

DE



KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN

Brüssel, den 10.1.2007
SEK(2006) 1723

ARBEITSDOKUMENT DER KOMMISSIONSDIENSTSTELLEN

**Mitteilung der Kommission über nachhaltige Stromerzeugung aus fossilen
Brennstoffen:**

Ziel: Weitgehend emissionsfreie Kohlenutzung nach 2020

Zusammenfassung der Folgenabschätzung

{ KOM(2006) 843 endgültig }
{ SEK(2006) 1722 }
{ SEK(2007) 12 }

ZUSAMMENFASSUNG

1. EINGRENZUNG DES PROBLEMS

Fossile Brennstoffe werden allenthalben verwendet. Bei ihrer Verbrennung entstehen jedoch CO₂-Emissionen, die wichtigste der vom Menschen ausgehenden Ursachen des globalen Klimawandels.

Das erklärte Ziel der EU ist es, den globalen Anstieg der Durchschnittstemperaturen auf maximal 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, wofür die globalen Treibhausgasemissionen bis 2050 um 15 bis 50 % gegenüber 1990 verringert werden müssen.

Kohle ist der umweltschädlichste fossile Brennstoff. Während bei anderen Schadstoffen (NO_x, SO_x, Schwebstoffe) erhebliche Fortschritte erzielt wurden, entstehen bei der Verbrennung von Kohle wegen ihres hohen Kohlenstoffgehalts große Mengen Kohlendioxid. Auf die Stromerzeugung aus Kohle in der EU-27 entfielen 2005 ca. 950 Millionen Tonnen CO₂. Dies entspricht 70 % der durch die Stromerzeugung verursachten CO₂-Emissionen in Europa und 24 % der gesamten CO₂-Emissionen der EU. Die jüngsten weltweiten Statistiken sind noch beeindruckender: Hier schlägt die Kohleverstromung mit 8 Milliarden Tonnen CO₂ zu Buche, was 76 % der durch Stromerzeugung verursachten CO₂-Emissionen und rund 30 % der weltweiten CO₂-Emissionen insgesamt entspricht.

Die Kohlereserven sind in der Welt gleichmäßiger verteilt als andere fossile Brennstoffe. Ein dynamischer und liquider Markt bietet die Möglichkeit, Kohle aus praktisch allen Kontinenten und einer Vielzahl von Ländern zu beziehen. Nach gegenwärtigem Stand reichen die Steinkohlereserven noch für annähernd 200 Jahre und die der Braunkohle noch für ca. 130 Jahre. Dies ist vergleichsweise günstig gegenüber den Öl- und Gasvorkommen, die (nach derzeitigem Stand) noch für rund 40 bzw. 60 Jahre reichen dürften.

2. ZIELE

Eine kurze Analyse hat gezeigt, dass sich die gewünschte Reduzierung der CO₂-Emissionen aus der kohlegestützten Stromerzeugung (auf wettbewerblicher Grundlage) nicht allein durch eine effizientere Energieumwandlung oder ausschließlich durch Kohlenstoffsequestrierung (CCS, *CO₂ capture and storage*) erreichen lässt. Durch Effizienzsteigerungen können zwar in der Anfangsphase bestimmte CO₂-Emissionen erheblich verringert werden, das Ziel der Emissionsvermeidung ist so allerdings nicht realisierbar. Langfristig könnten sogar mehr CO₂-Emissionen aus der Kohleverstromung die Folge sein, wenn der Kohleanteil am Energiemix aus irgendeinem Grund weit über das derzeitige Niveau hinaus ansteigen sollte. Allein durch Kohlenstoffsequestrierung ließe sich das Ziel der weitgehenden Emissionsvermeidung zwar erreichen, doch würde dies ohne gleichzeitige Effizienzsteigerungen die Wettbewerbsfähigkeit der kohlegestützten Stromgewinnung beeinträchtigen. Selbst wenn dies ohne Konsequenzen bliebe, wären mit CCS allein viel größere Kohlemengen bei gleicher Stromausbeute nötig und die begrenzten Kohlevorräte möglicherweise schneller

erschöpft. Dies würde zu zusätzlichen Kosten führen und die Versorgungssicherheit beeinträchtigen.

