

Kraft - Wärme - Kopplung als Beitrag zu Klimaschutz und Energieeinsparung

**4. Colloquium der Kommission
„Recht und Technik“
der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft
am 20. September 2001
in Hannover**

Gedruckt mit freundlicher Unterstützung durch Forschungsmittel
des Landes Niedersachsen,
der Avacon AG,
der TXU-Energie.

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft
Fallersleber-Tor-Wall 16 · D-38100 Braunschweig
Postfach 3329 · D-38023 Braunschweig
Telefon: (05 31) 1 44 66 · Fax (05 31) 1 44 60

<http://www.bwg-niedersachsen.de>

Für die Redaktion verantwortlich:
Der Generalsekretär der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

ISBN 3-934656-09-9

Gesamtherstellung
J. Cramer Verlag · Am Hasengarten 23 A · D-38126 Braunschweig
2002
Printed in Germany

INHALTSVERZEICHNIS

JOACHIM KLEIN: Begrüßung	5
KLAUS HASSELMANN: Der Kyoto-Prozess zum Klimaschutz: Hintergründe und Entwicklungsoptionen aus Sicht der Klimaforschung	7
HANS-JÜRGEN EBELING: Verdoppelung des KWK-Anteils an der Stromversorgung – Vision oder Utopie?	17
GUNTHER KÜHNE: Rechtsgrundlagen der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland	22
ULRICH EHRICKE: Europäische Rechtsharmonisierung zur Förderung der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung	34
Diskussionsprotokoll	55
BERNHARD EKELHOF: Die Bedeutung der Kraft-Wärme-Kopplung aus der Sicht der Zuckerindustrie	56
PETER SALJE: Leitprinzipien einer zukünftigen Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung	63
WOLFGANG PFAFFENBERGER: Kraft-Wärme-Kopplung im liberalisierten Energiemarkt	78
JENS-PETER SCHNEIDER: Technische Innovation, wirtschaftliche Dynamik und rechtliche Flexibilität – Zur Notwendigkeit einer innovationsoffenen Klimaschutzregulierung	89
REINHARD LEITHNER: Technische Möglichkeiten und Grenzen der Kraft-Wärme-Kopplung	106
JÖRK KNEPLER: Die zukünftige Rolle der Kraft-Wärme-Kopplung aus Sicht eines Regionalversorgungsunternehmens	126
Diskussionsprotokoll	133

KLAUS HASSELMANN, Hamburg

Der Kyoto-Prozess zum Klimaschutz: Hintergründe und Entwicklungsoptionen aus Sicht der Klimaforschung

1. Einleitung

Das Problem des globalen Klimawandels stellt eine der schwierigsten Herausforderungen an die heutige Menschheit dar. Seit der UN-Konferenz über Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro 1992 ist die globale Dimension des Problems stärker ins allgemeine Bewusstsein der Bevölkerung gedrungen, und die schwierigen Verhandlungen zur Umsetzung der in Rio de Janeiro beschlossenen Klimarahmenkonvention im Kyoto Protokoll wurde aufmerksam von der Öffentlichkeit verfolgt. Diese Entwicklungen bedeuten einen wichtigen Wendepunkt auch für die Klimaforschung. Neben der Verbesserung der Vorhersagen des zukünftigen Klimas und der Klärung der Anteile der schon heute beobachteten Klimaänderungen, die durch den Menschen oder durch natürliche Einflüsse verursacht wurden, muss sich die Klimaforschung nunmehr auch stärker mit der Frage befassen, wie der Gefahr einer zukünftigen Klimaänderung am effektivsten zu begegnen ist. Diese Aufgabe kann allerdings nicht von einzelnen Disziplinen allein bewältigt werden, sondern erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Klimaforschern, Ökonomen, Sozialwissenschaftlern, Politologen und Forschern anderer Fachrichtungen. Darüber hinaus müssen Wissenschaftler verstärkt mit den sogenannten „Stakeholder“, d.h. den betroffenen wirtschaftlichen und politischen Akteuren, kommunizieren. Im Folgenden sollen einige Fragestellungen der Klimaforschung in diesem erweiterten Rahmen kurz geschildert werden.

