

Technische Abscheidung und Speicherung von CO₂ – nur eine Übergangslösung

Mögliche Auswirkungen, Potenziale und Anforderungen

- Kurzfassung -

August 2006

Der Klimawandel ist eine große Herausforderung für die Menschheit. Die Emissionen der Treibhausgase nehmen im globalen Maßstab unverändert zu. Damit die Risiken der globalen Klimaänderung in Grenzen gehalten werden können, darf die globale Durchschnittstemperatur bis Ende dieses Jahrhunderts allenfalls um 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau steigen. Um dieses Ziel global zu erreichen, muss Deutschland – wie auch die anderen industrialisierten Staaten - bis zum Jahr 2020 den Ausstoß seiner Treibhausgase um 40 % und bis 2050 um 80 % gegenüber 1990 vermindern.

Das UBA setzt auf eine nachhaltige Klimaschutzpolitik durch Vermeidung von Emissionen und fordert daher, vorrangig den eingeleiteten Wechsel in der deutschen Energiepolitik, weg von fossilen Brennstoffen, hin zu erneuerbaren Energien und deutlich gesteigerter Energieeffizienz, konsequent umzusetzen und zu verstärken, also CO₂-Emissionen erst gar nicht entstehen zu lassen.

Für einen begrenzten Zeitraum kann es erforderlich sein, auch nachsorgende Aktivitäten zur Verminderung des CO₂-Ausstoßes zu ergreifen. Dazu können bestimmte Formen der technischen Abscheidung und -Speicherung des wichtigsten Klimagases Kohlendioxid – oftmals als „Sequestrierung“ von CO₂ bezeichnet – zählen. Die technische CO₂-Abscheidung und -Speicherung lässt zwar weiterhin Treibhausgase entstehen, verspricht aber, das Entweichen in die Atmosphäre und damit ihre Klimawirkung für längere Zeiträume zu verhindern.

Bei der Anwendung derartiger Verfahren ist unerlässliche Voraussetzung aus Sicht des Umweltbundesamtes, auch die Auswirkungen auf andere Umwelt- und Gesundheitsbereiche zu berücksichtigen. Zu diesen Aspekten nimmt das Umweltbundesamt in einem Positionspapier ausführlich Stellung (Umweltbundesamt: Technische Abscheidung und Speicherung von CO₂ – nur eine Übergangslösung, Dessau, 2006).

Das vorliegende Thesenpapier stellt die wesentlichen Schlussfolgerungen vor. In der Diskussion sind sowohl nationale als auch internationale Aspekte zu beachten.

Soweit nationale Aspekte berührt sind, konzentriert sich das Umweltbundesamt auf die Verhältnisse in Deutschland, so z.B. bei der Frage der Speicherverfügbarkeiten für abgeschiedenes CO₂. Dieses Papier behandelt nur die technische Speicherung von CO₂, nicht hingegen die biologische Speicherung z. B. durch Aufforstungen.

These 1: Klimaschutz ist mit erneuerbaren Energien und Energieeffizienz erreichbar. Die technische Abscheidung und Speicherung von CO₂ hingegen ist nicht nachhaltig, sondern allenfalls eine Übergangslösung.

Klimaschutzszenarien u.a. des Umweltbundesamtes zeigen, dass die Klimaziele durch die Steigerung der Energieeffizienz und den Ausbau der erneuerbaren Energien erreichbar sind. Der schnellstmöglichen Umsetzung dieser Maßnahmen gibt das Umweltbundesamt daher den Vorzug gegenüber der technischen Abscheidung und Speicherung von CO₂. Letztere fußt auf der Verbrennung fossiler Rohstoffe, deren Verfügbarkeit global begrenzt und auf wenige Regionen konzentriert ist. Kohle steht zwar selbst bei einer deutlichen Steigerung der heutigen Verbrauchsraten noch mehrere Jahrhunderte zur Verfügung, ihr vermehrter Einsatz verhindert allerdings die Einhaltung des 2 °-Ziels, da Kohle bei der Verbrennung große Mengen des Klimagases CO₂ freisetzt. Mit anderen Worten: Es steht deutlich mehr Kohle zur Verfügung, als die Erdatmosphäre von ihrem Verbrennungsprodukt Kohlendioxid klimaverträglich aufnehmen kann.

