
IASS FACT SHEET 2/2014

Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS)

Potsdam, Juli 2014



CO₂ als Wertstoff?

**Barbara Olfe-Kräutlein, Henriette Naims, Thomas Bruhn,
Ana Maria Lorente Lafuente, Mario Tobias**

Kohlenstoffdioxid (CO₂) wird vornehmlich als klimaschädliches Treibhausgas wahrgenommen. In CO₂ steckt aber auch Kohlenstoff (C), der Grundstoff allen organischen Lebens und zudem die Basis für eine Vielzahl chemischer Produkte. Bei der Erforschung der sinnvollen Nutzung von CO₂ wurden in den vergangenen Jahren erste entscheidende Durchbrüche erzielt. Die Abscheidung und Nutzung von Kohlenstoffdioxid, sogenannte CCU-Technologien (Carbon Capture and Utilisation), können im Sinne einer Kreislaufwirtschaft eine alternative Perspektive auf den Umgang mit CO₂-Emissionen eröffnen.



Source: Shutterstock

Was bedeutet Carbon Capture and Utilisation?

Unter Carbon Capture and Utilisation¹ versteht man Technologien und Prozesse, die Kohlenstoffdioxid direkt oder nach chemischer Umwandlung als Teil einer Kohlenstoffverbindung in Materialien oder Energieträgern verwenden. Trotz der Gemeinsamkeiten in der Gewinnung des CO₂ aus industriellen Emissionen unterscheidet sich CCU grundsätzlich von der umstrittenen Carbon Capture and Storage (CCS)-Technologie. Während CCS eine dauerhafte unterirdische Speicherung von CO₂ anstrebt, ist es das Ziel von CCU, die CO₂-Emissionen als alternative Kohlenstoffquelle zu nutzen und perspektivisch industrielle CO₂-Kreisläufe zu schließen.

In Trockeneis, Feuerlöschern oder Getränken wird CO₂ bereits direkt in fester oder flüssiger Form bzw. als Gas verwendet, physikalische Nutzung genannt. Auch Klimaanlage in Autos könnten in naher Zukunft CO₂ als Kühlmittel nutzen. Darüber hinaus kann CO₂ in einer chemischen Umwandlung zur Produktion energetisch höherwertiger Kohlenstoffverbindungen als Rohstoff dienen. Diese sogenannte stoffliche Nutzung als Baustein für Materialien ist heute in pharmazeutischen Produkten, Lösungs- und Düngemitteln üblich.

Außerdem kann CO₂ zur Herstellung von Plastik und Schäumen, Farben und Beschichtungen sowie in Zement genutzt werden. Grundsätzlich ist auch die Verwendung von Kohlenstoffdioxid als Rohstoff für Energieträger möglich: Mit CO₂ können in unterschiedlichen Prozessen flüssige Kraftstoffe und synthetisches Erdgas hergestellt und für die Energiespeicherung genutzt werden.

Da CO₂ sehr reaktionsträge ist, sind in der Regel Hilfsmittel nötig, um es an chemischen Reaktionen zum Aufbau energetisch höherwertiger Materialien zu beteiligen. Dies kann durch zusätzliche Energie ermöglicht werden. Alternativ können chemische Katalysatoren eingesetzt werden, um einen energetisch effizienteren Prozess zu entwickeln. Die dafür erforderliche Katalyseforschung ist ein Schlüsselfaktor für die Entwicklung erfolgreicher CCU-Technologien.

Woher kommt das verwendete CO₂?

Das für CCU-Technologien benötigte CO₂ kann aus unterschiedlichen Quellen gewonnen werden.

In einigen chemischen Prozessen, z. B. bei alkoholischen Gärungsprozessen oder der Ammoniakproduktion, entsteht CO₂ als Nebenprodukt. Mithilfe von kommerziell etablierten Rückgewinnungstechnologien lässt sich dieses CO₂ isolieren und in höchster Reinheit für die Nutzung bereitstellen.

