

## **CO<sub>2</sub>-Nutzung als Kraftstoff und Chemierohstoff steht in den Startlöchern**

### **Dynamische Technologie-Entwicklungen – Investoren warten auf Marktanreize**

*Anfang Oktober 2013 trafen sich die 140 führenden Köpfe der CCU-Technologien (Carbon, Capture & Utilisation) für drei Tage in Essen zur größten Konferenz in Europa zum Thema: „CO<sub>2</sub> as chemical feedstock – a challenge for sustainable chemistry“. Nun stehen Ende November sämtliche 35 Präsentationen zum Download bereit und bieten einen kompletten Überblick über diese spannenden neuen Technologien.*

Während Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in der Regel nur als Klimakiller gilt, den man im besten Fall vermeiden oder unterirdisch speichern sollte („Carbon Capture & Sequestration“), machen sich immer mehr Wissenschaftler und Ingenieure Gedanken darüber, wie man es als nahezu unendlich verfügbaren Kohlenstoffträger als Kraftstoff oder Chemierohstoff nutzen bzw. recyceln kann. Um das träge Molekül CO<sub>2</sub> wieder nutzbar zu machen, muss man es zunächst mit Energie wieder aufbrechen, die Chemiker sprechen hier von „Reduktion“. Nutzt man hierzu Erneuerbare Energien, entstehen eine Vielzahl interessanter und umweltfreundlicher Möglichkeiten zur Speicherung von Energie, zur Produktion von Methan und flüssigen Kraftstoffen oder auch zur Produktion von Chemikalien und Kunststoffen. Was geradezu wie ein Märchen klingt, ist schon weit gediehen. Zahlreiche Demonstrations- und erste kommerzielle Anlagen laufen bereits, die meisten davon in Deutschland.

Im Zentrum stehen dabei unterschiedliche Technologien, CO<sub>2</sub> als Kohlenstoffträger stofflich und energetisch nutzbar zu machen. Zum einen sind dies Technologien der „künstlichen Photosynthese“ wie Elektrolyse und katalytische Wasserspaltung, die Pflanzen nachahmen, die aus Kohlendioxid, Wasser und Sonnenlicht Biomasse in Form von Zucker, Stärke, Ölen und Zellulose herstellen. Diesen Prozess möchten Wissenschaftler und Ingenieure auf künstlichem Wege effizienter und unabhängig von Biomasse betreiben. Aber auch biotechnologische Verfahren stehen zur Verfügung, um CO<sub>2</sub> z.B. mit Hilfe spezieller Bakterien zu reduzieren und nutzbar zu machen. Und schließlich kann das CO<sub>2</sub> in Polymeren und Chemikalien sogar direkt integriert werden, ohne es vorher spalten zu müssen.

### ***Elektrolyse***

Über Elektrolyse wird Wasser mit Hilfe von Strom in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt und der energiereiche Wasserstoff reagiert mit CO<sub>2</sub> zu Methan, Methanol oder DME – oder anderen chemischen Grundbausteinen. Wird hierbei Sonnen- oder Windstrom genutzt, kann man ein solches System als „künstliche Photosynthese“ verstehen.

Vorteil dieses Weges ist seine schnelle Umsetzbarkeit. Moderne PEM-Elektrolyseverfahren (umgekehrte Brennstoffzellen) arbeiten heute bereits mit einem Wirkungsgrad von 75% und können daher insbesondere überschüssigen Solar- und Windstrom mit vertretbaren Verlusten z.B. in Methan umwandeln und dieses im Erdgasnetz speichern. So wird Sonnen- und Windstrom speicherbar. Der Gesamtwirkungsgrad Solar -> Methan beträgt heute schon bis zu 10% und kann daher bereits den Wirkungsgrad von Pflanzen (ca. 0,5% bis zum Biogas oder Biokraftstoff) deutlich übertreffen.

