



# CO<sub>2</sub>Plus – Stoffliche Nutzung von CO<sub>2</sub> zur Verbreiterung der Rohstoffbasis

## ABSCHLUSSERGEBNISSE

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



**FONA**  
Forschung für Nachhaltige  
Entwicklung  
BMBF



# CORAL – CO<sub>2</sub>-Rohstoff aus Luft: Entwicklung eines hocheffizienten Verfahrens zur CO<sub>2</sub>-Bereitstellung aus Luft als Basis für die Erzeugung regenerativer Rohstoffe

## EINLEITUNG

Bei steigenden Anteilen der Erneuerbaren Energieversorgung werden auch zukünftig Kohlenwasserstoffe benötigt, insbesondere dort, wo nicht vollständig elektrifiziert oder Wasserstoff direkt genutzt werden kann. Das betrifft z. B. Kraftstoffe für den Flug-, Schiffs- und Schwerlastverkehr, saisonale Speicher und chemische Rohstoffe. Für die Kohlenwasserstoffsynthese benötigt man Wasserstoff (z. B. aus der Wasserelektrolyse) und Kohlenstoff (z. B. CO<sub>2</sub> aus der Luft). Selbst unter der Annahme, dass der fossile Energieverbrauch erheblich gesenkt werden kann, muss dieser langfristig mit erneuerbaren Produkten ersetzt werden. Für die CO<sub>2</sub>-Bereitstellung ergibt sich daraus ein steigender Bedarf der nicht nur aus konzentrierten Quellen gedeckt werden kann. Bisher gibt es nur wenige Technologien für die CO<sub>2</sub>-Gewinnung aus der Luft und meist mit einem erheblichen Energieaufwand verbunden sind. Im Fokus von „CORAL“ steht deshalb die Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens mit minimiertem Energieverbrauch. Durch Prozessintegration sollen dabei die Abwärmen aus verbundenen Prozessschritten, wie z. B. Elektrolyse und Synthese genutzt werden.

Die Ergebnisse von CORAL können dazu beitragen, die derzeitigen Rohstoffquellen (Erdöl, Erdgas, Kohle) für chemische Erzeugnisse durch nachhaltig gewonnenen Kohlenstoff zu ersetzen. Daraus ergeben sich gewaltige Potenziale aber auch große Herausforderungen für CO<sub>2</sub>-Bereitstellung als Rohstoff aus der Luft.

## HERAUSFORDERUNG

Die größten Herausforderungen bei der konzentrierten CO<sub>2</sub>-Gewinnung aus der Luft ergeben sich aus der großen Verdünnung des CO<sub>2</sub> in der Luft (400 ppm). Vergleichsweise zum gewonnenen CO<sub>2</sub> werden sehr große Luftmengen benötigt, die mittels Gebläse durch einen Absorber gefördert werden müssen (ca. 3600 m<sup>3</sup> Luft/ m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>). Dies macht bereits einen großen Teil des el. Energieverbrauchs aus. Zudem wird ein starkes CO<sub>2</sub>-Absorbens benötigt, da nur ein geringes CO<sub>2</sub>-Partialdruckgefälle zwischen Luft und Sorbens für die Abscheidung zur Verfügung steht. Eine starke CO<sub>2</sub>-Bindung erschwert wiederum die anschließende CO<sub>2</sub>-Desorption, die möglichst thermisch mit Abwärmen aus anderen Prozessschritten realisiert werden sollte.

Bei der Suche nach geeigneten CO<sub>2</sub>-Sorbentien, gab es folgende Herausforderungen:

- Trotz der geringen CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft sollte das Sorbens noch ausreichend hohe Sorptionskapazitäten bzw. Sorptionsraten aufweisen.
- Um Sorbensverlust zu verhindern, sollte wegen der erforderlichen großen Luftmengen das Sorbens gegenüber Luft keinen eigenen Dampfdruck aufweisen.

Letzteres ist auch der Grund, weshalb bei den meisten bekannten Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Gewinnung aus Luft feststoffgebundene Sorbens und keine Waschverfahren ein-



gesetzt werden. Die aus der Rauchgasreinigung oder Biogasaufbereitung bekannten Waschverfahren mit wässrigen Aminlösungen, wie z. B. MEA, DEA und Ähnlichen sind wegen des Aminverlustes für Luft nicht geeignet.