CO₂ aus Rauchgasen kann mit Technologien zur CO₂-Abscheidung gefiltert werden. Am weitesten entwickelt ist die Aminwäsche. Die potenziellen industriellen CO₂-Quellen sind zahlreich, von kleinen Industrieschornsteinen bis zu großen Kohlekraftwerken. Mit existierenden Verfahren könnten sie große Mengen CO₂ bereitstellen. Aufgrund der hohen Abscheidungskosten und bislang geringen Nachfrage sind diese Technologien jedoch noch nicht verbreitet. Zudem könnten Abscheidungstechnologien möglicherweise schädliche Folgen für die Umwelt besitzen, die noch nicht hinreichend geklärt sind.²

Eine weitere CO₂-Quelle ist die Atmosphäre: Ein kommerziell noch nicht nutzbarer Ansatz sieht vor, durch chemisch-technische Verfahren bereits emittiertes CO₂ wieder aus der Atmosphäre herauszufiltern (Direct Air Capture).

Grundsätzlich ist zu beachten, dass CO₂ nach der Abscheidung zum Ort der Nutzung transportiert und ggf. zwischengelagert werden müsste, was jeweils mit Gefahren für Mensch und Umwelt einhergehen kann.

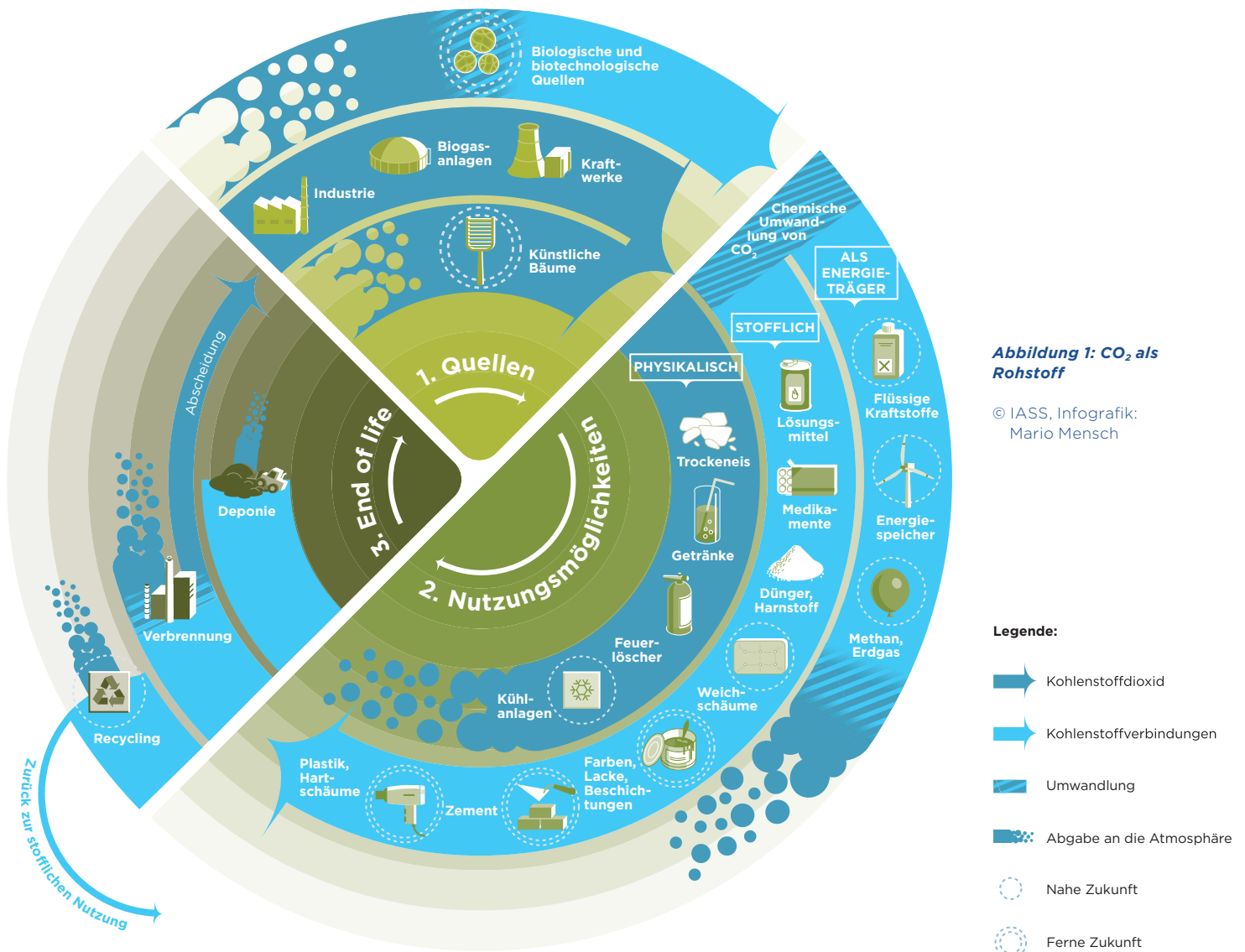
Welche ökologischen Effekte bringt CCU mit sich?

