



Kraftwerk Jänschwalde, Block 4.

Bild: profi-foto-kliche

CO₂-Minderungspotential der Kraft-Wärme-Kopplung

Ein Rückblick auf die Arbeiten der Enquête-Kommission

Dr. Ulrich Fahl, Dipl.-Phys. Thomas Pfeifer, Prof. Dr. Alfred Voß, Stuttgart

Von einem verstärkten Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird ein wesentlicher Beitrag zur Bewältigung gegenwärtiger bzw. in naher Zukunft drohender Umwelt- und Klimaprobleme erwartet. Dies äußert sich auch darin, daß die KWK einen der Eckpfeiler des CO₂-Minderungsprogramms der Bundesregierung bildet. Wie die folgende Analyse der Arbeiten zur KWK im Rahmen des Studienprogramms der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des 11. Deutschen Bundestages zeigt, sind aber trotz erheblichen Forschungsaufwandes in diesem Bereich noch sehr viele Fragen offen geblieben. Derartige Lücken könnten geschlossen werden, wenn das Potential der KWK zur CO₂-Minderung über die Erzeugungsmöglichkeiten von Fern- und Nahwärme sowie der industriellen Eigenerzeugung zusammen mit den Wärmeanwendungen und -einsparmöglichkeiten ermittelt wird.

Als Maßnahmen zur Verringerung der energiebedingten CO₂-Emissionen werden in der Energiepolitik u. a. die Novellierung des Energiewirtschaftsgesetzes, eine Anpassung der Wärmeschutzverordnung, der Heizungsanlagenverordnung und der Kleinf Feuerungsanlagenverordnung sowie eine grundlegende Umstrukturierung im Verkehrsbereich diskutiert [1]. Eckpfeiler des

Dr. U. Fahl, Dipl.-Phys. T. Pfeifer, Prof. Dr. A. Voß, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart.

CO₂-Minderungsprogrammes der Bundesregierung [2] sollen ferner der verstärkte Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in der öffentlichen und industriellen Energieversorgung und die Nutzung industrieller Abwärme, der Einsatz moderner Kraftwerkstechniken sowie die Verbesserung des Wärmeschutzes im Gebäudebereich sowie der Einsatz effizienter Heizungstechniken, Haushaltsgeräte und Beleuchtungssysteme sein.

Diese von der Bundesregierung empfohlenen Maßnahmen stützen sich auf die Arbeiten der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des 11. Deutschen Bundestages, die im Oktober 1990 ihren 3. Zwischenbericht zum Thema „Schutz der Erde“ vorgelegt hat [3]. Die Enquête-Kommission hat die Bundesregierung ersucht, geeignete Schritte zu unternehmen, damit die Energiewirtschaft durch Verbesserung der Energieeffizienz erhebliche Reduktionen der Emissionen der klimarelevanten Spurengase bei der Energieumwandlung und -bereitstellung, insbesondere bei der Verbrennung der fossilen Energieträger, erzielt. Als eines der Elemente für eine solchermaßen zu entwickelnde Strategie hat die Enquête-Kommission die verstärkte Anwendung der KWK mit vertraglichen Vereinbarungen zur Abnahme des in diesen Anlagen, z. B. in der Industrie, erzeugten Stroms und den Ausbau der Nah- und Fernwärmeversorgung genannt. Diese Empfehlung aus einem breiten Maßnahmenkatalog basiert auf dem umfangreichen Studienprogramm der Enquête-Kommission. Sie fordert eine Reduktion der CO₂-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2005 um 30%, bis zum Jahr 2020 um 50%, bis zum Jahr 2050 um 80% und bezieht sich dabei auf das Basisjahr 1987 [3].

Ausgangssituation 1987

Im Jahre 1987 wurden in der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) insgesamt 716 Mio. t CO₂/a (einschl. 10 Mio. t CO₂/a aus dem internationalen Luftverkehr) emittiert. Damit trägt die Bundesrepublik Deutschland (alt) zu 3,2% zu den weltweiten CO₂-Emissionen bei. Die Emissionssituation für CO₂ im Jahr 1987 in der Bundesrepublik Deutschland (alt) ist in Bild 1 getrennt für die unterschiedlichen fossilen Energieträger und für die verschiedenen Emittentenbereiche aufgeführt.

232,4 PJ/a wurden in der Bundesrepublik Deutschland (alt) im Jahr 1987 in die Fernwärmenetze eingespeist [4]. Hier-von entfallen 71,6% auf Heizkraftwerke, 26,1% auf Heizwerke sowie 2,3% auf industrielle Abwärmenutzung. In den KWK-Anlagen der Fernwärmeversorgung wur-

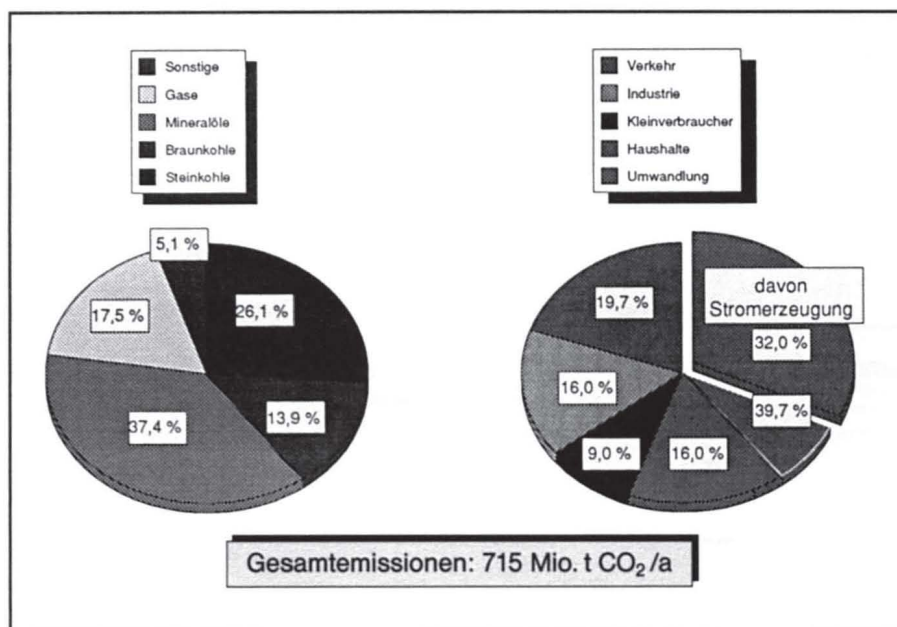


Bild 1: Energiebedingte CO₂-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1987 (Bilanzierung der Industrieeigenstromerzeugung bei der Stromerzeugung und nicht bei der Industrie).

den gleichzeitig 15,5 TWh/a Strom (netto) erzeugt. Dies entspricht einem Anteil von 4,7% an der Nettostromerzeugung der öffentlichen Stromversorgung. Zur Fernwärme- und Stromerzeugung in KWK-Anlagen wurden 254,3 PJ/a an Brennstoffen eingesetzt. Hiermit waren CO₂-Emissionen in Höhe von 20,6 Mio. t CO₂/a verbunden, das sind 2,9% der gesamten CO₂-Emissionen der Bundesrepublik Deutschland (alt).

Zusätzlich wird auch in industriellen Eigenerzeugungsanlagen die KWK eingesetzt. Hier sind nach [5] im Jahr 1987 insgesamt 267 PJ/a an Wärme und 22,9 TWh/a an Strom (brutto) erzeugt worden. Dies sind 40,4% der gesamten Bruttostromerzeugung in industrie-eigenen Anlagen. Der Brennstoffeinsatz beträgt insgesamt 399,1 PJ/a, woraus CO₂-Emissionen in Höhe von 30,6 Mio. t CO₂/a resultieren. Das sind 4,3% der gesamten CO₂-Emissionen der Bundesrepublik Deutschland (alt).