Sofern neben den natürlichen Senken für Kohlendioxid weitere – geologische – Senken für abgeschiedenes CO₂ erschlossen werden, kann dies einen Zeitgewinn bedeuten, bis die weiteren aus Sicht des UBA prioritären Minderungs- und Vermeidungsmaßnahmen in vollem Umfang greifen. Auch die geologischen Senken sind jedoch beschränkt (vgl. These 2). Zudem vermindert der zusätzliche Energiebedarf für die Abscheidung die Reichweite fossiler Ressourcen. CO₂-Abscheidung und -Speicherung ist daher keine dauerhafte Lösung und nicht nachhaltig. Sie kann allenfalls eine Übergangslösung für den Klimaschutz sein, sofern die folgenden Randbedingungen (vgl. Thesen 4 - 6) beachtet werden.

In Deutschland müssen die Stromproduzenten im Zeitraum bis 2020 große Kraftwerkskapazitäten ersetzen. Selbst bei ehrgeizigen Zielen für den Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeinsparung wird ein Teil dieser Anlagen auf fossilen Energieträgern beruhen. Um gleichzeitig das Klimaschutzziel bis 2020 zu erreichen, dürfen herkömmliche Kohlekraftwerke bei den neuen Kraftwerken nur eine untergeordnete Rolle spielen, da CO₂-Abscheidung und -Speicherung in Deutschland voraussichtlich erst ab 2020 für den kommerziellen Einsatz zur Verfügung stehen wird. Vorhandene Kohlekraftwerke können dann nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand nachgerüstet werden. Alternativen bei den jetzt anstehenden Kraftwerksbauten bestehen in der stärkeren Nutzung von Erdgas in hocheffizienten Gas- und Dampfturbinen (GuD)-Kraftwerken oder dezentralen Blockheizkraftwerken. Diese stellen wegen der begrenzten Erdgasressourcen und des auch bei ihnen verbleibenden Kohlendioxidausstoßes auch nur eine Übergangslösung dar, sind aber heute verfügbar.

Bis zum Jahr 2020 kann CO₂-Abscheidung und -Speicherung also keinen relevanten Beitrag zum Klimaschutz leisten. Auch später wird diese Technik aus Kostengründen nur für große Anlagen, vor allem Kraftwerke, relevant sein. Sie allein kann daher den Klimawandel nicht anhalten. Auch deshalb müssen die heute und auch langfristig sicher zur Verfügung stehenden Optionen, Energieeffizienz und erneuerbare Energie, mit Vorrang voran gebracht werden.

Die deutsche Forschungsförderung berücksichtigt dies zurzeit in ausgewogener Weise. So investiert die Bundesregierung pro Jahr etwa 130 Mio. Euro in die Forschungsförderung erneuerbarer Energien und 80 Mio. Euro in die Förderung von effizienteren Technologien. Dem stehen etwa 18 Mio. Euro für die Forschung zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung gegenüber.

Diese Prioritätensetzung sollte nicht nur in die deutsche Forschungsförderung, sondern auch generell in die internationale Kooperation zum Klimaschutz und vor allem in die EU-Politik zur Forschungsförderung Eingang finden.

These 2: Die Kapazitäten zur CO₂-Speicherung gehören in den Mittelpunkt der Diskussion: In Deutschland könnten sie rein rechnerisch auf 40 Jahre beschränkt sein.

Für die Speicherung von CO₂ kommen vor allem ausgediente Öl- und Gasfelder sowie saline Aquifere (tiefe Wasser führende Gesteinsschichten) in Frage. Da die Kosten für die CO₂-Speicherung mit ansteigender Transportentfernung zunehmen, wird die Speicherung voraussichtlich vor allem in Deutschland oder im grenznahen Ausland erfolgen.

Im Gegensatz zu den geringen Speicherkapazitäten in ehemaligen Ölfeldern verfügt Deutschland über bedeutende Speicherkapazitäten von etwa 2,5 Gigatonnen (1 Gt = 1 Milliarde Tonnen) CO₂ in ehemaligen Gasfeldern. Dazu kommen Speicherkapazitäten in salinen Aquiferen, deren Aufnahmefähigkeit zwischen 12 und 43 Gt CO₂ liegen könnte.

