

## CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Verbrennungsgasen und CO<sub>2</sub>-Speicherung: Ein wirksamer Beitrag zum Klimaschutz

Kolloquium der Fakultät Angewandte Naturwissenschaften, Energie- und Gebäudetechnik

Im Zusammenhang mit den erkennbaren weltweiten Klimaänderungen erscheint es plausibel, dass hierzu auch menschliches Handeln beiträgt. Insbesondere Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), das bei der Verbrennung von Kohle, Mineralölprodukten und Erdgas freigesetzt wird, wird als mitursächlich für den Klimawandel gesehen. Unter den Empfehlungen des UN-Klimarats IPCC gehört - neben der stärkeren Nutzung erneuerbarer Energien sowie der Kernenergie, Aufforstungsprogrammen und weiteren Maßnahmen - auch die Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus Verbrennungsgasen zu den als sinnvoll erachteten Maßnahmen, um den Herausforderungen durch den Klimawandel zu begegnen.

Die Abscheidung von CO<sub>2</sub> und dessen Speicherung (Carbon Capture and Storage, CCS) wird international als ein wichtiger Baustein zum Schutz des Klimas betrachtet. In Deutschland sind die Verfahren dazu schon länger bekannt; entsprechende Aktivitäten - bis hin zum Bau und Betrieb einer großen Demonstrationsanlage bei der Stromerzeugung aus Braunkohle - wurden erfolgreich durchgeführt. Allerdings ist die großtechnische Anwendung von Techniken des CCS in Deutschland seit 2012 quasi untersagt, weil politische Widerstände hiergegen befürchtet wurden. Nunmehr wird jedoch eine CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus fossil befeuerten Anlagen - insbesondere bei Industrieanlagen - auch in Deutschland wieder diskutiert. Ein Gesetz hierzu soll laut Wirtschaftsministerium auf den Weg gebracht werden.

Über technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte bei der CO<sub>2</sub>-Abscheidung konnten sich die interessierten Studierenden kürzlich beim digital abgehaltenen Kolloquium der Fakultät Angewandte Naturwissenschaften, Energie- und Gebäudetechnik der Hochschule Esslingen, das unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Werner Braun vor 90 Teilnehmerinnen und Teilnehmern abgehalten wurde, aus erster Quelle informieren. Mit **Dipl.- Ing. Martin Weghaus**, dem Leiter Verfahrenstechnik Carbon Capture des Unternehmens Bilfinger Engineering & Maintenance GmbH, Würzburg, kam dabei ein hochqualifizierter Fachmann zu Wort. Der Referent berichtete zum Thema „**CCS als Möglichkeit, den Klimawandel zu beeinflussen**“; er informierte dabei über das breite Spektrum technischer Lösungen zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Verbrennungsgasen.

Zum Beginn seines Vortrags wies Dipl.-Ing. Weghaus auf die wichtigsten Techniken hin, die nach seiner Überzeugung stärker genutzt werden sollten, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den nächsten zehn Jahren signifikant zu vermindern: die CCS-Technik, konsequente Konzepte zur Verbesserung der Energieeffizienz in den verschiedensten Bereichen, eine stärkere Elektrifizierung des Verkehrssektors und des Wärmemarkts sowie ab etwa 2030 die Einführung und den Einsatz von grünem Wasserstoff in den einzelnen Energiesektoren.

### CCS: Prozesskette aus mehreren Schritten

Als Wertschöpfungskette der CCS-Technik benannte der Referent zunächst die Abscheidung von CO<sub>2</sub> bei industriellen Verfahren wie z. B. in der Zementindustrie, bei Kraftwerken und bei Müllverbrennungsanlagen. Als nächster Schritt sei die Reinigung und Behandlung von CO<sub>2</sub> mithilfe geeigneter Verfahrenstechniken erforderlich; danach sei eine Verdichtung und Verflüssigung des CO<sub>2</sub> vorzunehmen; anschließend folge der Transport z. B. mit Lastkraftwagen, der Bahn, per Schiff oder über eine Ferntransport-Rohrleitung. Schließlich sei die Speicherung getrennt von der Biosphäre - beispielsweise im Rahmen von Verfahren der tertiären Öl- und Erdgasgewinnung oder in

unterirdischen leergeförderten Öl- und Erdgaslagerstätten – durchzuführen. Auch eine Nutzung von CO<sub>2</sub> etwa in chemischen Prozessen, bei der Herstellung von Bausteinen oder bei der Synthese nachhaltiger Energieträger sei von Interesse.