Der Einsatz von CCU-Technologien kann verschiedene schädliche Umweltauswirkungen der Industrie reduzieren, indem

- fossile Rohstoffe substituiert werden können,
- die eingesetzte Energie reduziert werden kann,
- CO₂-Emissionen zumindest temporär gespeichert werden können.

Die Nutzung von CO₂, das andernfalls emittiert worden wäre, ermöglicht über die Lebensdauer eines Produkts eine zeitliche Verzögerung von Emissionen. Möglicherweise kann sie diese sogar durch eine dauerhafte Bindung, z. B. in Zement, langfristig verhindern. Ein signifikanter Beitrag zum Klimaschutz ist aufgrund der begrenzten Nutzungsmengen in Materialien jedoch nicht absehbar: Nach Schätzungen könnten weltweit jährlich nur etwa 180 Mio. Tonnen CO₂ in Polymeren und anderen Chemiebasisprodukten eingebaut werden.³

Bei der Produktion synthetischer nachhaltiger Kraftstoffe – beispielsweise Methanol oder Dimethyl Ether (DME) – ist das Potenzial größer, geschätzt weltweit bei etwa 1.800 Mio. Tonnen CO₂ jährlich.⁴ Zum Vergleich: Der globale anthropogene CO₂-Ausstoß betrug im Jahr 2013 etwa 36.000 Mio. Tonnen.⁵ Damit CO₂ aus CCU-Technologien in Kombination mit Wasserstoff (H₂) für Kraftstoffe ökologisch sinnvoll genutzt werden kann, ist allerdings für den gesamten Herstellungsprozess die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien entscheidend.⁶



CO₂ NUTZUNG HEUTE

Direkte Nutzung von CO₂:

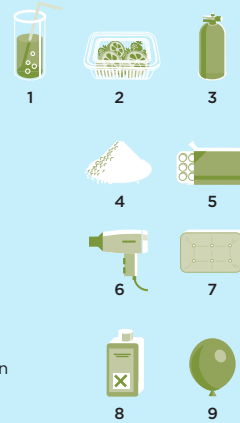
Ca. 20 Mio. Tonnen CO₂ p. a. – davon ca. 50 % in der Lebensmittelindustrie, insb. in Verpackungen, ca. 35 % als Industriegas und ca. 15 % in karbonisierten Getränken.

Umwandlung von CO₂ in Materialien:

Ca. 130 Mio. Tonnen CO₂ p. a. für die Produktion von Harnstoff. Geringe Mengen CO₂ werden außerdem in der Herstellung von speziellen Chemikalien verwendet (zyklische Karbonate, Salizylsäure). Die Nutzung von CO₂ für die Herstellung von Polymeren und anderen Materialien wird derzeit noch demonstriert.

Umwandlung von CO₂ in Energieträger:

Derzeit erst rund 10.000 Tonnen CO₂ in Demonstrationsanlagen zur Produktion von flüssigen und gasförmigen Kraftstoffen, allerdings mit perspektivisch großem Potenzial.



- 1 Getränke**
- 2 Verpackungen**
- 3 Industriegas**
- 4 Dünger, Harnstoff**
- 5 Medikamente**
- 6 Plastik, Hartschäume**
- 7 Weichschäume**
- 8 Flüssige Kraftstoffe**
- 9 Methan, Erdgas**

Weltweite Schätzwerte basieren auf den aktuellsten verfügbaren Datenquellen, vgl. u. a. IHS Chemical (2013), International Fertilizer Association (2013), Audi (2014), Carbon Recycling International (2014).