Ausgehend von dieser Situation im Jahre 1987 wurde im Rahmen des Studienprogramms der Enquête-Kommission der mögliche Beitrag der KWK zur CO₂-Minderung in mehreren Einzelstudien getrennt voneinander analysiert. Im Studienschwerpunkt A.1.7 wurde die Emissionsminderung durch rationelle Energienutzung im Umwandlungssektor untersucht [5], wobei hier die möglichen Potentiale der Fernwärmenutzung sowie der Anteil, der davon durch KWK auf fossiler Basis gedeckt werden kann, analysiert wurden. Dieser Teil wurde im Studienkomplex A.1 in einer Gesamtbeurteilung der Emissionsminderung durch rationelle Energienutzung zusammengefaßt [6]. Der Studienschwerpunkt A.2.4 befaßte sich mit den Potentialen der Emissionsminderung durch den Einsatz

von Biomasse, u. a. auch in KWK-Anlagen [7]. Diese Einzelstudie ist mit in die Zusammenfassung der CO₂-Minderungspotentiale erneuerbarer Energiequellen in den Studienkomplex A.2 eingebunden worden [8]. Im Studienschwerpunkt A.4.2 wurden die Potentiale der CO₂-Minderung einer Wärmeauskopplung aus Kernkraftwerken sowie eines Einsatzes des Hochtemperaturreaktors (HTR) zur industriellen Prozeßwärme- und Prozeßdampfherzeugung ermittelt [9]. Diese Potentiale wurden im Studienkomplex A.4 zusammenfassend dargestellt [10].

Emissionsminderung durch rationelle Energienutzung

Im Studienschwerpunkt A.1.7 wurde zunächst eine Entwicklung der Fernwärmenetzeinspeisung untersucht, wie sie sich bei einem Fortbestehen der Entwicklungstendenzen der Vergangenheit ergeben würde (Potential B; Erwartungspotential) [5]. Gegenüber dem im Potential B untersuchten Erwartungspotential von KWK-Anlagen wurde im Potential A angenommen, daß alle technisch machbaren und betriebswirtschaftlich rentablen Maßnahmen zum Schutz der Erdatmosphäre verwirklicht werden (optimale Entwicklung). Damit würde sich die Wärmenetzeinspeisung von den im Studienschwerpunkt A.1.7 angegebenen 265 PJ/a im Jahr 1987 (AGFW: 232,4 PJ/a [4]) um 1,4% auf ca. 338 PJ/a (B) bzw. um 3,5% auf 494 PJ/a (A) im Jahr 2005 erhöhen. Von der für das Potential B bzw. A ausgewiesenen Wärmenetzeinspeisung werden in der Tabelle 1 [5] insgesamt 239 PJ/a (70,7%) (B) bzw. 349 PJ/a (70,7%) (A) aus KWK-Anlagen erwartet. Dies entspricht einem Wachstum von

2,0%/a bzw. 4,2%/a gegenüber dem Jahr 1987. Durch eine Erhöhung der Stromkennzahl (dem Verhältnis von Strom- zu Wärmeerzeugung) durch verbesserte Prozesse mit höherer Stromausbeute neuer Heizkraftwerkssysteme von 92,8 kWh_e/kJ Fernwärme auf 116,7 (B) bzw. 131,1 (A) kWh_e/kJ wird eine Erhöhung der Nettostromerzeugung in den KWK-Anlagen um 3,2%/a (B) bzw. um 6,2%/a (A) von 15,5 TWh/a im Jahr 1987 auf 27,9 TWh/a (B) bzw. 46,1 TWh/a im Jahr 2005 stattfinden. Für die erzeugten Strom- und Wärmemengen wird ein Brennstoffbedarf von insgesamt 387 PJ/a (B) bzw. 587 PJ/a (A) im Jahr 2005 angesetzt.

Damit beträgt der Gesamtsystemnutzungsgrad der KWK-Anlagen im Jahr 2005 in beiden Varianten 87,7%. Diese leichte Verbesserung des Gesamtsystemnutzungsgrades (1987: 87,6%) wird trotz der mit der Erhöhung der Stromkennzahl verbundenen Nutzungsgradverschlechterung durch den Einsatz effizienterer Technologien erreicht.

Das Erwartungspotential der industriellen KWK wurde im Studienschwerpunkt A.1.7 zu insgesamt 367 PJ/a Wärmeerzeugung und 37,9 TWh/a Bruttostromerzeugung bei einem Brennstoffeinsatz von 578 PJ/a ermittelt. Wesentliches Merkmal der Potentialeinschätzung ist auch hier die enorme Steigerung der Stromkennzahl (von durchschnittlich 85,8 kWh_e/kJ im Jahr 1987 auf 103,3 kWh_e/kJ im Jahr 2005) bei gasgefeuerten HKW-Prozessen mit Gasturbinen, Kombiprozessen und auch Gasmotoren. Das technische Potential der HKW-Anlagen im industriellen Bereich (Potential A) beträgt 624 PJ/a Wärme und 76,9 TWh/a Strom bei einem Brennstoffverbrauch von 1049 PJ/a im Jahr 2005. Hier steigt die Stromkennzahl von 85,8 kWh_e/kJ im Jahr 1987 auf 123,2 kWh_e/kJ im Jahr 2005.

Welche Veränderung der CO₂-Emissionen mit diesen Potentialen des Einsatzes der KWK verbunden ist, hängt von mehreren Parametern ab. Zum einen muß unterschieden werden, ob lediglich ein Übergang von einer getrennten zu einer gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung stattfindet oder ob gleichzeitig damit auch noch eine Brennstoffsubstitution (von CO₂-reichen zu CO₂-armen bzw. -freien Energieträgern) einhergeht. Zum anderen muß für die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung die Vergleichsbasis definiert werden. Im Studienschwerpunkt A.1.7 wurde generell das Ausgangsniveau des Jahres 1987 herangezogen. Des weiteren wurde für die gegenüber dieser Situation zusätzlich erzeugten Mengen an Wärme und Strom eine Gutschrift der KWK zugerechnet, die mit den mit dem zusätzlichen Brennstoffverbrauch der KWK-Anlagen verbundenen CO₂-Emissionen aufgerechnet wurden.

Auf diese Weise wurde eine Minderung der CO₂-Emissionen gegenüber dem Jahr 1987 von 22,2 Mio. t CO₂/a im Jahr 2005 für das Erwartungspotential (Potential B) und von 71,7 Mio. t CO₂/a für die optimale Entwicklung (Potential A) ermittelt. Dies bedeutet eine Reduktion der gesamten CO₂-Emissionen um 3,1% (Potential B) bzw. 10,0% (Potential A) gegenüber dem Jahr 1987. Da jedoch gleichzeitig eine Substitution zwischen den Brennstoffen unterstellt wurde, bei der Steinkohle und schweres Heizöl als CO₂-reichere fossile Brennstoffe durch das CO₂-günstigere Erdgas ersetzt werden, kann nicht angegeben werden, welcher Anteil an der CO₂-Reduktion dem Ausbau der KWK und welcher Anteil der Brennstoffsubstitution zuzurechnen ist.

Eine ähnliche Problematik ergibt sich auch bei einer Kostenbetrachtung der KWK. Das eigentliche Problem bei der Kalkulation von Koppelprodukten be-

steht darin, daß es nicht möglich ist, eine dem Identitäts- bzw. Verursacherprinzip entsprechende Kostenzurechnung (z. B. kalorische Methode, Arbeitswertmethode, exergetische Methode, Methode der Verhältnisrechnung, Methode der Restwertrechnung [11]) auf die einzelnen Koppelprodukte als Kostenträger vorzunehmen. Unter diesem Gesichtspunkt wurde im Studienschwerpunkt A.1.7 lediglich der Investitionsaufwand für den Ausbau angegeben. Er beläuft sich für das Potential B auf 21,9 Mrd. DM und für das Potential A auf insgesamt 67,3 Mrd. DM.

Auch regenerative Energieträger (Holz und Stroh) sowie Abfallbrennstoffe (Deponie-, Klär- und Grubengas) kommen nach Ansicht der Bearbeiter des Studienschwerpunktes A.1.7 für die Verbrennung in KWK-Anlagen in Frage. Die energetische Nutzung von Holz und Stroh wird sich demnach in größerem Maßstab jedoch auf Großanlagen zur Stromerzeugung beschränken. Dies hängt damit zusammen, daß in ländlichen Gebieten, wo vor allem Stroh anfällt, kleine Feuerungen die vorhandenen Ölfeuerungen nicht verdrängen können und dort auch die erzeugte Wärmemenge nicht untergebracht werden kann. Die Verbrennung von Klär-, Deponie- und Grubengas eignet sich ebenfalls zum Einsatz in KWK-Anlagen. Das entsprechende Potential wird nach Angaben der Bearbeiter des Studienschwerpunktes A.1.7 bisher nur sehr wenig genutzt. Die energetische Nutzung von Müll wird nicht behandelt. Die Potentialabschätzungen des Studienschwerpunktes A.1.7 zu der KWK mit regenerativen Energiequellen wurden hier nicht aufgeführt, da dieser Teil Aufgabe des Studienschwerpunktes A.2.4 war.

