

hbCC

Hydratbasiertes Carbon Capture mittels Gasphasenabscheidung unter Druck

Programm / Ausschreibung	Energieforschung (e!MISSION), Energieforschung, Energieforschung 7. Ausschreibung	Status	abgeschlossen
Projektstart	01.12.2021	Projektende	28.02.2023
Zeitraum	2021 - 2023	Projektlaufzeit	15 Monate
Keywords	Abgasaufbereitung; Carbon Capture; Clathrathydrate; Gashydrate; Gasphasenabscheidung		

Projektbeschreibung

Carbon Capture (CC) – das technische Abscheiden von CO₂ aus Gasgemischen – ist die einzige Möglichkeit mit der CO₂-Emissionen reduziert und gleichzeitig fossile Ressourcen weiterhin einem Nutzen zugeführt werden können. CC stellt damit eine Brückentechnologie dar, mit welcher Zeit für die Umstellung auf erneuerbare Energieträger gewonnen werden kann. Um die Investitions- und Betriebskosten von Anlagen zu senken und somit einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen, wird immer intensiver nach günstigen, umweltfreundlichen und ressourcenschonenden CC Verfahren gesucht.

Ein Verfahren, welches hierbei ein hohes Potential aufweist, ist die hydratbasierte Abscheidung, bei welcher das CO₂ in einem Wirtsgitter aus Wassermolekülen eingefangen und in der Kristallstruktur eines Gashydrates gebunden wird. Die Gasphasenabscheidung unter Druck – ein innovatives Syntheseverfahren für Gashydrate – bietet dabei Vorteile, mit denen die hydratbasierte Abscheidung von CO₂ aus einem Abgasstrom kostengünstiger und effizienter als herkömmliche Verfahren werden könnte.

Dieses Sondierungsprojekt zielt darauf ab, diese, für CC bislang nur theoretisch bekannten Vorteile, an einer CC Anlage im Technikumsmaßstab nachzuweisen. Neben der Erbringung des Machbarkeitsnachweis soll eine multivariate Sensitivitätsanalyse offene Fragen hinsichtlich der Gleichgewichtsthermodynamik bei den beabsichtigten Prozessbedingungen als auch hinsichtlich der Dynamik der Abscheidung selbst klären. Diese Daten bilden die Grundlage eines thermodynamischen Modells, mithilfe dessen die Anwendung des Syntheseverfahrens auf die industrielle hydratbasierte CO₂-Abscheidung untersucht werden kann. Darüber hinaus soll das Modell neben der Ermittlung der wesentlichen technischen Kennzahlen auch die Ermittlung der wichtigsten wirtschaftlichen Eckdaten ermöglichen. Somit generiert das Sondierungsprojekt letztlich die gesicherte Grundlage, auf Basis derer das innovative Verfahren für CC evaluiert und mit dem Stand der Technik verglichen werden kann. Fällt sowohl die Evaluation als auch der Vergleich positiv aus, werden im Sondierungsprojekt sämtliche für eine weitere Verwertung der Innovation notwendigen Schritte bestmöglich vorbereitet.

Mit etwas Glück legt dieses Sondierungsprojekt damit den Grundstein für eine CC Technologie der nächsten Generation und

trägt somit dazu bei, einer der großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts zu begegnen. Denn, obwohl die Entwicklung der gesellschaftspolitischen Rahmenbedingungen für CC schwer vorhersehbar ist, deuten viele Zahlen schon heute darauf hin, dass CC nicht nur Teil des günstigsten Dekarbonisierungs-Szenarios ist, sondern auch noch nach 2050 wesentlich zur Erreichung der Klimaziele sein wird.

Abstract

Carbon capture (CC) – the technical separation of CO₂ from gas mixtures – is the only option that allows both to reduce CO₂ emissions and to continue the exploitation of fossil resources. CC thus represents a bridging technology that can be used to gain time for the ultimate transition to renewable energy sources. To reduce the investment and operating costs of CC plants and thus enable economic operation, the search is still on for cheap, environmentally friendly, and resource-saving methods.

One such method with great potential is hydrate-based CC, in which CO₂ gets trapped and bound in a host lattice formed by water making up the crystal structure of a gas hydrate. Vapor phase deposition under pressure – an innovative synthesis procedure for gas hydrates – offers theoretical advantages that could make hydrate-based capture of CO₂ from an exhaust gas stream cheaper and more efficient than conventional processes.

This exploratory project aims to demonstrate these advantages of the novel process for CC on a pilot scale. In addition to providing proof of concept, a multivariate sensitivity analysis will clarify open questions regarding equilibrium thermodynamics at the intended process conditions as well as regarding the dynamics of the deposition itself. These data will form the basis of a thermodynamic model that can be used to investigate the application of the synthesis procedure to industrial hydrate-based CC. Besides providing the most important technical key data, the model will also enable the determination of the most important economic factors. Thus, the exploratory project ultimately generates the foundation on which the innovative CC process can be evaluated and compared with the state of the art. If both the evaluation and the comparison confirm the advantages, the exploratory project will prepare all the steps necessary for further exploitation of the innovation in the best possible way.

