

# Kann CCS Kohlekraftwerke Klima-neutral werden lassen?

von **Manfred Popp**  
Email [Manfred.Popp@energie-fakten.de](mailto:Manfred.Popp@energie-fakten.de)

Hier die Fakten – vereinfachte Kurzfassung

Zum ersten Mal seit Nutzbarmachung des Feuers durch den Menschen soll das Endprodukt der Verbrennung von Holz, Kohle und Öl nicht einfach in die Atmosphäre entweichen dürfen, sondern durch „Carbon Capture and Storage“ (CCS), also Einfang und Lagerung des bei der Verbrennung von Kohlenstoffverbindungen entstehenden CO<sub>2</sub> zurückgehalten und entsorgt werden. Die Bundesregierung rechnet in ihrem neuen Energie-Konzept ab 2025 mit der Markteinführung von CCS, um ihre ehrgeizigen Ziele einer bis 2050 zu 80 % CO<sub>2</sub> freien Stromerzeugung erreichen zu können. Diesem aktuellen Thema war bereits am 25. März 2009 ein Debattenabend der Stiftung Energie und Klimaschutz Baden-Württemberg mit hochkarätiger Besetzung gewidmet (s.u.).

CO<sub>2</sub> ist das wichtigste Klimagas: es trägt zu 77 % zu der aktuellen globalen Erwärmung bei und hat damit den größten Anteil am vom Menschen mit verursachten Effekt. CO<sub>2</sub> bildet nur rund 15 % der Gase, die den Schornstein des Kraftwerks verlassen. Man kann das CO<sub>2</sub> durch Auswaschen mit Aminen oder Karbonaten ab-

trennen. Dieser Prozess erfordert aber einen hohen Energieeinsatz, der dazu führt, dass der Kraftwerkswirkungsgrad um 10 – 15 Prozentpunkte sinkt.

Der Bedarf an CO<sub>2</sub> in der Industrie kann nur einen kleinen Teil der großen Mengen aufnehmen, die aus der Energieerzeugung kommen. Am besten kann man CO<sub>2</sub> einsetzen, um aus bereits erschöpften Öl- und Gas-Quellen noch weitere Mengen fördern. Aber auch dafür ist der Bedarf zu klein, um alles zurückgehaltene CO<sub>2</sub> zu nutzen.

Der größte Teil des abgetrennten CO<sub>2</sub> muss deshalb entsorgt, oder, wie es im CCS-Gesetz heißt „dauerhaft gespeichert“ werden. Das Ziel ist es, das abgetrennte CO<sub>2</sub> für mindestens 1000 Jahre von der Atmosphäre fern zu halten. Deshalb soll das CO<sub>2</sub> in tiefen geologischen Formationen eingelagert werden. Zurzeit wird in einer Pilotanlage in Ketzin die Speicherung in einer Salzwasser führenden porösen Gesteinsformation erprobt.

In Deutschland bestehen kurz- und mittelfristig nutzbare Möglichkeiten zur Speicherung von CO<sub>2</sub> im industriellen Maßstab in erschöpften Erdgaslager-

stätten und in tiefen salzwasserführenden Grundwasserleitern in mehr als etwa 1000 m Tiefe. Diese stehen vor allem im Norddeutschen Becken, also in den Bundesländern Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg, zur Verfügung.

Für die Abtrennung, die Aufbereitung, den Transport in Pipelines und die Verpressung des CO<sub>2</sub> muss Energie aufgewendet werden. Der Wirkungsgrad eines modernen Kohlekraftwerks von ca. 45 % sinkt durch Einführung von CCS auf 37 – 31 %, der Bedarf an Kraftwerkskapazität und Brennstoffen steigt damit bei gleicher produzierter Strommenge um 10 – 40 %. Die Stromerzeugungskosten der Kraftwerke steigen nahezu auf das Doppelte. Damit erweist sich CCS als eine verhältnismäßig teure Methode. Die Verwirklichung höherer Wirkungsgrade bei neuen Kohlekraftwerken wird deshalb immer sehr viel kostengünstiger sein. Dennoch hat CCS trotz der hohen Kosten möglicherweise eine wichtige Funktion, um einen Energiemix mit einer starken Grundlastkomponente auf Kohlebasis klimaverträglich zu machen.