Zusätzlich wurde im Studienschwerpunkt A.1.7 in zwei nachträglich ermittelten Varianten dem Umstand Rechnung getragen, daß hinsichtlich der künftigen Entwicklung und dem weiteren Ausbau der KWK-Technik der energiesparende technische Fortschritt auf der Seite der jeweiligen Energieanwendung (z. B. Senkung des Heizenergieverbrauchs bei sogenannten Niedrig- oder Nullenergiehäusern, Brüdenkompression, direkte Gas- oder Heizölfeuerung von Trocknern) mit ins Kalkül gezogen werden muß. Damit wurde die Variante „Einsparentwicklung“ ermittelt, die von einer Wärmeerzeugung von 322,5 PJ/a und einer Stromerzeugung von 41,7 TWh/a bei einem Brennstoffverbrauch von 538,3 PJ/a in KWK-Anlagen der öffentlichen Fernwärmeversorgung ausgeht sowie von einer Wärmeerzeugung von 372,5 PJ/a und einer Stromerzeugung von 38,9 TWh/a bei einem Brennstoffeinsatz von 590,5 PJ/a in industriellen KWK-Anlagen. Des weiteren wurde eine Variante „moderate Entwicklung“ bestimmt, bei der gegenüber dem Potential B nur die Wärme- und Stromerzeugung aus industriellen KWK-Anlagen auf 319,3 PJ/a bzw.

	1987	2005			
		Potential B	Potential A	Moderate Entwicklung	Einsparentwicklung
Fernwärmeversorgung:					
Fernwärmenetzeinspeisung [PJ/a]	232,4 ¹⁾	338	494 ²⁾	338	456 ²⁾
Kraft-Wärme-Kopplung:					
- Netzeinspeisung [PJ/a]	166,4	239	349	239	322,5
- Stromerzeugung [TWh/a]	15,5	27,9	46,1	27,9	41,7
- Brennstoffverbrauch [PJ/a]	254,3	387	587	387	538,3
- CO ₂ -Emissionen [Mio. t CO ₂ /a]	20,6				
Industrielle Kraft-Wärme-Kopplung:					
- Wärmeerzeugung [PJ/a]	267,0	367	624	319,3	372,5
- Stromerzeugung [TWh/a]	22,9	37,9	76,9	31,1	38,9
- Brennstoffverbrauch [PJ/a]	399,1	578	1.049	495	590,5
- CO ₂ -Emissionen [Mio. t CO ₂ /a]	30,6				
CO₂-Einsparung [Mio. t CO₂/a]		22,2	71,7	14,8	30,4

¹⁾ Quelle: [4], im Studienschwerpunkt A.1.7 werden 265 PJ/a für das Jahr 1987 angegeben [5].

²⁾ berechnet aus den Angaben zum Potential B

Tabelle 1: Beitrag der Kraft-Wärme-Kopplung im Studienkomplex A.1 „Emissionsminderung durch rationale Energieverwendung“ [5].

31,1 TWh/a reduziert wurde. Die nach dem oben beschriebenen Verfahren ermittelte Reduktion der CO₂-Emissionen beträgt in der moderaten Entwicklung 14,8 Mio. t CO₂/a und in der Einsparentwicklung 30,4 Mio. t CO₂/a im Jahr 2005 gegenüber dem Jahr 1987. Angaben zu dem Investitionsaufwand dieser beiden Varianten sind im Teilbericht des Studienschwerpunktes A.1.7 nicht enthalten.

Potentiale regenerativer Energiequellen

Der Studienkomplex A.2 befaßte sich ebenfalls mit den Potentialen der erneuerbaren Energiequellen zur Minderung der CO₂-Emissionen und dem dabei möglichen Beitrag der KWK. Von den erneuerbaren Energiequellen wurden Biogas aus Gülle, Deponie- und Klärgas für den Einsatz in KWK-Anlagen in die Untersuchung einbezogen. Darüber hinaus wurde im Studienschwerpunkt A.2.4 auch die Müllverbrennung mitbehandelt, die jedoch im folgenden außen vor bleibt. Aus technischer Sicht könnte demnach der Einsatz von Biomasse in der Bundesrepublik Deutschland in Zukunft erheblich ausgeweitet werden. Während bei der biomassegestützten (und meist KWK-gekoppelten) Stromerzeugung die größten Einzelbeträge auf die Nutzung von Biogas aus Gülle, von Deponiegas und von Klärgas entfallen, steht bei der Wärmeerzeugung mit großem Abstand die Verbrennung von Holz und Stroh im Vordergrund. Aber auch die Wärmebereitstellung auf Basis von Biogas aus Gülle und von Deponiegas fällt ins Gewicht.

Im einzelnen wurden im Studienschwerpunkt A.2.4 die technischen und wirtschaftlichen Energiepotentiale für die Jahre 1987, 2005 und 2050 ermittelt. Bei der Ausweisung des Anteiles der KWK fällt zunächst auf, daß den einzelnen Prozessen eine sehr unterschiedliche Stromkennzahl zuzuordnen ist (Biogas aus Gülle: 87,9 kWh_e/kJ, Deponiegas: 111,1 kWh_e/kJ, Klärgas: 90,9 kWh_e/kJ). Während das wirtschaftliche Potential für die energetische Nutzung von Biogas aus Gülle im Jahr 1987 verschwindend gering ist, wird für das Jahr 2005 angenommen, daß dann 1 bis 3 TWh/a Strom und damit 16 bis 36 PJ/a Wärme wirtschaftlich in KWK-Anlagen erzeugt werden können (vgl. Tabelle 2). Was die Verbrennung von Klar- und Deponiegas in KWK-Anlagen angeht, wird als wirtschaftliches Potential im Jahr 1987 bei der Stromerzeugung 1 TWh/a ermittelt, woraus bei der Wärmeerzeugung ein Potential von 13,8 PJ/a folgt. Für das Jahr 2005 wird angenommen, daß 2 bis 3 TWh/a Strom und damit 20 bis 38 PJ/a Wärme ökonomisch rentabel erzeugt werden können.

	Müllverbrennung ¹⁾		Deponie- und Klärgas ²⁾		Biogas aus Gülle ³⁾		Insgesamt	
	heute	2005	heute	2005	heute	2005	heute	2005
Technisches Potential								
- Strom [TWh/a]	0,25	-	7	7	3 - 5	3 - 5	10 - 12	10 - 12
- Wärme [PJ/a]	1,9	4 - 12	6 ⁴⁾	6 ⁴⁾	32 - 59	32 - 59	101 - 128	103 - 138
Wirtschaftliches Potential								
- Strom [TWh/a]	0,25	-	1	2 - 3	> 0	1 - 3	1,5	3 - 6
- Wärme [PJ/a]	1,9	4 - 12	13,8	20 - 38	> 0	16 - 36	16	40 - 86
Kokurrierende Systeme	Konventionelle HKW		Konventionelle BHKW		Konventionelle BHKW			
Techn. Potential [Mio. t CO ₂ /a]	?	?	9	9	4 - 7	4 - 7	13 - 16	13 - 16
Wirtsch. Potential [Mio. t CO ₂ /a]	> 0	> 0	> 0	> 1	> 0	2 - 4	> 0	3 - 5
CO ₂ Minderungskost. [DM/t CO ₂]			0 - 220		0 - 130			

1) nur organischer Anteil bewertet. Konkurrernde Technik zur Deponiegasnutzung und anaeroben Müllbehandlung.
2) Deponiegasnutzung ist konkurrierende Technik zur Müllverbrennung und anaeroben Müllbehandlung. Potentiale der Industrieabwässer sind in denen von Klärgas enthalten.
3) Potentiale inklusive Grünabfälle. Konkurrernde Technik zur Rotewärmenutzung.