2. Ergebnisse der Klimaforschung

Die aktuellen Bestrebungen der Politik, eine wirkungsvolle Klimaschutzpolitik zu entwickeln, sowie die breite Unterstützung dieses Anliegens durch die Öffentlichkeit, wurden maßgeblich durch zwei Entwicklungen gefördert: erstens durch die wirksame Information der Öffentlichkeit durch die Berichte des *UN Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC)*, die in nunmehr drei Auflagen (*IPCC* 1990, 1995, 2001) den jeweils aktuellen Stand der Klimaforschung ausführlich dargestellt haben; zweitens durch den fortlaufenden Anstieg der Emissionen der Treibhausgase, durch den die Änderungen des Klimas durch menschliche Einwirkungen in den letzten Jahren immer deutlicher aus dem Hintergrund der natürlichen Klimaveränderlichkeit herausgetreten ist.

Während im ersten Bericht des *IPPC (IPCC, 1990)* die Beobachtung einer durch die Menschen verursachten Klimaveränderung noch nicht mit hinreichender statistischer Sicherheit nachgewiesen werden konnte, stand bereits im zweiten *IPPC*-Bericht (*IPCC, 1996*) der vielzitierte Satz: „The balance of evidence suggests a human influence on climate“. Im dritten *IPPC*-Bericht (*IPCC, 2001*) hatten sich die Indikatoren einer anthropogenen Kli-

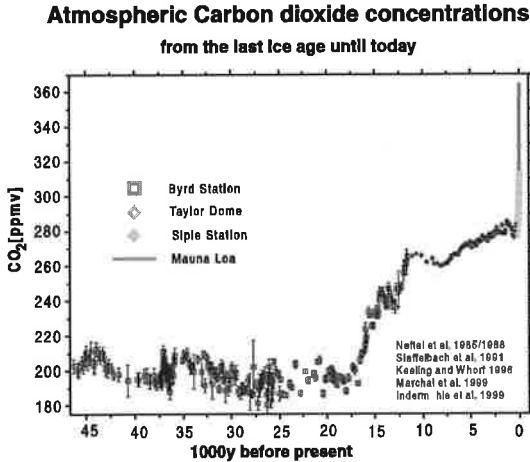


Abb. 1: Änderung der CO₂ Konzentration der letzten 47000 Jahre (nach IPCC, 2001)

maänderung dann bereits so stark ausgeprägt, dass die große Mehrheit der Klimaforscher heute kaum noch bezweifelt, dass eine anthropogene Klimaänderung heute schon beobachtet wird.

Als Beispiele zeigen Abbildungen 1 und 2 neuere Zeitreihen der CO₂ Konzentration der Atmosphäre sowie der in den letzten Jahren hierzu parallel verlaufenden globalen Mitteltemperatur der Erde, die kaum als natürliche Klimaschwankung erklärt werden können. Während die beobachtete globale Erwärmung in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts, insbesondere das lokale Maximum in den dreißiger und vierziger Jahren, noch als natürliche Schwankung, oder als Überlagerung von natürlichen und anthropogenen Änderungen, interpretiert werden kann, liegt die rapide Erwärmung in den letzten drei Jahrzehnten deutlich oberhalb des Pegels der natürlichen Klimaschwankungen.

Das eigentliche Problem der Klimaänderung liegt aber weniger in der heute beobachteten noch geringen globalen Erwärmung von ca. 0.7° C als vielmehr in der von Modellen prognostizierten wesentlich höheren Erwärmung in diesem und späteren Jahrhunderten, sollten die Treibhausgasemissionen weiterhin ungehindert ansteigen. Abbildung 3 zeigt die bisherige Zunahme der wichtigsten anthropogenen Treibhausgase, sowie ihr extrapoliertes weiterer Anstieg bis Ende dieses Jahrhunderts nach einem „Business as usual“ Szenarium des IPCC bei unregulierten Emissionen. Mit Ausnahme der Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW), die in Folge des Montreal-Abkommens zum Schutz der stratosphärischen Ozonschicht und seiner späteren Verschärfungen allmählich abnehmen (obwohl die dadurch erreichte Treibhausgasminderung durch die für die Ozonschicht zwar unschädliche, aber ebenfalls treibhauswirksamen Ersatzgase teilweise wieder aufgehoben wird), zeigen alle Treibhausgase einen deutlichen Anstieg. Der wichtigste anthropogene Beitrag (ca. 60%) wird vom CO₂ geliefert, während die Anteile der übrigen Gase bei etwa 20% (Methan), 15% (FCKW- derzeit) und 5% (N₂O) liegen. Die direkte Wirkung dieser

