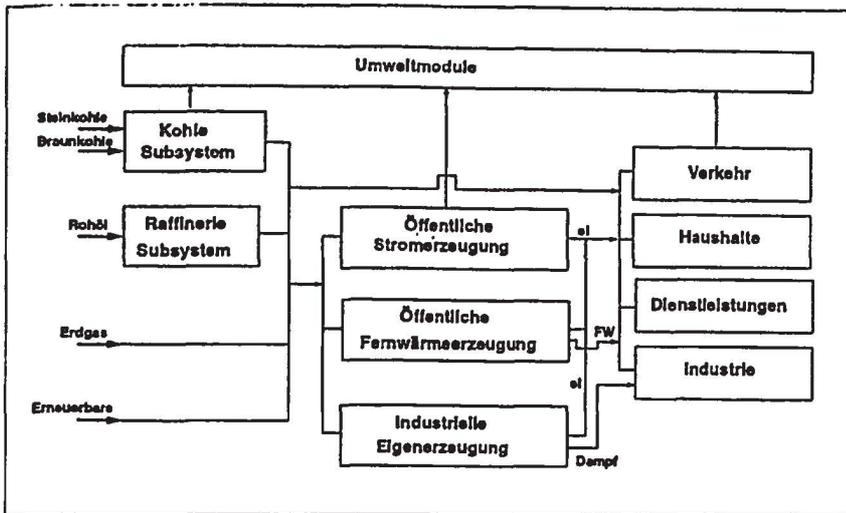


Abb. 1: Grundstruktur des EFOM-Modells

nen über die heute einzuleitenden Maßnahmen zur Reduktion der energiebedingten CO₂-Emissionen zu erarbeiten und aufzuzeigen, wie das 20prozentige Reduktionsziel kosteneffizient erreicht werden kann.

2.2 Möglichkeiten der CO₂-Minderung

Das Modell bildet die existierenden Energieanlagen mit ihren jeweiligen technischen, ökonomischen und umweltrelevanten Parametern sowie ihrer Altersstruktur ab und berücksichtigt auch neue Techniken, die für den Ersatz- und Erweiterungsbedarf ausgewählt werden.

Für die Stromerzeugung stehen als zukünftige Optionen neben zusätzlichen Wasserkraftanlagen und den konventionellen, fossilen Kraftwerken auch fortgeschrittene GuD-Anlagen, Kraftwerke zur Stromerzeugung aus Biomasse und Deponiegas, aus Wind und Sonne sowie verschiedene Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung zur Verfügung. Effizienzverbesserungen und Brennstoffsubstitutionen werden auf der technologischen Ebene beschrieben.

Die Möglichkeiten der Energieeinsparung bei der Bereitstellung von Energiedienstleistungen in den verschiedenen Endverbraucherbereichen werden im Modell explizit mit ihren Kosten und Wirkungen erfasst. Eine Ausnahme bildet der Verkehrsbereich, wo vereinfachend von bestimmten Verkehrsleistungen im Zeitablauf ausgegangen wird, die sich auch durch neue Rahmenbedingungen, wie Energiepreisschwankungen, andere Verhaltensweisen usw., nicht ändern.

Abb. 2 zeigt exemplarisch die Kosten-

funktion der Energieeinsparung durch nachträgliche Wärmedämmung bei bestehenden Ein- und Zweifamilienhäusern und im oberen Teil die technischen Einsparpotentiale für verschiedene Zeitpunkte des Analysezeitraumes, die sich im Zusammenhang mit den Renovierungszyklen ergeben.

Im Modell werden die verschiedenen Energieeinsparoptionen und die Substitutionsmöglichkeiten fossiler Energieträger entsprechend ihrer Kosteneffizienz zur CO₂-Minderung herangezogen.

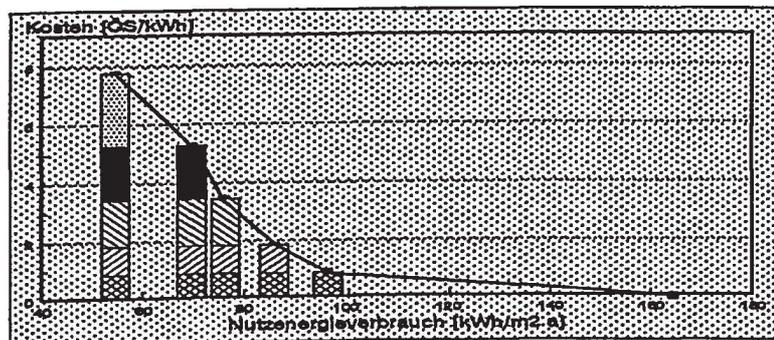
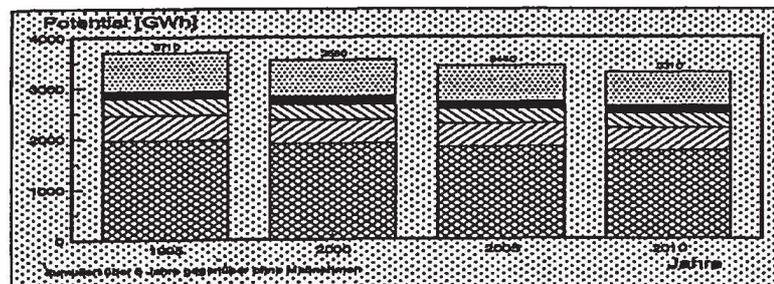


Abb. 2: Dämmmaßnahmen bei Ein- und Zweifamilienhäusern – Altbauten

3. Modellannahmen

Die Kostenrechnung wurde aus volkswirtschaftlicher Sichtweise in realen Preisen des Jahres 1990 und mit einer Diskontrate von 4 Prozent durchgeführt.