Schon jetzt laufen in Deutschland etwa 20 solcher Power-to-Gas-Demonstrationsanlagen. Problematisch ist ökonomisch, dass man für den Gesamtprozess sauberes Wasser und vor allem reines CO<sub>2</sub> benötigt, welches aufwändig aufgereinigt werden muss und am Markt zwischen 70 und 100 €/t kostet.

In Island wird von dem Unternehmen Carbon Recycling mit Hilfe von geothermischer Energie auf diesem Wege Methanol hergestellt und dem Kraftstoff beigemischt.

Dr. Norbert Schmitz von der Meo Carbon Solutions GmbH aus Köln stellte die erste ISCC-Nachhaltigkeitszertifizierung des CO<sub>2</sub>-basierten Methanols vor, die sich streng an die Vorgaben der „Renewable Energy Directive (RED)“ hält und bislang so nur für Biokraftstoffe angewandt wird. Betrachtet man das CO<sub>2</sub> als Abfall ohne Umweltlast, so ergibt sich für das CO<sub>2</sub>-basierte Methanol aus dieser ersten Anlage weltweit bereits eine CO<sub>2</sub>-Reduzierung von 90% gegenüber fossilen Kraftstoffen. Kein Biokraftstoff, auch nicht aus der zweiten oder dritten Generation, kann solche Werte aufweisen.

Wenn man in Brüssel CO<sub>2</sub>-basiertes Methanol oder andere Kraftstoffe wie CO<sub>2</sub>-basiertes DME zur Erfüllung der RED-Quote für erneuerbare Kraftstoffe anrechnen würde, eventuell sogar mit einer Vierfach-Zählung, so könnte das ganz erhebliche Investitionsanreize bedeuten.

### *Das künstliche Blatt – katalytische Wasserspaltung plus CO<sub>2</sub>-Reduktion*

Eine weitere Technologie, die auf der Konferenz umfassend diskutiert wurde, und die einige Puristen einzig und allein als künstliche Photosynthese gelten lassen, ist die katalytische Wasserspaltung mit folgender CO<sub>2</sub>-Reduktion. Im Unterschied zur Elektrolyse wird hier das Sonnenlicht nicht zur Stromproduktion genutzt, sondern die einzelnen Photonen können über einen Katalysator direkt das Wasser spalten und ein zweiter Katalysator den entstandenen Wasserstoff mit CO<sub>2</sub> zu Methan, Methanol oder auch Ameisensäure reduzieren. Mit dieser Technologie sind künstliche Blätter denkbar, die sowohl in großen als auch in kleinen dezentralen Anlagen direkt aus Sonnenlicht, Wasser und CO<sub>2</sub> chemische Bausteine herstellen. Panasonic hat ein erstes System dieser Art bereits im Jahr 2012 vorgestellt. Gerade bei der Katalysatorentwicklung wurden auf der Konferenz viele neue Entwicklungen präsentiert. Aktuell erreichen solche Systeme nur Wirkungsgrade von weniger als 1% - potenziell wird ihnen aber langfristig der beste Wirkungsgrad zugetraut. Prof. Dr. Ernst Sudhölter, Delft University of Technology (Die Niederlande), zeigte ein Katalysatorsystem zur Wasserstoffspaltung, welches im Labor einen Gesamtwirkungsgrad von bereits knapp 5% aufwies – was etwa dem 10fachen von Kulturpflanzen entspräche.

Probleme dieser Technologie ergeben sich aus der Wahl der geeigneten Katalysatormaterialien, die z.B. keine seltenen Metalle enthalten sollten, lange ihren Dienst tun und recycelbar sein müssen. Hier gibt es noch viel zu tun.

Ein weiteres Problem ist das CO<sub>2</sub>, das allgemein nur in reiner Form verwendet werden kann, ohne den Katalysator zu schädigen.

Prof. Dr. Michael North, University of Newcastle (Großbritannien), überraschte das Publikum mit einem neuen, Aluminium-basierten Katalysatorkonzept, dass auch mit

nicht aufgereinigtem CO<sub>2</sub> arbeiten kann, so wie es direkt aus dem fossilen Kraftwerk kommt.