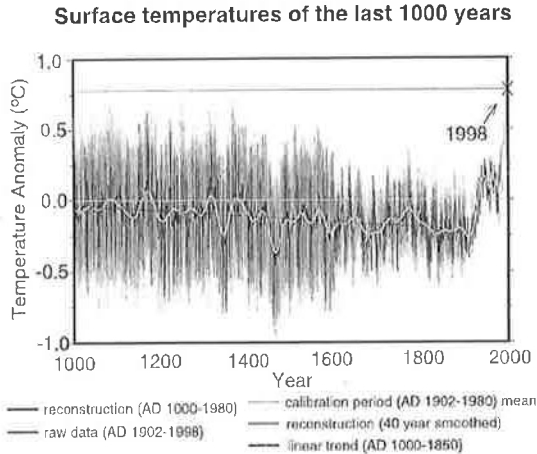


Abb. 2: Rekonstruierte Änderung der globalen Mitteltemperatur der letzten 1000 Jahre (nach IPCC, 2001)

Treibhausgas wird noch um einen Faktor von etwa 2.5 verstärkt durch die Zunahme der atmosphärischen Konzentration von Wasserdampf (dem wichtigsten Treibhausgas) in Folge der globalen Erwärmung.

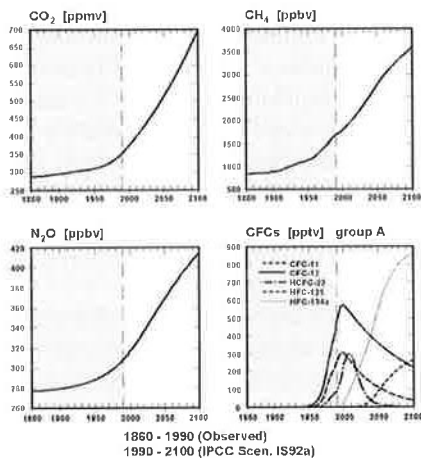


Abb. 3: Bisherige und prognostizierte Zunahme der atmosphärischen Konzentrationen der wichtigsten anthropogenen Treibhausgase bei unbehindertem Anstieg der Emissionen (BAU Szenarium, nach IPCC, 1995)

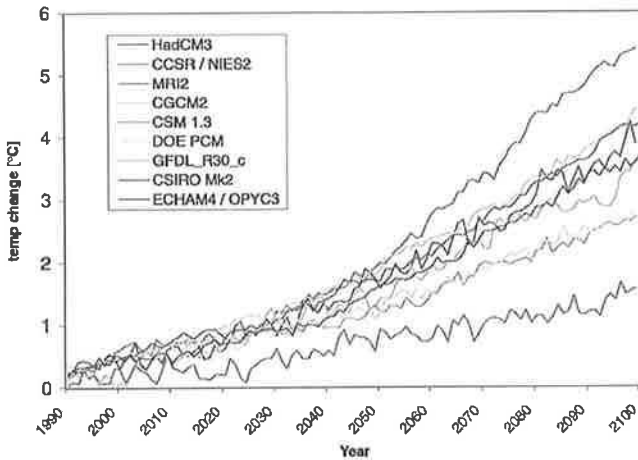


Abb. 4: Mit verschiedenen Klimamodellen berechnete Zunahmen der globalen Mitteltemperatur für ein typisches BAU Szenarium (siehe Abbildung 3), (nach IPCC, 2001)

Mit aufwendigen globalen Gitterpunkt-Modellen (sogenannten Allgemeinen Zirkulationsmodellen) des gekoppelten Systems Atmosphäre-Ozean lassen sich aus den prognostizierten Treibhausgaskonzentrationen die entsprechenden Klimaänderungen berechnen. Auch wenn die Ergebnisse unterschiedlicher Modelle (Abbildung 4) um etwa 50% streuen, ist ihr Mittelwert dennoch gut definiert und liegt mit etwa 3°C bereits im Bereich der globalen Erwärmung (etwa 4°C) seit der letzten Eiszeit. Die Erwärmung erfolgt jedoch über einen wesentlich kürzeren Zeitraum und somit um ein bis zwei Größenordnungen schneller als nach der letzten Eiszeit. Hiermit verbunden sind Verschiebungen der Klimazonen, Änderungen der Häufigkeiten von extremen Wetter- und Klimaereignissen, ein Anstieg des Meeresspiegels, und mögliche Instabilitäten wie ein Zusammenbruch des Golfstromsystems, ein mögliches Abbrechen des West-Antarktischen Eisschildes, das einen Anstieg des Meeresspiegels um mehrere Meter auslösen würde, oder die Freisetzung größerer Methanvorkommen, die zur Zeit in Permafrost Gebieten eingefroren sind. Klimaänderung dieser Größe, Geschwindigkeit und Ausmaßes liegen weit außerhalb der historischen Erfahrung der Menschheit und sind in ihren Auswirkungen auf die Lebensbedingungen der Menschheit heute nicht vorhersehbar.