Der langfristig einzig gangbare Weg, die CO₂-Emissionen zu reduzieren, ohne die Wettbewerbsfähigkeit der Kohle zu beeinträchtigen, besteht somit in einer integrierten technischen Lösung (im Folgenden „Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung“), die eine effizientere Energieumwandlung (durch Anwendung und Förderung sauberer Kohletechnologien) und CCS-Konzepte beinhaltet.

Das Ziel der EU-Politik sollte darin bestehen, bei der Entwicklung und breiten Einführung von Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung möglichst rasch für bessere Bedingungen zu sorgen.

Dieses allgemeine Ziel soll über folgende Etappen erreicht werden:

- (1) Anwendung der besten verfügbaren Technologien in allen neu errichteten Kohlekraftwerken von Beginn an
- (2) ab 2010 sollen alle neuen Kraftwerke „abscheidefähig“ sein, d. h. mit CCS-Technologien nachgerüstet werden können
- (3) Demonstration kommerziell tragfähiger Technologien zur emissionsfreien Kohleverstromung bis 2020 (gemäß den Zielen der Technologieplattform für das mit fossilen Brennstoffen betriebene emissionsfreie Kraftwerk)
- (4) ab 2020 sollen Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung im Vordergrund stehen, so dass die nicht emissionsfreie Kohleverstromung eingestellt werden kann
- (5) als Vorreiterin bei Technologietransferprojekten bleibt die EU weltweit führend in der Entwicklung und Einführung von Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung.

3. AKTUELLER STAND DER TECHNOLOGIEN ZUR NACHHALTIGEN KOHLENUTZUNG UND VERBLEIBENDE HERAUSFORDERUNGEN

Die Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung werden aus einer Kombination moderner, sauberer Kohletechnologien mit hocheffizienter Kohleverbrennung und CCS-Konzepten hervorgehen.

Die Kohlenstaubverbrennung ist derzeit die am weitesten verbreitete Umwandlungstechnologie. Neben verbesserten Formen der Kohlenstaubverbrennung unter so genannten USC-Bedingungen (*ultra super-critical combustion – USC*) zählen zu den neuen Technologien Kombikraftwerke mit integrierter Kohlevergasung (IGCC) und Verbrennungsprozesse mit erhöhtem Sauerstoffanteil (*oxygen-rich combustion, OC*), die eine noch effizientere Energieumwandlung bei gleichzeitiger CO₂-Abscheidung ermöglichen.

Im Bereich der USC-Technologien sind Forschung, Entwicklung und Demonstrationen notwendig, um die Materialentwicklung, die Herstellung und Erprobung von Komponenten sowie Demonstrationen unter realen Bedingungen

voranzutreiben. IGCC und OC-Technologien müssen erheblich verbessert werden, bevor solche Kraftwerke in der Stromerzeugung zur Standardinvestition werden. Insbesondere in der IGCC-Technik bedarf es einer robusteren, effizienteren und zuverlässigeren Kohlevergasungstechnologie.

Bei der CO₂-Abscheidung wurden technische Lösungen entwickelt, die auch in anderen Industriebereichen genutzt werden. Generell ist die bestehende Prozesskapazität jedoch zu gering im Vergleich zu den in einem Großkraftwerk entstehenden CO₂-Mengen. Künftige FTE-Tätigkeiten sowie Arbeiten zur Prozessoptimierung und -umgestaltung sollen die CO₂-Abscheidung erheblich kostengünstiger werden lassen.