Werden die untersten Kapazitätswerte angenommen, sind die CO₂-Speicherkapazitäten in Deutschland auf etwa 14,5 Gt CO₂ beschränkt. Die derzeitigen CO₂-Emissionen aus den deutschen Kraftwerken von etwa 0,35 Gt CO₂/Jahr füllen dieses Volumen – die vollständige Speicherung aller gegenwärtigen Kraftwerksemissionen vorausgesetzt – rein rechnerisch in 41 Jahren aus. Werden die höheren Werte von 45,5 Gt CO₂-Speicherkapazität zugrunde gelegt, könnten die Speicherkapazitäten rein rechnerisch für einen Zeitraum von 130 Jahren ausreichen.

Diese rechnerischen Werte geben aus Umwelt- und Kostengründen nur eine Obergrenze an. Zunächst werden einige Speicher auch aus gesundheitlichen und ökologischen Gründen nicht nutzbar sein. Weiterhin steht die CO₂-Speicherung bei den nutzbaren Speichern in Konkurrenz zur Nutzung für geothermale Energiegewinnung sowie als Gas- oder Druckluftspeicher. Diese Konkurrenzsituation spielt für den Klimaschutz eine entscheidende Rolle. Im Übrigen sind nicht alle Speicher zu ökonomisch vertretbaren Bedingungen nutzbar.

These 3: Die technische Abscheidung und Speicherung des CO₂ verursacht Kosten. Einige Projekte werden sich – ehrgeizige Klimaschutzziele vorausgesetzt – jedoch wahrscheinlich rechnen.

Die technische Abscheidung von CO₂ verursacht Kosten. Hinzu kommen die Ausgaben für die Verdichtung des CO₂, für den Transport in Pipelines oder Schiffen sowie die Kosten für die Speicherung und die Überwachung der Speicher. CO₂-Abscheidung sollte daher nur zum Einsatz kommen, sofern es sich im Vergleich mit anderen Optionen um eine kosteneffiziente Klimaschutzmaßnahme handelt.

Die dem UBA vorliegenden Schätzungen, wie hoch diese Kosten tatsächlich liegen, hängen nicht nur von der eingesetzten Technik ab. Hinzu kommt eine Vielzahl weiterer Faktoren, die die Autoren der Schätzungen nicht immer transparent darstellen. Die Abscheidung stellt den größten Kostenfaktor dar und liegt allein bereits zwischen 8 und 68 Euro/Tonne CO₂. Zum Vergleich: Die CO₂-Zertifikatspreise im EU-Emissionshandel lagen bisher zwischen 6 und 30 Euro/Tonne CO₂ (Stand August 2006).

Die Abscheidung und Speicherung von CO₂ kann betriebswirtschaftlich sinnvoll sein, falls die Emission von CO₂ mit Kosten belegt ist. Auf den liberalisierten Energiemärkten werden daher letztlich die betriebswirtschaftlichen Kalkulationen der einzelnen Investoren über die Realisierung von Projekten zur Abscheidung und Speicherung entscheiden. Ihre Anwendung in großem Maßstab setzt aber anspruchsvolle Klimaschutzziele voraus, die deutlich über die Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls hinausgehen. Denn je teurer die Emissionen von CO₂ in die Atmosphäre sind, desto eher rechnet sich die CO₂-Abscheidung und -Speicherung. Dies zeigen auch die vorhandenen Szenarienrechnungen zum Einsatz der CO₂-Abscheidung und -Speicherung.

In welchem Ausmaß CO₂-Abscheidung und -Speicherung zur Anwendung kommen, wird schließlich auch von der Entwicklung konkurrierender Techniken abhängen. Vor allem der Transport von CO₂ ist auf den Aufbau einer Infrastruktur von Pipelines angewiesen. Bevor dies geschieht, sollten die Marktreife und das Entwicklungspotenzial anderer großmaßstäblicher Techniken zur Verminderung der nationalen CO₂-Emissionen auf der Basis erneuerbarer Energien geprüft werden, z. B. der Import solarthermisch erzeugten Stroms aus sonnenreichen Gebieten.

These 4: CO₂-Speicher sollten eine Leckagerate von 0,01 % pro Jahr nicht überschreiten. Gesundheits- und Umweltgefahren sind zu vermeiden.

Jeder CO₂-Speicher von heute ist gleichzeitig als mögliche CO₂-Emissionsquelle von morgen zu betrachten. Dabei hängt die Speichersicherheit im Wesentlichen von den standortspezifischen Eigenschaften der geologischen Formationen ab. Ferner ist die Frage der langfristigen Sicherheit der Bohrverschlüsse zentral. Erforderlich sind daher verbindliche Sicherheitsvorgaben und Grenzwerte für maximal zulässige jährliche CO₂-Emissionen aus Speichern.