Obwohl das Augenmerk der Öffentlichkeit sich verständlicherweise auf die prognostizierten Klimaänderungen in den nächsten Jahrzehnten bis maximal dem Ende dieses Jahrhunderts richtet, sind noch gravierendere Klimaänderungen in den folgenden Jahrhunderten zu erwarten, falls die Emissionen langfristig nicht deutlich heruntergefahren worden sind.

Abbildung 5 zeigt die berechneten CO₂ Konzentrationen und entsprechenden Klimaänderungen für vier Emissionsszenarien des wichtigsten anthropogenen Treibhausgases CO₂. Die Rechnungen wurden mit einem vereinfachten sogenannten Impuls-Response durchgeführt, das an Hand hochauflösender gekoppelter Atmosphäre-Ozean-Kohlenstoffkreislauf-

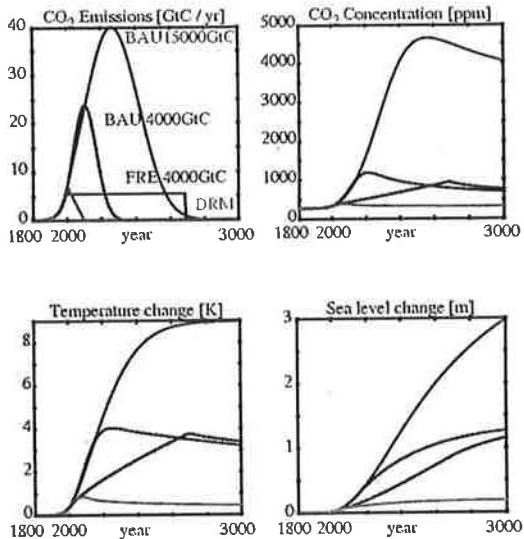


Abb. 5: CO₂ Emissionen und berechnete CO₂ Konzentrationen, globale Mitteltemperaturen und Meeresspiegelanstiege infolge der Erwärmung des Ozeans für vier Szenarien: BAU 15000GtC (Business as Usual, bei Verwendung aller geschätzten fossilen Ressourcen), BAU 4000GtC (Business as Usual, bei Verwendung nur der geschätzten konventionellen fossilen Ressourcen), F (eingefrorene Emissionen) und D („drakonische“ Emissionsreduktion).

Modelle kalibriert wurde. Im Unterschied zu den üblichen *IPPC* Szenarien, die nur für die nächsten hundert Jahre berechnet werden, wurde die Simulationen in diesem Falle – dem langen Gedächtnis des Klimasystems angepasst – über tausend Jahre ausgeführt. Beim Meeresspiegelanstieg ist sogar diese Zeit zu kurz zur Erreichung eines Gleichgewichts.

Besonders dramatisch ist die Klimaänderung (8°C globale Erwärmung sowie ein Meeresspiegelanstieg von 3m allein infolge der Meerereswärmung, ohne Berücksichtigung des Abschmelzens von Gletschern) für das Business as Usual Szenarium BAU16000 GtC [Gigatonnen Kohlenstoff], bei dem alle geschätzten fossilen Ressourcen verbraucht werden, einschließlich der sogenannten exotischen Ressourcen, wie Ölschiefer, Tärssände und Methan-Klathrate im tiefen Ozean. Aber auch beim Szenarium BAU4000 GtC, bei dem nur die geschätzten konventionellen fossilen Ressourcen berücksichtigt wurden (Öl, Gas und in erster Linie Kohle), sind die berechneten Änderungen der Temperatur (4°C) und des Meeresspiegels (1m) kaum akzeptabel. Allerdings sind die Modellergebnisse für derart starke Klimaänderungen, die jenseits der zur Kalibrierung der Modelle verwendbaren Datenbereiche liegen, nur als größenordnungsmäßige Anhaltspunkte zu sehen.