### **Zahlreiche Abscheideverfahren bewährt und verfügbar**

Danach gab Dipl.-Ing. Martin Weghaus eine Übersicht über CO<sub>2</sub>-Abscheideverfahren. Dabei könne man sich vielfach auf die Erfahrungen mit bewährten Abscheideverfahren aus industriellen Gasen abstützen. Es bedürfe also keiner zeitaufwendiger neuen Entwicklungen. Im Gegenteil verfüge man über Techniken, die sich schon jahrzehntelang bewährt hätten.

Bei Absorptionsverfahren stünden chemische Verfahren zur Verfügung, bei denen z. B. Amine, Alkaline, Ammoniak und andere Substanzen eingesetzt würden. Weiter gebe es mit Selexol, Rectisol, Purisol und anderen Techniken auch physikalisch wirksame Verfahren. Bei adsorptiven Verfahren werde CO<sub>2</sub> an Alumina, Zeolithe, Aktivkohle und andere adsorptive Stoffe angelagert und danach durch Druckwechsel, Temperaturwechsel oder elektrischen Prozesswechsel wieder desorbiert. Künftig besonders interessant seien auch kryogene Verfahren - also kältetechnische Verfahren. Weiter gebe es chemisch wirksame Verfahren bei Verbrennungs- oder Reformingprozessen. Daneben seien Membranverfahren mit anorganischen Membranen wie etwa Zeolithen oder poröser Kohle sowie mit organischen Membranen wie z. B. Polymeren bekannt. Auch gebe es Entwicklungen hin zu „Facilitated Transport“-Techniken sowie zu Techniken mit in organische Substanzen eingebrachten Metallen. Anwendbar seien auch mikrobiologische Abscheideverfahren mit Elektrolyten und mithilfe phototropischer Prozesse. Schließlich seien noch Abscheideverfahren mit aminen Membranen, kryogenen Membranen sowie einer kryogenen Adsorption bekannt.

Dipl.-Ing. Weghaus ging sodann detailliert auf zwei Verfahren ein, die nach seiner Einschätzung als wichtig für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung einzustufen seien: auf das Amin-Verfahren sowie auf die kryogene Abscheidung.

Am Beispiel einer mittelgroßen Standard-CCS-Anlagentechnik für die Abscheidung von 200.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr benannte der Vortragende wesentliche Prozessparameter: Der Flächenbedarf betrage rund 30 m x 50 m; der Dampfbedarf belaufe sich auf etwa ca. 1 MW<sub>thh</sub>/ t CO<sub>2</sub>; der Strombedarf betrage ca. 0.2 MW<sub>el</sub>h/ t CO<sub>2</sub> einschließlich der CO<sub>2</sub>-Verflüssigung bzw. ca. 0.05 MW<sub>el</sub> h / t CO<sub>2</sub> ohne CO<sub>2</sub>-Verflüssigung und -Verdichtung; der Kühlbedarf sei mit ca. 1.2 MW<sub>thh</sub> / t CO<sub>2</sub> anzusetzen.

Werde ein CO<sub>2</sub>-Transport per Lastkraftwagen, per Bahn oder per Schiff vorgesehen, sei an der Abscheideanlage zusätzlich auch eine ausreichende Speicherkapazität erforderlich. Für die CO<sub>2</sub>-Verflüssigung und -Zwischenlagerung bei einer mittelgroßen CO<sub>2</sub>-Abscheideanlage mit einer Kapazität von 200.000 Tonnen pro Jahr halte man ein Flüssiglager für einen Tag Betrieb für sinnvoll, wobei drei Tankwagen pro Stunde und Tagschicht zu beladen seien. Der zusätzliche Flächenbedarf sei mit rund 25 m x 35 m zu veranschlagen.

