

„ROHSTOFFSITUATION –  
SCHWERPUNKT ROHSTOFFEFFIZIENZ UND ROHSTOFFSUBSTITUTION“

STELLUNGNAHME ZUR ANHÖRUNG DER ENQUETE-KOMMISSION II  
ZUR ZUKUNFT DER CHEMISCHEN INDUSTRIE IN NORDRHEIN-WESTFALEN  
AM 20. SEPTEMBER 2013

LANDTAG  
NORDRHEIN-WESTFALEN  
16. WAHLPERIODE

**STELLUNGNAHME  
16/976**

A23



FOKUS: STOFFLICHE NUTZUNG VON CO<sub>2</sub>

**Datum:**

30. August 2013

**Autor:**

Dr. Martina Peters  
Bayer Technology Services GmbH  
51368 Leverkusen  
[martina.peters@bayer.com](mailto:martina.peters@bayer.com)

**Executive Summary:**

Die chemische Nutzung von CO<sub>2</sub> ermöglicht langfristig einen nachhaltigen Wandel der Rohstoffbasis: weg von direkten fossilen Ausgangsmaterialien, hin zu alternativen Rohstoffen. Der Einsatz von CO<sub>2</sub> als Rohstoff bietet einen attraktiven, wenn auch mengenmäßig zunächst begrenzten Beitrag zum Klimaschutz: Zum einen wird weniger CO<sub>2</sub> direkt in die Atmosphäre emittiert, zum anderen werden erdölbasierte Substanzen durch Kohlendioxid ersetzt.

Das Innovationspotenzial der verbesserten Prozesse, innovativen Reaktionen und neuen Produkte stellt einen wichtigen, auch wirtschaftlichen Impuls auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Gesellschaft dar. Für die Wirtschaft sind schlüssige und konsequent umgesetzte Nachhaltigkeitskonzepte inzwischen eine Notwendigkeit. Sie tragen dazu bei, die internationale Wettbewerbsfähigkeit der chemischen Industrie in Deutschland zu erhalten – und damit auch in Nordrhein-Westfalen. Synergien bieten unter anderem die vielfältigen Möglichkeiten der Kooperation von Energie- und Chemieindustrie. Weiterhin bietet der erweiterte Ausbau dieser Technologie die Möglichkeit, Nordrhein-Westfalen als starken Wissenschaftsstandort weiter zu stärken.

### Was ist das Ziel?

Es ist eigentlich ein naheliegender Gedanke: Wenn die Menschheit schon zu viel Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) produziert und damit ein Ungleichgewicht im natürlichen Kohlendioxidkreislauf erzeugt - warum sollte man dann nicht versuchen, zumindest einen kleinen Teil dieses an sich harmlosen Gases für etwas Nützliches einzusetzen? Die Natur ist uns hier einen Schritt voraus, denn sie nutzt CO<sub>2</sub>, um Sonnenenergie in Form von Zucker zu speichern. Zucker wiederum dient Pflanzen sowohl als Baustoff als auch als Energiespeicher. Kohlendioxid könnte somit eine tragende Säule für die umweltfreundliche Herstellung von Chemie-Produkten werden – und zugleich die Verbreitung alternativer Energien fördern.

### Was ist die Motivation?

Es gibt viele Gründe, sich mit der chemischen Nutzung von CO<sub>2</sub> zu beschäftigen. Die stärkste Motivation lautet *Nachhaltigkeit*. Verantwortung übernehmen für die nachfolgenden Generationen, langfristige, dauerhafte Maßnahmen ergreifen zur Bewahrung der natürlichen Lebensgrundlagen. Inzwischen ist dieser Imperativ dringender geworden, nehmen die globalen ökologischen, gesellschaftlichen und ökonomischen Probleme immer mehr zu, die nachhaltigen Handelns bedürfen. Fossile Rohstoffe werden knapper, Wasser begehrt, die Treibhausgasemissionen steigen kontinuierlich, während die Weltbevölkerung stetig wächst. Die Nutzung von CO<sub>2</sub> als alternativer Rohstoff ist eine Möglichkeit, um diesen Herausforderungen zu begegnen. Die Motivation für Forscher aus Wissenschaft und Industrie liegt in folgenden Beweggründen:

- *Ressourceneffizienz*

Langfristig gesehen ermöglicht die chemische Nutzung von CO<sub>2</sub> einen nachhaltigen Wandel der Rohstoffbasis: weg von direkten fossilen Ausgangsmaterialien, hin zu alternativen Rohstoffen. Konkret bedeutet das, dass zum Beispiel Erdöl eingespart werden kann durch den Einsatz von CO<sub>2</sub> als Rohstoff.