Zur langfristigen CO₂-Speicherung sind geologische Formationen wie salzhaltige Grundwasserleiter, erschöpfte oder für eine verbesserte Öl-/Gas-Rückgewinnung geeignete Erdöl- und Erdgasfelder sowie für die Methanextraktion mit erhöhter Ausbeute geeignete Kohleflöze vorgesehen. Weitere FTE-Tätigkeiten auf diesem Gebiet werden der Verträglichkeit und Sicherheit der CO₂-Speicherung in geologischen Formationen sowie haftungsrechtlichen Fragen gewidmet sein. Dadurch soll das Vertrauen in diese Form der CO₂-Lagerung gestärkt werden.

Die Einführung von Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung wird enorme CO₂-Lagerkapazitäten erfordern. Bei einem gleich bleibenden Kohleanteil am Energiemix und einem 30-%-Anteil der Technologien für nachhaltige Kohlenutzung müssten im Jahr 2030 allein in Europa jährlich 300 - 400 Mio. Tonnen CO₂ gelagert werden. Sollte bis 2050 der Anteil der Technologien für nachhaltige Kohlenutzung 100 % betragen, so wären pro Jahr ca. 900 Mio. Tonnen CO₂ unterirdisch zu lagern. In Europa wurden bereits genügend Kapazitäten zur geologischen CO₂-Speicherung nachgewiesen. Allein die wasserführenden Schichten unter der Nordsee können das CO₂ aus mehreren Jahrhunderten Kohlenutzung in Europa aufnehmen und reichen damit weit über den Zeitpunkt hinaus, zu dem die Kohlereserven voraussichtlich erschöpft sein werden.

Die Rentabilität der Technologien für nachhaltige Kohlenutzung muss in einer Reihe von Demonstrationsvorhaben im industriellen Maßstab nachgewiesen werden. Zur Anwendung kommen dabei moderne Kohleumwandlungstechnologien mit hohem Wirkungsgrad bei vor- oder nachgeschalteter CO₂-Abscheidung und anschließender Lagerung in geologischen Formationen. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen und genügend Erfahrungen zu sammeln, müssen die Vorhaben über ca. fünf Jahre laufen. Die Größe der einzelnen Vorhaben kann unterschiedlich sein. Wegen des geforderten Industriemaßstabs sollte die installierte Leistung jedoch im Bereich 250 - 500 MW liegen. Derzeit könnten in Europa 10 - 12 solcher Vorhaben realisiert werden und 2015 in Betrieb gehen. Somit wäre es bis 2020 möglich, die wirtschaftliche Tragfähigkeit nachhaltiger Kohletechnologien zu beurteilen. Die Kosten solcher Anlagen mit Kohlenstaubverbrennung (gemäß den besten verfügbaren Techniken) und CO₂-Sammlung nach der Verbrennungsstufe (Lagerstätte nicht weiter als 350 km vom Entstehungsort entfernt) werden mit rund 1,7 Mio. €/MW veranschlagt. Bei der IGCC-Technik mit vorgeschalteter CO₂-Abscheidung könnten die Kosten bei knapp unter 1,5 Mio. €/MW liegen. Mit zunehmender Ausreifung der Technologie ist mit einem allmählichen Rückgang dieser Kosten zu rechnen.

4. ORDNUNGSPOLITISCH-RECHTLICHE UND POLITISCH-SOZIALE VORAUSSETZUNGEN

Das ordnungspolitische Umfeld bietet derzeit nicht genügend Anreize, um in Technologien für einen massiven Abbau von CO₂-Emissionen zu investieren. Das bestehende Umweltrecht stammt aus der Zeit, als es noch keine CCS-Technologien gab, und kann zu unbeabsichtigten und unnötigen Hindernissen führen. Planungsmaßnahmen sowie Regelungen für die Entsorgung gasförmiger Abfallstoffe und geologische Untersuchungen müssen geklärt werden, um den Weg für CCS-Technologien zu ebnen. Diese Fragen werden derzeit in einer Studie der Kommission im Rahmen des Europäischen Programms zur Klimaänderung untersucht.

