

Klimawandel

Vermeidung und Anpassung



Status und Potenziale von Carbon Capture

Autor:innen: Philipp Wolf-Zöllner, Markus Lehner, Helena Langitz (Montanuniversität Leoben)
begutachtet von: Tobias Pröll (BOKU University), Franz Winter (Technische Universität Wien)

Carbon Capture Technologien

Unter Carbon Capture (kurz „CC“) versteht man Technologien zur Abtrennung von Kohlendioxid (CO₂) aus einem Gas. Das CO₂ enthaltende Gas stammt entweder aus einer gefassten, meist industriellen Emissionsquelle (Punktquelle) oder aber auch aus der Atmosphäre. Wenn das CO₂ direkt aus der Umgebungsluft abgeschieden wird, spricht man von Direct Air Capture (DAC). Neben technischen CC Verfahren ist auch eine natürliche Einbindung mittels Mineralisierung (Umwandlung in Karbonate) oder dem Aufbau von Biomasse (Photosynthese) möglich, welche gezielt für die Entnahme von CO₂ aus der Luft genutzt werden kann. Dies kann durch natürliche Prozesse (z. B. Aufforstung), aber auch durch technisch-biologische (z. B. Algenwachstum) erreicht werden. [1] Die technischen Prozesse für die Abscheidung am Ende eines CO₂-freisetzenden Prozesses (post-combustion) können anhand der verwendeten chemisch-/physikalischen Abscheidemethode klassifiziert werden. Bei dieser Kategorisierung unterscheidet man **Absorption, Adsorption, Membrantechnik, Kryogenvverfahren sowie Gas-/Feststoffreaktionen**.



Die Absorption kann nach dem jeweiligen genutzten Waschmittel eingeteilt werden, bei welchen chemisch oder physikalisch bindende Varianten unterschieden werden können. Absorptionsverfahren sind die am weitesten entwickelten Technologien, speziell dann, wenn Monoethanolamine (MEA) als Waschmittel zum Einsatz kommen und sind somit mit einem Technologiereifegrad (TRL*) von 9 kommerziell verfügbar. Bei der Adsorption gibt es zwei Möglichkeiten diese zu gruppieren, einmal nach dem zum Einsatz kommenden Adsorbens**, oder nach der verwendeten Regenerationsmethode. Die physikalische Adsorption mittels Zeolithen, in Verbindung mit einer Druckwechseladsorption (PSA) für die Aufbereitung des Adsorbens, stellt in dieser Gruppe die am weitesten entwickelte Technologie dar.

* TRL- bzw. Technology Readiness Level ist eine Neun-Punkte-Skala, die zeigt, welchen technischen Reifegrad eine Technologie zwischen dem ersten Konzept (TRL=1) und der kommerziellen Nutzung (TRL=9) hat.

** Ein Adsorbens dient zur Entfernung von Spurenstoffen aus Gasen oder Flüssigkeiten, welche sich aufgrund von chemisch-/physikalischen Kräften an der Oberfläche anlagern.

Hauptaussagen

- Carbon Capture (CC) ist im Bereich der chemischen Absorptionstechnologien bereits großtechnisch verfügbar und die derzeit am häufigsten zum Einsatz kommende Technologie.
- Alle CC Verfahren weisen einen signifikanten Energiebedarf auf (chemische Absorption mit MEA: 3,0 - 4,5 GJ/t_{CO2}, neuere Technologien bis zu 2,0 GJ/t_{CO2}).
- Aufwand und Kosten steigen mit sinkendem CO₂-Gehalt im Gas sowie mit steigenden Anforderungen an die CO₂-Reinheit.
- Um CC effektiv im großen Maßstab betreiben zu können, müssen der Energiebedarf und die Kosten noch deutlich sinken.
- Für Österreich ergibt sich ein Potenzial von ~14,8 Mt_{CO2} im progressivsten Szenario für das Jahr 2040, abhängig von den umgesetzten Technologien.

Alle erwähnten Technologien können bereits CO₂-Abscheidegrade von bis zu 99 % erreichen, wobei der energetische Aufwand und damit auch die Kosten mit höheren Abscheidegraden drastisch ansteigen. [2] Technologien mit hohem Entwicklungspotenzial, die derzeit erforscht und entwickelt werden, sind Gas-/Feststoffreaktionen wie „Carbonate Looping“, sowie polymerbasierte, selektive Membrane. Des Weiteren wird bei der Adsorption an der Entwicklung von Aminfunktionalisierten Adsorbentien mittels Temperaturwechseladsorption (TSA) gearbeitet. In Kombination von Membran-, Adsorptions- und Absorptionsverfahren mit dem Kryogenvverfahren, werden sehr hohe CO₂-Reinheiten (bis zu 99,99 %) erreicht. Das CO₂ liegt nach der Abscheidung in diesem Fall bereits in flüssiger Form vor, was für den weiterführenden Transport, z. B. per Pipeline, von Vorteil ist.