# Kann CCS Kohlekraftwerke Klima-neutral werden lassen?

von [Manfred Popp](#)  
Email [Manfred.Popp@energie-fakten.de](mailto:Manfred.Popp@energie-fakten.de)

Hier die Fakten – Langfassung

Die Idee ist faszinierend: zum ersten Mal seit Nutzbarmachung des Feuers durch den Menschen soll das Endprodukt der Verbrennung von Holz, Kohle und Öl nicht einfach in die Atmosphäre entweichen dürfen, sondern zurückgehalten und entsorgt werden. CCS – „Carbon Capture and Storage“, also Einfang und Lagerung des bei der Verbrennung von Kohlenstoffverbindungen entstehenden CO<sub>2</sub>, ist der Versuch, die Nutzung der Kohle, Motor der einstigen Industrialisierung, mit der aktuellen Sorge um das Weltklima versöhnen zu können. Wichtig ist dies vor allem, um bei stärkerer Nutzung regenerativer Energien einen Ausgleich hinsichtlich der Versorgungssicherheit und der Stromerzeugungskosten zu finden. Besondere Aktualität hat CCS jetzt gewonnen, weil die Bundesregierung in ihrem neuen Energie-Konzept ab 2025 mit der Markteinführung von CCS rechnet, um ihre ehrgeizigen Ziele einer bis 2050 zu 80 % CO<sub>2</sub>-freien Stromerzeugung erreichen zu können. Diesem aktuellen Thema war bereits am 25. März 2009 ein Debattenabend der Stiftung Energie und Klima-

schutz Baden-Württemberg mit hochkarätiger Besetzung gewidmet (s.u.).

## Wie bedeutsam sind die Emissionen von CO<sub>2</sub> für das Klima?

Wie Prof. H. J. Schellnhuber dort erläuterte, ist CO<sub>2</sub> tatsächlich das wichtigste Klimagas: es trägt zu 77 % zu der aktuellen globalen Erwärmung bei und hat damit den größten Anteil am vom Menschen mit verursachten Effekt. Von der Gesamtmenge CO<sub>2</sub>, die durch den Menschen in die Atmosphäre entlassen wird, kommen rund 3/4 aus dem Energiesektor. Deshalb haben sich namhafte Unternehmen der Energiewirtschaft im IZ Klima e. V. zusammengetan, dessen Leiter, Klaus von Trotha, die Pläne darstellte. Danach soll etwa ab 2015 ein Einsatz der CCS-Technologie bei kommerziellen Großanlagen möglich sein. Wichtigste Aufgabe des IZ Klima ist es, dafür Akzeptanz zu schaffen. Bei aller Popularität von Klimaschutzmaßnahmen ist das nicht so einfach, weil die CCS-Technologie, wie Prof. Hüttl (Potsdam) und Dr. Grünwald (TAB Berlin) darstellten, auch mit erheblichen technologischen Herausforderungen

verbunden ist, die beim heutigen Kenntnisstand ein einfaches Resümee erschweren.

## Wie kann man CO<sub>2</sub> zurückhalten?

Das gasförmige Verbrennungsprodukt CO<sub>2</sub> bildet nur rund 15 % der Gase, die den Schornstein des Kraftwerks verlassen. Für alle denkbaren Lösungen muss man das CO<sub>2</sub> also abtrennen, um es nicht mit dem sehr viel größeren und chemisch komplex zusammengesetzten gesamten Rauchgasstrom zu tun zu haben. Das geht am besten durch Auswaschen mit Aminen oder Karbonaten mit einem Wirkungsgrad von ca. 90 %. Bei der Aminwäsche wird Kohlenstoffdioxid bei 27 °C an den Träger angelagert und bei 150 °C wieder abgegeben, bei der Karbonatwäsche bei ca. 40 °C angelagert und bei 105 °C wieder abgegeben. Die Amine oder die Pottasche können dann erneut zur Absorption verwendet werden. Der Gesamtprozess erfordert aber einen hohen Energieeinsatz, der dazu führt, dass der Kraftwerkswirkungsgrad um 10 – 15 Prozentpunkte sinkt. Die alternativen Verfahren zur Rauchgaswäsche, wie die Verbrennung mit reinem Sauerstoff bzw. die

## LANGFASSUNG

Kohlevergasung und anschließende Verbrennung von reinem Wasserstoff, sind nicht nur aufwändig, sondern erhöhen den Energieverbrauch signifikant.