## *Biotechnologie*

Schließlich gibt es noch hoffnungsträchtige biotechnologische Verfahren, bei denen vor allem Bakterien, Archaeen und Algen entweder aus Wasser Wasserstoff produzieren oder direkt das CO<sub>2</sub> reduzieren können, um daraus unterschiedlichste chemische Bausteine für Kraftstoffe oder auch Kunststoffe zu gewinnen. Die Bakterien benötigen hierfür Energie, die sie entweder vom Sonnenlicht bekommen, über Wärme oder auch direkt über elektrischen Strom. Prof. Dr. Ludo Diehls, vom Flemish Institute for Technological Research (Belgien), stellte Bakterien vor, die einzelne Elektronen nutzen, um CO<sub>2</sub> zu reduzieren und damit aufzuspalten und nutzbar zu machen.

Der große Vorteil der biotechnologischen Verfahren ist, dass sie kein aufgereinigtes CO<sub>2</sub> brauchen, sondern das Kohlendioxid so nutzen können, wie es aus dem Kraftwerk oder der Industrieanlage kommt. Das erhöht die Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses ganz erheblich, auch wenn der Gesamtwirkungsgrad vermutlich unten dem der Elektrolyse oder der Katalysatoren bleiben wird.

Vorreiter auf dem Gebiet der CO<sub>2</sub>-Direktnutzung ist das neuseeländische Unternehmen LanzaTech, auf dem Kongress vertreten durch Grainne Smith, das Fermentationssysteme zur Produktion von Ethanol, Butanol und anderen Produkten auf der Basis von ungereinigten Abgasen aus der Stahlindustrie in China und den USA aufgebaut hat. Dr. Arne Seifert, Krajete GmbH (Österreich), stellte ein spannendes Konzept vor, Kohlendioxid bei ungewöhnlich niedrigen Temperaturen mit Archaeen zu methanisieren, wodurch sehr schnell reagierende Systeme zur optimalen Nutzung von CO<sub>2</sub> in Biogasanlagen entstehen.

Die BASF arbeitet an der biotechnologischen Produktion von Acrylaten, die vor allem als Funktionspolymere und speziell Superabsorber etwa in Windeln eine wichtige Rolle spielen, wie Dr. Núria Huguet vorstellte. Mit diesen Anwendungen kommen wir in den Bereich der Chemie und der Polymere.

## *Chemie und Kunststoffe*

Wie schon bei der Nutzung von Biomasse steht bislang auch bei der CO<sub>2</sub>-Nutzung die energetische Nutzung in Form von gasförmigen und flüssigen Treibstoffen im Vordergrund – auch deshalb, weil hier auf bestehende Fördersysteme der Erneuerbaren Energien und Kraftstoffe zurückgegriffen werden kann. Demgegenüber findet die stoffliche Nutzung weniger günstige Rahmenbedingungen vor – obwohl sie spezielle Prozesse zu bieten hat, welche die Nutzung von CO<sub>2</sub> ganz besonders interessant machen: Für die Verwendung in chemischen Bausteinen muss das Kohlendioxid nicht unbedingt reduziert werden, sondern es kann auch direkt in chemische Strukturen integriert werden, teilweise sogar in exothermen Prozessen. Prof. Matthias Beller vom Leibniz-Institut für Katalyse in Rostock stellte auf der Konferenz viele neue Wege vor, die in den letzten Jahren entwickelt wurden, um CO<sub>2</sub> direkt zu integrieren.

Ein solcher Prozess befindet sich schon in der Umsetzung: Dr. Christoph Gürtler, Bayer MaterialScience (BMS), Leverkusen, stellte den Projektstand seiner „dream production“ vor. Ab dem Jahr 2015 soll eine kommerzielle Anlage in Nordrhein-Westfalen entstehen, die mehrere 1.000 Tonnen Schaumstoff aus CO<sub>2</sub>-basiertem Polyol produzieren soll. Erstmals wurde eine Ökobilanz der „dream production“ vorgestellt, die von der RWTH Aachen zusammen mit BMS durchgeführt wurde. Nicklas von der Assen, RWTH Aachen, konnte auf der Konferenz zeigen, dass die CO<sub>2</sub>-basierte Polyolproduktion in der

Ökobilanz besser abschneidet als die Produktion auf der Basis fossiler Rohstoffe. Dabei wurde das CO<sub>2</sub>-emittierende Kraftwerk inkl. seiner Stromproduktion komplett in die Bilanz mit einbezogen.