Energieaufwand

Der Energiebedarf von CC liegt bei post-combustion in einem Bereich von rund 0,5 bis 10 GJ pro Tonne abgeschiedenem CO₂, abhängig von der Technologie, deren Reifegrad und der erreichten CO₂-Reinheit. Bei der Absorption hängt der Bedarf an eingesetzter Energie zum größten Teil von dem zur Anwendung kommenden Absorptionsmittel ab und dem damit verbundenen Energieaufwand für die Desorption („Auskochen“) des CO₂ aus der Waschlösung.

Das am häufigsten zum Einsatz kommende und kommerziell verfügbare Amin MEA hat eine Regenerationsenergie von 3,0 - 4,5 GJ/tCO₂. [3, 4] Neuere Amine benötigen mit 2,1 - 2,9 GJ/tCO₂ bereits deutlich weniger Energie. [5, 6] Für andere Absorptionsmittel, wie z. B. Alkalikarbonate oder die Ammoniakwäsche, wird laut neuesten Veröffentlichungen ein ähnlicher Energiebedarf benötigt (2,0 - 2,6 GJ/tCO₂). [7] Im Vergleich zur Absorption wird Aminfunktionalisierten Adsorbentien ein deutlich geringerer Energiebedarf nachgesagt und sind daher Gegenstand aktueller Forschungsinitiativen. [5, 8] Tabelle 1 zeigt den Energiebedarf und die Reifegrade weiterer Abscheidetechnologien für industrielle Punktquellen (ohne DAC).

Tabelle 1: Spezifischer Energiebedarf und TRL verschiedener Abscheidetechnologien [3-15].

Technologie	Energiebedarf GJ/t _{CO2}		Technologie- reifegrad *
	thermisch	elektrisch	
Absorption			
MEA, EDA, MDEA, etc.	3,0 - 4,5	0,6 - 0,9	bis 9
Auswahl			
Neue/optimierte Waschmittel	2,1 - 2,9	0,5 - 0,6	6 - 9
Alkalikarbonate	2,0 - 2,6	0,4 - 0,5	9
Ammoniakwäsche	2,0 - 2,9	0,4 - 0,6	6 - 7
Salze d. Aminosäure	2,4 - 3,4	0,5 - 0,7	4 - 5
Adsorption			
Zeolithe, etc. (PSA)	-	2,4 - 9,0	bis 9
Metall-organische Gerüste (PSA)	-	2,9 - 4,2	5 - 8
Amin-funktionalisierte Adsorbentien (TSA)	1,8 - 4,0	-	1 - 2
Membrantechnik			
Kryogenvorfahren	-	0,5 - 6,0	2 - 7
Kryogenvorfahren			
Kryogenvorfahren	-	1,0 - 3,6	bis 6
Gas-/Festbettreaktionen (Solid Looping)			
Gas-/Festbettreaktionen (Solid Looping)	2,2 - 10	-	5 - 7

Kosten und Anlagengröße

Ein wesentlicher Kostenfaktor der Abscheidung ist die Charakteristik des Gases, aus dem CO₂ abgeschieden werden soll, sowie auch die Anlagengröße selbst. Bei ansonsten gleichen Bedingungen ist der Partialdruck des CO₂, also dessen Konzentration im Abgas, von wesentlicher Bedeutung, da die Kosten mit abnehmendem Partialdruck steigen. Daher lässt sich auch von der Konzentration direkt auf die benötigten Kosten schließen.