- *Klimaschutz*

Der Einsatz von CO<sub>2</sub> als Rohstoff bietet einen attraktiven, wenn auch mengenmäßig zunächst begrenzten Beitrag zum Klimaschutz, und das in mehrfacher Hinsicht: Durch die chemische Verwendung von CO<sub>2</sub> wird zum einen weniger davon direkt in die Atmosphäre emittiert, zum anderen werden erdölbasierte Substanzen durch Kohlendioxid ersetzt. So gewinnt man einen Hebel zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-

Emissionen, die bei der Herstellung dieser energieintensiven Rohstoffe anfallen. Und idealerweise ist die alternative Produktionsweise gleichzeitig auch energieeffizienter.

- *Wertschöpfung*

Das Innovationspotenzial der verbesserten Prozesse, innovativen Reaktionen und neuen Produkte stellt einen wichtigen, auch wirtschaftlichen Impuls auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Gesellschaft dar. Denn das Verbraucherverhalten hat sich in den letzten Jahren stark gewandelt, erkennbar zum Beispiel daran, dass vermehrt die Energieeffizienz von Gütern zum Entscheidungskriterium für den Kauf gemacht wird.

Für die Wirtschaft sind schlüssige und konsequent umgesetzte Nachhaltigkeitskonzepte inzwischen eine Notwendigkeit. Sie tragen dazu bei, die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Industrie – vor allem der chemischen Industrie - in Deutschland zu erhalten. Dies ist eine Herausforderung für die Branche, da viele ihrer Produkte mittlerweile zu Massengütern zählen, die auch von Konkurrenten speziell in Asien und dem Mittleren Osten hergestellt werden. Um in Deutschland langfristig eine starke, wettbewerbsfähige Chemieindustrie zu erhalten, bedarf es Gütern mit neuen Eigenschaften und einer neuen Rohstoffbasis, die in intelligenten, ökoeffizienten und nachhaltigen Prozessen hergestellt werden. Eine Möglichkeit, die traditionelle Abhängigkeit vom Erdöl – vier bis sechs Prozent der globalen Förderung fließen in die Chemieindustrie – zu verringern, bietet der Einsatz von CO<sub>2</sub> als Rohstoff.

### **Ist CO<sub>2</sub> als Rohstoff schon bekannt?**

Bereits seit Jahrzehnten suchen Chemiker nach Möglichkeiten, das im CO<sub>2</sub> enthaltene Element Kohlenstoff direkt zum Aufbau von Wertstoffen zu verwenden – in Analogie zur Pflanzenwelt, wo in der Photosynthese aus CO<sub>2</sub> mit Hilfe von Wasser und Sonnenlicht Kohlenhydrate als Energielieferant gewonnen werden.

Durch die aktuellen Klimadiskussionen hat das Thema jedoch eine neue Dynamik erhalten. Wenn es gelingt, den Rohstoff Kohlendioxid in energieeffizienten Verfahren nutzbar zu machen, können neue, nachhaltige Verfahren zur Herstellung chemischer Produkte entwickelt werden, die unsere Kohlenstoffressourcen schonen und so einen zwar begrenzten, aber hoch willkommenen und wirtschaftlich attraktiven Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Bereits heute gibt es Produkte auf Basis von CO<sub>2</sub>, und zwar basierend auf physikalischen oder chemischen Prinzipien. Die physikalische Nutzung von CO<sub>2</sub> reicht von der Kohlensäure in der Getränkeindustrie, über Anwendungen als Kühl- und Kältemittel, als Reinigungsmittel in der Textilreinigung, bis hin zum Extraktionsmittel für zum Beispiel Koffein.