Maßgeblich für den Grenzwert der Leckage muss sein, dass er eine Gefährdung von Mensch und Umwelt durch austretendes CO₂, wie z. B. bodennahe toxische CO₂-Konzentrationen an der Erdoberfläche, ausschließt. Zudem müssen andere Beein-

trächtigungen der Umwelt, wie Veränderungen des pH-Wertes in Meeren und Grundwasser, weitgehend vermieden werden. Zentral sind aber auch Klimaschutzmaßnahmen selbst: Nachfolgende Generationen dürfen nicht durch die Leckagen aus CO₂-Speichern mit Treibhausgasemissionen konfrontiert werden. Daher plädiert das Umweltbundesamt für eine maximale jährliche Leckagerate von 0,01 %. Dies bedeutet, dass rein rechnerisch nach 1.000 Jahren noch 90,5 % des einst eingelagerten CO₂ im Speicher verbleibt, falls nicht bis dahin die natürlichen geophysikalisch-chemischen Prozesse Teile des gespeicherten CO₂ dauerhaft im Untergrund gebunden haben.

Abgeschiedenes CO₂ aus dem Abgasstrom von Kraftwerken ist nicht rein, sondern enthält in der Regel noch weitere chemische Verbindungen, die sowohl von den Ausgangsstoffen stammen als auch aus dem Abscheidungsprozess resultieren können. Je nach der Herkunft kann es sich dabei auch um toxische, bioakkumulierende oder persistente Stoffgruppen handeln, die bei der Ablagerung oder möglichen Freisetzung durch Unfälle, Gewaltakte oder Leckagen erhebliche Gefahren für Mensch und Umwelt verursachen können. Bei den CO₂-Mengen, die gespeichert werden sollen, können diese Zusatzstoffe trotz geringem prozentualen Anteil absolut gesehen in größeren Tonnagen vorliegen.

Zur Bemessung der noch zulässigen Schadstoffe im zu speichernden CO₂-Abgasstrom sollten die immissionsschutzrechtlichen Anforderungen an Abgasströme dienen, die in die Atmosphäre entlassen werden. Zudem dürfen die Schadstoffe die Sicherheit und Funktionsfähigkeit der Anlagen sowie die langfristige Stabilität der Speicher und der Bohrverschlüsse nicht beeinträchtigen. Nachträgliche Beifügungen von anderen Schadstoffen zum gespeicherten CO₂ sind zu verbieten.

These 5: Die Speicherung von CO₂ in der Ozean-Wassersäule und die „künstliche Mineralisierung“ von CO₂ sind keine Optionen

Neben einer geologischen Speicherung von CO₂ (z. B. unter dem Meeresboden) ist auch eine Speicherung in der Wassersäule der Meere (ozeanische Speicherung) in der Diskussion. CO₂ wirkt in hohen Konzentrationen toxisch, so dass es in der Umgebung von CO₂-Einleitungspunkten Meeresorganismen beeinträchtigt. Dies kann zum Tod der Meeresorganismen führen. CO₂ reagiert in Wasser als leichte Säure und kann bei Einleitung in großen Mengen zu Änderungen im Säuregrad (pH-Wert) des Meerwassers führen. Die die Ozeane umfassenden Meeresströmungen verbinden die Tiefsee mit der Meeresoberfläche und bedingen, dass in der Wassersäule oder am Meeresgrund deponiertes CO₂ relativ schnell wieder an die Oberfläche gelangen und in die Atmosphäre freigesetzt werden kann. Die Speicherung von CO₂ in der Wassersäule oder als „CO₂-See“ auf dem Grund des Meeres ist daher nicht akzeptabel. Internationales Recht muss sie verbieten.

Eine weitere derzeit diskutierte Speicheroption ist die „künstliche Mineralisierung“ von CO₂. Hierbei entsteht durch eine chemische Reaktion zwischen CO₂ und einem Ausgangsmineral ein neues Mineral, das das CO₂ auf Dauer bindet. Die bekannten Verfahren sind allerdings prozessbedingt sehr energieintensiv und stellen daher den Sinn des Gesamtprozesses infrage. Ferner benötigt diese Art der CO₂-Speicherung große Mengen Ausgangsgesteins und lässt bei jeder gespeicherten Tonne CO₂ je-

weils um den Faktor 3 bis 8 größere Abfall- und Abraummenen entstehen, die transportiert und gelagert werden müssen. Da schon heute absehbar ist, dass die „künstliche Mineralisierung“ aus Umwelt- und Kostengründen nicht akzeptabel ist, sollte diese Form der Speicherung keine öffentliche Förderung erhalten.