Dr. Xiaoqing Zang, CSIRO (Australien), arbeitet an seinem Institut mit Verbundwerkstoffen aus dem CO<sub>2</sub>-basierten Polypropylencarbonat (PPC), das bereits in den USA, China und Südkorea produziert wird. Zang zeigte verschiedene Verbundwerkstoffe aus Holz- und Naturfasern in Verbindung mit PPC im Vergleich zu PLA und petrochemischen Polymeren. PPC ist für Wood-Plastic-Composites gut geeignet: Es zeigt eine gute Bindung an Cellulose und erhöht die Schlagzähigkeit. Interessant sind auch Mischungen des biologisch abbaubaren PPCs (30-40%) mit Biopolymeren für z.B. Einkaufsstützen. Zang erwartet, dass bei Massenproduktion der Preis auf 1 \$/kg fallen könnte.

Prof. Dr. Klaas Hellingwerf von der University of Amsterdam präsentierte auf der Konferenz genetisch maßgeschneiderte Bakterien, Algen und Enzyme, die aus CO<sub>2</sub> direkt Milchsäure für die PLA-Produktion herstellen können.

### ***Woher das Kohlendioxid nehmen?***

Auch wenn CO<sub>2</sub> weltweit ausreichend vorhanden ist, welche Quelle ist aktuell am attraktivsten? Gegenwärtig bieten sich vor allem die Kohlendioxidemissionen fossiler Kraftwerke und Industriebetriebe wie bsp. der Stahlindustrie, aber auch Bioethanolanlagen, an. Hier fallen große Mengen CO<sub>2</sub> an, die aufgereinigt werden müssen, um den Katalysator oder die Elektrolyseeinheit nicht zu zerstören. Der Weg, CO<sub>2</sub> direkt aus der Atmosphäre („Direct Air Capture“) zu nehmen, wäre der Königsweg, da man hier nicht auf große zentrale fossile Anlagen zurückgreifen müsste, sondern überall auf der Erde auf den Rohstoff CO<sub>2</sub> zugreifen könnte – z.B. dort, wo preiswerte Erneuerbare Energien zur Verfügung stehen. Dies ist jedoch weitestgehend noch Zukunftsmusik, wenn auch Christoph Gebald von dem Schweizer Unternehmen Climeworks AG auf der Konferenz ein neues Verfahren vorstellte, um CO<sub>2</sub> mit Hilfe von Cellulosefasern direkt aus der Luft abzuscheiden und dies sowohl im kleinen wie im großen Maßstab umzusetzen. Nächstes Jahr soll die erste Demonstrationsanlage mit 1.000 t/Jahr in Betrieb gehen und aufgereinigtes CO<sub>2</sub> für 800 €/t bereit stellen. 2016 soll eine erste kommerzielle Anlage flüssiges CO<sub>2</sub> für 200 bis 300 €/t produzieren und bis 2018 soll dann eine kommerzielle Produktion für Treibstoffe und Chemie entstehen.

Um den Wettbewerb um die beste Technologie zur Nutzung atmosphärischen CO<sub>2</sub> anzuheizen, wurde von Virgin Airlines (Großbritannien) die „Virgin Earth Challenge“ ausgerufen und mit 25 Millionen € dotiert. David Addison diskutierte auf der Konferenz, welche zentrale Bedeutung Virgin diesem Thema beimisst und stellte den Wettbewerb, in dem die Climeworks AG zu den Finalisten gehört, im Detail vor.