Wesentliche Annahmen der Analyse

Die zukünftige Entwicklung des Energiebedarfs und der Energieversorgung wird von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt, die teilweise, wie z. B. die Preisentwicklungen bei den Importenergien, vom Weltwirtschaftsgeschehen abhängen. In Tabelle 1 sind wichtige Rahmenannahmen, die der Untersuchung zugrunde liegen, zusammengefasst. Ein wesentlicher Bestimmungsparameter für den zukünftigen Energieverbrauch ist die Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes, das in Österreich im Basisjahr 1990 der Studie 1798 Milliarden Schilling betrug. Für die Zukunft wird die Zunahme des BIP um durchschnittlich 2,3 bzw. 2,5 Prozent pro Jahr zugrunde gelegt, so daß zum Jahr 2010 das BIP auf rund 2850 Milliarden Schilling ansteigen würde. Es wird weiter angenommen, daß sich die Bevölkerungszahl in Österreich nach einer weiteren Wachstumsphase bis zum Ende des Analysezeitraumes bei 8,2 Millionen Einwohnern stabilisieren wird. Im Zuge der Bevölkerungszunah-

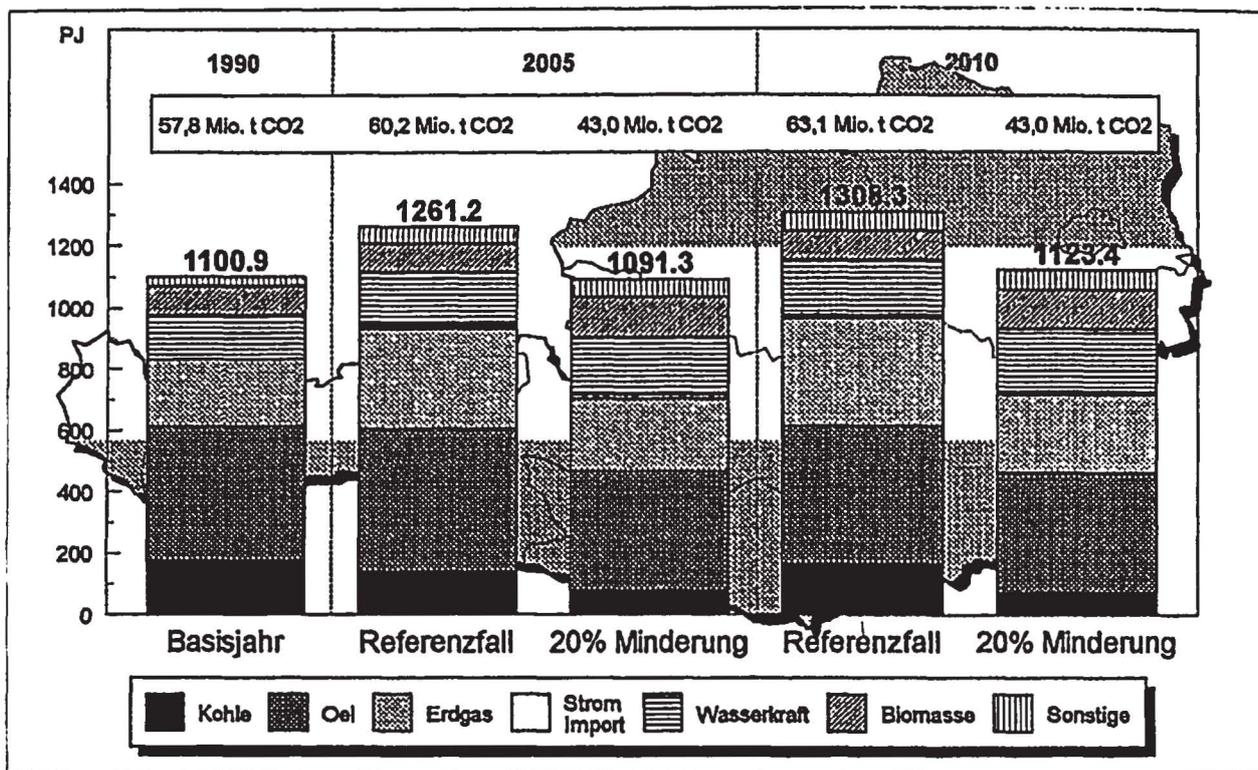


Abb. 3: Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen in Österreich

me wird vor allem in den nächsten Jahren auch der Wohnungsbestand ansteigen.

Der Energiebedarf des Verkehrs wird auf Grund der geschätzten Verkehrsleistungen ermittelt. Es wird angenommen, daß die Personenverkehrsleistung aller Verkehrsmittel, also der Pkw, Busse, Bahnen und des Luftverkehrs, von 93 Milliarden Personenkilometern (Pkm) im Basisjahr mit einer mittleren Wachstumsrate von 1,2 Prozent auf zirka 118 Milliarden Pkm bis zum Jahr 2010 anwächst. Entsprechend steigen die Güterverkehrsleistungen mit Lkw,

Schiff und Bahn von 21 Milliarden Tonnenkilometern (Tkm) im Jahr 1990 auf fast 28 Milliarden Tkm im Jahr 2010, was einer mittleren Steigerungsrate von 1,4 bis 1,5 Prozent Jahr pro entspricht.