Die chemische Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff ist ebenfalls bereits vorhanden. Mengenmäßig am bedeutendsten ist die Düngemittelproduktion, das Produkt ist Harnstoff. Kraftstoffe und Basischemikalien, wie zum Beispiel Methanol, können ebenfalls bereits heute unter Zuhilfenahme von CO<sub>2</sub> hergestellt werden. Bei der Herstellung von Aspirin wird ebenfalls CO<sub>2</sub> verwendet: Die Kolbe-Schmitt Synthese von Salicylsäure aus Natriumphenolat und Kohlendioxid wurde von Adolph Kolbe schon 1860 beschrieben und wird noch heute technisch eingesetzt. Der Einsatz von CO<sub>2</sub> als Reaktionspartner ist also keine grundlegend neue Entwicklung.

Bezogen auf die Menge an CO<sub>2</sub>, die bereits heute als Rohstoff eingesetzt wird, ist die chemische Nutzung mit ca. 110 Mio. t pro Jahr weitaus bedeutender als die physikalische Nutzung mit ca. 20 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr (Quelle: Studie im Auftrag des BMWi, AZ I D4-020815 erschienen in: Schriftenreihe des Forschungszentrums Jülich, Band 60, 2010). Dabei ist nur die direkte Nutzung von CO<sub>2</sub> berücksichtigt und noch keine weitergehenden indirekten Einsparungen über zum Beispiel energieeffizientere Prozesse.

Aber warum gibt es noch nicht mehr solcher Ansätze?

### **Was sind heute die Herausforderungen?**

Die Nutzung von CO<sub>2</sub> als Synthesebaustein ist einigen Limitierungen unterworfen. Um den Kohlenstoff im CO<sub>2</sub> für die chemische Synthese nutzbar zu machen, muss man zwei grundlegende wissenschaftliche Herausforderungen angehen:

- 1) Es ist ein Reaktionspartner erforderlich, der selbst viel Energie mitbringt, um sich mit Kohlendioxid zu neuen Produkten zu verbinden. Denn als Endprodukt von Verbrennungen ist CO<sub>2</sub> mit einer freien Standardbildungsenthalpie von -393 kJ/mol thermodynamisch extrem stabil.

- 2) Um die richtigen Bindungen zu knüpfen und die Reaktionen in die gewünschte Richtung zu lenken, sind spezielle Katalysatoren nötig, die maßgeschneiderte Eigenschaften für die Stoffumwandlung besitzen. Der Grund: CO<sub>2</sub> besitzt eine ausgeprägte kinetische Trägheit. Die Katalyse nimmt somit eine Schlüsselstellung ein.

Darüber hinaus gibt es wichtige ökologische und ökonomische Rahmenbedingungen. Der Prozess muss im Endeffekt dazu führen, dass mehr CO<sub>2</sub> gebunden als in den Einzelschritten gebildet wird. In jedem Fall muss die CO<sub>2</sub>-Bilanz besser ausfallen als bei der konventionellen Herstellung eines gleichen oder gleich wirkenden Produkts.

### **Woher stammt das CO<sub>2</sub>?**

Es gibt verschiedene Quellen von CO<sub>2</sub>. So fällt in der chemischen Industrie Kohlendioxid zum Beispiel bei der Ammoniak-Produktion oder bei der Ethylenoxid-Herstellung an. Auch in Raffinerien und bei Fermentationsprozessen wird es freigesetzt. Doch den mit Abstand größten Anteil der durch Menschen verursachten CO<sub>2</sub>-Produktion hat die Energieerzeugung.

Schon seit einigen Jahren laufen in diesem Wirtschaftszweig intensive Bemühungen, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu mindern. Dies kann zum einen durch Effizienzsteigerung gelingen, zum anderen besteht die Möglichkeit, Kohlendioxid aus Kraftwerksabgasen abzutrennen. Pilotanlagen zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung sind bei einigen Stromerzeugern bereits realisiert, die das abgetrennte Kohlendioxid als Ressource zur Verfügung zu stellen können. Die so anfallende Menge an Kohlendioxid übersteigt die für die chemische Wertschöpfung benötigten Ressourcen um ein Vielfaches, und somit steht eine praktisch unerschöpfliche Quelle an Kohlenstoff zur Verfügung.

Die Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff in katalytischen Umsetzungen erfordert unter Umständen eine vergleichsweise hohe Reinheit bezüglich potenzieller Katalysatorgifte – abhängig vom Reaktionssystem. Hier gibt es voraussichtlich keine pauschale Antwort, sondern die Betrachtungen müssen von Fall zu Fall wiederholt werden. Aktuelle wissenschaftliche Arbeiten widmen sich dieser Fragestellung.