These 6: Der nationale und internationale Rechtsrahmen von CCS muss entwickelt werden

Zurzeit gibt es weder in Deutschland noch international einen Rechtsrahmen, der mit dem Ziel entwickelt wurde, die Abscheidung, den Transport und die Speicherung von CO₂ zu regeln. Verschiedene Regelwerke – wie z. B. das Abfall- und Bergrecht im nationalen Kontext sowie internationale Übereinkommen zum Schutz der Meere – müssen weiterentwickelt werden, um die technische Abscheidung und Speicherung von CO₂ zu regeln. Aus der Sicht des Umweltbundesamtes muss der gesetzliche Rahmen so entwickelt werden, dass er konkrete Anforderungen formuliert, die sich an Nachhaltigkeitskriterien orientieren.

In erster Linie sind die rechtliche Absicherung der Standorterkundung, die Pflicht zur Zulassung einzelner Speicherstandorte und Speichervorgänge sowie die Entwicklung geeigneter Standards, die sowohl kurzfristige als auch langfristige Gesundheits- und Umweltschäden ausschließen, erforderlich. Neben diesen ordnungsrechtlichen Anforderungen bedarf auch das Haftungsrecht der Weiterentwicklung. Zu verhindern ist, dass durch Unfälle verursachte Schäden auf Kosten der Allgemeinheit beseitigt werden. Auch Fragen der Rechtsnachfolge der Unternehmen, die Speicher nutzen oder genutzt haben, sind wegen der langen Speicherdauer eindeutig festzulegen.

Es ist auch zu klären, wer für die Überwachung der CO₂-Speicher zuständig ist und wie die fachlichen Anforderungen an deren Überwachung bei der erforderlichen Langfristigkeit der Speicherung (> 1.000 Jahre) adäquat umgesetzt werden können. Kontinuierliche Austräge aus den Speichern sind zudem bei der Anerkennung von CO₂-Emissionminderungsmaßnahmen im Rahmen der Klimarahmenkonvention sowie beim Emissionshandel angemessen zu berücksichtigen.

These 7: Umwelt- und Gerechtigkeitsaspekte gehören in die Diskussion. Forschung, staatliche Regulierung und Demonstrationsvorhaben dürfen sich nicht nur auf technische Aspekte beschränken

Bisher beschränkt sich die Diskussion der Abscheidung und Speicherung von CO₂ weitgehend auf technische Aspekte. Dies schlägt sich auch in den nationalen Forschungsaktivitäten in Deutschland sowie in der internationalen Forschungskooperation nieder. So wichtig diese technische Diskussion vor dem Hintergrund der bestehenden Unsicherheiten ist, so reicht sie doch nicht aus, um eine mögliche Anwendung der CO₂-Abscheidung und -Speicherung vorzubereiten.

Im Interesse der Allgemeinheit, der öffentlichen Akzeptanz, der Umwelt, des langfristigen Klimaschutzes – und auch aus wohlverstandenerem Eigeninteresse möglicher Investoren – möchte das UBA eine Diskussion darüber anstoßen, ob die technische

Abscheidung und Speicherung von CO₂ einen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele der Industriestaaten und vor allem Deutschlands darstellen soll und, falls ja, wie dieser aussehen könnte. Gleichzeitig ist es notwendig, den internationalen Dialog auf die Lösung von Umwelt- und Gerechtigkeitsfragen zu erweitern und den rechtlichen Rahmen so auszugestalten, dass die Energieversorgung günstig, zuverlässig, umweltfreundlich und langfristig klimaverträglich ist.

Die Langfassung des Positionspapiers des Umweltbundesamtes mit dem Titel „Technische Abscheidung und Speicherung von CO₂ – nur eine Übergangslösung, Mögliche Auswirkungen, Potenziale und Anforderungen“ Dessau, 2006, 120 Seiten ist ab Oktober 2006 auf der Internetseite des Umweltbundesamtes unter www.umweltbundesamt.de/energie kostenlos als Download verfügbar.