Die Modellergebnisse für die Kosteneffektivitätsanalyse Österreich sollen mit den Analysen für andere EU-Länder verglichen werden, wie sie im Rahmen des Joule-Programms der EU durchgeführt wurden [4]. Danach wird unterstellt, daß die realen Rohölpreise im Geldwert von 1990 bis 1995 zunächst leicht zurückgehen, um dann bis zum Jahr 2010 auf etwa 34 Dollar

pro Barrel anzusteigen. Die Erdgaspreise steigen noch etwas stärker als die des Rohöls, während die Importkohlepreise nur moderat wachsen (siehe Tabelle 1).

4. Ergebnisse und Schlußfolgerungen

4.1 Primärenergieverbrauch

Der Primärenergieverbrauch betrug im Jahr 1990 1100 PJ. Den wesentlichen Anteil an Primärenergieverbrauch hatte mit 40 Prozent das Erdöl. Kohle hatte einen Anteil von etwa 16 Prozent und Gas von 20 Prozent am Primärenergieverbrauch. Die Wasserkraft trug 13 Prozent und die sonstigen erneuerbaren Energieträger einschließlich der Biomasse und brennbaren Abfällen trugen etwa 11 Prozent zum Primärenergieverbrauch bei. Etwa 70 Prozent des inländischen Primärenergieverbrauchs bestehen aus Importen.

Nach den Untersuchungsergebnissen steigt im sogenannten „Referenzfall“, der keine politischen Maßnahmen zur Treibhausgasminderung unterstellt, der Primärenergieverbrauch bis zum Jahr 2010 auf über 1300 PJ an; dies entspricht einem Mehrverbrauch von fast 20 Prozent gegenüber dem Jahr 1990. Der Ölverbrauch ändert sich dabei nur unwesentlich und auch der Kohleverbrauch sinkt nur geringfügig, während

Tab. 1: Rahmenannahmen

Annahme	Modellannahmen			Durchschnittliche jährliche Veränderung in %	
	1990	2005	2010	1990 - 2005	2005 - 2010
- Bruttoinlandsprodukt in Preisen von 1990 in [Mrd ÖS]	1798	2517	2848	2.3	2.5
- Bevölkerungsentwicklung in [Mio Personen]	7.7	8.2	8.2	0.4	—
- Personenverkehr Verkehrsleistungen in [10 ⁹ Pkm]	93	114	118	1.4	0.7
- Güterverkehr Verkehrsleistungen in [10 ⁹ Tkm]	21	26	28	1.4	1.5
- Internationale Energie-Importpreise					
- Rohöl in [US\$/Barrel]	23	28	34	1.3	4.0
- Erdgas in [US\$/1000 m ³]	98	145	178	2.7	4.2
- Steinkohle in [US\$/t SKE]	54	55	58	0.01	1.1

der Erdgasverbrauch von 219 PJ in 1990 auf rund 350 PJ im Jahr 2010 ansteigt. Bei den Modellrechnungen wurden die möglichen Gasbezüge als unbegrenzt angenommen. Die Stromerzeugung aus Wasserkraft wächst von 32,5 TWh [5] auf fast 40 TWh an. Trotz eines Rückgangs des Verbrauchs an Kohle würden die jährlichen energiebedingten CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005 auf über 60 Millionen Tonnen und bis 2010 auf über 63 Millionen Tonnen anwachsen.

Im Fall einer 20prozentigen CO₂-Minderung werden insbesondere Maßnahmen der Energieeinsparung als effizient identifiziert, was zu einem Rückgang des Primärenergieverbrauchs um etwa 170 PJ bis zum Jahr 2005 und um 185 PJ bis zum Jahr 2010 gegenüber dem Referenzfall führt. Auch der Energieträgermix würde sich zugunsten der Biomasse, der brennbaren Abfälle und der Wasserkraft verändern, wohingegen der Verbrauch an Mineralölprodukten und vor allem an Kohle und Erdgas reduziert würde. Die erneuerbaren Energiequellen, wie Sonnen- und Windenergie, würden Beiträge in der Größenordnung von 5 PJ liefern. Der Primärenergieverbrauch, aufgeschlüsselt nach den jeweiligen Energieträgern, sowie die CO₂-Emissionen sind in Abb. 3 für das Referenz- und das Reduktionsszenario gegenübergestellt.