Ein Einfrieren der Emissionen auf das heutige Niveau (Szenarium F) führt ebenfalls langfristig, falls alle geschätzten konventionellen fossilen Ressourcen in Höhe von 4000 GtC Kohlenstoff verbraucht werden, zu Klimaänderungen von vergleichbarer Größenordnung wie beim Szenarium BAU4000GtC. Eine deutliche Verringerung der globalen

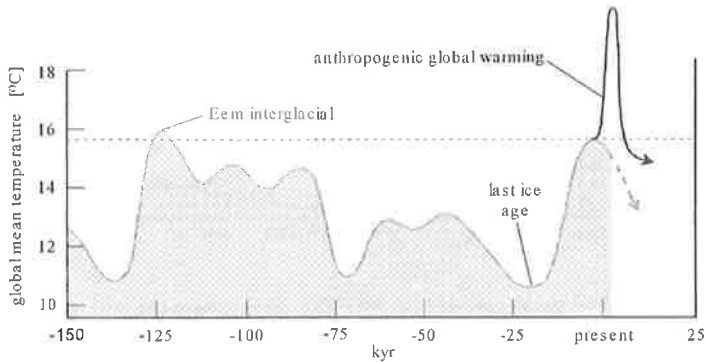


Abb. 6: Änderung der globalen Mitteltemperatur der Erde seit 150,000 Jahren, mit überlagerter möglicher anthropogener Erwärmung beim Verbrauch aller geschätzten konventionellen fossilen Energieträger

Erwärmung ist nur zu erreichen, wenn die Emissionen langfristig stark heruntergefahren werden (Szenarium D). Wegen des langen Gedächtnisses des Klimasystems ist nicht die momentane Höhe der Emissionen letztlich ausschlaggebend, sondern die Gesamtsumme der über die Zeit integrierten Emissionen.

In Abbildung 6 sind die möglichen langfristigen anthropogenen Klimaänderungen aus der Perspektive der längerfristigen natürlichen Klimaänderungen der Vergangenheit dargestellt. Es wird gelegentlich argumentiert, dass die Erdgeschichte schon mehrere starke Klimaumschwünge überstanden hat und auch eine mögliche Klimaänderung durch den Menschen verkraften wird. Dies ist sicherlich aus Sicht der Geologie vertretbar, aber kaum aus Sicht der menschlichen Zivilisation. Diese hat sich erst seit dem Ausklang der letzten Eiszeit vor 10 000 Jahren, dem Beginn des Holozäns, unter annähernd konstanten Umweltbedingungen entwickelt (stärkere kürzerfristige Ausschläge vor dem Holozän sind in der Abbildung geglättet). Im Falle weiterhin steigender Treibhausgasemissionen würde unsere Umwelt somit einem Änderungsdruck ausgesetzt werden, der seit dem Holozän nicht mehr aufgetreten ist.

3. Das Kyoto Protokoll

Was bedeuten nun die Ergebnisse der Klimaforschung für das Kyoto Protokoll, für den ersten Schritt zur Umsetzung der UN Klimarahmenkonvention in bindende Vereinbarungen?

Das Kyoto Protokoll verpflichtet die Industriestaaten, ihre Treibhausgas-Emissionen bis zu den Jahren 2008-2012 um 5% relativ zum Stand von 1990 zu reduzieren. Bei der Berechnung der Reduktionen werden auch CO₂ Senken durch Aufforstung und andere Maßnahmen berücksichtigt. Weil diese Maßnahmen früher nicht aus Gründen des Klimaschutzes vorgenommen wurden, und die quantitative Ermittlung der Senken außerdem

schwierig ist, war dies lange ein strittiger Punkt, für den man aber schließlich Kompromisslösungen gefunden hat. Trotz der Weigerung des größten Treibhausgasemittenten, der USA, der Kyoto Vereinbarung beizutreten, bestehen nach der letzten Verhandlungsrunde in Marrakesch im November 2001 gute Aussichten, dass eine ausreichende Anzahl von Staaten das Kyoto Protokoll nunmehr ratifizieren wird, um es in Kraft zu setzen.