Derzeit werden der Großteil aller Kraftstoffe und Materialien wie Kunststoffe auf Basis fossiler Rohstoffe, insbesondere Erdöl und Kohle, hergestellt. Den wesentlichen positiven Umwelteffekt der Nutzung von CO₂ stellt somit die Substitution dieser fossilen Kohlenstoffquellen dar, welche einen nachhaltigeren Umgang mit natürlichen Ressourcen ermöglichen kann.

Ein Produkt, dessen Bestandteile mit CCU-Technologien hergestellt wurden, muss allerdings nicht zwingend verbesserte Umwelteigenschaften haben. Um eine Bewertung über den gesamten Lebenszyklus zu erstellen, sind viele Kriterien notwendig, welche die CO₂-Quellen und den Transport, den Produktionsprozess, die Nutzungsdauer sowie die Recycling- und Entsorgungsoptionen einbeziehen. Dieses Life Cycle Assessment (LCA) von CCU-Produkten zielt auf eine transparente Bewertung ihrer Umweltauswirkungen. Für eine Vergleichbarkeit sind jedoch einheitliche Kriterien notwendig, die bislang nur in Form von wissenschaftlichen Empfehlungen existieren.⁷

Sind CCU-Technologien wirtschaftlich interessant?

Viele Unternehmen aus der Chemieindustrie und der Energiebranche haben in den vergangenen Jahren in Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur industriellen Nutzung von CO₂ investiert. Treiber hierfür sind die volatilen Rohstoffpreise wie auch endliche fossile Ressourcen. Die lokale ‚Versorgung‘ mit CO₂ für CCU-Technologien wäre dagegen langfristig gesi-

chert, technisch möglich und im Vergleich zu fossilen Quellen voraussichtlich zu relativ niedrigen Rohstoffkosten realisierbar. Für Unternehmen bietet sich die Chance, Emissionen aus eigenen Industrieanlagen oder von Kooperationspartnern zu recyceln und so unabhängiger von Rohstofflieferanten zu werden. Durch CCU-Prozesse wird ein verbesserter ökologischer Fußabdruck möglich. Somit bieten CCU-Technologien die Chance ökologischer und ökonomischer Vorteile im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung.

Aus volkswirtschaftlicher Sicht bergen CCU-Technologien folglich wichtige Potenziale. Die Option einer neuen, lokalen Rohstoffquelle könnte die regionale Chemieindustrie im internationalen Wettbewerb stärken. Außerdem könnte ein Innovationsvorsprung erreicht und das Know-how exportiert werden. Die mögliche Entstehung einer ‚CCU-Industrie‘ könnte zu wirtschaftlichem Wachstum führen und Arbeitsplätze schaffen.

Aufgrund gegenwärtig höherer Produktionskosten einiger CCU-Produkte im Vergleich zu herkömmlichen Produkten wurden allerdings nicht alle technisch machbaren Technologien von der Industrie weiterverfolgt. So sind etwa angesichts des aktuell sehr niedrigen CO₂-Preisniveaus im EU-Emissionshandel die Anreize, in CCU zu investieren, gering. Wegen der Unklarheiten über Kosten und Zugang zu erneuerbaren Energien bergen Investitionen insbesondere in CCU-basierte Kraftstoffe derzeit Risiken, die wenige Marktteilnehmer bereit sind, einzugehen.

Nutzung von CO₂ – eine Option für die Kreislaufwirtschaft?

Die Möglichkeit der CO₂-Nutzung stellt nicht nur eine prozessuale Veränderung für die chemische Industrie dar. Vielmehr bedeutet sie einen Perspektivenwechsel: Die Entwicklung hin zu einer nachhaltigen Gesellschaft verlangt eine Neubewertung des Umgangs mit vermeintlichem Abfall und endlichen Ressourcen.

CCU-Technologien tragen beide Aspekte in sich: Die Nutzung eines Abgases, das als zentraler Treiber des Klimawandels gilt, kann gleichzeitig den Verbrauch

fossiler Ressourcen reduzieren. Insbesondere in Kombination mit erneuerbaren Energien bietet CCU vielfältige Möglichkeiten, industrielle CO₂-Kreisläufe zu verbessern oder gar zu schließen. Damit die Anwendung dieser Technologien ihr volles Potenzial als Beitrag zu einer Kreislaufwirtschaft entfalten kann, sind auf technischer wie auf gesellschaftlicher Ebene unter Beteiligung von Akteuren aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik noch offene Fragen wie zum Beispiel zur Lebenszyklusanalyse und den politischen sowie wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der CO₂-Nutzung zu beantworten, zu bewerten und mögliche Auswirkungen aufzuzeigen.