### ***Die Lösung aller Klima- und Rohstoffprobleme oder nur ein kleiner Beitrag?***

Welche Bedeutung für den Klimaschutz und die Rohstoffsicherung können Technologien zur CO<sub>2</sub>-Nutzung erlangen? Diese Frage war eine der am meisten debattierten Fragen auf der Konferenz, die ausgiebig Raum für Diskussionen ließ.

Simon Bennet von der International Energy Agentur (IEA) machte beeindruckend klar, dass selbst bei sehr starkem Ausbau der Erneuerbaren Energien die Notwendigkeit für Carbon, Capture & Sequestration (CCS) bliebe, wolle man die Klimaschutzziele erreichen. Das Potenzial für Carbon, Capture & Utilisation (CCU) schätzte er demgegenüber zunächst als recht gering ein – vor allem weil die Quellen für CO<sub>2</sub>-Ströme

von Kraftwerken und Industrie begrenzt seien. Dies aber gilt für CCS wie für CCU. Für viele neu war die Feststellung, dass man zunehmend auch nicht-aufgereinigtes CO<sub>2</sub> nutzen kann (s.o.), was das Potenzial unmittelbar vergrößert.

Im Laufe der Tage setzte sich die Erkenntnis durch, dass die Potenziale für CCS und CCU grundsätzlich gleich seien und das Potenzial vor allem davon abhängt, ob man das CO<sub>2</sub> direkt aus der Atmosphäre nutzen kann – dann stünde ein nahezu unbegrenztes Potenzial zur Verfügung, das nur durch die Menge an Erneuerbaren Energien begrenzt ist. Michael Carus, Geschäftsführer der nova-Institut GmbH brachte ein anschauliches Beispiel für die Möglichkeiten von CCU: Wenn die chemische Industrie in Europa ihren gesamten Kohlenstoffbedarf über CO<sub>2</sub> statt über fossile Energieträger wie Erdöl, Gas oder Kohle decken würde, würde sie 5,5% des insgesamt in Europa emittierten CO<sub>2</sub> in Europa nutzen bzw. recyceln – obwohl sie nur für knapp 2% der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Europa verantwortlich ist. Auch Prof. Gabriele Centi von der Universität von Messina sowie Prof. Sang-Eon Park von der Singha-University in Seoul zeigten die auch mengenmäßigen großen Potenziale der Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff für die chemische Industrie eindrucksvoll anhand eines weiten Spektrums unterschiedlicher Produkte.

### *Politische Rahmenbedingungen, Anreize zur Nutzung von CO<sub>2</sub>?*

Wie schnell sich die Nutzung von CO<sub>2</sub> etablieren wird, hängt vor allem von den politischen Rahmenbedingungen ab: Welche Fördermittel werden zur Weiterentwicklung zur Verfügung gestellt und welche Anreize zur kommerziellen Implementation gegeben.

Dr. Lothar Mennicken stellte das umfassende Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) (German Federal Ministry of Education and Research) vor, in dem 33 Projekte mit 166 Partnern mit insgesamt 150 Millionen € unterstützt wurden. Dabei kamen 100 Millionen € vom Ministerium, weitere 50 Millionen € wurden von den industriellen Partnern eingebracht. Bevor weitere Forschungsprogramme aufgelegt werden, müssen Anfang 2014 die Ergebnisse der Projekte ausgewertet und bewertet werden.

Auf europäischer Ebene wurde bisher fast ausschließlich CCS gefördert, wenige Projekte finden sich im Rahmen von bio-basierten Programmen wieder. Dies solle 2016 mit SPIRE (Sustainable Process Industry through Resource and Energy Efficiency) anders werden, hier soll CCU explizit mit aufgenommen werden.

Michael Carus, Geschäftsführer des nova-Instituts, zeigte die Möglichkeiten auf, die bestehenden Programme im Bereich der bio-basierten Ökonomie und Erneuerbare Energien zu nutzen, bis spezifische Forschungsprogramme für CCU aufgelegt sind. Dies geht allerdings nur, wenn auf der einen Seite „grünes CO<sub>2</sub>“ aus Biomasseverbrennung genutzt wird und die CCU-Produkte damit quasi „bio-basiert“ werden, und auf der anderen Seite als Energiequelle ausschließlich Erneuerbare Energien Verwendung finden. Letzteres ist auch für eine gute Ökobilanz unabdingbar.

