

CO₂ – DER ROHSTOFF, DER AUS DER LUFT KOMMT

Das Zürcher Unternehmen Climeworks entzieht der Luft Kohlendioxid (CO₂), um dieses als Rohstoff für verschiedene Anwendungen zu nutzen. Im Frühjahr 2017 geht in Hinwil (ZH) eine Pilot- und Demonstrationsanlage in Betrieb. Sie scheidet CO₂ aus der Atmosphäre ab und nutzt dieses anschliessend in einem Gewächshaus als Dünger. Climeworks hofft, mit der innovativen Technologie einen Beitrag zur Entschärfung der CO₂-verursachten Erderwärmung leisten zu können.



Jeweils sechs Module für die CO₂-Abscheidung werden in einem 40-Fuss Schiffscontainer untergebracht. In der Form stehen sie am Firmen-Sitz von Climeworks in Zürich-Oerlikon bereit für den Einbau in der Pilot- und Demonstrationsanlage in Hinwil. Die Anlage für CO₂-Abscheidung im Zürcher Oberland soll im Frühling 2017 den Betrieb aufnehmen. Foto: Climeworks

Ist der Geist einmal raus, bekommt man ihn kaum wieder rein in die Flasche. Ganz ähnlich wie im Märchen vom Flaschengeist ist es mit dem Kohlendioxid, das bei der Verbrennung von Heizöl, Benzin und anderen fossilen Brenn- und Treibstoffen entsteht und zur Klimaerwärmung mit ihren massiven Folgeschäden beiträgt. Ist das CO₂ einmal in der Luft, gibt es kein zurück. Oder vielleicht doch? Die Zürcher Firma Climeworks hat sich zum Ziel gesetzt, den Geist zurück in die Flasche zu packen, also das in die Atmosphäre freigesetzte CO₂ wieder einzufangen. Damit will das Unternehmen dem Klimawandel entgegensteuern. Das gewonnene CO₂ kann als Rohstoff wieder verwendet werden, womit die Freisetzung weiterer kohlenstoffhaltiger Moleküle in die Atmosphäre vermieden wird.

Das CO₂ von 330 Autos einfangen

Seit sieben Jahren arbeitet das Spin-Off der ETH Zürich an diesem Ziel. Mehrere kleinere Anlagen haben bewiesen, dass die CO₂-Abscheidung aus der Luft technisch funktioniert. Im Frühjahr 2017 will Climeworks nun in Hinwil im Züricher Oberland die erste Anlage in Betrieb nehmen, die CO₂ in namhaftem Umfang aus der Atmosphäre entzieht: 900 t CO₂ im Jahr. Das ist so viel Treibhausgas, wie 330 Mittelklasse-Autos (Diesel/6,8 l/15 000 km) pro Jahr ausstossen. Die Pilot- und Demonstrationsanlage in Hinwil besteht aus 18 Modulen, jedes ausgestattet mit einem Spezialfilter, der CO₂ aus der Atmosphäre abscheidet (vgl. Textbox S. 3). Der Abscheidungsprozess braucht Wärme und Strom. Die Anlage in Hinwil bezieht die benötigte Wärme von der benachbarten Kehrreichtverwertungsanlage des Zweckverbands Kehrreichtverwertung Zürcher Oberland (KEZO).

Doch wozu sind die 900 t CO₂ gut? Im vorliegenden Projekt wird das Kohlendioxid in die nur wenige 100 Meter entfernten Treibhäuser geleitet, in denen die Gebrüder Meier Primanatura AG Nüsslisalat, Cherrytomaten und weitere Gemüsesorten anbaut. Gewächshauskulturen werden (über das in der Luft enthaltene CO₂ hinaus) mit zusätzlichem Kohlendioxid versorgt, weil dies die Pflanzen stärkt und den Ertrag fördert. Dabei wird ein Teil des CO₂ von den Pflanzen durch Photosynthese aufgenommen, der Rest entweicht in die Atmosphäre. Bisher kauften die Gewächshausbetreiber das CO₂ aus der chemischen Industrie zu, wo «technisches CO₂» als Abfallprodukt anfällt. Künftig wird das Kohlendioxid nun von Climeworks geliefert. «Wir haben technisches CO₂ bisher für Tomaten, Auberginen und Gurken während der Wachstumsperiode von Februar bis Oktober genutzt, künftig werden wir es zusätzlich vielleicht auch im Winter einsetzen, wenn der Nüsslisalat wächst», sagt Firmenchef Fritz Meier.