Und wie geht es weiter mit der chemischen Nutzung von CO<sub>2</sub>?

### **Zukunft der CO<sub>2</sub>-Nutzung?**

Für zukünftige Entwicklungen gibt es eine Fülle von Möglichkeiten, in der chemischen Fachliteratur findet man viele Beispiele für den Einbau von CO<sub>2</sub>. Die Hydrierung von CO<sub>2</sub> ist äußerst interessant. Hier können durch Reaktion mit Wasserstoff interessante Grundchemikalien und Energieträger wie Methan, Methanol, Ameisensäure, oder auch Kraftstoffe gewonnen werden können. Des Weiteren erweist sich die Herstellung von Kunststoffen unter Einbau von CO<sub>2</sub> als viel versprechender Ansatz.

Bezogen auf die Mengen an CO<sub>2</sub>, die in diesen Bereichen zukünftig eingesetzt werden können, kursieren in der Fachwelt verschiedene quantitative Abschätzungen. In jedem der beschriebenen Szenarien wird das Potential zur Nutzung von CO<sub>2</sub> im Bereich von Kraftstoffen um ein vielfaches höher eingeschätzt als im Bereich von Polymeren und weiteren Chemiebasisprodukten. Nachhaltig positive Effekte auf den Ausstoß von Klimagasen lassen sich jedoch nur dann realisieren, wenn der eingesetzte Wasserstoff aus regenerativen Quellen stammt. Dies verdeutlicht einmal mehr die enge Verzahnung von Energieversorgung und Chemiewirtschaft.

Die elektro- und insbesondere die photokatalytische Umsetzung wäre grundsätzlich die eleganteste Form der Nutzung von CO<sub>2</sub>, da sie der Natur am ähnlichsten ist – Stichwort *künstliche Photosynthese*. Bisherige Systeme erfordern aber noch erhebliche Verbesserungen, bis eine technische und industrielle Relevanz erreicht werden kann.

### **Woran muss sich das Konzept messen?**

Bleibt die Frage, ob die Nutzung von CO<sub>2</sub> auch ökologisch sinnvoll ist. Eine pauschale Antwort auf diese Frage ist nicht möglich – die Untersuchung erfordert eine genaue Analyse der Stoff- und Energiebilanzen für den gegebenen Prozess und dessen Rahmenbedingungen, eine Ökobilanz. Generell gilt: Die CO<sub>2</sub>-Einsparungen resultieren nicht nur aus den Mengen an CO<sub>2</sub>, die direkt in einem Prozess eingesetzt werden. Vielmehr müssen auch indirekte Einsparungen berücksichtigt werden, die sich aus dem Ersatz energiereicher Rohstoffe ergeben können.

Zur Veranschaulichung ein Beispiel: Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsprojekts *Dream Production* arbeiteten Chemiker und Ingenieure von Bayer MaterialScience und Bayer Technology Services zusammen mit der RWE Power AG sowie der RWTH Aachen University und dem CAT Catalytic Center an der RWTH Aachen University als akademischen Partnern. Das

Projekt zielte darauf ab, CO<sub>2</sub> zur Herstellung des hochwertigen Kunststoffes Polyurethan zu nutzen, der in vielen Alltagsdingen wie Polstermöbeln, Sportartikeln oder Autoteilen verwendet wird.

Die Ökobilanz des Verfahrens wurde eingehend von Wissenschaftlern der RWTH Aachen untersucht. Das Ergebnis: Das neue Verfahren zur Herstellung CO<sub>2</sub>-haltiger Polyole – Vorprodukte des Kunststoffes Polyurethan – benötigt tatsächlich weniger fossile Rohstoffe und weniger Energie als das herkömmliche Verfahren. Somit emittiert es insgesamt auch weniger CO<sub>2</sub>. Der Hauptgrund für diese Einsparung liegt darin begründet, dass im neuen Verfahren ein energie- und emissionsintensiver Ausgangsstoff für die Polyolsynthese, das sogenannte Epoxid, eingespart und durch CO<sub>2</sub> ersetzt werden kann. Der Einfluss der CO<sub>2</sub>-Quelle ist dabei untergeordnet, und das gilt auch für den Fall, dass aus Kraftwerksrauchgasen abgetrenntes CO<sub>2</sub> eingesetzt wird.