Das Fehlen einer CO₂-Wertekette und dazugehöriger Infrastruktur stellen weitere Hindernisse für die Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung dar. Das System für den Europäischen Emissionshandel könnte die Voraussetzungen für die Entstehung solch einer Wertekette schaffen, wenngleich durch Kohlenstoff-sequestrierung vermiedene CO₂-Emissionen gegenwärtig nicht Teil dieses Handelssystems sind. Ein ordnungspolitisches Umfeld, das eine CO₂-Wertekette langfristig garantiert, könnte zur Errichtung einer CO₂-Infrastruktur (Rohrleitungen usw.) beitragen.

5. VORAUSSICHTLICHE AUSWIRKUNGEN EINER UMSTELLUNG AUF TECHNOLOGIEN ZUR NACHHALTIGEN KOHLENUTZUNG

5.1. Kosten der Stromerzeugung

In dem Sonderbericht des zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) der Vereinten Nationen werden die Kosten der Abscheidung von CO₂ bei der Stromerzeugung sehr unterschiedlich beziffert, nämlich zwischen 15 und 75 USD (12 - 60 €) je Tonne CO₂. Auch die Kosten für Transport und Lagerung unterliegen mit Werten von knapp über 1 € bis 13 € je Tonne CO₂ einer großen Schwankungsbreite. Ausgehend von den derzeitigen Stromerzeugungstechnologien würden sich damit einigen Schätzungen zufolge die Kosten der Kohleverstromung mit CCS um 33 % bis 57 % im Vergleich zur Stromerzeugung ohne CCS erhöhen. Da die geschätzten Kostensteigerungen aber anhand von Modellen mit neuen Kraftwerken undzeitigem Stand der Technik berechnet wurden, blieben die für die kommenden Jahre prognostizierten technologischen Verbesserungen unberücksichtigt. Durch den höheren Wirkungsgrad künftiger Kraftwerke und einen Kostenrückgang bei der CO₂-Abscheidung dürften die CCS-Kosten mit großer Wahrscheinlichkeit erheblich sinken. Ferner sind durch Nebeneffekte der Kohlenstoffsequestrierung (wie die Nutzung von CO₂-Strömen für forcierte Erdölförderungsmaßnahmen) weitere Senkungen der Nettokosten von CCS-Vorkehrungen möglich.

Bei langfristiger Betrachtung der Kohleverstromung mit CCS lassen die verfügbaren Modelle und Untersuchungen die Erwartung zu, dass 2020 oder kurz danach die Stromerzeugung, wenn überhaupt, nur etwa 10 % teurer sein wird als heute. Mit der Fortentwicklung der Verfahren zur Kohleumwandlung und CO₂-Abscheidung sowie einer Ausweitung von Transport und Lagerung sollten die Gesamtkosten der

Kohlenstoffsequestrierung mittelfristig auf 20 € je Tonne CO₂ gedrückt werden können.

Simulationen zufolge, die die Kommission in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Athen auf der Grundlage des PRIMES-Modells erstellt hat, könnten die Strompreise - für einige realistische Kombinationen grundlegender Parameter - lediglich 6 Eurocent pro Kilowattstunde betragen. Werden beispielsweise bei den Emissionsrechten Preise von 40 € je Tonne CO₂ und die aktuellen Kohle- und Gaspreise zugrunde gelegt, so könnten die Kosten für Strom aus IGCC-Kraftwerken mit CCS-Technologie im Jahr 2025 bei 6,22 Eurocent/kWh und 2030 bei 6,144 Eurocent/kWh (Stand 2006) liegen. Dies ist mit den heutigen Kosten der Kohleverstromung ohne CCS (3,5 - 6 Eurocent je Kilowattstunde) und den aktuellen Stromgroßhandelspreisen vergleichbar.