Gewächshaus der Gebrüder Meier Primanatura AG in Hinwil (ZH): Das CO₂ wird den Pflanzen durch den gelochten schwarzen Schlauch zugeführt (der Schlauch wurde für das Foto aus der Halterung genommen; normalerweise verläuft er unterhalb der Pflanzen und ist für den Betrachter nicht sichtbar). Foto: Gebr. Meier

Die Anlage in Hinwil wurde gebaut, um zu zeigen, dass «die CO₂-Abscheidung aus der Atmosphäre im grösseren Massstab möglich ist», sagt Climeworks-Mitgründer und -Geschäftsführer Dr. Jan Wurzbacher. Im Erfolgsfall kann das CO₂ aus der Luft für verschiedene Zwecke eingesetzt werden, zum Beispiel für die Herstellung von kohlenstoffhaltigen Getränken. Neben den positiven Auswirkungen auf das Klima hat das Verfahren auch ökonomische Vorteile. «Die CO₂-Abscheidung aus der Luft macht es möglich, CO₂ an Orten lokal bereitzustellen, wo der Rohstoff bisher nur sehr schwer verfügbar ist, so in gewissen Regionen des Nahen Ostens, Afrikas oder Südamerikas, und wo wir bereits heute CO₂ zu Marktpreisen anbieten können», sagt Wurzbacher. «Mit der ständigen Weiterentwicklung unserer Produkte erweitern wir die Anwendungsgebiete und Regionen, in denen wir CO₂ aus der Luft kompetitiv anbieten können.»

Synthetische Treibstoffe aus CO₂

Das Bundesamt für Energie unterstützt die Anlage in Hinwil im Rahmen ihres Pilot- und Demonstrationsprogramms. Das auf vier Jahre angelegte Projekt will unter anderem unter realen Bedingungen klären, zu welchen Kosten und mit wie viel Energie die CO₂-Gewinnung aus der Atmosphäre möglich ist. Kosten und Energiebedarf – das sind zentrale Faktoren, die am Ende über das Geschäftsmodell von Climeworks entscheiden dürften. Im Erfolgsfall könnte eine Vision von Climeworks Realität werden: die Nutzung des aus der Luft gewonnenen CO₂ für die Herstellung von synthetischem,

klimaneutralem Treibstoff. Climeworks kooperiert nach diesem Ansatz mit dem Autohersteller Audi und der Dresdner Treibstoffproduzentin Sunfire. In den nächsten zwei bis drei Jahren, so Wurzbacher, soll eine erste Produktionsanlage für synthetischen Treibstoff, hergestellt aus atmosphärischem CO₂, in Betrieb gehen.

Bereits erprobt ist die Herstellung von synthetischem Erdgas aus Kohle oder Biomasse (auch: Synthetic Natural Gas/SNG), das für den Antrieb von Gasautos genutzt wird. Will man synthetisches Erdgas auf erneuerbare Art und Weise herstellen, gelingt das durch die Methanisierung von CO₂ mit Wasserstoff. Der hierfür nötige Wasserstoff kann aus Wasser durch Elektrolyse hergestellt werden. Wird für alle Prozessschritte (CO₂-Abscheidung, Elektrolyse, Methanisierung) erneuerbare Energie (z.B. aus Solarzellen oder Windkraftwerken) verwendet, entsteht ein Treibstoff, der wie Benzin, Diesel oder Kerosin in einem Verbrennungsmotor verbrannt werden kann, der aber keinen (direkten) fossilen Anteil enthält. Ein mit diesem Treibstoff angetriebenes Gasauto stösst nur soviel CO₂ aus, wie für die Herstellung des Treibstoffs aus der Luft

abgeschieden wurde; sein Motor arbeitet also CO₂-neutral. Für Urs Elber vom Kompetenzzentrum für Energie und Mobilität am Paul Scherrer Institut (Villigen/AG) ein interessanter Ansatz: «Erneuerbarer Strom wird bei der Umwandlung in synthetisches Erdgas weniger effizient genutzt als direkt in Elektrofahrzeugen. Allerdings hat synthetisches Erdgas den Vorteil, dass es sich dann produzieren lässt, wenn mehr Strom ins Netz fließt als gerade verbraucht wird (z.B. bei viel Sonne und Wind). Zudem lässt es sich gut speichern, auch saisonal. Bei zukünftig ähnlichen Gestehungskosten wie aus fossilen Quellen hat solcher Treibstoff durchaus eine Chance auf Wirtschaftlichkeit.»