### METHODE

Im CORAL-Projekt erfolgte zunächst ein umfangreiches Screening der Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Bereitstellung aus Luft sowie der dafür verwendeten Sorbens. Die Verfahren wurden anhand von Bewertungskriterien, wie z. B. CO<sub>2</sub>-Qualität, Material- und Energieverbrauch, Verfügbarkeit, technische Reife und ihrer Vor- und Nachteile verglichen. Parallel wurden CO<sub>2</sub>-Sorbetien hinsichtlich ihrer Eignung zur Realisierung eines technischen Prozesses untersucht. Dabei konzentrierte sich die Materialentwicklung, ähnlich wie bei den bekannten Verfahren auf feststoffgebundene Amin-Verbindungen.

Sowohl beim Verfahrensvergleich, als auch aus der Materialentwicklung (feststoffgebundenes Sorbens) stellte sich Polyethylenimin (PEI) als häufig verwendetes, gut geeignetes Sorbens heraus. Da PEI gut wasserlöslich ist und die hochmolekulare, verzweigte Variante keinen eigenen Dampfdruck aufweist, wurde die Eignung einer wässrigen Lösung für einen Waschprozess untersucht und letztlich für die Verfahrensdemonstration ausgewählt; zumal am Entscheidungszeitpunkt kein geeignetes feststoffgebundenes Sorbens in ausreichender Menge hergestellt werden konnte.

### ERGEBNISSE

Bei allen bekannten Verfahren muss im Vergleich zur gewonnenen CO<sub>2</sub>-Menge ein großer Luftvolumenstrom mittels Gebläse durch den Absorber (z. B. Wäscher, Festbettsschüttung, Filter) gefördert werden, was abgesehen von der Desorption, den el. Hauptverbrauch verursacht.



Abbildung 1: CO<sub>2</sub>-Desorber (links); CO<sub>2</sub>-Absorber (rechts) für 0,5 – 1 m<sup>3</sup>/h CO<sub>2</sub>; 3600 m<sup>3</sup>/h Luft

Im CORAL-Projekt wird zur Demonstration ein Waschprozess eingesetzt. Um den Verlust von Aminen mit dem Luftvolumenstrom zu vermeiden, wird eine wässrige PEI-Lösung mit hochmolekularen, verzweigten Amingruppen eingesetzt, welche keinen eigenen Dampfdruck aufweist. Zudem ermöglicht dies den Einsatz von Abwärme zur thermischen CO<sub>2</sub>-Desorption und somit der Minimierung des el. Energieverbrauchs. Nachteilig gegenüber den derzeit bekannten Verfahren mit feststoffbasierten Aminen ist bei Waschprozessen der Wasserverlust durch Erhöhung der relativen Luftfeuchte. Durch die Sättigung der Luft kühlt der Absorber ab, was wiederum den Wasserverbrauch begrenzt. Abb.1 zeigt den verwendeten Ab- und Desorber, welche in einem 20ft Container untergebracht sind.

Abbildung 2 zeigt einen typischen Beladungsverlauf des Absorbers im batch-Betrieb ohne laufende CO<sub>2</sub>-Desorption. Dargestellt ist die CO<sub>2</sub>-Konzentration am Luftaustritt. Der CO<sub>2</sub>-Absorber enthält 270 l 10%-tiger PEI-Lösung. Die Eingangskonzentration der Luft lag bei 400 ppm. Unter den eingestellten Betriebsbedingungen (3600 m<sup>3</sup>/h Luft) war der Absorber im batch-Betrieb nach 10h vollständig beladen. Die schraffierte Fläche entspricht der kumulierten CO<sub>2</sub>-Menge. Bereits nach 3 Stunden hat der Absorber mehr als die Hälfte seiner Kapazität erreicht.

In den restlichen sieben Stunden batch-Betrieb würde viel el. Energie für wenig CO<sub>2</sub> verbraucht. Für den kontinuierlichen Absorptionsbetrieb befinden sich die energetisch günstigen Betriebspunkte im linken Bereich des Diagramms mit wenig beladener Lösung. Die notwendigen Messungen am Desorber zur Bestimmung günstiger Betriebspunkte werden derzeit durchgeführt.

#### AUSBLICK

- Die wesentlichen Projektziele werden voraussichtlich erreicht
- Das Verfahren zeichnet sich durch einen effizienten, integrierten Gesamtprozess mit der Möglichkeit zur Abwärmenutzung z. B. von Elektrolyse und Synthese aus
- Das Verfahren ist in Hinblick auf Kosten und Effizienz konkurrenzfähig mit anderen Verfahrensvarianten zur CO<sub>2</sub>-Gewinnung aus Luft; es ist aufgrund seiner Charakteristika gut für einen Scale-up in große Leistungsklassen geeignet
- Es ist ein Anschlussvorhaben in Vorbereitung mit dem Ziel einer weiteren Senkung des elektrischen Energie-