Nach den oben wiedergegebenen Szenarienrechnungen werden die vorgesehenen Reduktionen allerdings nur wenig zum Ziel einer weitgehend emissionsfreien Energietechnologie auf lange Sicht beitragen. Hierauf wird im nächsten Abschnitt eingegangen. Die Bedeutung des Kyoto Abkommens muss in erster Linie im wichtigen ersten Schritt einer Einigung auf verbindliche Reduktionsziele gesehen werden. Der Stopp des historisch ungebrochenen Emissionsanstiegs der Industrieländer stellt einen wichtigen Wendepunkt in der Klimapolitik dar. Das Kyoto Protokoll bietet außerdem die Gelegenheit, wichtige Erfahrungen in der Effektivität unterschiedlicher Regulierungsinstrumente zu gewinnen.

Zur Realisierung des Reduktionsziels sieht das Kyoto Protokoll im wesentlichen drei Instrumente vor: Handelbare Zertifikate, „Joint Implementation“ (JI) und den „Clean Development Mechanism“ (CDM). Ziel der ersten beiden Instrumente ist die Lenkung von Maßnahmen zur Emissionsreduktion dorthin, wo die Kosten am niedrigsten sind. Durch den Handel mit Emissionszertifikaten kann ein Emittent, der seine Emissionen besonders kostengünstig senken kann, seine Emissionen über das vorgeschriebene Maß senken, und seine hierdurch ersparten Emissionsrechte einem anderen Emittenten verkaufen, deren Emissionen sich nur unter höheren Kosten reduzieren lassen - zum wirtschaftlichen Vorteil beider Beteiligten.

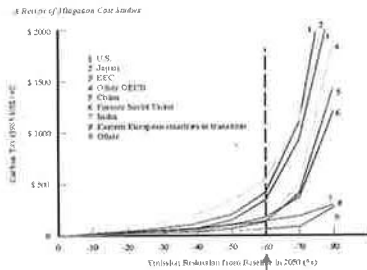
Ähnliche Überlegungen liegen den „Joint Ventures“ zu Grunde: Investitionen eines Unternehmers zur Reduktion der Emissionen in einem anderen (im allgemeinen Entwicklungs-) Land werden den Reduktionsauflagen des Heimatlandes des Unternehmers gutgeschrieben. Auch hierdurch werden Investitionen zur Emissionsreduktion dort hingelenkt, wo sie am wirtschaftlichsten eingesetzt werden können.

Ziel des „Clean Development Mechanism“ (CDM) ist die Unterstützung der Entwicklungsländer bei ihren Bemühungen um Emissionsreduktion. Da die Entwicklungsländer einen starken wirtschaftlichen Nachholbedarf haben und zugleich wesentlich weniger als die Industrieländer zum Treibhausgasproblem bisher beigetragen haben, ist es verständlich, dass sie das Klimaproblem nicht mit der gleichen Priorität wie die Industrieländer betrachten. Andererseits ist abzusehen, dass sie bei ihrer zum Teil rasanten wirtschaftlichen Entwicklung in wenigen Jahren den Treibhausgasausstoß der Industrieländer deutlich übertreffen werden. Es ist daher wichtig, dass sie beim Aufbau ihrer Wirtschaft Unterstützung seitens der Industrieländern erhalten, damit die Entwicklung auf der Basis einer modernen, emissionsarmen Energietechnologie erfolgt. Neben Investitionen im Rahmen von Joint Implementation und indirekten Anreizen durch Emissions Trading sollen im CDM Programm drei Fonds hierzu eingerichtet werden: der „Climate Change Fund“, der „Least Developed Country Fund for National Adaptation Programms of Action“, und der „Kyoto Protokoll Adaptation Fund“, der aus Versäumnisbeiträgen von Industrieländern gespeist werden soll, die ihre im Kyoto Protokoll festgelegten Reduktionsziele verfehlen.