Forschung an synthetischen flüssigen Treibstoffen

Der Autokonzern Audi betreibt im deutschen Werlte (Niedersachsen) seit 2013 eine Anlage, die aus Wasserstoff und CO₂ synthetisches Erdgas herstellt. Das CO₂ stammt bisher allerdings nicht aus der Luft, sondern aus Biogas. Mit der Jahresproduktion der Anlage können 1 500 gasbetriebene Autos jährlich 15 000 km zurücklegen. Noch einen Schritt weiter

WIE MAN CO₂ AUS DER LUFT GEWINNT

Die Luft besteht zur Hauptsache aus Stickstoff und Sauerstoff, enthält aber auch Kohlendioxid (CO₂) in einer geringen Konzentration von 400 ppm (entspricht 0,04%). Auch wenn es unserer Intuition widerspricht: Ein Luftpaket von 100 m x 100 m x 100 m wiegt rund 1 200 t, darunter rund 700 kg CO₂.

Die Firma Climeworks versteht das in der Luft enthaltene CO₂ als Ressource. Ihr Verfahren («Direct Air Capture») scheidet CO₂ in hoher Reinheit (> 99,9%) aus der Atmosphäre ab. Dazu wird Luft mit einem Ventilator angesogen und durch einen Filter aus einer speziellen Zellulosefaser geleitet. Die Zellulose wirkt wegen ihrer grossen Oberfläche wie ein Schwamm. Unterstützt durch Ammoniak-Derivate (Amine), die im Climeworks-Modul nicht flüssig wie in Rauchgasanlagen, sondern in fester Form vorliegen, wird das CO₂ im Filter chemisch gebunden. Nach zwei bis drei Stunden ist der Filter mit CO₂ gesättigt. Zu diesem Zeitpunkt wird der Ventilator ausgeschaltet, die Filterkammer verschlossen, der Inhalt auf rund 95 °C geheizt und gleichzeitig der Druck auf 200 mbar gesenkt. Dabei lösen sich die CO₂-Moleküle vom Filter und können abgesaugt werden. Danach nimmt der Ventilator von neuem den Betrieb auf, der Filter absorbiert abermals CO₂.

Pro Tag führt ein Climeworks-Abscheidemodul rund fünf Zyklen aus und gewinnt in diesem Zeitraum 135 kg CO₂ aus der Luft. Zur Erwärmung des Filters braucht es Wärme im Umfang von 1500 – 2000 kWh pro t CO₂ (im Fall der Pilot- und Demonstrations-Anlage in Hinwil stammt die Wärme aus der KEZO-Kehrichtverwertungsanlage). Der Strombedarf für Ventilator und Steuerung beträgt 200 – 300 kWh pro t CO₂. Die Kühlung des Filters erfolgt durch Luft oder Wasser. Seine Lebensdauer gibt Climeworks mit rund vier Jahren an. BV

➤ Die Demonstrationsanlage zur CO₂-Abscheidung in Hinwil kann im Rahmen von Führungen ab Mitte Juni 2017 besucht werden. Anmeldungen werden ab sofort entgegengenommen unter: tours@climeworks.com.

geht die Herstellung flüssiger Treibstoffe wie synthetisches Benzin/Diesel/Kerosin (kurz: «Power-to-L», wobei L für «liquid»/flüssig steht). Auch hierfür sind CO₂ (oder CO) und Wasserstoff die Grundstoffe. Die Firma Sunfire aus Dresden hat mit einer Pilotanlage gezeigt, wie sich massgeschneiderte synthetische Flüssigtreibstoffe mit den gewünschten Eigenschaften herstellen lassen. Momentan arbeitet die Firma an der gross-technischen Implementierung dieser Technologie. Solche flüssigen synthetischen Treibstoffe könnten nebst Biokerosin die Möglichkeit eröffnen, auch im Flugverkehr auf erneuerbare Energien umzusteigen.

