

Klimawandel

Vermeidung und Anpassung



Carbon Capture and Utilization (CCU)

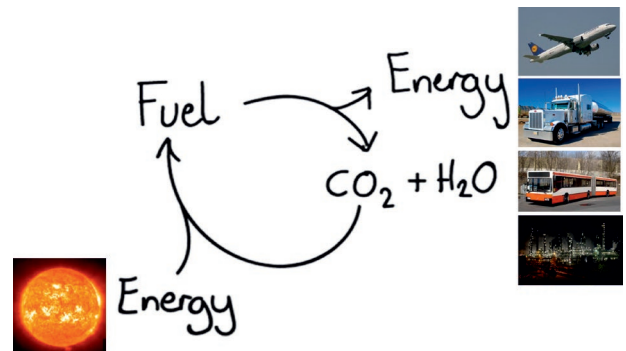
Autor: Markus Lehner (Montanuniversität Leoben)

begutachtet von: Susanne Lux (Technische Universität Graz), Franz Winter (Technische Universität Wien)

Neben der Vermeidung sowie langfristiger Speicherung (CCS) anthropogener CO₂-Emissionen wird die Verwertung von CO₂ zur Herstellung nutzbarer Produkte als Möglichkeit der Reduktion von Treibhausgasemissionen diskutiert. Die damit verbundenen Technologien werden unter dem Begriff „Carbon Capture and Utilization“ zusammengefasst. Dabei ist die Begriffsbestimmung nicht einheitlich. Im engeren Sinn und häufiger gebräuchlich (1) wird dabei die Nutzung von CO₂ in konzentrierter Form für die Herstellung von kohlenstoffhaltigen Produkten in chemischen und technischen biologischen Prozessen verstanden. In einem erweiterten Sinn können aber auch natürliche biologische Prozesse (z. B. Aufforstung) mit einbezogen werden, die CO₂ zum Aufbau von Biomasse mittels Photosynthese nutzen und die Biomasse beispielsweise als Baustoffe (Holz) oder für die Herstellung von Biotreibstoffen oder Chemikalien weiter verarbeiten (2). Die Ausführungen hier beziehen sich auf die Definition von CCU im engeren Sinn.

In der Entwicklung befinden sich auch Verfahren zur Gewinnung des CO₂ aus der Luft („Direct Air Capture“). Grundsätzlich ist die Gewinnung von CO₂ energetisch aufwändig, wobei der Energiebedarf mit kleiner werdenden Konzentrationen in der Quelle ansteigt. Technologien zur CO₂-Abtrennung aus Punktquellen sind technisch schon bis zur industriellen Reife entwickelt, wie beispielsweise auf Aminen basierende Wäschen. Die CO₂-Abtrennung und deren CO₂-Fußabdruck sind zwingend in die Gesamtbilanz eines CCU-Prozesses einzubeziehen.

Produkte aus CO₂



Prinzipiell sind alle Produkte denkbar, in denen Kohlenstoff als Baustein vorkommt. Im Bereich der chemischen Produkte werden die Herstellung von Harnstoff sowie die Produktion von Polyol (Endprodukt: Polyurethan) industriell angewendet (3). Ebenso ist die direkte Hydrierung von CO₂ zu Methanol kommerziell verfügbar, wenn auch nicht Stand der Produktionstechnik. Methanol zählt zu den Plattformchemikalien¹ und wird üblicherweise aus Synthesegas hergestellt, einer Mischung aus CO und H₂. Daher sind Verfahren, die CO₂ zu CO reduzieren, bedeutend, wie z. B. die elektrochemische Reduktion in einer Hochtemperatur-Co-Elektrolyse oder die katalytische Reduktion mit grünem Wasserstoff in der reversen Wassergas-Shift Reaktion. Diese Verfahren sind aber derzeit noch Gegenstand der Forschung. Flüssige Treibstoffe (synthetischer Diesel; Kerosin) können mit einer Fischer-Tropsch Synthese (FTS) hergestellt werden.

Hauptaussagen

- Es ist eine Vielzahl unterschiedlichster Produkte aus CO₂ herstellbar, wobei bisher nur sehr wenige CCU Prozesse auch kommerziell verfügbar sind.
- Für einen CCU Prozess muss zwingend eine Gesamt-CO₂-Bilanz erstellt werden. Die CO₂ Bindungsdauer ist vom Produkt abhängig.
- In bestimmten Bereichen (z. B. Zementindustrie, synthetische Kraftstoffe) ist CCU eine wichtige Technologie zur Erreichung der Klimaneutralität.
- CCU kann als Brückentechnologie die Dekarbonisierung mittelfristig beschleunigen, die langfristige Perspektive ist derzeit noch offen. CCU wird aber immer nur einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten können.