CO₂ Capture and Storage – Only an Interim Solution

Possible Impacts, Potential and Requirements

- summary -

August 2006

Climate change constitutes a huge challenge for humankind. Greenhouse gas emissions are still continuing to increase on a global scale. In order to limit the risks of global climate change, global average temperature must not rise more than 2° C above pre-industrial levels by the end of this century. If this target is to be achieved globally, Germany - like the other industrialised countries - must reduce its emissions of greenhouse gases by 40% by 2020 and by 80% by 2050 compared to 1990 levels.

The German Federal Environment Agency (Umweltbundesamt, in short “UBA”) banks on a sustainable climate protection policy through emission prevention and is therefore demanding that, as a priority, the change initiated in German energy policy - away from fossil fuels towards renewable energy sources and a marked increase in energy efficiency – should be consistently implemented and intensified, i.e. that emissions be addressed before they occur.

For a limited time, there may also be a need to take end-of-pipe measures to reduce CO₂ emissions. This may include certain forms of capture and storage of the most important greenhouse gas, carbon dioxide, often referred to as CO₂ “sequestration”. Although CO₂ capture and storage does not prevent continued generation of greenhouse gases, it does promise to prevent their escaping into the atmosphere and, thus, their climate impact for extended periods of time.

The Federal Environment Agency takes the view that for the use of such methods it is essential to also take into account their impact on other spheres of the environment and health issues. The Agency has developed a detailed opinion on these issues in a comprehensive position paper, which is available from October 2006 in German on the internet website of the German Federal Environment Agency

www.umweltbundesamt.de/energie. This summary outlines the major conclusions. Both national and international aspects need to be considered in the discussion.

Where national aspects are concerned, the Federal Environment Agency focuses on the situation in Germany, e.g. in addressing the question of available storage capacity for captured CO₂. This paper deals only with CO₂ capture and storage, and not with biological ("terrestrial") sequestration through, for example, forestation.

Argument 1: Climate protection can be achieved with renewable energy sources and energy efficiency. CO₂ capture and storage is non-sustainable and at best an interim solution.

Climate protection scenarios of the Federal Environment Agency and other researchers show that the climate targets can be achieved by increasing energy efficiency and expanding renewable energies. For this reason, the Federal Environment Agency favours fastest-possible implementation of these measures over CO₂ capture and storage. The latter is based on the combustion of fossil resources whose availability is globally limited and focused on a few regions. Coal will be available for several more centuries even if current consumption rates see a significant increase. However, since large amounts of the greenhouse gas CO₂ are released in the combustion of coal, its increased use would prevent attainment of the 2° C target. In other words, the availability of coal significantly exceeds the amount of carbon dioxide, its combustion product, which the earth's atmosphere can absorb without doing harm to the global climate.

Where pursued, the development of geological sinks for captured CO₂ in addition to that of natural sinks may allow for some additional time until the reduction and prevention measures which the Federal Environment Agency considers a priority become fully effective. However, also geological sinks are limited (cf. Argument 2). Furthermore, the additional energy required for capture will reduce the lifetime of fossil resources. For this reason, CO₂ capture and storage is not a viable option and not sustainable. It represents at best an interim solution to the climate protection challenge, provided that the framework conditions set forth below (cf. Arguments 4 – 6) are met.

In Germany, power producers will have to replace considerable power plant capacities by 2020. Even with ambitious renewable energy and energy saving targets, some of these power plants will continue to be fossil-fuel-based. In order to achieve the climate protection target of -40% by 2020, conventional coal-fired plants may only play a minor role among new power plant installations, because CO₂ capture and storage power plants are not expected to be available on a commercial scale before 2020 in Germany. Retrofitting existing coal-fired power plants is likely to imply disproportional and resource-intensive expenses. For the power plants currently planned for construction, alternatives lie in the increased use of natural gas in highly efficient combined cycle power plants or in small, decentralised cogeneration plants. As natural gas resources are also limited and involve continued emissions of carbon dioxide, these alternatives likewise represent only an interim solution; however, their advantage is that they are available today.

This means that CO₂ capture and storage cannot make a relevant contribution to climate protection up until 2020. Even after that time, this technology will be relevant only for large installations, mainly power plants, due to the costs involved. Hence, this technology alone is not capable of stopping climate change. Having this in mind, priority must be given to those measures, which are available now and in the long term, this is to say increased efforts for the promotion of energy efficiency and renewable energies.

Current German research support policy reflects these priorities in a well balanced manner. The Federal Government spends approximately EUR 130 million annually on support for research into renewable energies and EUR 80 million on the promotion of more efficient technologies, compared to EUR 18 million for research into CO₂ capture and storage.