Tabelle 2: Beitrag der Kraft-Wärme-Kopplung im Studienkomplex A.2 „Erneuerbare Energiequellen“ [7]

Insgesamt ergibt sich für die Verwendung von Biomasse in KWK-Anlagen ein technisches Potential zur Stromerzeugung von 15 bis 17 TWh/a [3]. Dabei sind die Konkurrenzbeziehungen zwischen den einzelnen Verwendungsmöglichkeiten berücksichtigt worden. Daraus folgt eine Wärmeerzeugung von 0,14 bis 0,16 EJ/a. Die damit verbundene Einsparung an CO₂-Emissionen beläuft sich auf 13 bis 16 Mio. t/a. Das wirtschaftliche Potential für das Jahr 2005 zur Stromerzeugung wird auf 6 bis 8 TWh/a geschätzt. Damit gehen eine Wärmeerzeugung von 57 bis 74 PJ/a und eine Einsparung an CO₂-Emissionen von 2 bis 3 Mio. t CO₂/a einher.

Nutzung der Kernenergie

Die Kernenergie ist neben den erneuerbaren Energiequellen eine weitere uns heute zur Verfügung stehende Energiequelle, deren Nutzung nicht mit der Emission von Spurengasen verbunden ist. Die Substitution CO₂-behafteter Energieerzeugung durch Kernenergie kann somit zur Minderung klimarelevanter

Spurengase beitragen. In diesem Zusammenhang wurden im Rahmen des Studienschwerpunktes A.4.2 des Studienprogrammes der Enquête-Kommission neben dem Bereich der Stromerzeugung und der Möglichkeiten der Erzeugung anderer Sekundärenergieträger auch die Bereitstellung von Prozeß-, Fern- und Nahwärme mittels Kernenergie betrachtet.

Im Bereich der Fernwärmeversorgung existieren zwei technische Varianten der CO₂-Minderung durch nukleare Wärme. Einmal die Substitution von fossil erzeugter Fernwärme durch Wärme, die aus großen Kernkraftwerken ausgekoppelt und in bestehende Fernwärmenetze eingespeist wird und zum anderen durch Wärme, die in kleinen Kernheizwerken (ohne KWK) erzeugt wird. Für die Auskopplung von Fernwärme aus Kernkraftwerken ergibt sich ein maximales technisches CO₂-Minderungspotential von rd. 5 Mio. t CO₂ im Jahre 2005, wenn man nur den der Fernwärmeerzeugung zuzurechnenden fossilen Brennstoffeinsatz zugrunde legt (vgl. Tabelle 3). Wird auch die Stromerzeugung der fossilen KWK-Anlagen substituiert und die entspre-

Bereich/Maßnahme	techn. CO ₂ -Minderungspotential	wirtsch. CO ₂ -Minderungspotential	spez. Minderungskosten
	Mio. t CO ₂ /a	Mio. t CO ₂ /a	DM/t CO ₂
<u>Öffentl. Nah- und Fernwärmeversorgung</u>			
- Auskopplung aus KKW (LWR)	5 - 13	0,5 - 1,5	-50 bis +750 (-145 bis +645) ¹⁾
<u>Ind. Prozeßdampf- u. Prozeßwärmeerzeugung</u>			
- Prozeßdampf	30	24	bis +20
- Prozeßwärme	5		

1) Werte gelten für heimische Steinkohle

Tabelle 3: Beitrag der Kraft-Wärme-Kopplung im Studienkomplex A.4 „Nutzung der Kernenergie“ [10].

chende Strommenge CO₂-frei erzeugt, dann liegt die technisch mögliche CO₂-Minderung bei fast 13 Mio. t CO₂/a (vgl. Tabelle 3). Die spezifischen CO₂-Minderungskosten für die Fernwärmeerzeugung in großen Kernkraftwerken spannen aufgrund der unterschiedlichen Transportentfernungen und je nach Referenzsystem einen weiten Bereich von rd. -50 bis +750 DM/t CO₂ auf, wenn man bei der Kohle von den Kosten der Importkohle ausgeht. Von dem gesamten technischen CO₂-Minderungspotential ließe sich nur ein kleiner Teil, d. h. rd. 0,5 bis 1,5 Mio. t CO₂/a, im Bezugszeitpunkt 2005 wirtschaftlich, d. h. ohne zusätzliche Kosten, vermeiden (vgl. Tabelle 3).

Die Erzeugung von Prozeßdampf und Prozeßwärme für die Industrie mittels Kernreaktoren ist eine weitere Möglichkeit, über eine Substitution fossiler Energien zur CO₂-Minderung beizutragen. Der HTR-Modulreaktor mit einer Blockgröße von 150 bis 200 MW_{th} kann hier eingesetzt werden. Die Analyse des industriellen Brennstoffverbrauches, gegliedert nach Sektoren und Verwendungszwecken und Temperaturbereichen der Prozeßwärme, ergibt ein technisches Substitutionspotential durch nukleare Anlagen von etwa 30 Mio. t CO₂/a für den

Bereich der Prozeßdampfversorgung. Berücksichtigt man darüber hinaus auch noch den Bereich der Prozeßwärmeerzeugung, so erhöht sich das technische Minderungspotential auf rd. 35 Mio. t CO₂/a. Dies entspricht rd. 5% der energiebedingten CO₂-Gesamtemissionen des Jahres 1987. Von diesem technischen CO₂-Minderungspotential der Kernenergie in der Industrie ließen sich bei der unterstellten Energiepreisentwicklung im Jahr 2005 rd. 24 Mio. t CO₂/a, also etwa 70% des technischen Potentials, ohne zusätzliche Kosten erschließen (vgl. Tabelle 3). Für die darüber hinausgehenden CO₂-Reduktionen liegen die spezifischen CO₂-Minderungskosten zwischen 12 und 20 DM/t CO₂, je nachdem, ob Heizöl oder Erdgas substituiert wird.

Reduktionsszenarien

Bei der Vielfalt der technischen Emissionsminderungsmaßnahmen war es offensichtlich, daß einzelne jeweils ausgewiesene Potentiale, z. B. der Stromesparung und der Stromerzeugung mittels nichterneuerbarer emissionsarmer Energiequellen, nicht einfach addiert werden dürfen. Auch können in der Praxis nicht alle Potentiale zugleich zum

Zuge kommen. Deshalb wurden aus dem großen Spektrum denkbarer Entwicklungen die nach den Vorgaben der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages als besonders relevant erachteten Szenarien „Hemmnisabbau und Preispolitik“, „Kernenergieausstieg 2005“ und ein Reduktionsszenario „Ausbau der Kernenergie“ ausgewählt. Alle drei Szenarien orientierten sich an der Zielvorgabe der Enquête-Kommission, eine etwa 30prozentige Verminderung an CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005 zu erreichen. Dabei wurde zur Abbildung des Energiesystems und für die Berechnung der Umweltauswirkungen kein Energiemodell eingesetzt, so daß die Konsistenz der Szenarien nicht immer gewährleistet werden konnte. Des weiteren wurden die Auswirkungen der verschiedenen Szenarien nur grob abgeschätzt.

Hemmnisabbau und Preispolitik

Im Rahmen der Hemmnisabbau- und der Energiepolitik-Variante wurde analysiert, welche CO₂-Minderung bei konstanter Kernkraftwerkskapazität erzielt werden kann, wenn mit Hilfe energiepolitischer Maßnahmen die einer wirtschaftlichen Nutzung des gegebenen Energie-

einsparpotentials sowie der erneuerbaren Energiequellen entgegenstehenden Hemmnisse abgebaut bzw. weitere energiepolitische Maßnahmen ergriffen werden. Die beiden Varianten unterscheiden sich darin, daß in der „Energiepolitik-Variante“ zusätzlich durch Steuern oder Abgaben die Energiepreise um 5 DM/GJ sowie die Strompreise um 2 Pf/kWh_{el} erhöht werden. In den beiden Varianten wird vor allem auf Maßnahmen zur Energieeinsparung und auf die KWK als CO₂-mindernde Optionen zurückgegriffen sowie auf eine verstärkte Nutzung der erneuerbaren Energiequellen. Die Erdgasnutzung steigt dabei um 30 %.