5.2. Umweltfolgen

Der größte ökologische Vorteil der Kohlenstoffsequestrierung ist die erhebliche Verringerung (rund 90 %) der von Kohlekraftwerken ausgehenden CO₂-Emissionen. Bei einem gleich bleibenden Kohleanteil am Energiemix und einem 30-%-Anteil der CCS-Technologien würden im Jahr 2030 allein in Europa jährlich 300 - 400 Mio. Tonnen weniger CO₂ freigesetzt.

Bestimmte Auswirkungen der Kohlenutzung können sich noch verschärfen, wenn durch CCS der Kohleverbrauch ansteigen sollte. Diese ökologischen Auswirkungen sind bekannt und unterliegen einer Kontrolle durch bestehende Umweltgesetze.

Das Hauptrisiko der Kohlenstoffsequestrierung besteht in einem möglichen Austritt von CO₂ aus einem Speicher mit potenziellen lokalen und globalen Auswirkungen. In dem Sonderbericht des IPCC wird allerdings davon ausgegangen, dass der Anteil CO₂, der in ordnungsgemäß ausgewählten und betriebenen geologischen Speichern gelagert wird, über einen Zeitraum von 100 Jahren höchstwahrscheinlich über 99 % und über einen Zeitraum von 1 000 Jahren wahrscheinlich über 99 % beträgt.

Darüber hinaus können CCS-Technologien die Luftverschmutzung positiv beeinflussen, insbesondere die Emissionen von Schwefeldioxid (SO₂) und Stickstoffoxiden (NO_x). Diese Schadstoffe gelten als die Hauptursachen von Versauerung, Eutrophierung, bodennahem Ozon und Schwebstoffen. In Verbindung mit der Kohlenstaubverbrennung könnte CCS zu einem Anstieg der NO_x-Emissionen (jedoch innerhalb der Grenzwerte der Richtlinie über Großfeuerungsanlagen) und einer Verringerung der SO₂-Emissionen um rund 95 % führen. Zu den Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung gehört auch die IGCC-Technik in Verbindung mit CCS, wodurch die NO_x-Emissionen um ca. 80 % reduziert werden könnten. Der Einfluss auf die SO₂-Emissionen bliebe dabei mehr oder weniger neutral. Dies könnte insgesamt die Luftqualität erheblich verbessern und mit spürbaren Vorteilen für die Gesundheit der Bevölkerung und damit geringeren Kosten für die medizinische Versorgung sowie positiven Auswirkungen auf die Ökosysteme einhergehen. Der sich aus der Kohlenstaubverbrennung mit CCS ergebende Nutzen für die Luftqualität würde zwischen 6 % und 18 % der EU-weit entstehenden Kosten der CO₂-Abscheidung ausmachen. Der sich aus IGCC und CCS ergebende Nutzen könnte zwischen 26 % und 70 % dieser Kosten betragen.

6. POLITISCHE ALTERNATIVEN FÜR EINE UMSTELLUNG AUF TECHNOLOGIEN ZUR NACHHALTIGEN KOHLENUTZUNG

In der Folgenabschätzung wurden drei Alternativen zur Förderung der Demonstration und Einführung von Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung analysiert und quantitativ bestimmt.

Alternative 0: Keine Veränderung der Vorgehensweise

Die Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung erhalten keine verstärkte FuE-Unterstützung. Die Kohlenstoffsequestrierung verbleibt ohne geeigneten Rechtsrahmen und wird nicht in das System für den Europäischen Emissionshandel aufgenommen.

Alternative 1: Beseitigung von Hindernissen für Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung

Sowohl technische als auch rechtliche Hindernisse werden beseitigt. CCS-Technologien erhalten eine verstärkte FuE-Unterstützung sowie eine geeignete rechtliche Grundlage. Nachdem die Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung technisch demonstriert und ihre Kosten gesenkt wurden, wird ihre Durchdringung des Kraftwerkssektors dem Markt überlassen (durch Anreize in Form von Preisfestsetzungen für CO₂-Emissionszertifikate).