A prioritisation along these lines should also be applied in international cooperation in climate protection and EU research policy.

Argument 2: The discussion needs to focus on CO₂ storage capacities: In Germany, they could, mathematically, be limited to 40 years.

Possible sites for CO₂ storage are, mainly, decommissioned oil and gas fields as well as saline aquifers (deep water-bearing strata). Since the cost of CO₂ storage rises with increasing transport distance, storage is likely to take place within Germany or in areas close to the border to Germany.

Germany has significant storage capacities in former gas fields, to the tune of 2.5 gigatonnes (1 Gt = 1 billion tonnes) of CO₂, in contrast to the low existing capacities in former oilfields. In addition, it has storage capacities in saline aquifers, which could range between 12 and 43 Gt of CO₂.

Based on the lowest capacity figures, CO₂ storage capacities in Germany would be limited to about 14.5 Gt CO₂. Assuming complete storage of all current power plant emissions, the current CO₂ emissions from German power plants of about 0.35 Gt CO₂/year would, mathematically, fill this volume in 41 years. If the higher CO₂ storage capacity figure of 45.5 Gt CO₂ is taken as a basis, storage capacities could, mathematically, last for a period of 130 years.

These mathematically constructed values indicate upper limits due to costs and environmental concerns. Further on, some repositories will not be usable as a consequence of ecological and health considerations. In addition, CO₂ storage in the available repositories will compete with their use for generation of geothermal energy and for storage of gas or compressed air. This contention will play a decisive role for climate protection. Lastly, not all repositories will be usable under economically favourable conditions.

Argument 3: CO₂ capture and storage entails costs. However, given ambitious climate protection targets, some projects will probably be economical.

The capture of CO₂ entails costs. Further costs will arise for compressing the CO₂ for transport in pipelines and ships as well as for storage and for monitoring the repositories. Therefore, CO₂ capture should only be used if it proves to be a cost-efficient climate protection measure in comparison with other options.

The estimates available to the UBA of how high these costs will actually be do not only depend on the technology used. They are also determined by numerous other factors which their authors do not always describe in a transparent manner. Capture constitutes the largest cost factor and amounts values between EUR 8 and 68 Euro per tonne of CO₂. For comparison, CO₂ allowance prices within the EU emissions trading scheme have varied between EUR 6 and 30/tonne of CO₂ to date (as at August 2006).

CO₂ capture and storage can make business sense if the emission of CO₂ is subject to costs. On liberalised energy markets, it is ultimately the investors' costing that will decide the realisation of CO₂ capture and storage projects. However, the large-scale use of this technology requires ambitious climate protection objectives that go far beyond the Kyoto protocol commitments. The more expensive emissions of CO₂ to the atmosphere are, the more worthwhile CO₂ capture and storage will be. This has also been demonstrated by scenario calculations on the use of CO₂ capture and storage.

The extent to which CO₂ capture and storage will be used will also depend on the development of competing technologies. Pipeline infrastructure will have to be built for CO₂ transport. Before this happens, the viability and development potential of other large-scale technologies to reduce national CO₂ emissions on the basis of renewable energy sources, e.g. the import of electricity generated from solar thermal energy from sunny regions, should be assessed.

Argument 4: CO₂ repositories should not exceed a leakage rate of 0.01% per year. Risks to health and the environment need to be avoided.

Any CO₂ repository in use today has to be regarded as a potential emission source of tomorrow. The security of storage depends mainly on the site-specific characteristics of the geological formation. Another key issue is the long-term safety of borehole seals. Therefore, binding safety requirements and prescriptive limits for maximum-permissible annual emissions of CO₂ from repositories need to be established.

The limit value for leakage has to be defined so as to exclude a risk to humans and the environment from escaping CO₂, e.g. toxic CO₂ concentrations at ground level or near the surface. Furthermore, other negative effects on the environment such as shifts in pH in ocean water and groundwater need to be avoided. Also climate protection considerations are a central aspect: Subsequent generations must not be exposed to emissions of greenhouse gases via leakage from CO₂ repositories. The Federal Environment Agency therefore advocates a maximum annual leakage rate of 0.01%. Mathematically, this means that 1000 years after initial storage 90.5% of stored CO₂ will still be in the repository, unless some of it has already been permanently bound in the underlying soil by natural geo-physicochemical processes.