Carbon Capture

Die Nutzung von CO₂ erfordert meist dessen Bereitstellung in konzentrierter Form und – insbesondere bei katalytischen Verwertungsprozessen – auch in sehr reiner Form, also frei selbst von Spuren an potentiellen Katalysatorgiften (z.B. Schwefelverbindungen, Schwermetalle). Als CO₂-Quellen kommen in erster Linie gefasste Punktquellen in Frage, also z. B. Abgase aus der Zement- oder Stahlproduktion.

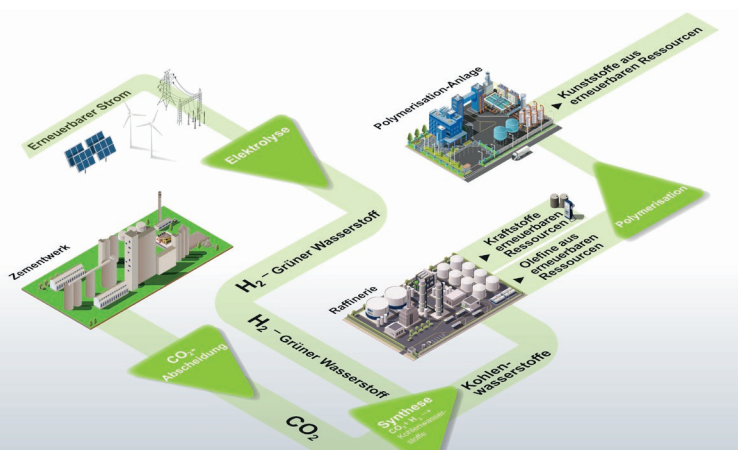
¹ Plattformchemikalien sind Verbindungen, die als Ausgangsstoff für viele chemische Folgeprodukte dienen.

Die FTS ist bereits seit den 1980er Jahren im industriellen Maßstab in Betrieb, allerdings wird dafür fossiles Synthesegas, das aus Kohle (Coal-to-Liquid) oder aus Erdgas (Gas-to-Liquid) gewonnen wird, benutzt. Eine FTS Synthese mit CO₂ als Rohstoff ist derzeit nur über den Umweg einer vorherigen Reduktion des CO₂ zu CO möglich. Die Herstellung von Baustoffen oder Bauzusatzstoffen aus CO₂ kann durch eine Karbonatisierung von Metalloxiden erreicht werden. Solche Verfahren kommen in geologischen Zeiträumen auch natürlich in Gesteinen vor. Verfahren zur Karbonatisierung mineralischer Rohstoffe befinden sich alle noch im Forschungsstadium, wobei hier mehrheitlich auf eine langfristige Speicherung des CO₂ abgezielt wird (4). In biologischen CCU-Prozessen, die teilweise auch schon kommerziell verfügbar sind, wird CO₂ im Metabolismus von natürlichen oder gentechnisch veränderten Mikroorganismen zu unterschiedlichen Produkten, wie Methan oder Alkoholen, enzymatisch konvertiert. Kommerziell verfügbar sind Prozesse zur Herstellung von Methan aus Biogas (biologische Methanierung) sowie von Ethanol oder einer Mischung von Aceton, Butanol und Ethanol (ABE-Fermentation). Biologische Verfahren arbeiten meist bei moderaten Betriebsbedingungen und können auch verdünnte CO₂-Quellen nutzen. Gegenüber katalytischen Verfahren ist ihr Mengenpotential unter anderem aufgrund der langsamen Kinetik² begrenzt.

Ein Überschreiten der Gewinnschwelle („breakeven costs“) liegt im Bereich von 50 bis 1000 €/t genutztem CO₂, je nach Produkt, Verfahren und hinterlegten Lernkurven (2). Gegenwärtig sind viele CCU Verfahren kaum wirtschaftlich und auch kaum im industriellen Maßstab umsetzbar, nicht zuletzt da z. B. für Power-to-X Prozesse³ nicht ausreichend erneuerbarer Strom vorhanden ist. Weiters ist zu beachten, dass eine Nutzung von CO₂ als Rohstoff a priori keine negative CO₂-Gesamtbilanz bedeutet. Daher ist es notwendig eine derartige Bilanz aufzustellen (6). Power-to-X Prozesse benötigen beispielsweise grünen Wasserstoff⁴, um eine negative Gesamt-CO₂-Bilanz aufzuweisen. Darüber hinaus ist die Bindungsdauer des CO₂ vom Produkt abhängig. Bei Treibstoffen wird CO₂ schon nach Tagen bis Wochen wieder freigesetzt, bei Baustoffen kann dies erst nach Jahrzehnten sein.