Die fossil gefeuerten Heizkraftwerke verdoppeln hier ihre Lieferung von Fern- und Nahwärme. Dabei werden bis 2005 alle Heizwerke durch Blockheizkraftwerke oder durch Heizkraftwerke ersetzt. Damit werden in beiden Szenarien aus fossilen KWK-Anlagen der öffentlichen Fernwärmeversorgung 322,5 PJ/a Wärme in die Netze eingespeist (+93,8% gegenüber 1987), bei einer gleichzeitigen Stromerzeugung von 41,7 TWh/a (+169,0%) und bei einem Brennstoffverbrauch von 539 PJ/a (+111,9%). Die Fernwärmenetzeinspeisung insgesamt steigt jedoch nur um 38,8% gegenüber 1987, da keine Heizwerke mehr betrieben werden sollen. In industriellen Eigenerzeugungsanlagen werden im Jahr 2005 insgesamt 374 PJ/a an Wärme (+40% gegenüber 1987) sowie 39,9 TWh/a Strom (+74,2%) erzeugt. Damit ist ein Brennstoffverbrauch von 607 PJ/a (+52,0%) verbunden. Wird der Bereich der industriellen Energieversorgung ausgeklammert, in dem der Strom eigenerzeugt und dann auch selbstverbraucht wird, so bleibt noch eine Wärmeerzeugung von 260 PJ/a und eine Stromerzeugung von 30,2 TWh/a bei einem Brennstoffeinsatz von 436 PJ/a zu betrachten. Zusätzlich werden in der „Hemmnisabbau-Variante“ in mit Biomasse gefeuerten KWK-Anlagen 66 PJ/a Wärme und 7,8 TWh/a Strom erzeugt. In der „Energiepolitik-Variante“ steigt der Beitrag auf 74 PJ/a Wärme und 10 TWh/a Strom. Die der industriellen KWK (ohne eigenerzeugten und selbstverbrauchten Strom) und der öffentlichen Fernwärmeversorgung zuzurechnenden CO₂-Emissionen betragen in der „Hemmnisabbau“- und in der „Energiepolitik-Variante“ jeweils 71 Mio. t CO₂. Der vergleichbare Wert für das Jahr 1987 beträgt 38,1 Mio. t CO₂/a. Jedoch ist mit den beiden Reduktionsszenarien ein Anstieg der Wärme- und der Stromerzeugung gegenüber 1987 verbunden (vgl. Tabelle 4).

Ausstieg aus der Kernenergie

Alternativ wurde untersucht, welcher Maßnahmen energiepolitischer Natur es bedürfte, um bei einem Ausstieg aus der Kernenergie trotz Verzicht auf diesen CO₂-freien Energieträger das CO₂-Min-

derungsziel zu erreichen. Als CO₂-Minderungsmaßnahmen kommen vor allem eine massive Energieeinsparung sowie die Ausweitung der Nutzung erneuerbarer Energiequellen zum Tragen. Der Erdgasinsatz steigt um 50 %.

Die KWK muß hier ebenfalls verstärkt angewendet werden. Da aber Unsicherheiten über den Umfang des bis zum Jahr 2005 letztlich zu realisierenden Versorgungsbeitrages bestehen, wird das im Studienschwerpunkt A.1.7 genannte Potential der KWK in der Industrie und in der öffentlichen Fernwärmewirtschaft nicht vollständig ausgeschöpft. Die fossile KWK im Industriebereich wird dagegen im Vergleich zur „Energiepolitik-Variante“ des Reduktionsszenarios dennoch deutlich stärker genutzt. In industriellen Eigenerzeugungsanlagen werden im Jahr 2005 in der Variante insgesamt 474 PJ/a an Wärme (+77,4% gegenüber 1987) sowie 51,5 TWh/a Strom (+124,8%) erzeugt. Damit ist ein Brennstoffverbrauch von 775 PJ/a (+94,2%) verbunden. Wird wieder der Bereich der industriellen Energieversor-

gung ausgeklammert, in dem der Strom eigenerzeugt und dann auch selbstverbraucht wird, so ist noch eine Wärmeerzeugung von 360 PJ/a und eine Stromerzeugung von 41,8 TWh/a bei einem Brennstoffeinsatz von 604 PJ/a zu betrachten. Beim Beitrag der erneuerbaren Energiequellen zur Stromerzeugung im Jahr 2005 haben Biomasse-KWK-Anlagen und Windkraftwerke den größten Anteil am Zuwachs. In mit Biomasse gefeuerten KWK-Anlagen werden 14,9 TWh/a an Strom erzeugt. Gleichzeitig ergibt sich eine Wärmeerzeugung von 111,5 PJ/a. Einen wesentlichen Beitrag zur angestrebten Reduktion der CO₂-Emissionen muß die Substitution durch Erdgas leisten. Für die KWK werden gegenüber 1987 fast 300 PJ/a mehr Gas verwendet. Damit wird die CO₂-Minderung durch die KWK mit der CO₂-Minderung durch einen Brennstoffswitch zwischen CO₂-reichen und CO₂-armen fossilen Energieträgern überlagert. Die der industriellen KWK (ohne eigenerzeugten und selbstverbrauchten Strom) und der öffentlichen Fernwärmeversorgung zuzu-

	1987	"Hemmnisabbau"	"Energiepolitik"	„Kernenergieausstieg 2005“	"Ausbau der Kernenergie"
Wärmeerzeugung [PJ/a]					
- insgesamt	499,4	762,8	770,8	908,0	679,5
- aus KWK-Anlagen	433,3	762,8	770,8	908,0	576,0
Stromerzeugung in KWK [TWh/a]	38,4	89,4	91,6	108,1	58,2
Öffentliche Fernwärmeversorgung					
- Wärmeerzeugung [PJ/a]					
- insgesamt	232,4	388,5	396,5	434,0	305,5
- fossil	215,6	322,5	322,5	322,5	101,8
- Biomasse	16,5	66,0	74,0	111,5	66,0
- nukleare KWK	0,3	0,0	0,0	0,0	34,2
- nukleare Heizwerke	0,0	0,0	0,0	0,0	103,5
- Wärmeerzeugung in KWK [PJ/a]					
- insgesamt	166,3	388,5	396,5	434,0	202,0
- fossil	153,8	322,5	322,5	322,5	101,8
- Biomasse	12,2	66,0	74,0	111,5	66,0
- nuklear	0,3	0,0	0,0	0,0	34,2
- Stromerzeugung [TWh/a]					
- insgesamt	15,5	49,5	51,7	56,6	26,1
- fossil	13,3	41,7	41,7	41,7	14,3
- Biomasse	2,2	7,8	10,0	14,9	7,8
- nuklear	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0
- fossiler Brennstoffverbrauch [PJ/a]					
- insgesamt	326,3	539,0	539,0	539,0	166,0
- in KWK	254,3	539,0	539,0	539,0	166,0
Industrielle KWK					
- Wärmeerzeugung [PJ/a]					
- insgesamt	267,0	374,0	374,0	474,0	374,0
- fossil	267,0	374,0	374,0	474,0	129,0
- nuklear	0,0	0,0	0,0	0,0	245,0
- Stromerzeugung [TWh/a]					
- insgesamt	22,9	39,9	39,9	51,5	32,1
- fossil	22,9	39,9	39,9	51,5	11,4
- nuklear	0,0	0,0	0,0	0,0	20,7
- fossiler Brennstoffeinsatz [PJ/a]	399,1	607,0	607,0	775,0	195,0
Ausschnitt der industriellen KWK¹⁾					
- Wärmeerzeugung [PJ/a]					
- insgesamt	154,0	260,0	260,0	360,0	261,0
- fossil	154,0	260,0	260,0	360,0	16,0
- nuklear	0,0	0,0	0,0	0,0	245,0
- Stromerzeugung [TWh/a]					
- insgesamt	13,2	30,2	30,2	41,8	22,4
- fossil	13,2	30,2	30,2	41,8	1,7
- nuklear	0,0	0,0	0,0	0,0	20,7
- fossiler Brennstoffeinsatz [PJ/a]	230,2	436,0	436,0	604,0	26,0

¹⁾ ohne den selbstverbrauchten Strom aus industriellen Eigenerzeugungsanlagen

Tabelle 4: Beitrag der Kraft-Wärme-Kopplung im Jahr 2005 in den Reduktionsszenarien im Vergleich.

rechnenden CO₂-Emissionen betragen in der „Kernenergieausstiegs-Variante“ 82 Mio. t CO₂.