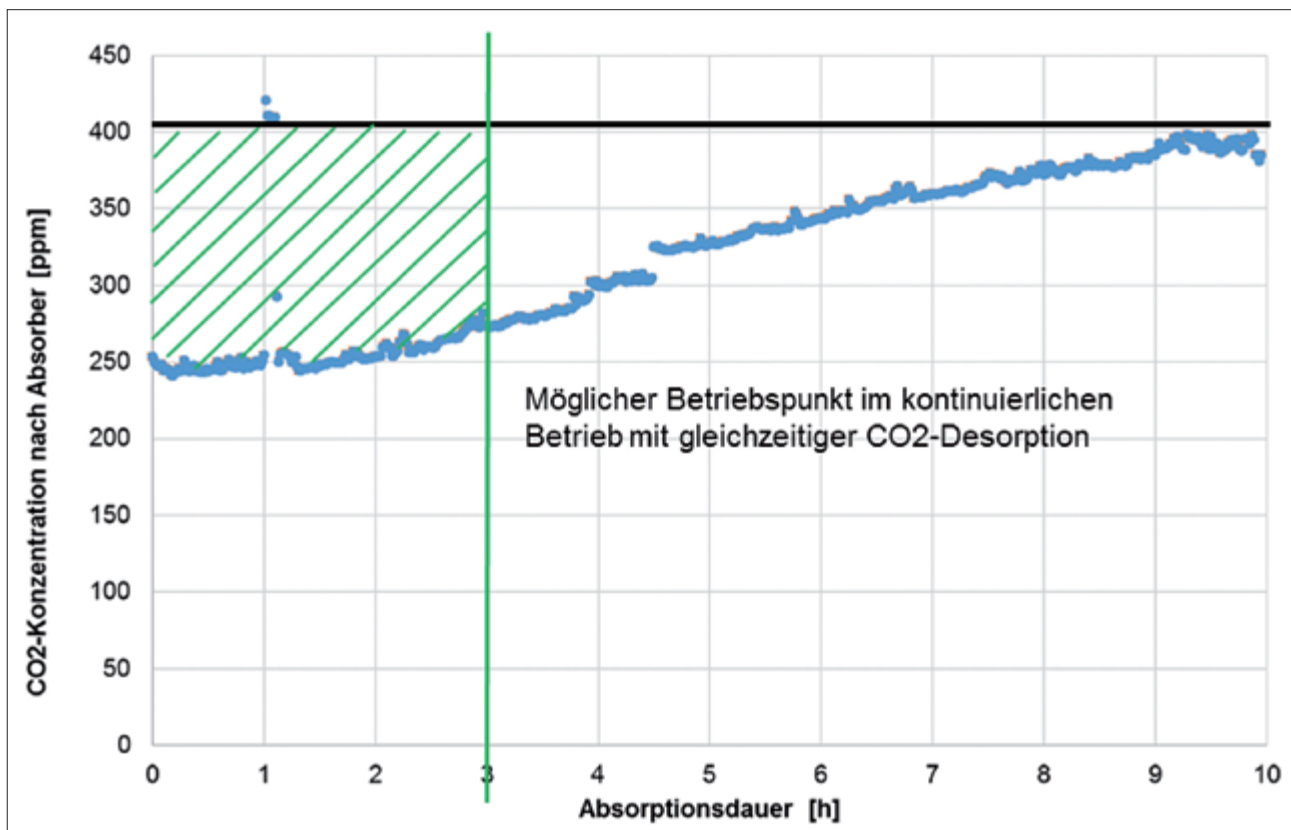


Abbildung 2: Beladungskurve am CO<sub>2</sub>-Absorber ohne Desorption; 3600 m<sup>3</sup> Luft/h; Umlauf 7 m<sup>3</sup>/h; Sorbens 270 l 10%-tige PEI-Lösung

verbraus und einer Verfahrenserweiterung zur parallelen Gewinnung von CO<sub>2</sub> und Wasser aus der Umgebungsluft (z. B. für die Elektrolyse); dies würde eine vollständig autonome Betriebsweise in abgelegenen Gebieten erlauben.

## KONTAKT

**Dr.-Ing. Ulrich Zuberbühler**

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung  
Baden-Württemberg  
Meitnerstr. 1  
70563 Stuttgart

Tel.: +49 711 7870239

E-Mail: [ulrich.zuberbuehler@zsw-bw.de](mailto:ulrich.zuberbuehler@zsw-bw.de)  
[www.zsw-bw.de](http://www.zsw-bw.de)

Weitere Kontaktdaten auf Seite 70

*Projektlaufzeit: 09.2016 – 08.2019*