Neben Forschungsprogrammen ist aber vor allem wichtig, welche politischen Rahmenbedingungen für CCU-Technologien geschaffen werden. Wenn DG Energy CCU-Kraftstoffe in die Renewable Energy Directive (RED) mit Mehrfachzählung (multiple counting) aufnimmt, könnte das eine erhebliche Signalwirkung für Investoren haben und der CO<sub>2</sub>-Nutzung deutlichen Rückenwind geben. Gerade im Verkehrsbereich werden neben Biokraftstoffen und Elektromobilität dringend weitere Optionen gesucht. CCU-Kraftstoffe wären eine solche – auf Basis des unerschöpflichen Rohstoffs CO<sub>2</sub>.

Wie die Konferenz deutlich gezeigt hat, stehen die neuen Technologien in den Startlöchern, zahlreiche Optionen tun sich auf und warten auf ihre Umsetzung. Ein



schlafender Riese könnte seinen Kinderschuhen schneller entwachsen, als Politik und Öffentlichkeit erwarten – wenn jetzt die richtigen Leitplanken gesetzt werden.

Sämtliche 35 Vorträge der dreitägigen Konferenz können ab sofort für 150 € unter folgender Adresse bestellt werden [www.nova-shop.info](http://www.nova-shop.info)

**Verantwortlicher im Sinne des Presserechts (V.i.S.d.P.):**

Dipl.-Phys. Michael Carus (Geschäftsführer)

nova-Institut GmbH, Chemiapark Knapsack, Industriestraße 300, 50354 Hürth

Internet: [www.nova-institut.de](http://www.nova-institut.de) und [www.bio-based.eu](http://www.bio-based.eu)

Email: [contact@nova-institut.de](mailto:contact@nova-institut.de)

Tel: +49 (0) 22 33-48 14 40

Das nova-Institut wurde 1994 als privates und unabhängiges Institut gegründet und ist im Bereich der Forschung und Beratung tätig. Der Fokus liegt auf der bio-basierten und der CO<sub>2</sub>-basierten Ökonomie in den Bereichen Rohstoffversorgung, technisch-ökonomische Evaluierung, Marktforschung, Ökobilanzen (LCA), Öffentlichkeitsarbeit, B2B-Kommunikation und Politik. Mit einem Team von mehr als 20 Mitarbeitern erzielt das nova-Institut einen jährlichen Umsatz von 1,8 Mio. €.

**Bildmaterial zur Konferenz „CO<sub>2</sub> as chemical feedstock – a challenge for sustainable chemistry (bitte beachten Sie die Angaben über die jeweiligen Fotografen), für Presse Zwecke Abdruck honorarfrei.**

**Das Bildmaterial zur Konferenz finden Sie unter folgendem Downloadlink:**

[http://co2-chemistry.eu/media/2nd\\_Conference\\_on\\_CO2\\_nova-Institut.zip](http://co2-chemistry.eu/media/2nd_Conference_on_CO2_nova-Institut.zip) (2 MB)

Die Zip-Datei beinhaltet folgende Bilder:

- 13-10-07 Dr\_Lothar\_Mennicken.jpg, Dr. Lothar Mennicken, Referent beim Bundesministerium für Bildung und Forschung, während seines Vortrages (Quelle: nova-Institut/Winkler)
- 13-10-07 Michael\_Carus.jpg, Michael Carus vom nova-Institut während seines Vortrages (Quelle: nova-Institut/Winkler)
- 13-10-08 audience.jpg, Konferenzteilnehmer während eines Vortrages (Quelle: nova-Institut/Winkler)
- 13-10-08 audience2.jpg, Konferenzteilnehmer während eines Vortrages (Quelle: nova-Institut/Winkler)
- 13-10-09 panel\_discussion.jpg, Die Redner im Diskurs mit den Teilnehmern (Quelle: nova-Institut)