Die Entwicklung der CO₂-Emissionen nach Sektoren und Energieträgern, die

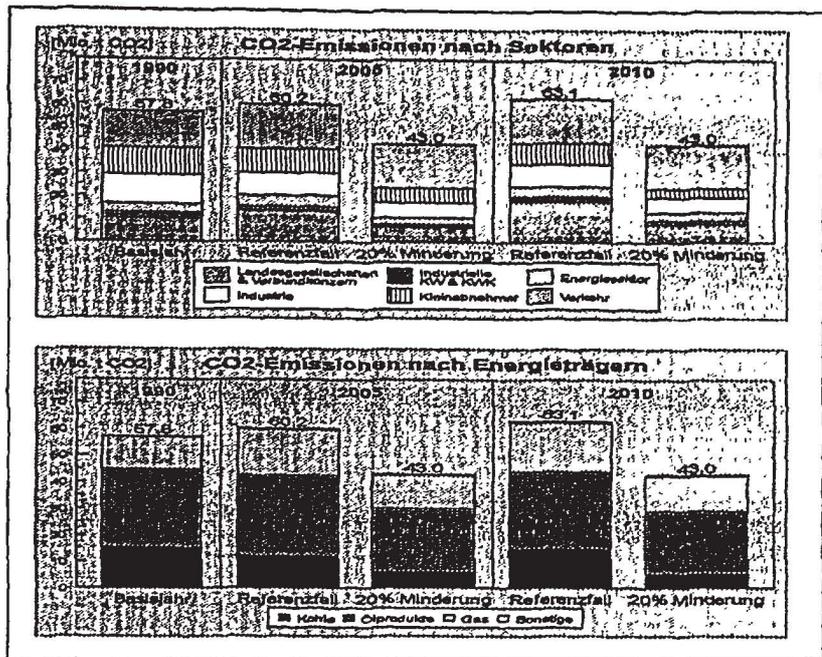


Abb. 4: CO₂-Emissionen nach Sektoren und Energieträgern

in Abb. 4 dargestellt ist, zeigt für den Referenzfall keine gravierenden Veränderungen in der prozentualen Aufteilung gegenüber den Werten des Basisjahres. Die Gesamtemissionen steigen von 57,8 Millionen Tonnen CO₂ im Basisjahr auf 60 Millionen Tonnen im Jahr 2005 und auf 63 Millionen Tonnen im Jahr 2010. Im 20-Prozent-Reduktionsfall werden die Emissionen ab dem Jahr 2000 auf dem Niveau des Basisjahres

stabilisiert und von 2005 an auf 43 Millionen Tonnen reduziert. Hauptemittent ist in beiden Fällen der Verkehrssektor, dessen CO₂-Ausstoß nahezu unverändert bleibt, da die CO₂-Reduktionsmöglichkeiten durch Verkehrsverlagerung und Verkehrsvermeidung nicht erfasst sind und der Einsatz von biogenen Kraftstoffen sich nicht als effizient ergeben hat. In allen übrigen Sektoren sind im Reduktionsfall die CO₂-Emissionen auf Grund von Einsparungen und Brennstoffsubstitutionen deutlich niedriger als im Referenzfall.

4.2 Strom- und Fernwärmeerzeugung

Die Entwicklung der Strom- und Fernwärmeerzeugung weist in beiden Szenarien deutliche Unterschiede auf. Die Stromerzeugung in thermischen Kraftwerken steigt im Referenzfall von rund 17,9 TWh auf 34 TWh bis zum Ende des Betrachtungszeitraums an. Die Erzeugung von Elektrizität in Wasserkraftwerken steigt im selben Zeitraum von 32,5 TWh auf fast 40 TWh an, so daß insgesamt im Jahr 2010 etwa 74 TWh Strom produziert werden. Die Hauptverbraucher von Strom sind die Kleinabnehmer mit fast 50 Prozent und die Industrie mit 30 Prozent des Gesamtverbrauchs im Jahr 2010. Im Reduktionsfall wird vor allem bei den Kleinabnehmern Strom gespart, so daß bis 2010 etwa 3 TWh weniger produziert werden müssen als im Referenzfall. Die Modellanalysen zeigen im Referenzfall eine deutliche Ausweitung der Fernwärme um über das Doppelte