Welche Rolle synthetische Treibstoffe in Zukunft spielen werden, ist zur Zeit noch offen. Gegenwärtig und auf absehbare Zeit ist in der Schweiz nicht genügend Überschussstrom aus erneuerbaren Energiequellen verfügbar, um synthetische Treibstoffe sinnvoll herstellen zu können. Eine wichtige Frage ist ferner, auf welchem Weg erneuerbarer Strom in der Mobilität genutzt werden soll: Als Flüssigtreibstoff? Als synthetisches Erdgas in gasbetriebenen Fahrzeugen? Als Wasserstoff in Brennstoffzellenfahrzeugen? Oder doch direkt als Strom in Elektromobilen? «Zurzeit sind noch zahlreiche technische, ökologische und ökonomische Fragen offen, die wir in Forschungs- und Pilotprojekten untersuchen müssen. Insbesondere muss sichergestellt werden, dass synthetische Treibstoffe eine positive ökologische Gesamtbilanz aufweisen», sagt Philippe Müller, Leiter der BFE-Sektion Cleantech. Synthetische Treibstoffe dürften nicht dazu führen, dass die Effizienzziele im Autoverkehr ausgehöhlt werden, betont Müller: «Wir brauchen effiziente Autos und sauberen Treibstoff.»

Atmosphäre von CO₂ reinigen

Die Climeworks-Gründer Jan Wurzbacher und Christoph Gebald hatten die Grundlagen des neuartigen CO₂-Filters und des zugehörigen Prozesses zur Abscheidung von CO₂ vor zehn Jahren während ihrer Ausbildung an der ETH Zürich entwickelt, dies in Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (Empa). Ein erster Demonstrator hatte eine Abscheideleistung von ca. 2 t CO₂/Jahr. Das heute verfügbare Standardmodul von Climeworks fängt 50 t CO₂/Jahr ein. Climeworks glaubt, dass Grossanlagen längerfristig stattliche Mengen von CO₂ aus der Luft abscheiden könnten. Wird das Gas anschliessend in tiefen Gesteinsschichten deponiert (anstelle als Treibstoff weiterverwendet), wird dadurch netto CO₂ aus der Atmosphäre entfernt und so dem Klimawandel entgegengesteuert. «Um die weltweiten Klimaziele zu erreichen, reicht es gemäss den Szenarien des Weltklimarats nicht, bis 2050 CO₂-neutral zu werden. Zusätzlich müssen

pro Jahr 10 Mrd. t Kohlendioxid aus der Atmosphäre entfernt werden, das entspricht einem Drittel der heutigen globalen Emissionen aus Öl, Gas und Kohle», sagt Jan Wurzbacher. Um diese Mengen zu erreichen, wären rein rechnerisch gut elf Millionen Anlagen vom Typ Hinwil erforderlich, ergänzt um die entsprechenden CO₂-Lagerungseinrichtungen.

Eine Herkulesaufgabe also, von der sich Jan Wurzbacher aber nicht abschrecken lässt: «Um jedes Jahr 1% der globalen CO₂-Emissionen aus der Luft zu filtern, bräuchte man

HOLZ- UND PFLANZENKOHLE

Climeworks ist nach eigener Auskunft neben Carbon Engineering (Squamish/Kanada) und Global Thermostat (New York/USA) eines von drei Unternehmen weltweit, das die CO₂-Abscheidung aus der Luft und die Weiterverwertung des Gases zu ihrem Geschäftsmodell erklärt hat. Der innovative Ansatz hat auch Kritiker auf den Plan gerufen. Sie geben zu bedenken, CO₂ sei in der Luft nur in geringer Konzentration vorhanden und es wäre sinnvoller, CO₂ dort abzuscheiden, wo es in konzentrierterer Form anfällt; beispielsweise am Auslass von Kehrrichtverbrennungsanlagen und anderen Verbrennungsanlagen, wo der CO₂-Gehalt typischerweise zwischen 5 und 13% beträgt.