Therefore, by providing fruitful grounds for the development of a next-generation CC technology, this project helps to address one of the major challenges of the 21st century. Because, even though the development of the socio-political components for CC is difficult to predict, many figures already indicate that CC is not only a major part of the most cost-effective decarbonization scenario, but will also be essential for achieving the climate targets of 2050 and those beyond.

Endberichtkurzfassung

Noch heute werden mehr als 80 % des weltweiten Energiebedarfs über fossile Brennstoffe gedeckt. Die Reduzierung der Kohlendioxidemissionen und damit einhergehend die Verlangsamung des anthropogenen Klimawandels lassen sich mittelfristig über den Umstieg hin zu erneuerbaren Energieträgern realisieren. Dieser Umstieg braucht jedoch Zeit und macht Brückentechnologien notwendig, die kurzfristiger wirken können und mit deren Hilfe die Emissionen bereits während des Umstiegs signifikant reduziert werden könnten. Eine mögliche Technologie ist hierbei unter dem Begriff Carbon Capture and Storage (CCS) zusammengefasst, worunter die Abscheidung von Treibhausgasen wie Kohlendioxid aus Abgasen oder auch direkt aus der Luft verstanden wird. Eine sehr vielversprechende Technologie zur Abscheidung von Kohlendioxid aus typischen Kraftwerksabgasen basiert auf der Bildung von Gashydraten. Dies sind kristalline Einschlusverbindungen

bestehend aus Wassermolekülen, die Gas mit einer sehr hohen Energiedichte in einem Kristallgitter einschließen können. Hydratbasierte CCS-Prozesse benötigen keine Chemie, sind technisch einfach zu realisieren und arbeiten mit dem umweltfreundlichen Medium Wasser. Ein Durchbruch dieser Technologie ist jedoch bis heute aufgrund der unzureichenden Kinetik der Hydratbildung und der prozessunfreundlichen Betriebsbedingungen noch nicht gelungen.

In diesem Forschungsprojekt wurde ein neuartiger Prozess zur hydratbasierten Abscheidung von Kohlendioxid in einem Festbettreaktor bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts untersucht. Durch die Prozessdurchführung bei stark negativen Temperaturen (233-263 K) sind somit moderatere Prozessdrücke ausreichend (ca. 40-60 bar). Die Kinetik der Versuchsdurchführung lässt sich darüber hinaus durch eine hohe spezifische Oberfläche, also durch die gezielte Ausbildung von Porenräumen im Festbett sehr stark verbessern (beispielsweise durch die Zugabe von amorphem Siliciumdioxid).

Mit dem hier beschriebenen Prozess ist es nun erstmals gelungen, die Leistungsindikatoren (Energy Penalty, Capture Efficiency/Energy Consumption) konventioneller CCS-Prozesse wie Absorption und Adsorption zu übertreffen und somit ein potenziell kostengünstigeres Verfahren zur Abscheidung von Kohlendioxid zu finden. Dazu wurden Messungen in drei unterschiedlichen Betriebsmodi durchgeführt: (1) Batchmodus, (2) Semibatchmodus und (3) kontinuierlicher Modus. Durch die vielseitigen Möglichkeiten, mit dem vorhandenen Versuchsreaktor im Labormaßstab zu messen, konnte (1) das theoretisch zu erwartende thermodynamische Gleichgewicht der Hydratbildung für drei unterschiedliche Temperaturen vermessen werden, (2) die Kinetik der Hydratbildung sowie des Hydratzerfalls über viele Prozesszyklen analysiert werden und (3) Massenbilanzen zur Ermittlung der gebildeten Mengen an Hydrat geschlossen werden.

Es hat sich gezeigt, dass die langsamere Kinetik der Hydratbildung durch die gezielte Erhöhung der spezifischen Oberfläche so weit kompensiert werden konnte, dass eine Abscheidung im industriellen Maßstab auch über mehrere Prozesszyklen stabil durchgeführt werden könnte. Die Dissoziation erfolgt dabei ebenso schnell und erlaubt somit eine parallele Bildung und Regeneration in einer Zwillingsreaktoranordnung. Die Vorteile des Betriebs bei tiefen Temperaturen (moderate Drücke und hohe Selektivität) bleiben damit erhalten und machen den hier untersuchten Prozess zum womöglich vielversprechendsten Kandidaten für die industrielle Abscheidung von Kohlendioxid überhaupt.

Projektpartner

- Fachhochschule Vorarlberg GmbH