### Was kann man mit dem abgetrennten CO<sub>2</sub> machen?

Es gibt einen Bedarf an CO<sub>2</sub> als technisches Gas für Anwendungen in der Industrie. Außerdem könnte man einen großen Teil der organischen Chemie statt auf Erdölbasis auf aus CO<sub>2</sub> gewonnener Ameisensäure aufbauen, was natürlich wegen des niedrigen Energie-Niveaus von CO<sub>2</sub> mit erhöhtem Energieeinsatz einherginge. Aber die Chemie könnte auch dann nur einen kleinen Teil der großen Mengen aufnehmen, die aus der Energieerzeugung kommen. Schließlich kann man CO<sub>2</sub> einsetzen, um aus bereits erschöpften Öl- und Gas-Quellen noch weitere Mengen fördern zu können. Auch dafür ist der Bedarf zu klein, um alles zurückgehaltene CO<sub>2</sub> zu nutzen.

Der größte Teil des abgetrennten CO<sub>2</sub> muss deshalb entsorgt, oder, wie es im CCS-Gesetz heißt „dauerhaft gespeichert“ werden. Das Ziel ist es, das abgetrennte CO<sub>2</sub> für mindestens 1000 Jahre von der Atmosphäre fern zu halten. CO<sub>2</sub> ist in Wasser löslich, die Löslichkeit steigt mit dem Druck. Man kennt den umgekehrten Effekt vom Öffnen einer Sektflasche. Am einfachsten wäre die Verpressung von CO<sub>2</sub> in der Tiefsee, dort ist genügend Wasser und Druck vorhanden. Aber die damit verbundene Versauerung des Meerwassers wäre schädlich für die Flora und Fauna der Ozeane.

Deshalb ist eine Option, wie Prof. Hüttl erläuterte, das CO<sub>2</sub> in tiefen geologischen Formationen

einzubringen. Zurzeit wird in einer Pilotanlage in Ketzin die Speicherung in einem kontinentalen salinen Aquifer, also einer Salzwasser führenden porösen Gesteinsformation, erprobt. Dort lagern im Bereich des Norddeutschen Beckens poröse Sandsteinschichten in einer geologischen Aufwölbungsstruktur. Diese Speichergesteine werden von nahezu undurchlässigen Gips- und Tonsteinschichten überdeckt, die aufsteigendes CO<sub>2</sub> zurückhalten. Die aufgewölbten Schichten sowie die Abdichtung sichern eine kontrollierte und begrenzte horizontale Ausbreitung des CO<sub>2</sub>. Die wissenschaftlichen Arbeiten sind auf die Erforschung und Entwicklung der Überwachungsmethoden fokussiert. Die eingesetzten Überwachungsmethoden ermöglichen die Tomographie des Untergrundes (dabei wird der Untergrund in verschiedenen Schichten dargestellt, wie man es beim Menschen aus der Computer-Tomographie kennt) und die Beobachtung der Ausbreitung des CO<sub>2</sub>. Insgesamt lässt sich sagen, dass das Ketzin-Projekt die Handhabbarkeit der CO<sub>2</sub>-Speicherung auf der Forschungsskala belegt.

### Wo kann das CO<sub>2</sub> geologisch gespeichert werden?

In Deutschland bestehen kurz- und mittelfristig nutzbare Möglichkeiten zur Speicherung von CO<sub>2</sub> im industriellen Maßstab in erschöpften Erdgaslagerstätten und in tiefen salzwasserführenden Grundwasserleitern in mehr als etwa 1000 m Tiefe. Diese stehen vor allem im Norddeutschen Becken, also in den Bundesländern Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg, zur Verfügung. Nach den Abschätzungen der Bundesanstalt für

Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) stehen in dem Rahmen Kapazitäten für weit mehr als eine Kraftwerksgenerationen zur Verfügung.