Kritiker bezweifeln auch, dass die Energie für die CO₂-Abscheidung sinnvoll eingesetzt ist. Einerseits stellt sich die Frage der Energiebilanz des Verfahrens, andererseits diejenige der CO₂-Bilanz, denn ohne langfristige Speicherung des CO₂ hat das Climeworks-Verfahren nur eine neutrale Wirkung. «Es wird hier nicht dekarbonisiert, sondern im besten Fall klimaneutral CO₂ produziert, falls die eingesetzte Energie aus erneuerbaren Quellen stammt», schrieb das Ökozentrum Langenbruck 2016 in einem Positionspapier. Das Institut propagiert Aktivkohle (auch bekannt als «Pflanzenkohle» engl. Biochar bzw. «Holzkohle») als eine weitere Dekarbonisierungsstrategie. Diese entsteht aus der Umwandlung von Holz- und Grünabfällen sowie Siedlungsabfällen durch Pyrolyse. Die dabei entstehende Aktivkohle wird als Dünger in die Erde gebracht und damit der Kohlenstoff längerfristig im Boden gebunden. Gleichzeitig wird mit der Pyrolyse Energie frei, woraus etwa 500 kWh Strom und 2000 kWh Nutzwärme pro Tonne vermiedene CO₂-Emission gewonnen werden können. BV



Bei Verbrennungsprozessen oder beispielsweise in der Zementindustrie (Bild) fällt CO₂ in relativ hoher Konzentration an. Foto: Laurent Burst/LafargeHolcim

ca. 750 000 Schiffscontainer, gefüllt mit unseren Modulen. Das ist die Anzahl Container, die innerhalb von zwei Wochen im Hafen von Shanghai abgefertigt werden.» Der Clime-works-Geschäftsführer ist überzeugt, dass die Abscheidung und Tiefenlagerung von CO₂ im Rahmen der globalen Wirtschaftsleistung ein gangbarer Weg ist, um zur Lösung des Klimaproblems beizutragen.

CO₂-Speicherung ist technisch machbar

Wie ein solcher Kraftakt politisch und finanziell zu bewältigen wäre, steht heute noch in den Sternen. Rein technisch gesehen stellen sich hingegen keine unüberwindlichen Hürden. «Die Abscheidung und Speicherung von CO₂ ist technisch machbar und sicher», sagt Gunter Siddiqi, Bereichsleiter des BFE-Forschungsprogramms Geoenergie. «Szenarien des bundeseigenen Paul Scherrer Instituts weisen darauf hin, dass die Abscheidung und Speicherung von CO₂ dazu dienen kann, die Klimaziele mit tiefstmöglichen Investitionskosten umzusetzen.» Global betrachtet wird alleine die Förderung der erneuerbaren Energien, so Siddiqi, zur Erreichung der Ziele nicht ausreichen. Noch offen ist zur Zeit, wo CO₂ in der Schweiz auf lange Sicht gespeichert werden kann. Denkbar sind salzwasserhaltige Gesteinsformationen des schweizerischen Mittellandes in Tiefen von rund 1 000 – 2 500 Metern. Die Überlegungen im Ausland gehen dahin, das CO₂ in erster Linie dort abzuscheiden, wo es in grossen Menge anfällt, z.B.

PILOT-, DEMONSTRATIONS- UND LEUCHTTURM-PROJEKTE DES BFE

Die CO₂-Abscheidungs-Anlage von Climeworks in Hinwil (ZH) gehört zu den Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekten, mit denen das Bundesamt für Energie (BFE) die Entwicklung von sparsamen und rationellen Energietechnologien fördert und die Nutzung erneuerbarer Energien vorantreibt. Das BFE fördert Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte mit 40% der anrechenbaren Kosten. Gesuche können jederzeit eingereicht werden.

➤ Informationen unter:

www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration

www.bfe.admin.ch/leuchtturmprogramm

in Kehrrichtverbrennungsanlagen, Zementwerken und in der chemischen Industrie.

➤ www.climeworks.com

➤ **Auskünfte** zu dem Projekt erteilt Dr. Yasmine Calisesi (yasmine.calisesi@bfe.admin.ch), Leiterin des BFE-Programms Pilot- und Demonstrationsprojekte

➤ Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich CCS finden Sie unter: www.bfe.admin.ch/clean-tech/05761/05763/05782/index.html?lang=de&dosier_id=05135.