Bedeutung von CCU

Welche Bedeutung CCU Prozesse bei der Eindämmung des anthropogen bedingten Klimawandels haben werden, ist derzeit noch nicht abzuschätzen. Im Hinblick auf ein schnelles Handeln bei der Reduktion von Treibhausgasemissionen bestehen jedoch in einigen Bereichen kaum Alternativen zu CCU. Dazu gehören prozessbedingte CO₂-Emissionen (Zementwerke) oder die Produktion von synthetischem Kerosin. Die Entwicklung alternativer Antriebe im Luftverkehr bis zur Serienreife ist noch in weiter Ferne, daher wäre „grünes“ Kerosin aus einem CCU Prozess eine vergleichsweise schnelle Option zur Reduktion der CO₂-Emissionen in diesem Bereich. In anderen Industriesektoren, wie der Stahlproduktion, sind langfristig „Carbon Direct Avoidance“-Technologien (beispielsweise durch Direktreduktion mit grünem Wasserstoff) sinnvoller, jedoch kann bis zu deren Ausrollung CCU eine sinnvolle Brückentechnologie darstellen. Entwicklungen im Bereich der Katalyse („Dream Reactions“) können ebenfalls ein starker Treiber für CCU Prozesse in der Zukunft sein.



Mengenpotentiale, Kosten und Gesamt-CO₂-Bilanz

Das Mengenpotential von CCU Technologien wird sehr unterschiedlich beurteilt (2,5). Es reicht von mehreren 100 Mt CO₂ bis zu 10 – 15 Gt CO₂/a im Jahr 2050; im Hinblick auf derzeit etwa 35 Gt/a anthropogenen CO₂-Ausstoß also von marginal bis bedeutend. Diese unterschiedliche Einschätzung resultiert daraus, dass sich viele CCU Verfahren noch in der Entwicklung befinden, aber auch die Wirtschaftlichkeit der Verfahren von sich ändernden Randbedingungen (z. B. Emissionskosten für CO₂, Menge und Kosten von erneuerbarem Strom) abhängt. Es existieren heute schon Verfahren, die wirtschaftlich tragfähig sind und deren CO₂-Bilanz besser ausfällt als die herkömmliche Produktionsroute für das Produkt (3).

Referenzen

- (1) IPCC Special Report: Carbon Dioxide Capture and Storage. Eds.: Metz, B., Davidson, O. R., De Coninck, H., Loos, M. & Meyer, L. A., Cambridge Univ. Press, 2005.
- (2) Hepburn C. et al.: The technological and economic prospects for CO₂ utilization and removal. Nature 575, 2019, S. 87-97.
- (3) von der Assen, N. & Bardow, A. Life cycle assessment of polyols for polyurethane production using CO₂ as feedstock: insights from an industrial case study. Green Chem. 16, 2014, S. 3272–3280.
- (4) Olajire A.: A review of mineral carbonation technology in sequestration of CO₂. Journal of Petroleum Science and Engineering 109, 2013, S. 364-392.
- (5) Dowell N.M. et al.: The role of CO₂ capture and utilization in mitigating climate change. Nature Climate Change 7, 2017, S. 243-249.
- (6) Zimmermann, A. et al. Techno-Economic Assessment & Life-Cycle Assessment Guidelines for CO₂ Utilization (Global CO₂ Initiative, 2018).

² Unter Kinetik versteht man die zeitliche Änderung der Konzentration eines Reaktionspartners, also die Geschwindigkeit des Ablaufs einer Reaktion.
³ Power-to-X bezeichnet Technologien zur Umwandlung von erneuerbarem Strom in nutzbare Produkte, beispielsweise Wasserstoff (Power-to-Gas) mittels Elektrolyse oder in andere Energieformen, z. B. Wärme (Power-to-Heat).
⁴ Grüner Wasserstoff wird in einer Wasserelektrolyse mit erneuerbarem Strom hergestellt.



Impressum

CCCA
 Servicezentrum
 Mozartgasse 12/1
 A-8010 Graz
 ZVR: 664173679

servicezentrum@ccca.ac.at
www.ccca.ac.at
 Stand: April 2021
 ISSN 2410-096X