4. Das Kyoto Protokoll aus der Sicht langfristiger Klimaänderungen

Bei den Bemühungen um die Realisierung der Reduktionsziele des Kyoto Protokolls bis zum Bemessungszeitraum 2008-2012 stehen naturgemäß kurzfristige technologische Maßnahmen im Vordergrund. Dabei sollte die Langfristspektive aber nicht aus dem Auge verloren werden. Die im Kyoto Protokoll vereinbarten Emissionsverringerungen machen nur einen Bruchteil der langfristig erforderlichen Reduktionen aus. Es sollten daher kurzfristig realisierbare Einsparungsmöglichkeiten, die in Bezug auf das Kyoto Protokoll zunächst attraktiv erscheinen, auch hinsichtlich ihrer langfristigen Reduktionspotentiale beurteilt werden. Viele der kurzfristig umsetzbaren technologischen Optionen, wie Steigerung der Energieeffizienz auf der Erzeuger- und Nutzerseite, Wind- und Wasserenergie, oder Biomassenverbrennung, zeichnen sich durch begrenzte langfristige Reduktionspotentiale aus. Dasselbe gilt für die Beiträge zur Gesamtreibhausgasreduktion durch die Spurengase Methan und Lachgas (die Beiträge von FCKW klingen ohnehin allmählich ab). Gleichzeitig mit der Einführung kurzfristig kostengünstiger regenerativer Energietechnologien sollten daher auch weitere Technologien entwickelt und durch entsprechende Stützungsmaßnahmen in den Markt eingeführt werden, die langfristig weit höhere Reduktionspotentiale bieten, aber ohne Subventionen heute nicht konkurrenzfähig wären. Hierzu gehören insbesondere thermische und photovoltaische Sonnenenergie in verschiedener Form, in Verbindung mit der Wasserstofftechnologie. Ohne solche vorausschauende Förderungsmaßnahmen ist zu befürchten, dass in der Post-Kyoto-Ära, nach Erschöpfung der Reduktionspotentiale der zunächst eingeführten kostengünstigeren Einsparungsoptionen, eine weitere Reduktion der Treibhausgasemissionen vor einer nur schwer überwindbaren Preisbarriere stehen wird.

Dieses wird durch Abbildung 7 veranschaulicht. In der oberen Hälfte sind die geschätzten Reduktionskosten, ausgedrückt als Anteil einer CO₂-Steuer am Bruttosozialprodukt, in Abhängigkeit der erzielten Emissionsreduktion dargestellt (nach IPCC 1996), in der unteren Hälfte sind die mit verschiedenen Technologien erzielbaren Reduktionen aufgetragen über die Zeit (ebenfalls geschätzt, nach IPCC 2000). Dabei ist anzumerken, dass der projizierte Anstieg der CO₂ Emission beim BAU-Szenarium im unteren Bild von derzeit etwa 6 GtC/Jahr auf etwa 25 GtC/Jahr am Ende dieses Jahrhunderts sich allein aus der zunehmenden Weltbevölkerung und der Angleichung des Lebensstandards der Entwicklungsländer an die Industrieländer erklären läßt, ohne eine nennenswerte Zunahme der pro Kopf Emissionen der Industrieländer. Zur Zeit beträgt der Anteil der Entwicklungsländer an den industriellen CO₂-Emissionen nur etwa ein Drittel, an der Weltbevölkerung dagegen zwei Drittel. Will man daher die heutigen globalen Emissionen von 6 GtC/Jahr auf etwa 1 GtC/Jahr bis zum Ende dieses Jahrhunderts – den Modellrechnungen entsprechend – reduzieren, so genügt es nicht, die heutigen pro Kopf Emissionen der Industrieländer um etwa den Faktor 6 zu reduzieren, sondern die pro Kopf Emissionen müssten vielmehr, nach Übertragung auf den globalen Maßstab, und bei Berücksichtigung des BAU Emissionswerts am Ende dieses Jahrhunderts, um etwa den Faktor 25 reduziert werden. Mit den heute im Rahmen der kurzfristigen Kyoto Ziele im Vordergrund stehenden Reduktionsmaßnahmen, nämlich erhöhte Energieeffizienz, verstärkte Nutzung von CO₂ Senken durch Aufforstungs- und andere Maßnahmen, Verwendung von Biomasse,



Source: Van der Meer (1995)
 Figure 9.26: Required carbon tax (required for equivalent CO₂ emissions reductions from baseline)

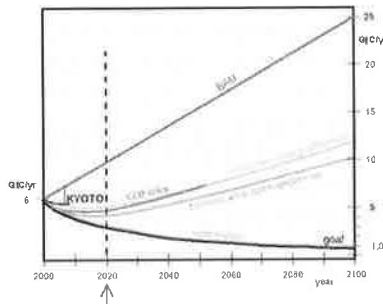


Abb. 7: Oben: CO₂ Steuer in Abhängigkeit der erzielten CO₂ –Emissionsreduktion (nach IPCC, 1995). Unten: Geschätzte potentielle Beiträge verschiedener Technologien zur Emissionsreduktion als Funktion der Zeit. Ohne Markteinführungshilfen für zur Zeit teure aber langfristig leistungsfähige Technologien wie die Solartechnologie ist nach Ausschöpfung der heute kostengünstigeren Technologien ab etwa 2020 ein stärkerer Preisanstieg zu erwarten.