Alternative 2: Anreize für die Demonstration und Anwendung von Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung

Neben den Maßnahmen der Alternative 1 enthält die Alternative 2 zusätzliche Anreize im Hinblick auf die kommerzielle Demonstration und weite Verbreitung von Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung (nach Erreichung der Rentabilitätsschwelle). Solche Anreize können zu gegebener Zeit geschaffen werden, insbesondere wenn die vom Markt ausgehenden Signale oder das unternehmerische Engagement für unzureichend erachtet werden oder die Gefahr besteht, dass die CO₂-Emissionsziele verfehlt werden könnten.

Die Untersuchungen haben zu folgenden Ergebnissen und Schlussfolgerungen geführt:

Die Alternative 0 ist ungeeignet, wenn der doppelte Nutzen einer sicheren Energieversorgung und ökologischer Nachhaltigkeit mit Synergieeffekten in Bezug auf die Lissabon-Ziele erreicht werden soll.

Mit der Alternative 1 könnten die verfolgten Ziele erreicht werden. Der Anteil der Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung wäre jedoch allein vom bestehenden Marktumfeld abhängig. Ausschlaggebend wären der Preisunterschied zu konkurrierenden Brennstoffen sowie der Preis von CO₂-Emissionszertifikaten innerhalb des Systems für den Europäischen Emissionshandel. Falls die Stromerzeuger bezweifeln, dass das Emissionshandelssystem der EU ein ausreichendes Preisniveau für CO₂-Emissionszertifikate gewährleistet (20 - 40 €/je Tonne CO₂), können die Investitionen in Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung keinen wirklich großen Maßstab erreichen.

Die Alternative 2 verringert die mit Alternative 1 verbundenen Risiken, indem sie Instrumente vorsieht, die auch dann Anreize bieten, in Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung zu investieren, wenn die Preise für CO₂-Emissionszertifikate die Kosten der Kohlenstoffsequestrierung nicht aufwiegen.

Im Rahmen der Konsultationen wiesen die Vertreter der Kohle- und der Elektrizitätswirtschaft darauf hin, dass der Verbreitungsgrad durch die Strom-, Brennstoff- und CO₂-Märkte bestimmt werden sollte. Von nichtstaatlichen Umweltverbänden wurde der Wunsch nach Regulierungsmaßnahmen geäußert. Hieraus sollte der Schluss gezogen werden, dass die Anwendung solcher Maßnahmen davon abhängt, ob ihre Notwendigkeit hinreichend begründet ist.

7. SCHLUSSFOLGERUNGEN DER FOLGENABSCHÄTZUNG

Voraussetzungen für die Bereitstellung nachhaltiger, sicherer und wettbewerbsfähiger Technologien zur Kohleverstromung sind zum einen Wirkungsgradverbesserungen bei der Kohleverbrennung und zum anderen die rechtzeitige Einführung der Kohlenstoffsequestrierung. Bei Änderungen des politischen Vorgehens sollten beide dieser technologischen Herausforderungen berücksichtigt werden.

Die Beseitigung der Hindernisse, die der Einführung von Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung gegenwärtig im Wege stehen, bedeutet einen begrenzten und zugleich zweckmäßigen Politikwechsel, mit dem die strategischen Zielsetzungen erreicht werden können. Er setzt jedoch stabile und (im Vergleich zu heute) hohe Preise für CO₂-Emissionszertifikate im Rahmen des Systems für den Europäischen Emissionshandel voraus, damit die CCS-Technologien die gewünschte Verbreitung finden.

Sollten regulative Verbesserungen und marktgestützte Anreize sich als unzureichend erweisen, das benötigte Engagement für die Demonstration oder die anschließende breite Einführung von Technologien zur nachhaltigen Kohlenutzung zu fördern, so müsste noch aktiver vorgegangen werden, um die Verwirklichung der EU-Ziele zu gewährleisten. Die dann in Frage kommenden Maßnahmen müssten in einer weiteren Folgenabschätzung geprüft werden, um die effizientesten unter ihnen auszuwählen und miteinander zu kombinieren.