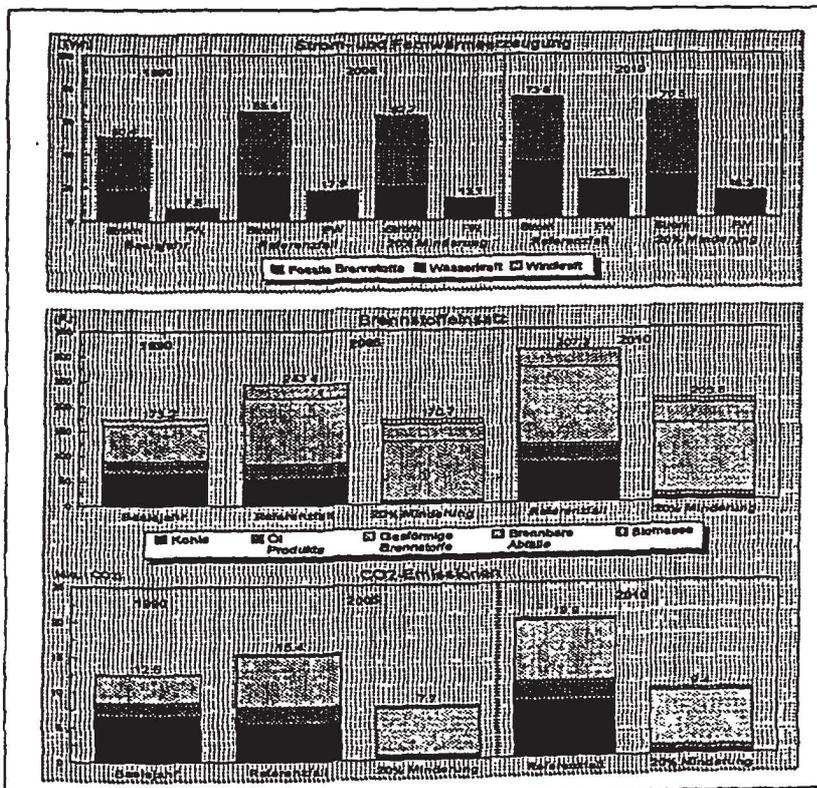


Abb. 5: Strom- und Fernwärmeerzeugung

bis 2005 und um das Dreifache bis 2010. Im Reduktionsfall dagegen ist der Ausbau der Fernwärme deutlich niedriger, da auch die Fernwärmeproduktion aus Heizwerken und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit CO₂-Emissionen verbunden ist. In Abb. 5 sind die Strom- und Fernwärmeproduktion sowie die Brennstoffeinsätze und die CO₂-Emissionen dargestellt, die sich in den Szenarien deutlich unterscheiden. Im Referenzfall ist eine Ausweitung des Gaseinsatzes von 71,6 PJ (1990) auf etwa 156 PJ (2010) festzustellen, während die anderen Brennstoffe keine wesentlichen Veränderungen erfahren. Im Reduktionsfall wird weniger Strom produziert, sehr viel weniger Kohle und Mineralöl verfeuert und zusätzlich etwa 10 PJ Biomasse eingesetzt. Die CO₂-Emissionen steigen im Referenzfall von 12,5 Millionen Tonnen CO₂ auf fast 20 Millionen Tonnen bis zum Jahr 2010 an, während im Reduktionsfall nur 9,5 Millionen Tonnen CO₂ emittiert werden.

4.3 Kosten der CO₂-Minderung

Die Erreichung des von der österreichischen Bundesregierung angestrebten CO₂-Minderungsziels ist mit einem erheblichen Aufwand verbunden, der zu einer Verteuerung der Bereitstellung der Energiedienstleistungen führt. Gegenüber dem Referenzfall erfordert die Erreichung des CO₂-Reduktionsziels Mehraufwendungen über den gesamten Betrachtungszeitraum bis 2010 von

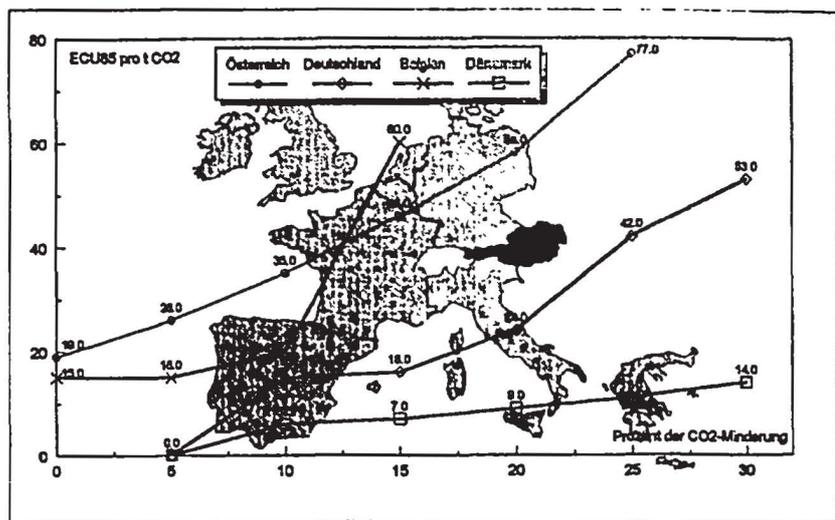


Abb. 6: Kosten der CO₂-Minderung im Vergleich

rund 84 Milliarden Schilling (mit 4 Prozent pro Jahr auf 1990 abdiskontierte Kosten).

In Abb. 6 sind die durchschnittlichen Kosten der Minderung einer Tonne Kohlendioxid in Abhängigkeit vom CO₂-Minderungsumfang für verschiedene europäische Länder dargestellt. Die Minderung energiebedingter CO₂-Emissionen ist demnach in Österreich mit vergleichsweise hohen Minderungskosten verbunden. Für eine 20prozentige Reduktion im Jahr 2005 liegen die durchschnittlichen Kosten mit rund 58 Ecu/t CO₂ oder 870 S/t CO₂ über doppelt so hoch wie in Deutschland. Die marginalen Kosten der CO₂-Minderung betragen für jede

zusätzliche Tonne nicht emittiertes CO₂ im 20-Prozent-Reduktionsfall 163 Ecu bzw. 2400 Schilling.

Darüber hinaus sind weitere CO₂-Reduktionen technisch machbar, jedoch mit einem erheblichen Mehraufwand verbunden. In Abb. 7 sind die gesamten diskontierten Kosten, die durchschnittlichen Kosten und die marginalen Kosten der CO₂-Minderung in Abhängigkeit vom CO₂-Minderungsumfang für Österreich aufgetragen.

Setzt man die zusätzlichen Anwendungen für die CO₂-Minderung in Relation zum Bruttoinlandsprodukt, so ergeben sich Zusatzkosten von 0,25 Prozent (beim Bezugsjahr 2005) für eine 10prozentige Reduktion, 0,6 Prozent für eine 20prozentige Reduktion gemäß den Zielvorstellungen der österreichischen Regierung und etwa 0,9 Prozent für eine darüber hinausgehende Reduktion von 25 Prozent, die technisch machbar wäre. Wählt man 2010 als Bezugsjahr, so sind Aufwendungen relativ niedriger; sie liegen zwischen 0,23 und 0,83 Prozent des BIP für entsprechende CO₂-Reduktionsniveaus.