AUF EINEN BLICK

■ CCU-Technologien bieten die Möglichkeit, den Bedarf an fossilen Rohstoffen durch Nutzung von wiederverwertetem CO₂ zu reduzieren. CO₂ wird bereits heute in einigen technischen Anwendungen als Rohstoff verwendet.

■ Als Quellen für das CO₂-Recycling stehen derzeit große fossile Kraftwerke und Industrieanlagen zur Verfügung.

■ Die Erschließung von CO₂ als neuer Rohstoffquelle kann ökologisch und ökonomisch vorteilhaft sein und die Abhängigkeit von volatilen Rohstoffmärkten reduzieren.

■ In Zukunft könnten CCU-Technologien dazu beitragen, industrielle Kohlenstoffkreisläufe zu schließen und so einen Beitrag zu einer nachhaltigeren Wirtschafts- und Lebensweise leisten.

■ Die Technologien zur CO₂-Abscheidung befinden sich in sehr unterschiedlichen Entwicklungsstadien und können mit schädlichen Umweltauswirkungen verbunden sein.

■ Die absehbaren Anwendungsmöglichkeiten sind zu begrenzt, um dem Klimawandel signifikant entgegenzuwirken.

¹ Als alternative Bezeichnungen sind unter anderem Carbon Recycling oder Carbon Dioxide Utilisation gebräuchlich.

² Vgl. Dautzenberg & Bruhn (2013) „Environmental Impacts of Carbon Capture Technologies“, IASS Working Paper.

³ Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (o. J.) „Wirtschaftlich- und klimarelevante Ansätze zur CO₂-Nutzung (CCU-Strategie)“, URL: http://www.dechema.de/dechema_media/CCUstrategie.pdf (abgerufen am 2. Juni 2014).

⁴ Vgl. ebenda.

⁵ Vgl. Le Quéré et al. (2013) „Global carbon budget 2013“, *Earth System Science Data Discussion*, 6, S. 689–760.

⁶ Nachhaltige Kraftstoffe sind synthetische Kohlenwasserstoffe wie Methan (CH₄) und Methanol (CH₃OH), deren Produktion auf erneuerbaren Energien basiert, vgl. Ferrari et al. (2014) „Sustainable Synthetic Fuels“, IASS Fact Sheet 1/2014.

⁷ Vgl. von der Assen, Jung & Bardow, (2013) „Life-cycle assessment of carbon dioxide capture and utilization: avoiding the pitfalls“, *Energy & Environmental Science*, 6(9), S. 2721–2734.

Institute for Advanced Sustainability Studies Potsdam (IASS) e. V.

Das 2009 in Potsdam gegründete Institut für Nachhaltigkeitsstudien ist zugleich eine international vernetzte Forschungseinrichtung und ein transdisziplinär arbeitender Thinktank. Ziel des mit öffentlichen Mitteln geförderten Instituts ist es, mit seiner Spitzenforschung Entwicklungspfade für die globale Transformation zu einer nachhaltigen Gesellschaft aufzuweisen und interaktiv den Dialog zwischen Wissenschaft, Politik und Gesellschaft zu fördern. Forschungsgebiete sind die globale Nachhaltigkeitspolitik, innovative Technologien für die Energieversorgung der Zukunft, die nachhaltige Nutzung von Ressourcen wie Ozeane, Böden oder Rohstoffe sowie die Herausforderungen für unser Erdsystem durch Klimawandel und Luftverschmutzung.

Kontakt Autorinnen:

Barbara Olfe-Kräutlein (wissenschaftliche Mitarbeiterin):
barbara.olfе-kraeutlein@iass-potsdam.de
Henriette Naims (wissenschaftliche Mitarbeiterin):
henriette.naims@iass-potsdam.de

Redaktion:

Corina Weber

Adresse:

Berliner Straße 130
14467 Potsdam
Deutschland
Telefon: 0049 331-28822-340
E-Mail: media@iass-potsdam.de
www.iass-potsdam.de

DOI: 10.2312/iass.2014.012

