

# Carbon Capture and Usage

Kohlenstoffdioxid bzw. CO<sub>2</sub> wird im Rahmen der Diskussionen zur Klimaerwärmung vor allem als Treibhausgas wahrgenommen. Strategien zur Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes liegen insbesondere beim Einsatz von Technologien mit höheren Energieeffizienzen und bei der Nutzbarmachung regenerativ erzeugter Energie, aber auch Möglichkeiten zur Abscheidung und anschließenden Speicherung von CO<sub>2</sub> werden untersucht (Carbon Capture and Storage, CCS). Eine dazu alternative technologische Route zur aktiven Verringerung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre stellt die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Verwendung dar (Carbon Capture and Usage, CCU). Hierbei wird CO<sub>2</sub> nicht nur als Treibhausgas gesehen, sondern zusätzlich auch als Rohstoff. Die in diesem Zusammenhang in Frage kommenden Technologien stehen insgesamt noch am Anfang ihrer Entwicklung, könnten langfristig aber durchaus eine Rolle im Stoffkreislauf des CO<sub>2</sub> spielen. Kohlenstoffdioxid als solches wird bereits jetzt in verschiedenen Anwendungsbereichen genutzt, z.B. in Lebensmitteln (Mineralwasser) oder in Feuerlöschern, aber auch in industriellen Prozesstechnologien in Form von überkritischem CO<sub>2</sub> als Extraktionsmittel (z. B. bei der Entkoffeinierung von Kaffee). Unter entsprechenden Bedingungen und mit den richtigen Reaktionspartnern kann CO<sub>2</sub> (grundsätzlich ein stabiles und reaktionsträges Molekül) auch chemisch umgesetzt werden. Dies wird z.B. bei der Photosynthese von Pflanzen und Algen eindrucksvoll unter Beweis gestellt. Im Jahr 1868 gelang es bereits, im Labor aus CO<sub>2</sub> und Ammoniak Harnstoff herzustellen. Diese Reaktion wird auch heute noch industriell genutzt, da Harnstoff ein Bestandteil von Dünge- und Futtermitteln ist und als Rohstoff in der chemischen und pharmazeutischen Industrie eingesetzt wird. Dabei ist das CO<sub>2</sub> chemisch so gebunden, dass es während der Materiallebenszeit nicht wieder in die Atmosphäre freigesetzt wird. Nach diesem Vorbild wird seit einiger Zeit auch vermehrt an weiteren Möglichkeiten für CCU geforscht, wobei verschiedene Möglichkeiten in Betracht kommen.

Zum einen ist die direkte Nutzung des Gases als Nährstoffquelle für spezielle Mikroalgen und andere Mikroorganismen von Interesse. Die damit erzeugbare Produktpalette reicht von Biokraftstoffen über Basischemikalien (z. B. Ameisensäure) bis hin zu Kunststoffen (z. B. Polyhydroxyalkanoate). Im Allgemeinen müssen die Organismen dabei mit reinem CO<sub>2</sub> versorgt werden. Seltener können Industrieabgase, so wie sie sind, genutzt werden, da sich gasförmige Begleitstoffe wie Schwefeldioxid auf den pH-Wert des Nährmediums oder den Stoffwechsel der Organismen schädlich auswirken können. Eine weitere technische Möglichkeit zur direkten Nutzung stellt die Elektrolyse des CO<sub>2</sub> in einer Karbonat-Schmelze dar, wie kürzlich im Labormaßstab gezeigt werden konnte. Dabei bilden sich an einer Stahlelektrode Carbonfasern, die vielfältige Einsatzmöglichkeiten aufweisen.

Zum anderen kommt die indirekte Nutzung von CO<sub>2</sub> mit Hilfe verschiedener Technologien in Frage. Dabei können Kraftstoffe wie Diesel, aber auch Basischemikalien wie Methan oder Methanol sowie Kunststoffe (z. B. Polycarbonate, Polyurethane) hergestellt werden. Reaktionen mit CO<sub>2</sub> können einerseits mittels hoher Temperaturen und unter Druck durchgeführt werden, wie z. B. bei der bereits lange etablierten Herstellung von Salizylsäure für Aspirin. In den letzten Jahren wurden jedoch auch immer bessere Prozesse entwickelt, die neben hohen Temperaturen auch Katalysatoren einsetzen und die Reaktionen von CO<sub>2</sub> beschleunigen. So werden zur Fixierung von CO<sub>2</sub> auch photokatalytische Prozesse analog zur pflanzlichen Photosynthese erforscht. Für die überwiegende Zahl der Reaktionen von CO<sub>2</sub> werden zusätzliche und teilweise vorgelagerte Technologien benötigt. Da CO<sub>2</sub> im Prinzip lediglich eine Quelle für Kohlenstoff darstellt, wird immer auch eine saubere, nachhaltige und günstige Quelle für Wasserstoff benötigt. Konventionelle Technologien zur Herstellung von Wasserstoff produzieren zumeist auch Kohlenmonoxid (CO) als Nebenprodukt. Neuere Methoden, wie die Spaltung von Wasser durch

Elektrolyse, stellen dabei eine wichtige Ergänzung dar. Beispielsweise wurde kürzlich das sogenannte Bionic Leaf 2.0 vorgestellt, ein künstliches System, das dazu in der Lage ist, Wassermoleküle in Wasserstoff und Sauerstoff zu spalten. Bakterien können den entstehenden Wasserstoff nutzen und daraus zusammen mit CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre Alkohole herstellen.

Da es für viele Prozesse noch immer sehr wichtig ist, reines CO<sub>2</sub> als Rohstoffquelle zu nutzen, sind auch Reinigungs- und Gaspesichertechnologien für Kohlendioxid von großer Bedeutung. Hierbei kann teilweise auf Erkenntnisse aus der CCS-Forschung zurückgegriffen werden. Der wohl entscheidendste Faktor, insbesondere für die erfolgreiche Kommerzialisierung der Technologie, ist die Nutzung günstiger Energiequellen für die mit sehr hohen Temperaturen ablaufenden Verfahren. Aktuelle Bemühungen stützen sich daher zum einen auf die Nutzung von Abwärme aus energieintensiven Betrieben, wie dies z. B. in der Stahlindustrie der Fall ist, zum anderen auf die Stromerzeugung insbesondere aus Solarenergie.

Einer breiteren Verwendung von CCU-Technologien stehen aktuell noch einige Hürden im Weg, z.B. die hohen Kosten für die Abscheidung und Reinigung des Gases oder auch der eingeschränkte Markt. Großer Handlungsbedarf besteht vor allem im Hinblick auf den Gesamtenergieverbrauch der Prozesse. Um (auch im Vergleich zu CCS) umfassend ökologisch betrachten sowie Vor- und Nachteile gut einschätzen zu können, werden zukünftig auch aussagekräftige Life-Cycle Assessments (LCA) benötigt. Trotzdem sind bereits heute zunehmende Forschungsförderungen und -aktivitäten, insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels, als starke treibende Kräfte anzusehen und eine solargestützte Umsetzung von CO<sub>2</sub> in Chemikalien, Werk- und Brennstoffe scheint langfristig möglich. Die Idee einer solargetriebenen Tankstelle, die den Kraftstoff für das Auto aus Licht, Wasser und Luft herstellt, bleibt jedoch noch lange Zeit ein Traum.

**Dr. Diana Freudendahl**