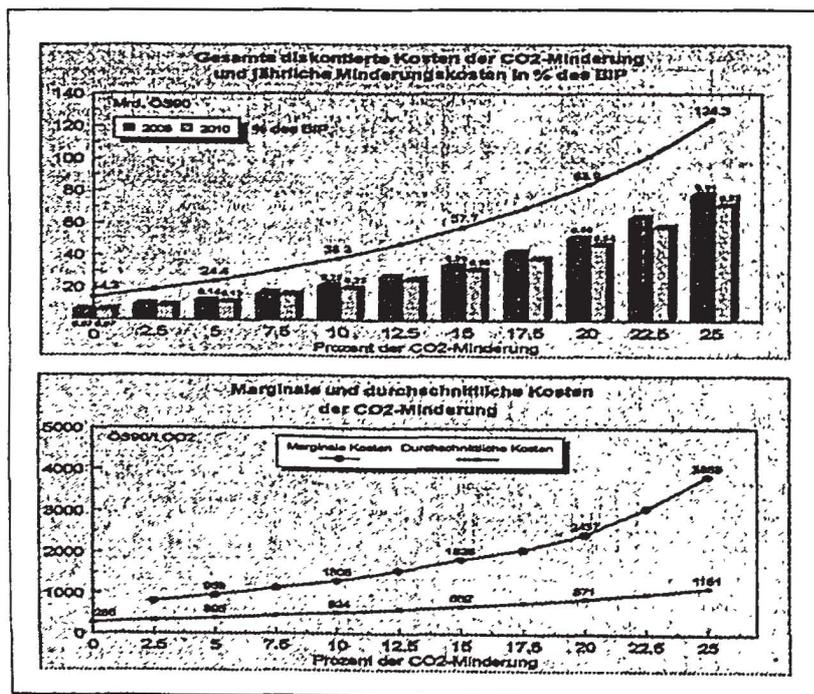


Abb. 7: Gesamte zusätzliche diskontierte Kosten der CO₂-Minderung

4.4 Sensitivitätsanalysen

Um die Robustheit der Ergebnisse in Hinblick auf die zukünftige Entwicklung wichtiger Rahmenannahmen zu untersuchen und um die Studie mit anderen Analysen der Europäischen Union vergleichbar zu machen, wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

Eine wesentliche Annahme besteht in der Festlegung der zukünftigen Energieimportpreise gemäß den Vereinbarungen in den sogenannten „Crash-Action“-Studien der EU, die 1991 abgeschlossen wurden. Aktuellere Stu-

dien gehen von niedrigeren Weltenergiepreisen aus [6]. In einer Sensitivitätsanalyse „reduzierter Preisanstieg“ steigt der Gaspreis anstatt bis 4,8 nur auf 3,8 Dollar/GJ im Jahr 2010. Der Ölpreis wird entsprechend auf 4,1 entgegen 5,9 Dollar/GJ reduziert. Als Konsequenz dieser Modifikation steigt der Gasverbrauch im Referenzfall um 30 PJ im Jahr 2010 an. Dafür werden 35 PJ weniger Kohle genutzt. Die anderen Energieträgerververbräuche sind in derselben Größenordnung geblieben. Insgesamt würden durch die günstigeren Energiepreise 31 Milliarden Schilling eingespart.

Die Sensitivitätsanalyse „reduzierte Preise“ zeigt im Reduktionsfall, daß insbesondere mehr Gas eingesetzt wird. So werden im Vergleich zum Standardlauf bis zum Jahr 2010 zusätzlich 14,5 PJ Gas und 18,3 PJ Mineralöl weniger verbraucht. Die anderen Energieträgerververbräuche sind in derselben Größenordnung geblieben. Insgesamt würden durch die günstigeren Energiepreise 28,5 Milliarden Schilling eingespart.

Der Ausbau der Wasserkraftnutzung wird insbesondere im 20-Prozent-Reduktionsfall sehr intensiv betrieben. Obwohl damit das Wasserkraftpotential Österreichs, das bei 54 TWh liegt [7], noch nicht ausgeschöpft ist, ist nicht auszuschließen, daß aus ökologischen, landschaftsplanerischen und genehmigungsrechtlichen Problemen ein derartig forcierter Wasserkraftausbau nicht zu realisieren sein könnte. In der Sensitivitätsanalyse „begrenzter Wasser-

Tab. 2: Sensitivitätsanalysen: reduzierte Energieträgerpreise und begrenzter Wasserkraftausbau