CO₂ captured from the flue gas of power plants is not pure but normally contains further chemical compounds which can originate from the input materials and result from the removal process. Depending on the source, this may include toxic, bioaccumulative or persistent substance groups that may pose a considerable hazard to humans and the environment during storage or when released as a result of accidents, acts of violence or leakage. Given the amounts of CO₂ to be stored, these additional substances may, in absolute terms, be present at relatively high tonnages even if their percentage in the gas is small.

Maximum-permissible values for pollutants in CO₂-bearing flue gas destined for storage should be comparable to the requirements for flue gas discharged to the atmosphere as laid down in pollution control legislation. Nor may these pollutants impair the safety and functional reliability of the facilities or the long-term stability of the repository and borehole seals. Subsequent addition of other pollutants to stored CO₂ must be prohibited.

Argument 5: Storage of CO₂ in the ocean water column and “artificial mineralisation” of CO₂ are not an option

In addition to geological storage (e.g. below the seabed), the discussion is also focussing on storage in the ocean water column (ocean storage). CO₂ is toxic in high concentrations and would therefore adversely affect marine organisms in the vicinity of CO₂ injection sites. This may potentially result in the death of marine organisms. CO₂ reacts with water to form a weak acid and may cause the acidity (pH) of seawater to change when injected in large amounts. The ocean currents connect the deep sea with the ocean surface, with the result that CO₂ stored in the water column or on the seabed can return to the surface relatively quickly and be released to the atmosphere. For this reason, the storage of CO₂ in the water column or as a “CO₂-lake” on the seabed is not acceptable. It must be prohibited by international law.

Another storage option currently under discussion is “artificial mineralization” of CO₂. This refers to a technique in which CO₂ and an initial mineral react chemically to form a new mineral which permanently binds the CO₂. However, the processes that are known are inherently extremely energy-intensive and therefore compromise the value of the overall process. Furthermore, this type of CO₂ storage requires large amounts of parent material, and each tonne of stored CO₂ generates 3 to 8 times more waste and spoils which have to be transported and stored. Since it can already be anticipated that “artificial mineralization” will not be acceptable for environmental and cost reasons, this form of storage should not receive public funding.

Argument 6: The national and international legal framework for CCS needs to be developed

There is currently no legal framework specifically developed to cover the capture, transport and storage of CO₂, neither in Germany nor internationally. A number of regulations – such as waste and mining legislation, in the national context, and international agreements for protection of the marine environment – need to be further

developed to regulate the capture and storage of CO₂. From the viewpoint of the Federal Environment Agency, the development of the legal framework should take the form of defining specific requirements that are geared to sustainability criteria.

What is needed primarily is legal cover for site exploration, mandatory authorisation of individual storage sites and storage operations, and the development of suitable standards that exclude both short-term and long-term damage to health and the environment. In addition to designing these regulatory requirements, liability legislation needs to be further developed. Provisions must be in place to ensure that the cost of eliminating accident-related damage is not shouldered by the general public. In view of the long storage period, questions of legal succession of the companies that use or have used the repositories must also be clearly regulated.

Another question that needs to be resolved is who is responsible for monitoring CO₂ repositories and how – in view of the necessary long storage period (> 1000 years) – the professional requirements related to monitoring can be adequately implemented. Moreover, continuous releases from the repositories need to be adequately taken into account in the recognition of CO₂ emission abatement measures under the Framework Convention on Climate Change and in emissions trading.

Argument 7: Environmental aspects and international justice need to be part of the discussion. Research, State regulation, and demonstration projects must not focus on technical aspects only.

Up until now, the discussion of CO₂ capture and storage has been largely confined to technical aspects. This is reflected in national research activities within Germany as well as in international research cooperation. Given the existing uncertainties this is – no doubt – an important part, but not sufficient for the preparation and possible implementation of CO₂ capture and storage.

In the interests of the general public, of public acceptance, of the environment and long-term climate protection – and also in the best interests of potential investors – the Federal Environment Agency would like to initiate a discussion on whether CO₂ capture and storage should be used to help Germany and other industrialised countries to achieve their climate protection targets and, if so, what form this contribution could take. At the same time, it is necessary to integrate environmental concerns and notions of international justice into the international dialogue and to design the legal framework in a manner which renders energy supply affordable, reliable, environmentally sound and climate-friendly for today's and future generations to come.

The long version of the position paper is available in German from October 2006 for download on the website of the Federal Environment Agency
<http://www.umweltbundesamt.de/index-e.htm>.