Generell gilt: Je mehr Epoxid durch CO<sub>2</sub> ersetzt werden kann, umso besser ist die CO<sub>2</sub>-Bilanz. Da jedoch der CO<sub>2</sub>-Gehalt Einfluss auf die vielfältigen Eigenschaften der späteren Kunststoffe haben wird, variiert der genaue CO<sub>2</sub>-Gehalt abhängig vom individuellen Einsatzzweck der Produkte. Theoretisch möglich wären bis zu 43% CO<sub>2</sub>-Anteil im Polyol, realistischer Bereich für die geplanten Polyurethan-Produkte ist ein deutlich zweistelliger %-Betrag.

### **Nordrhein-Westfalen als Forschungsstandort?**

Die chemische Nutzung von CO<sub>2</sub> wird seit vielen Jahren an internationalen Hochschulen, Forschungseinrichtungen und in der Industrie intensiv untersucht – in Deutschland mit einem der Schwerpunkte in Nordrhein-Westfalen. Aufgrund politischer und förderpolitischer Schwerpunkte hat die Intensität der Forschung immer wieder starken Schwankungen unterlegen. Aktuell gibt es in Nordrhein-Westfalen verschiedene übergreifende Aktivitäten, bei denen der Rohstoffwandel und damit auch die Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff eine zentrale Rolle spielen – zwei Beispiele:

- Forschungscluster *SusChemSys* (Sustainable Chemical Synthesis - A Systems Approach) plus angegliederte Graduiertenschule zur Entwicklung innovativer Methoden und Technologien für die nachhaltige Synthese chemischer Produkte; zur vorwettbewerblichen Forschung haben sich fünf Universitäten, ein Max-Planck-Institut und sieben Unternehmen aus Großindustrie und Mittelstand zusammengeschlossen

- *CAT Catalytic Center* als gemeinsam von der RWTH Aachen University und Bayer genutzte Forschungseinrichtung mit Schwerpunkt CO<sub>2</sub>-Chemie

Gerade solche übergreifenden, visionären Themen bedürfen langfristiger Bearbeitung. Um Kontinuität in der Forschung zu gewährleisten, ist ein Wechselspiel von Grundlagen und Anwendung zwingende Voraussetzung, für das stabile förderpolitische Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen.

Nordrhein-Westfalen kann in der nationalen Umsetzung von Technologien zur CO<sub>2</sub>-Nutzung potentiell eine besondere Rolle zukommen - aufgrund der engen Verzahnung energieintensiver Industrien wie Chemie, Energie, Stahl sowie der exzellenten Hochschullandschaft. Neben der Schaffung von Arbeitsplätzen könnte der Forschungsstandort NRW aufgrund gesteigerter Attraktivität auch im internationalen Wettbewerb klar profitieren. Voraussetzung sind unter anderem stabile politische Rahmenbedingungen sowie die Möglichkeit, einen offenen Diskurs über die Akzeptanz neuer Technologien zu führen.

### **Fazit zur CO<sub>2</sub>-Nutzung?**

Wenn es gelingt, den Rohstoff Kohlendioxid in energieeffizienten Verfahren nutzbar zu machen, können neue, nachhaltige Verfahren zur Herstellung chemischer Produkte entwickelt werden, die unsere Kohlenstoffressourcen schonen und so einen zwar begrenzten, aber hoch willkommenen und wirtschaftlich attraktiven Beitrag zum Klimaschutz leisten. Während für die Herstellung von Kunststoffen und Kraftstoffen die ersten Beispiele bis zu einer konkreten ökologischen und ökonomischen Bewertung entwickelt wurden, ist bei vielen anderen Reaktionen noch ein erhebliches Maß an langfristiger Grundlagenforschung zu leisten.

Für den Standort Nordrhein-Westfalen ist die Nutzung von CO<sub>2</sub> als chemischem Baustein eine der Technologien, die sich ideal mit der vorhandenen Forschungs- und Industrielandschaft ergänzen – und so zur Zukunftsfähigkeit des Standortes entscheidend beitragen kann.