Wind und Hetroenergie, usw., lässt sich dagegen eine Reduktion nur um etwa 50% erreichen.

Sobald die Emissionsreduktion etwa.60% übersteigt, nimmt die erforderliche CO₂-Steuer stark zu. Die markierte Stelle des stärkeren Steueranstiegs im oberen Bild entspricht der markierten Stelle beim Jahre 2020 im unteren Bild, bei der die kostengünstigsten Reduktionsmöglichkeiten (Steigerung der Energieeffizienz auf der Erzeuger- und Nutzerseite, Windenergie, Biomasse, Senken durch Aufforstung und ähnlichen Maßnahmen) ausgeschöpft und eine weitere Emissionsreduktion nur durch die Einführung neuer, noch nicht ausgereifter Technologien im größeren Maßstab zu erzielen ist. Zu diesen gehören insbesondere die Solarenergie, in Verbindung mit der Wasserstofftechnologie (um die vorwiegend in den Sonnengürteln gewonnene Energie zu den Hauptnutzern in höheren Breiten transportieren zu können) sowie die Sequestrierung von CO₂ im Ozean oder auf Land. Sofern die Probleme der Sicherheit und der Endlagerung gelöst werden können, sollte auch die Kernenergie wieder in die Diskussion einbezogen werden, sowie – in fernerer Zukunft – die Kernfusion.

Grundsätzlich bestehen mehrere technologische Optionen zur Transformation unserer Energieversorgung in eine weitgehend CO₂-emissionsfreie Energiewirtschaft (IPCC 2001, Working Group III). Welche sich langfristig durchsetzen wird, ist heute nicht vorhersagbar, aber ohne Markteinführungshilfe ist zu bezweifeln, dass die erforderliche Reduktion auf einen Bruchteil der heutigen Emissionen innerhalb dieses Jahrhunderts erreicht werden kann.

Sind diese Reduktionsziele schließlich, auch wenn sie technologisch erreichbar sind, finanziell zu erschwingen? Um diese Frage zu beurteilen, sollte man die geschätzten Reduktionskosten in Relation zu den zu erwartenden Wachstumsraten der Weltwirtschaft betrachten. Nehmen wir an, die Weltwirtschaft wächst in den nächsten 50 Jahren im Mittel um ca. 2% pro Jahr - eine relative bescheidene Prognose im Vergleich zur mittleren, inflationsbereinigten Wachstumsrate der Industrieländer in den letzten 100 Jahren von etwa 7% sowie den hohen Wachstumsraten der heutigen Schwellenländer. Nehmen wir ferner an, die Reduktionskosten lassen sich durch rechtzeitige Markteinführungsstützung der erforderlichen Technologien langfristig auf 2% des Bruttosozialproduktes beschränken. Die Einführung von Klimaschutzmaßnahmen würde dann eine Verzögerung des bis zum Jahre 2050 erreichbaren (im Konsum gemessenen) Lebensstandards der Weltbevölkerung um ein Jahr, vom Jahre 2050 auf das Jahr 2051, verursachen. In Anbetracht der nicht absehbaren Risiken einer ungeminderten globalen Treibhauserwärmung erscheint dieser Preis durchaus vertretbar.

Literatur

IPCC, Climate Change 1995, Second Assessment Report:

Working Group I, The Science of Climate Change, J.T.HOUGHTON, L.G. MEIRA FILHO, B.A.CALLENDER, N.HARRIS, A.KATTENBERG and K.MASKELL,

Working Group II, Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change, R.T.WATSON, M.C.ZINYOWERA, R.H.MOSS and D.J.DOKKEN

Working Group III, Economic and Social Dimensions of Climate Change, J.B.BRUCE, H.LEE and E.F.HAITES, Cambridge University Press, 1996

IPCC, Climate Change 2001, Third Assessment Report:

Working Group I, The Scientific Basis, J.T.HOUGHTON, Y.DING, D.J.GRIGGS, M.NOQUER, P.J. VAN DER LINDEN, X.DAI, K.MASKELL and C.A.JOHNSON,

Working Group II, Impacts, Adaptation and Vulnerability, J.J.McCARTHY, O.F.CANZIANI, N.A.LEARY, D.J.DOKKEN and K.S.WHITE,

Working Group III, Mitigation, B.METZ, O.DAVIDSON, B.SWART and J.SWAN, Cambridge University Press, 2001