Referenzfall	Standardlösung			Reduzierte Preise ¹		Begrenzter Wasserkraftausbau	
	1990	2005	2010	2005	2010		
Primärenergieverbrauch, [PJ]							
- Kohle	173.6	138.7	165.2	136.2	129.5		
- Ölprodukte	441.1	465.6	448.9	475.6	449.8		
- Gasförmige Brennstoffe	219.2	327.1	349.8	321.2	380.3		
- Strom (Imports-Exporte)	-1.7	12.1	11.5	12.1	11.5		
- Wasserkraft	144.6	170.6	179.0	170.6	179.0		
- Biomasse	91.4	91.4	91.4	91.4	91.4		
- Sonstige Brennstoffe	32.7	55.7	62.5	55.2	62.5		
Insgesamt	1100.9	1261.2	1308.3	1262.4	1304.0		
Endenergieverbrauch, [PJ]	827.4	934.9	969.3	944.4	968.5		
Energieeinsparungen, [PJ]		8.9	10.6	8.1	10.6		
Stromerzeugung, [TWh]	50.4	65.4	73.8	65.5	73.8		
CO ₂ -Emissionen, [kt CO ₂]	57.8	60.2	63.1	59.7	61.4		
Mehrkosten, [Mrd.ÖS]					-31.0		
20 % CO ₂ -Minderung	Standardlösung			Reduzierte Preise ¹		Begrenzter Wasserkraftausbau	
	1990	2005	2010	2005	2010	2005	2010
Primärenergieverbrauch, [PJ]							
- Kohle	173.6	77.8	71.2	77.8	71.3	77.8	71.2
- Ölprodukte	441.1	387.3	389.2	387.3	370.9	387.5	361.2
- Gasförmige Brennstoffe	219.2	237.2	254.0	237.2	268.5	236.8	281.8
- Strom (Imports-Exporte)	-1.7	12.1	11.5	12.1	11.5	12.1	11.5
- Wasserkraft	144.6	188.8	203.7	188.3	196.7	172.5	181.3
- Biomasse	91.4	131.0	129.1	131.0	127.1	134.8	129.1
- Sonstige Brennstoffe	32.7	57.1	64.7	57.1	64.8	75.0	64.8
Insgesamt	1100.9	1091.3	1123.4	1090.8	1110.8	1096.5	1100.7
Endenergieverbrauch, [PJ]	827.4	834.2	834.6	833.7	840.9	828.7	827.7
Energieeinsparungen, [PJ]		101.1	124.5	101.5	119.1	105.2	130.8
Stromerzeugung, [TWh]	50.4	62.7	70.6	62.8	70.4	62.7	70.2
CO ₂ -Emissionen, [kt CO ₂]	57.8	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0
Mehrkosten, [Mrd.ÖS]					-28.5		11.3

kraftausbau“ wird unterstellt, daß im Reduktionsfall die Wasserkraft nur im selben Umfang wie im Referenzfall genutzt werden kann. In diesem Fall wird fast 28 PJ mehr Gas eingesetzt als im Standardlauf, und die Energieeinsparmaßnahmen werden weiter vorangetrieben. Die Gesamtkosten der CO₂-Minderung steigen um 11,3 Milliarden Schilling.

4.5 Schlussfolgerungen

Sollen die CO₂-Emissionen entsprechend den Zielvorgaben der österreichischen Regierung bis zum Jahr 2005 um 20 Prozent gegenüber denen des Jahres 1988 reduziert werden, so zeigen die Modellrechnungen, daß dazu ein Bündel von Maßnahmen sowohl zur effizienteren Energienutzung als