### Was kostet CCS?

Wie in jede andere CO<sub>2</sub>-Vermeidungsstrategie muss auch beim Einsatz von CCS investiert werden. Für die Abtrennung, die Aufbereitung, den Transport in Pipelines und die Verpressung des CO<sub>2</sub> muss Energie aufgewendet werden. Der Wirkungsgrad eines modernen Kohlekraftwerks von ca. 45 % sinkt durch Einführung von CCS auf 37 – 31 %, der Bedarf an Kraftwerkskapazität und Brennstoffen steigt damit bei gleicher produzierter Strommenge um 10 – 40 %. Dieser Wirkungsgradverlust kann aber in naher Zukunft durch technische Fortschritte reduziert werden; ein Mehrbedarf wird jedoch bleiben. Eine Ausnahme bildet dabei die Verwendung des CO<sub>2</sub> zur Erhöhung der Ausbeute von Öl- und Gas-Lagerstätten, weil hier wieder zusätzliche Energie gewonnen wird.

Nach den Aussagen von Dr. Grünwald führen diese Folgen zu Stromgestehungskosten von 5 – 7 Cent pro kWh, die Stromerzeugungskosten der Kraftwerke steigen also nahezu auf das Doppelte. Zur Zeit erwartet z. B. McKinsey Kosten pro eingesparte Tonne CO<sub>2</sub> von 60 – 90 Euro/t, durch Weiterentwicklung der Technik 30 – 45 Euro/t erwartet. Im Vergleich zu anderen Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung erweist sich damit CCS als eine verhältnismäßig teure Methode. Die Verwirklichung höherer Wirkungsgrade bei neuen Kohlekraftwerken wird deshalb immer sehr viel kosten-

## LANGFASSUNG

günstiger sein, zur Zeit verursachen solche Maßnahmen nur 10 – 20 % der Kosten von CCS. Es wäre deshalb ökonomischer, den enormen Zubau von Kohlekraftwerken in China, wo jede Woche mindestens zwei neue Kohlekraftwerke mit eher durchschnittlicher Effizienz um 35 % in Betrieb genommen werden, mit den bei uns erreichten Spitzen- Wirkungsgraden um 45 % effektiver zu machen, als unsere moderneren Kraftwerke mit CCS auszurüsten. Aber solche Lösungen mit internationalen Ausgleichsmaßnahmen sind schwer in die Praxis umzusetzen. Bei regionaler Betrachtung hat CCS trotz der hohen Kosten möglicherweise eine wichtige Funktion, um einen Energiemix, der neben einem hohen Anteil Erneuerbarer Energien auch noch eine starke Grund-

lastkomponente auf Kohlebasis enthält, klimaverträglich zu machen.

Vollständig lässt sich CO<sub>2</sub> im Übrigen nicht vermeiden. Abgesehen von den Wirkungsgradverlusten bei CCS verbleiben auf jeden Fall die wesentlichen CO<sub>2</sub>-Mengen, die bei der Stahl- und Zementindustrie und aus der Petrochemie freigesetzt werden; dort ist es nicht möglich, andere als fossile Energieressourcen einzusetzen.

Die laufenden Untersuchungen werden zeigen, ob mit dem notwendigen Aufwand das Ziel einer langfristigen Speicherung des CO<sub>2</sub> im angemessenen Umfang erreicht werden kann oder ob der Wirkungsgrad der CO<sub>2</sub>-Abtrennung wegen zu großer Verluste bei der Abtrennung und beim Transport und wegen zu geringer Speicherkapazitäten zu

gering ausfällt. Für das Energie-Konzept der Bundesregierung bedeutet diese Unsicherheit der Einsatzfähigkeit von CCS ein beträchtliches Risiko, allerdings nicht das einzige, denn das Ziel eines nahezu kompletten Umbaus der deutschen Energieversorgung auf CO<sub>2</sub>-freie Technologien ist extrem ehrgeizig und nicht mit Sicherheit erreichbar. Gerade deshalb ist es aber sehr wichtig, dass CCS zur Anwendungsreife entwickelt wird; erst dann kann man die Vor- und Nachteile wirklich abwägen. Und, wie gesagt, der Gedanke, das Verbrennungsprodukt der bisher wichtigsten Energiequelle der Menschheit, der Kohle, endlich weitgehend vor der Atmosphäre zurückzuhalten, ist wirklich faszinierend und rechtfertigt große Entwicklungsanstrengungen. ■