Ausbau der Kernenergie

Schließlich wurde in dem Szenario „Ausbau der Kernenergie“ der Versuch gemacht, zu den angestrebten Treibhausgasminderungszielen mit möglichst kosten-effektiven Maßnahmen, d.h. möglichst geringen zusätzlichen Treibhausgasminderungsbelastungen der Volkswirtschaft, zu gelangen.

Die Wärmenetzeinspeisung in der öffentlichen Fernwärmewirtschaft steigt von 232,4 PJ/a im Jahr 1987 um 1,5 %/a auf 305,5 PJ/a im Jahr 2005. Gleichzeitig ist dabei eine erhebliche Umstrukturierung innerhalb der Fernwärmeversorgung verbunden. Den wesentlichen Beitrag stellen die CO₂-freien Energieträger Kernenergie und Biomasse. Aus Biomasse-KWK-Anlagen werden 66 PJ/a Wärme in die Fern- und Nahwärmenetze eingespeist, bei einer Stromerzeugung von 7,8 TWh/a. Durch eine Auskopplung von Fernwärme aus großen Kernkraftwerken werden 34,2 PJ/a bereitgestellt mit einer Stromerzeugung von 4,0 TWh/a. Beim Einsatz von Kernheizwerken werden 103,5 PJ/a Fernwärme erzeugt, dabei findet jedoch keine Stromerzeugung statt. Der restliche Anteil an der Fernwärmeinspeisung in Höhe von 101,8 PJ/a wird durch fossile KWK-Anlagen bereitgestellt. Hier werden gleichzeitig 14,3 TWh/a Strom erzeugt, bei einem gesamten fossilen Brennstoffeinsatz von 166 PJ/a. Durch den Einsatz des Hochtemperaturreaktors zur industriellen Prozeßdampferzeugung werden 245 PJ/a Wärme und 20,7 TWh/a Strom

frei in KWK erzeugt. Hinzu kommt eine industrielle Wärmeerzeugung auf fossiler Basis in KWK-Anlagen in Höhe von 129 PJ/a. Damit ist eine Stromerzeugung von 11,4 TWh/a und ein fossiler Brennstoffverbrauch von 195 PJ/a verbunden. Wird wieder nur der Bereich der industriellen Energieversorgung ohne den eigenerzeugten und selbstverbrauchten Strom betrachtet, so werden in fossilen KWK-Anlagen im Jahr 2005 insgesamt 16 PJ/a Wärme und 1,7 TWh/a Strom erzeugt. Hierzu müssen 26 PJ/a an fossilen Brennstoffen eingesetzt werden. Die der industriellen KWK (ohne eigenerzeugten und selbstverbrauchten Strom) und der öffentlichen Fernwärmeversorgung zuzurechnenden CO₂-Emissionen betragen in der Variante „Ausbau der Kernenergie“ 16 Mio. t CO₂ im Jahr 2005 gegenüber 38 Mio. t CO₂/a im Jahr 1987.

Die Tabelle 4 faßt die in den einzelnen Reduktionsszenarien enthaltenen Beiträge der KWK zusammen. Bei der öffentlichen Fernwärmeversorgung wird im Vergleich der Szenarien sichtbar, daß bei der Variante „Kernenergieausstieg 2005“ der Beitrag der KWK und der Ausbau der Fernwärmeversorgung am stärksten ist. Demgegenüber wird in der Variante „Ausbau der Kernenergie“ die geringste Wachstumsrate verzeichnet. Die Varianten „Hemmnisabbau“ und „Energiepolitik“ sind dazwischen einzuordnen, jedoch liegen sie näher bei der „Kernenergieausstiegs-Variante“. Bezüglich der Wärmeerzeugung durch industrielle KWK stimmen die Varianten „Hemmnisabbau“, „Energiepolitik“ und „Ausbau der Kernenergie“ überein. Die Variante „Kernenergieausstieg 2005“ weist eine um 100 PJ/a höhere Wärmeerzeugung

auf. Wesentliche Unterschiede zwischen den Varianten ergeben sich in der Struktur der Einsatzenergie. In den Varianten „Hemmnisabbau“ und „Energiepolitik“ beträgt der Anteil der CO₂-freien Energieträger an der gesamten Wärmebereitstellung 8,7 % bzw. 9,6 %. Ihr Beitrag steigt in der Variante „Kernenergieausstieg 2005“ auf 12,3 % und in der Variante „Ausbau der Kernenergie“ auf 66 %.

Entsprechend der verschiedenen Entwicklung der Wärmeerzeugung und der Struktur der Einsatzenergie ergeben sich auch unterschiedliche CO₂-Emissionen der öffentlichen Fernwärmeversorgung und des betrachteten Ausschnitts der industriellen KWK (vgl. Tabelle 5). In diesem Bereich selbst ergeben sich für die Szenarien CO₂-Emissionen zwischen 16 Mio. t CO₂/a („Ausbau der Kernenergie“) und 82 Mio. t CO₂/a („Kernenergieausstieg 2005“) im Jahr 2005 gegenüber 38 Mio. t CO₂/a im Jahr 1987. Wird der gegenüber dem Jahr 1987 höheren Wärmeproduktion in den KWK-Anlagen eine Gutschrift zugerechnet, in dem Brennstoffe im Endverbrauchsbereich substituiert werden, so ergeben sich Netto-CO₂-Emissionen zwischen 4 Mio. t CO₂/a in der Variante „Ausbau der Kernenergie“ und 51 bzw. 53 Mio. t CO₂/a in den übrigen Szenarien (vgl. Tabelle 5).

Damit ist letztlich jedoch noch nicht eine Vergleichbarkeit gegenüber dem Ausgangsniveau des Jahres 1987 mit 38 Mio. t CO₂/a hergestellt, da in den Varianten auch die Stromproduktion der KWK-Anlagen gegenüber 1987 steigt (+ 51 TWh/a in „Hemmnisabbau“, + 53,2 TWh/a in „Energiepolitik“, + 69,7 TWh/a in „Kernenergieausstieg 2005“, + 19,8 TWh/a in „Ausbau der Kernenergie“). Eine Aussage darüber, welche CO₂-Emissionen mit einer Stromerzeugung in der jeweiligen Höhe in den einzelnen Varianten verbunden wären, wenn kein Ausbau der KWK stattfinden würde, ist rein hypothetischer Natur. Wird angenommen, daß diese Strommehrproduktion der KWK-Anlagen ansonsten mit dem fossilen Brennstoffmix der Kondensationskraftwerke der unterschiedlichen Szenarien erzeugt worden wäre (Variante 1), so ergibt sich eine Verminderung der CO₂-Emissionen gegenüber dem Ausgangsniveau der KWK-Anlagen des Jahres 1987 zwischen 28 und 51 Mio. t CO₂/a (vgl. Tabelle 5).

Wird dagegen berücksichtigt, daß auch die CO₂-freien Energieträger in den verschiedenen Varianten einen Beitrag zur Stromerzeugung der Kondensationskraftwerke leisten (Variante 2), so beträgt die CO₂-Emissionsminderung zwischen 3 und 38 Mio. t CO₂/a gegenüber 1987. In Bild 2 ist die mit den einzelnen Varianten verbundene Wärme- und Stromerzeugung der Bandbreite der CO₂-Emissionen gegenübergestellt.