Referenzen

[1] National Energy Technology Laboratory, US Department of Energy. Carbon Dioxide Capture Handbook. 2015. [2] Dziejarski, B., et al. Current status of carbon capture, utilization, and storage technologies in the global economy: A survey of technical assessment. Fuel, Volume 342, 2023. [3] Elliotta, B., et al. An open-access FEED study for a post-combustion CO₂ capture plant retrofit to a CCGT. Proceedings of the 16th Greenhouse Gas Control Technologies Conference. 2022. [4] Garcia J. A., et al. Technical analysis of CO₂ capture pathways and technologies. Journal of Environmental Chemical Engineering 2022, 10, 5, 108470. [5] Veneman, R. Adsorptive systems for post-combustion CO₂ capture. Design, experimental validation and evaluation of a supported amine-based process. 2015. [6] Barlow, H., et al. M. State of the art: CCS Technologies. Global CCS Institute Report, 2023. [7] Bui, M., et al. Carbon capture and storage (CCS): the way forward. Energy Environ. Sci. 2018, 11, 5. [8] Zerobin, F., et al. Concentrated Carbon Dioxide (CO₂) from Diluted Sources through Continuous Temperature Swing Adsorption (TSA). Ind. Eng. Chem. Res. 2020, 59, 9207–9214. [9] Nakao, S., et al. Advanced CO₂ Capture Technologies. Springer International Publishing, Cham, 2019. [10] Bahamon, D., et al. Energetic evaluation of swing adsorption processes for CO₂ capture in selected MOFs and zeolites: effect of impurities. Chemical Engineering Journal, 2018. [11] Font-Palma, C., et al. Review of Cryogenic Carbon Capture Innovations and Their Potential Applications. C Journal of Carbon Research 2021, 7, 58. [12] Song, C., et al. Cryogenic-based CO₂ capture technologies: State-of-the-art developments and current challenges. Renew. Sustain. Energy Rev. 2019, 101, 265–278. [13] Hilz, J., et al. Long-term pilot testing of the carbonate looping process in 1 MWth scale. Fuel 2017, 210. [14] Santos, P. M., et al. Carbon capture for decarbonisation of energy-intensive industries: a comparative review of techno-economic feasibility of solid looping cycles, Front.Chem.Sci.Eng, pp. 1291-1317, 2022. [15] United States Government Accountability Office. Decarbonization. Technology Assessment, 2022. [16] Debarre, R., et al. Carbon Capture Utilization and Storage, Towards Net-Zero. Kearney Energy Transition Institute, 2021. [17] Hochmeister et al. Carbon Management für ein klimaneutrales Österreich. EnInnov 2024. Available online: <https://project-cactus.at>.

Impressum

CCCA
Dänenstraße 4
A-1190 Wien
ZVR: 664173679

servicezentrum@ccca.ac.at
ccca.ac.at
Stand: September 2024
ISSN 2410-096X

Dieser Zusammenhang kann auch bei der Abscheidung in den einzelnen Industriesektoren gefunden werden. Die Kosten bei hohen CO₂-Konzentrationen von über 95 % können zwischen 15 und 35 € pro Tonne abgeschiedenem CO₂ liegen. Bei Punktquellen mit niedrigeren Konzentrationen (< 45 %) liegen die Kosten im Bereich von rund 40 bis 160 €/tCO₂. (Abbildung 1) [6, 15, 16]

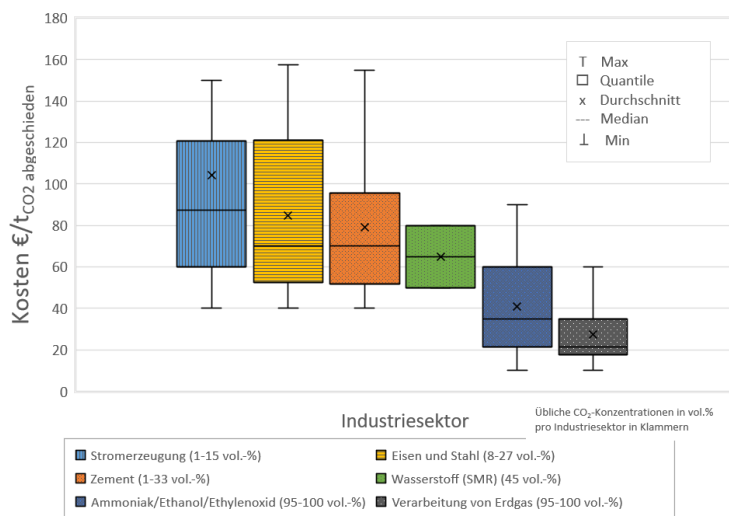


Abbildung 1: Spezifische Kosten nach Industriesektor und CO₂-Konzentration für Punktquellen (ohne DAC).

Potenzial von CC in Österreich

Das Ziel der Klimaneutralität bis 2040 für Österreich ist herausfordernd. Unterschiedliche Szenarien zur Berechnung, wie sich CO₂-Punktquellen entwickeln werden, zeigen für die Sektoren Industrie und Energie im progressivsten Fall einen Rest an Treibhausgasemissionen von ~14,8 MtCO₂ (2,5 geogen, 1,9 fossil und 10,4 biogen). [17] Diese Emissionen werden teils rohstoffbedingt durch den Herstellungsprozess weiterhin anfallen (z. B. bei der Zementherstellung oder Müllverbrennungsanlagen). In diesen Bereichen wird die Abscheidung von CO₂ zur weiteren Umwandlung in z. B. chemische Produkte, synthetische Kraftstoffe oder aber auch zur langfristigen Speicherung künftig von wichtiger Bedeutung sein.