Dipl.-Ing. Weghaus zeigte im Folgenden die konkreten verfahrenstechnischen Fragestellungen beim Einsatz einer Anlage zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung (CCS-Anlage) als weitere Stufe der Rauchgasbehandlung beispielsweise in einem Müll-Heizkraftwerk auf. Wobei es um die Abscheidung von emissionsrelevanten Störstoffen bei der Rauchgasbehandlung gehe. Ein Schwerpunkt liege auf der energetischen Optimierung der Prozessführung. Weiter machte er auf unterschiedliche betriebliche Fahrweisen der Anlage entsprechend den jeweiligen Rahmenbedingungen des Marktes aufmerksam. Der Vortragende unterschied dabei den Einsatz des CO<sub>2</sub>-Abscheideverfahrens in einem bestehenden Heizkraftwerk und der Integration der CO<sub>2</sub>-Abscheidetechnik in ein neues Heizkraftwerk.

Im zweiten Falle eröffne sich ein größerer Spielraum für die verfahrenstechnische und energetische Optimierung.

### **Auf dem Weg zur Realisierung: Viele Gesichtspunkte zu klären**

Ein entscheidendes Kriterium für den Einsatz einer CCS-Technik sei zunächst, ob die Frage der langzeitlichen Speicherung des Kohlendioxids geklärt sei. Neuere politische Entscheidungen zeigten, dass Staaten wie Großbritannien, Norwegen und Dänemark die Einlagerung von CO<sub>2</sub> bereits kommerziell ermöglichten. Die deutsche Bundesregierung lege inzwischen einer Nutzung solcher Einlagerungsmöglichkeiten nichts mehr in den Weg.

Konkrete CCS-Projekte seien von vielen Einflussfaktoren abhängig: z. B. von den örtlichen verfügbaren Flächen am jeweiligen Standort; von den örtlichen Bezugsmöglichkeiten von Strom und Wärme; von Fragen der Lieferverpflichtung, vom Rechtsrahmen, von Genehmigungsfragen, von den Betriebsbedingungen, von der Transport-Logistik, von der möglichen Anlagen-Modularität, von den Betriebszyklen und z. B. auch von einer CO<sub>2</sub>-Nutzung am jeweiligen Standort.

Als ausgereifte Techniken stünden die CCS-Techniken dem Markt ohne zeitlichen Vorlauf zur Verfügung. Dies sei z. B. anhand einer sogenannten TRL-Bewertung klar erkennbar: RTL stehe für einen „Technical Readiness Level“, mit dem der Technologie-Reifegrad bewertet werde, um die Realisierbarkeit bzw. das technische Risiko von neuen Technologien zu erfassen. Die TRL-Skala umfasse die folgenden neun Stufen:

- TRL 1: Beobachtung und Beschreibung des Funktionsprinzips (8 – 15 Jahre);
- TRL 2: Beschreibung der Anwendung einer Technologie;
- TRL 3: Nachweis der Funktionstüchtigkeit einer Technologie (5 – 13 Jahre);
- TRL 4: Versuchsaufbau im Labor;
- TRL 5: Versuchsaufbau in Einsatzumgebung;
- TRL 6: Prototyp in Einsatzumgebung;
- TRL 7: Prototyp im Einsatz (1 –5 Jahre);
- TRL 8: Qualifiziertes System mit Nachweis der Funktionstüchtigkeit im Einsatzbereich;
- TRL 9: Qualifiziertes System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes.

Aus Sicht eines potenziellen Auftraggebers solle der TRL-Wert möglichst nicht unter 8 liegen.

Esslingen, 10. Juli 2023

Autor: Prof. Dr. Martin Dehli

Verantwortlich: Prof. Dr. Werner Braun, Fakultät Angewandte Naturwissenschaften, Energie- und Gebäudetechnik