	1987	"Hemmnisabbau"	"Energiepolitik"	„Kernenergieausstieg 2005“	"Ausbau der Kernenergie"
CO ₂ -Emissionen der öffentlichen Fernwärmeversorgung und des Ausschnitts der industriellen KWK ¹⁾	38	71	71	82	16
Vermiedene CO ₂ -Emissionen durch KWK-bedingte Brennstoffsubstitution im Endenergieverbrauch		- 20	- 20	- 29	- 12
Netto-CO ₂ -Emissionen, Stufe 1		51	51	53	4
Vermiedene CO ₂ -Emissionen durch KWK-bedingte Brennstoffsubstitution bei der Stromerzeugung					
Variante 1 ²⁾		- 44	- 41	- 47	- 17
Variante 2 ³⁾		- 20	- 16	- 40	- 4
Netto-CO ₂ -Emissionen, Stufe 2					
Variante 1 ²⁾		+ 7	+ 10	+ 6	- 13
Variante 2 ³⁾		+ 31	+ 35	+ 13	0
Veränderung gegenüber 1987					
Variante 1 ²⁾		- 31	- 28	- 37	- 51
Variante 2 ³⁾		- 7	- 3	- 25	- 38

1) ohne den selbstverbrauchten Strom aus industriellen Eigenerzeugungsanlagen
2) gerechnet gegenüber dem fossilen Brennstoffmix der jeweiligen Variante in Kondensationskraftwerken
3) gerechnet gegenüber dem gesamten Brennstoffmix der jeweiligen Variante in Kondensationskraftwerken

Tabelle 5: Veränderung der CO₂-Emissionen durch den Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung im Jahr 2005 in den Reduktionsszenarien in Mio. t CO₂/a.

Kritische Würdigung

Der Einsatz der KWK zur Strom- und Wärmeerzeugung wird in der Energiepolitik und in der Öffentlichkeit derzeit stark diskutiert, da hier ein großes Potential vermutet wird, einen wesentlichen Beitrag zur Lösung der heutigen Energie- und Umweltprobleme leisten zu können. Ein Vergleich dieses vermuteten Potentials mit der Bearbeitung zur KWK im Rahmen des Studienprogramms der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des 11. Deutschen Bundestages und hier insbesondere im Rahmen des Studienschwerpunktes A.1.7 sowie mit den Ergebnissen der Reduktionsszenarien zum Beitrag der KWK zeigt, daß bezüglich des möglichen Beitrags der KWK zur CO₂-Minderung und zur Energieeinsparung noch sehr viele Fragen offen sind. Ohne auf einzelne Punkte näher eingehen zu können, soll im folgenden stichwortartig versucht werden, kurz einige der offenen Punkte aufzuzeigen.

1. Nach Einschätzung der Bearbeiter des Studienschwerpunktes A.1.7 entspricht das Potential B (Erwartungspotential) mit einer Wärmenetzeinspeisung von 338 PJ/a im Jahr 2005 einem sehr moderaten, mit Sicherheit erreichbaren Ansatz auch im Quervergleich mit früheren Schätzungen der Gesamtstudie Fernwärme [12] und anderen Erhebungen. Ein Vergleich dieses Erwartungspotentials aus dem Studienschwerpunkt A.1.7 z. B. mit der in der jüngsten Veröffentlichung der PROGNOSE AG für das Bundesministerium für Wirtschaft zur erwarteten Status-quo-Entwicklung der Energiewirtschaft [13] zeigt dagegen, daß hier mit 282,6 PJ/a eine um rund 55 PJ/a niedrigere Netzeinspeisung erwartet wird. Dieselbe Aussage läßt sich in anderer Richtung für die optimale Entwicklung (Potential A) des Studienschwerpunktes A.1.7 machen. Hier liegen gegenüber anderen Veröffentlichungen zum Potential der Fernwärmeversorgung und der KWK [12, 14, 15] eher konservative Abschätzungen vor.

2. Im Studienschwerpunkt A.1.7 war es nicht möglich, die Fernwärmepotentiale in Abhängigkeit von der Energieträgerpreisentwicklung anzugeben. Schon die „Gesamtstudie Fernwärme“ [12] stellt hierzu fest, daß das Potential der Fernwärme sehr empfindlich auf die Höhe des Gas- und Ölpreises reagiert. Aufgrund der fehlenden Angaben zur Wirtschaftlichkeit der Fernwärme konnten dann in den Reduktionsszenarien das Potential der Wärmeeinsparung und das Potential der Fernwärmeausweitung nicht optimal aufeinander abgestimmt werden.

3. Inkonsistenzen ergeben sich auch aus der parallelen Behandlung des Poten-

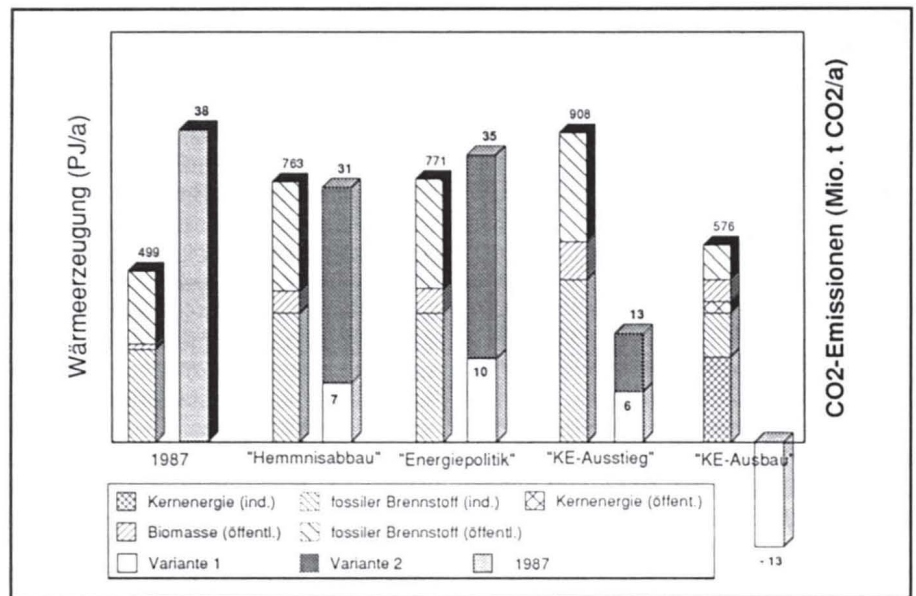


Bild 2: Beitrag der Kraft-Wärme-Kopplung zur CO₂-Minderung in den Reduktionsszenarien im Vergleich.

tials der KWK auf der Basis erneuerbarer Energiequellen in den Studienschwerpunkten A.1.7 und A.2.4. So wird z. B. im Studienschwerpunkt A.1.7 ein KWK-Potential der erneuerbaren Energiequellen bei den Energieträgern Holz und Stroh gesehen, während im Studienschwerpunkt A.2.4 Holz und Stroh nur zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden. Auch für das Bundesministerium für Forschung und Technologie steht in seinem jüngsten Förderprogramm [16] die KWK auf der Basis von Holz und Stroh im Vordergrund.

4. Beim Übergang von den Einzelstudien zu den Reduktionsszenarien fällt zunächst auf, daß die Stromkennzahlen der Biomasse-KWK-Technologien gegenüber der Einzelstudie stark angehoben worden sind. Die Stromkennzahl beträgt

in den Szenarien 118,2 kWh_{el}/kJ gegenüber 87,9 kWh_{el}/kJ für Biogas aus Gülle bzw. 90,9 kWh_{el}/kJ für Klärgas im Studienschwerpunkt A.2.4.

5. Für die Beurteilung des möglichen Beitrags der KWK zur CO₂-Minderung ist die möglichst genaue Kenntnis der gesamten Wärme- und Strombedarfssituation eine wichtige Grundvoraussetzung. Hier müßte berücksichtigt werden, daß der Strom- und Wärmebedarf saisonalen Schwankungen unterworfen ist und daß der zeitliche Verlauf des Lastganges der Strom- und Wärmenachfrage stark unterschiedlich ist [15]. Unter dieser Voraussetzung kann dann abgeschätzt werden, ob die gleichzeitig erzeugten Energieformen Strom und Wärme sinnvoll genutzt werden können. Vor diesem Hintergrund erscheint der Ansatz der Reduktionssze-