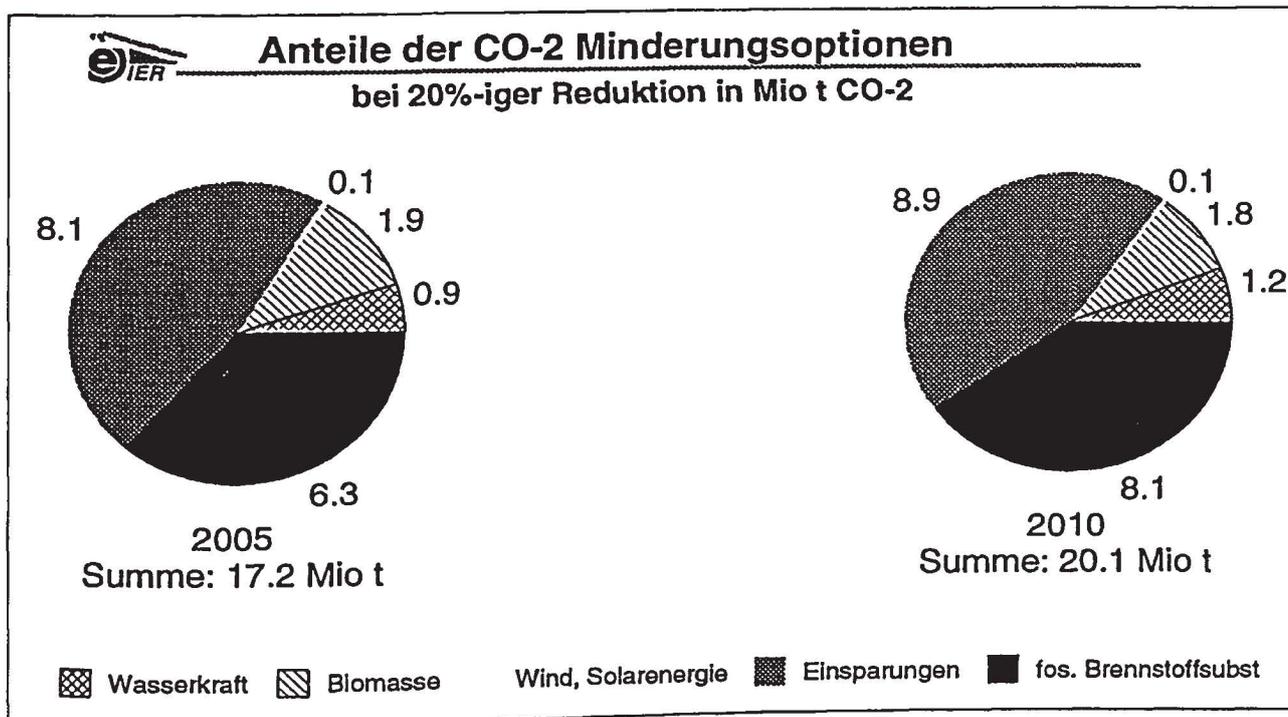


Abb. 8: Anteile der CO₂-Minderungsoptionen bei 20prozentiger Reduktion

auch zur Substitution fossiler Energieträger notwendig wäre. Durch verbesserte Wärmedämmung im Gebäudebereich, Energieeinsparungen in der Industrie, effizientere Haushaltsgeräte und einen Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung ließe sich der Primärenergieverbrauch um 14 Prozent gegenüber dem Referenzfall reduzieren. Eine Reduktion des Verbrauchs an fossilen Energieträgern, insbesondere eine Halbierung des Kohleinsatzes, sowie eine Reduzierung des Verbrauchs an Mineralöl würden im Zusammenhang mit einer Ausweitung der Nutzung von Biomasse und einem weiteren Ausbau der Wasserkraft eine Erreichung des Minderungsziels ermöglichen.

Als kosteneffizient wurden folgende Maßnahmen identifiziert:

- Minderung des Verbrauchs fossiler Energieträger durch rationelle Energienutzung oder Energiesparen insbesondere in den Haushalten und in der Industrie (z. B. durch verbesserte Wärmedämmung),
- Substitution kohlenstoffreicher Energieträger wie der Kohle durch kohlenstoffärmere Energieträger wie Erdgas,
- Ersatz fossiler Energieträger durch CO₂-freie Energiequellen wie die Biomasse, brennbare Abfälle und die Wasserkraft,
- verstärkter Ausbau der Fernwärme.

Die unterschiedlichen Beiträge der einzelnen Maßnahmen zur gewünschten CO₂-Reduktion sind in Abb. 8 gezeigt.

Im Vergleich zum Referenzfall dürfen im Jahr 2005 nur 43 Millionen Tonnen CO₂, also insgesamt 17,2 Millionen Tonnen CO₂ weniger emittiert werden, um das Regierungsziel zu erreichen. Bewertet man die CO₂-emissionsfreien Energietechniken, wie die Wasserkraft, die Wind- oder Solarenergienutzung, den Biomasseinsatz und Einsparmaßnahmen mit dem durchschnittlichen Emissionsfaktor des Referenzfalles, so ergibt sich folgendes Bild. Im Jahr 2005 entfällt auf den gesamten Bereich der Energieeinsparungen bei den Haushalten und in der Industrie eine CO₂-Minderung von 8,1 Millionen Tonnen CO₂, die verstärkte Nutzung der Biomasse bringt eine Reduktion um 1,9 Millionen Tonnen und der weitere Ausbau der Wasserkraft 0,9 Millionen Tonnen Minderemissionen. Die Brennstoffsubstitution der fossilen Energieträger bewirken Emissionsreduktionen von etwa 6,3 Millionen Tonnen. Im Jahr 2010 müssen 20,1 Millionen Tonnen CO₂ gegenüber dem Referenzfall eingespart werden. Langfristig werden vor allem Energieeinsparmaßnahmen, die bis 2010 fast die Hälfte der CO₂-Emissionsreduktion bewirken, als kosteneffizient identifiziert. Daneben werden Brennstoffsubstitutionen mit einem CO₂-Minderungspotential von über 8 Millionen Tonnen gegenüber dem Referenzfall eine große Bedeutung haben.

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes liefern erste wichtige Anhaltspunkte über die Möglichkeiten und Kosten einer CO₂-Minderung in Österreich. Sie sind durch detailliertere Analysen ein-

zelner Bereiche sowie durch weitere Sensitivitätsanalysen weiter zu fundieren und abzusichern.

Literatur

- [1] WMO/UNEP, 1989: Conference Proceedings "The Changing Atmosphere: Implications for Global Security" (Toronto 27-30 Juni 1988), WMO No. 710. WMO, Genf.
- [2] Umweltbundesamt: CO₂-Emissionsentwicklung und Prognose für Österreich, Jänner 1992.
- [3] Akademie für Umwelt und Energie, Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie. Empfehlungen der Österreichischen CO₂-Kommission für ein Aktionsprogramm zur Erreichung des Toronto-Zieles. Wien, Laxenburg 1992.
- [4] Joule-Programme, Models for Energy & Environment. Cost-Effectiveness Analysis of CO₂ Reduction Options. Mai 1991.
- [5] Österreichisches Statistisches Zentralamt (ÖSTAT), 1990: Energieversorgung Österreichs. Jahresheft 1990.
- [6] Commission of the European Communities, Directorate General XII. Cost-Effectiveness Analysis of CO₂-Reduction Options. Country Reports. Mai 1991.
- [7] G. Schiller, 1988: Die Bedeutung der Wasserkraft für Österreich. „ÖZE“, Jahrgang 41, Heft 5.