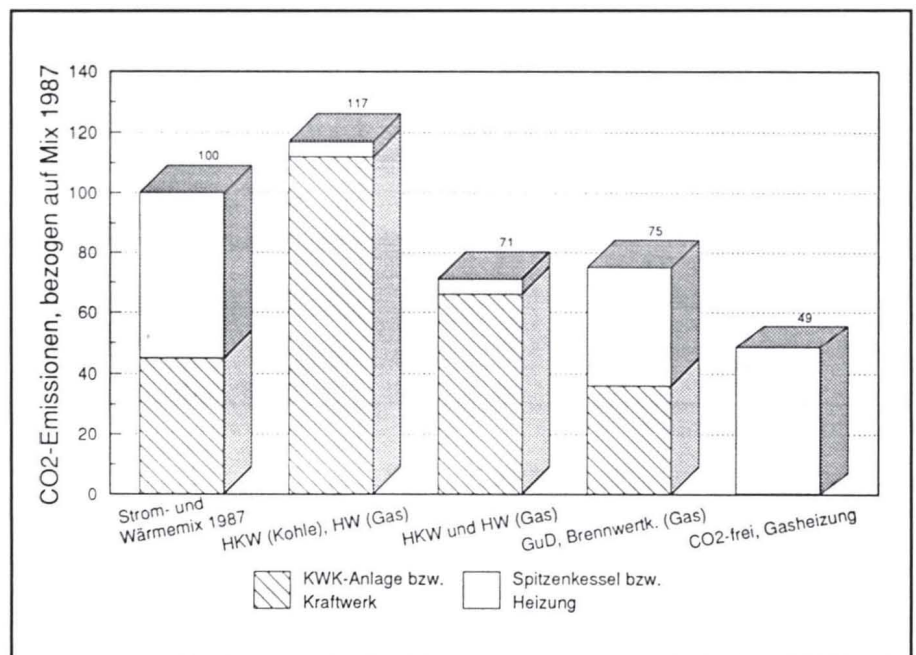


Bild 3: Jährliche CO₂-Emissionen verschiedener gekoppelter und getrennter Systeme zur Strom- und Wärmeerzeugung in kt/a.

narien, daß die gesamte Fernwärmeversorgung auf der Basis von KWK-Anlagen ohne Spitzenkessel erfolgen soll, bei den angegebenen Nutzungsgraden (87,7 %) nicht realistisch. Dies würde entweder die Installation eines Wärmespeichers bedingen oder der Gesamtnutzungsgrad der KWK-Anlage sinkt oder es kommt zu einer installierten elektrischen Überschubleistung, da reine Kondensationskraftwerke den Sommerbetrieb zusätzlich übernehmen müssen. Alle diese Punkte haben jedoch entsprechende Auswirkungen auf die Gesamtsystemkosten. Obwohl eine Pauschalierung nicht möglich ist, so hat sich bisher doch erwiesen, daß KWK-Anlagen in der Fernwärmeversorgung unter Beachtung wirtschaftlicher Gesichtspunkte nur für eine Leistung von 30 % bis im Einzelfall 50 % der Wärmehöchstlast zu bemessen sind [15].

6. Auffallend ist bei dem überschlägigen Vergleich der Reduktionsszenarien (vgl. Bild 2), daß die jeweils stärkste CO₂-Reduktion in dem Szenario „Ausbau der Kernenergie“ auftritt, in dem die KWK die geringste Steigerung erfährt. Was von dieser CO₂-Verminderung dem verstärkten Einsatz der KWK und was der veränderten Struktur des Brennstoffeinsatzes zuzurechnen ist, bleibt offen. Wird berücksichtigt, daß in den Szenarien in der KWK auch ganz verstärkt Erdgas, der CO₂-günstigste fossile Energieträger, zum Einsatz kommt, so könnte man der Energieträgerstruktur die größere Bedeutung zumessen. Dies verdeutlicht Bild 3, in dem für dieselbe Menge an Strom- und Wärmebereitstellung die CO₂-Emissionen unterschiedlicher Erzeugungssysteme (getrennt und gekoppelt) einander gegenübergestellt sind.

Eine der wesentlichen Ursachen für die aufgezeigten offenen Punkte könnte in dem Aufbau des Studienprogrammes der Enquête-Kommission zu suchen sein, der es nicht zuließ, den möglichen Beitrag der KWK zur CO₂-Minderung umfassend genug und in den Gesamtzusammenhang eingebettet zu bearbeiten. Eine bessere Beurteilung der Chancen der KWK zur CO₂-Minderung sollte über die Betrachtung der Erzeugungsmöglichkeiten von Fern- und Nahwärme sowie der industriellen Eigenerzeugung zusammen mit den Wärmearwendungen und den Wärmeeinsparmöglichkeiten durchführbar sein. Zusätzlich sollten die relevanten Einflußparameter mitberücksichtigt werden. Die dargestellten, derzeit noch existierenden offenen Punkte bezüglich des möglichen Beitrags der KWK zur CO₂-Minderung sollten in einer umfangreichen Studie in analytisch sauberer und nachvollziehbarer Weise geklärt werden. Damit könnte ein wichtiger Beitrag zu der Frage der möglichen Maßnahmen zur CO₂-Reduktion in der Bundesrepublik Deutschland geleistet werden.

Literatur

- [1] Energie Spektrum: Bemerkenswerte wirtschaftliche Chancen, Programm der Bundesregierung zur Reduzierung der CO₂-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahre 2005, in: Energie Spektrum, 1991, Heft 6, S. 15 – 22.
- [2] Bundeskabinett beschließt nationales CO₂-Minderungsprogramm zum Klimaschutz, Pressemitteilung, Bonn, 7. 11. 1990.
- [3] Enquête-Kommission (Hrsg.): Schutz der Erde, 3. Zwischenbericht der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des 11. Deutschen Bundestages, Economica Verlag, Bonn 1991.
- [4] P. Kröner; K. Ruppert: Hauptbericht der Fernwärmeversorgung 1987, in: Fernwärme international (FWI), 18. Jg. (1989), Heft 1, S. 82 – 94.
- [5] U. Kaier u. a.: Emissionsminderung durch rationelle Energienutzung im Umwandlungssektor, Studienschwerpunkt A.1.7, in: Energie und Klima, Band 2: Energieeinsparung sowie rationelle Energienutzung und -umwandlung, hrsg. von der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des 11. Deutschen Bundestages, Economica Verlag, Bonn, 1991, S. 741 – 819.
- [6] H. Schaefer u. a.: Emissionsminderung durch rationelle Energienutzung, Zusammenfassung der Ergebnisse des Studienkomplexes A.1, in: Energie und Klima, a.a.O., Band 2, S. 1125 – 1221.
- [7] P. Hrubesch; W. Schulz: Biomasse, Studienschwerpunkt A.2.4, in: Energie und Klima, a.a.O., Band 3: Erneuerbare Energien, S. 271 – 436.
- [8] L. Bolkow u. a. Erneuerbare Energiequellen, Zusammenfassung der Ergebnisse des Studienkomplexes A.2, in: Energie und Klima, a.a.O., Band 3: Erneuerbare Energien, S. 963 – 1100.
- [9] U. Fahl u. a.: Abschätzung der technischen und wirtschaftlichen Potentiale des Beitrags zur Energieversorgung und zur Minderung klimarelevanter Spurengase durch Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland, Studienschwerpunkt A.4.2, in: Energie und Klima, a.a.O., Band 5: Kernenergie, S. 191 – 316.
- [10] L. Hahn; A. Voß: Nutzung der Kernenergie, Zusammenfassung der Ergebnisse des Studienkomplexes A.4, in: Energie und Klima, a.a.O., Band 5: Kernenergie, S. 1632 – 1759
- [11] Belting: Analyse der Bewertungsmethoden für Strom- und Nutzwarmekosten, in: Brennstoff – Wärme – Kraft (BWK), 36 Jg (1984), Heft 11, S. 457 – 462.
- [12] Bundesministerium für Forschung und Technologie (Hrsg.): Gesamtstudie über die Möglichkeiten der Fernwärmeversorgung aus Heizkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland (Gesamtstudie Fernwärme), Bonn, 1977.
- [13] PROGNOSE: Die energiewirtschaftliche Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2010, Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Basel, Oktober 1989.
- [14] U. Fritsche: Potentiale zur Kraft-Wärme-Kopplung und Stromeinsparung in der BRD, Werkstattreihe des Öko-Instituts, Nr. 38, Freiburg, Juni 1987.
- [15] R. Pruschek, J. Bock: Energieeinsparung durch Kraft-Wärme-Kopplung – Potentiale und Grenzen, in: VDI Berichte Nr. 923, Düsseldorf, 1991.
- [16] Fernwärme international: „Holz-Heizkraftwerke“ können wirtschaftlich sein, in: Fernwärme international (FWI), 20. Jg. (1991), Heft 12, S. 681.

