

CO₂ wird zum wertvollen Rohstoff für innovative Materialien

Drei Atome für eine saubere Zukunft

Öl wird immer knapper – und Kohlendioxid zunehmend ein Problem für das Weltklima. Deshalb suchen Chemiker nach neuen Wegen, um die fossilen Rohstoffe zu ersetzen und das Treibhausgas sinnvoll zu nutzen. Gemeinsam mit Partnern schreiten Bayer-Forscher hier voran: Sie bauen CO₂ in die Molekülstruktur von Polyurethanen ein – das spart Erdöl. Und künftig könnte der Strom für die Kunststoffproduktion sogar aus regenerativen Quellen stammen.

Der Klimawandel soll Buße tun – und als wertvoller Rohstoff für nachhaltiges Wirtschaften in der Industrie sorgen: Chemiker wollen CO₂ jetzt als Grundsubstanz für neue Materialien nutzen. Damit ebnet sie nicht nur den Weg zur sinnvollen Verwendung des Kohlendioxids – sie reduzieren auch die Abhängigkeit der chemischen Industrie vom Erdöl. Denn der Schmierstoff der Weltwirtschaft wird knapper und immer teurer. Weltweit suchen Wissenschaftler deshalb nach Alternativen, um den fossilen Rohstoff ganz oder teilweise zu ersetzen.

Besonders sinnvoll ist das zum Beispiel bei dem Kunststoff Polyurethan, kurz PUR genannt. Denn das CO₂ lässt sich in Polyole einbauen, die als Rohstoffe für die Herstellung von PUR

dienen. Der Kunststoff ist im täglichen Leben allgegenwärtig und entfaltet eine besonders nachhaltige Wirkung. Bei der Dämmung von Gebäuden gegen Kälte und Wärme etwa sparen Polyurethane rund 70-mal mehr Energie ein, als für ihre Herstellung aufgewendet wird. PUR isoliert aber nicht nur Häuser, es hält auch die Kälte im Kühlschrank, macht den Autositz bequem und lässt Sportschuhe federn.

Kunststoff für Klimaschutz: PUR weltweit gefragt

Weltweit werden jährlich rund 13 Millionen Tonnen des Materials verarbeitet – Tendenz steigend. Wie bei vielen anderen Kunststoffen stammen die Komponenten der Polyurethane aus Erdöl. Die

fossile Ressource ist der Hauptlieferant für das zentrale Element Kohlenstoff, auf dem die gesamte organische Chemie basiert. Doch nun tut sich offenbar eine neue, quasi unerschöpfliche Quelle auf: Jüngsten Forschungserfolgen ist es zu verdanken, dass sich künftig auch CO₂ verwenden lässt, um den Kohlenstoff wirtschaftlich ins Polyurethan zu bringen. Wie nützlich das Molekül ist, macht schon die Natur vor: Aus CO₂ stellen Pflanzen in der Photosynthese mithilfe von Wasser und Sonnenlicht Kohlenhydrate her, die ihnen als Energielieferant dienen.

Aber was so einleuchtend klingt, lässt sich jedoch nicht einfach in die Chemieindustrie übertragen, denn: Das CO₂-Molekül ist chemisch stabil und reagiert kaum mit anderen Substanzen.

Rohstofflieferant: Aus dem Rauchgas von Kohlekraftwerken wie in Niederaußern (Foto li.) soll klimaschädliches CO₂ abgezweigt werden. Das gereinigte und verflüssigte Klimagas wollen Werkstoff-Experten wie Dr. Christoph Gürtler (Foto re.) und sein Team von Bayer MaterialScience dann als Ausgangsstoff für die Herstellung von Kunststoffen nutzen. Beispielsweise könnte das Kohlendioxid so als Basis für Matratzen oder für Dämmstoffe verwendet werden.





Partner: Dr. Jörg Hoffmann und Maria-Theresa Gleixner (Foto o., v. li.) von Bayer MaterialScience arbeiten an der Herstellung von Katalysatoren für CO₂-basierte Polyole. Dr. Aurel Wolf (Foto re.) von Bayer Technology Services arbeitet daran, dem trägen Kohlendioxid-Molekül zu mehr Reaktionsfreude zu verhelfen.



„Wer Kohlendioxid als Rohstoff nutzen will, muss ihm zunächst die Reaktionsträgheit austreiben“, erklärt Dr. Aurel Wolf, Chemiker bei Bayer Technology Services. Das Kohlenstoffatom und die zwei Sauerstoffatome sind besonders fest zu CO₂ verbunden. „Das macht den Einbau des trägen Moleküls in Kunststoffe sehr schwer“, sagt Wolf.

Um dem Kohlendioxid auf die Sprünge zu helfen, braucht man einen Katalysator. Das ist eine Art chemischer Heiratsvermittler, der zwei Substanzen dazu bringt, sich leichter miteinander zu verbinden. Seit den späten 1960er-Jahren suchten Wissenschaftler in aller Welt nach dem passenden Beschleuniger – lange ohne großen Erfolg. Die Nutzung von CO₂ für die Kunststoffherstellung blieb stets unwirtschaftlich.

Ein Katalysator auf Zinkbasis brachte den Durchbruch

Doch vor wenigen Jahren entdeckte ein Forscherteam von Bayer einen Katalysator, der die effiziente Verwendung von Kohlendioxid erlaubt. Rund 200 dieser chemischen Turbos wurden dazu getestet. Immer wieder führten die Wissenschaftler CO₂ und Propylenoxid – ein erdölbasiertes Vorprodukt für Polyurethan – zusammen, jedes Mal mit einem anderen Katalysator. Untersucht wurde,

wie sich ein Katalysator bei verschiedenen Versuchsbedingungen verhält. Die Forscher simulierten die chemische Reaktion zusätzlich am Computer, um zu verstehen, was in der Realität passiert.

Nach zahlreichen Versuchen gelang den Forschern der Durchbruch. Ein spezieller Katalysator auf Zinkbasis verhalf zur gewünschten Reaktion. Die weitere Entwicklung verlief dann sehr schnell, binnen kurzer Zeit folgte der Schritt vom Labor zur Realisierung. Dazu kooperierten fünf Partner in dem mit öffentlichen Mitteln geförderten Projekt „Dream Production“: neben Bayer Technology Services auch Bayer MaterialScience und der Energieversorger RWE Power, außerdem die RWTH Aachen und das dort ansässige CAT Catalytic Center – eine Forschungseinrichtung, die gemeinsam von der Hochschule und Bayer betrieben wird.

Im Februar 2011 nahmen die Forscher bei Bayer in Leverkusen eine Pilotanlage in Betrieb, in der CO₂ aus einem RWE-Kraftwerk in Niederaußem bei Köln erstmals in größerem Maßstab mit Propylenoxid zusammengeführt wird. Das Ergebnis ist eine helle, zähflüssige Substanz: Polyol, einer der beiden Bausteine zur Herstellung von Polyurethan. Konzipiert und erbaut wurde die Anlage von Bayer Technology Services,

Betreiber ist Bayer MaterialScience. Der Teilkonzern stellt auch die CO₂-basierten Testprodukte her. Die Forscher am CAT Catalytic Center untersuchen das Kohlendioxid aus dem Kraftwerk unter anderem auf seine Verträglichkeit mit dem Katalysator.

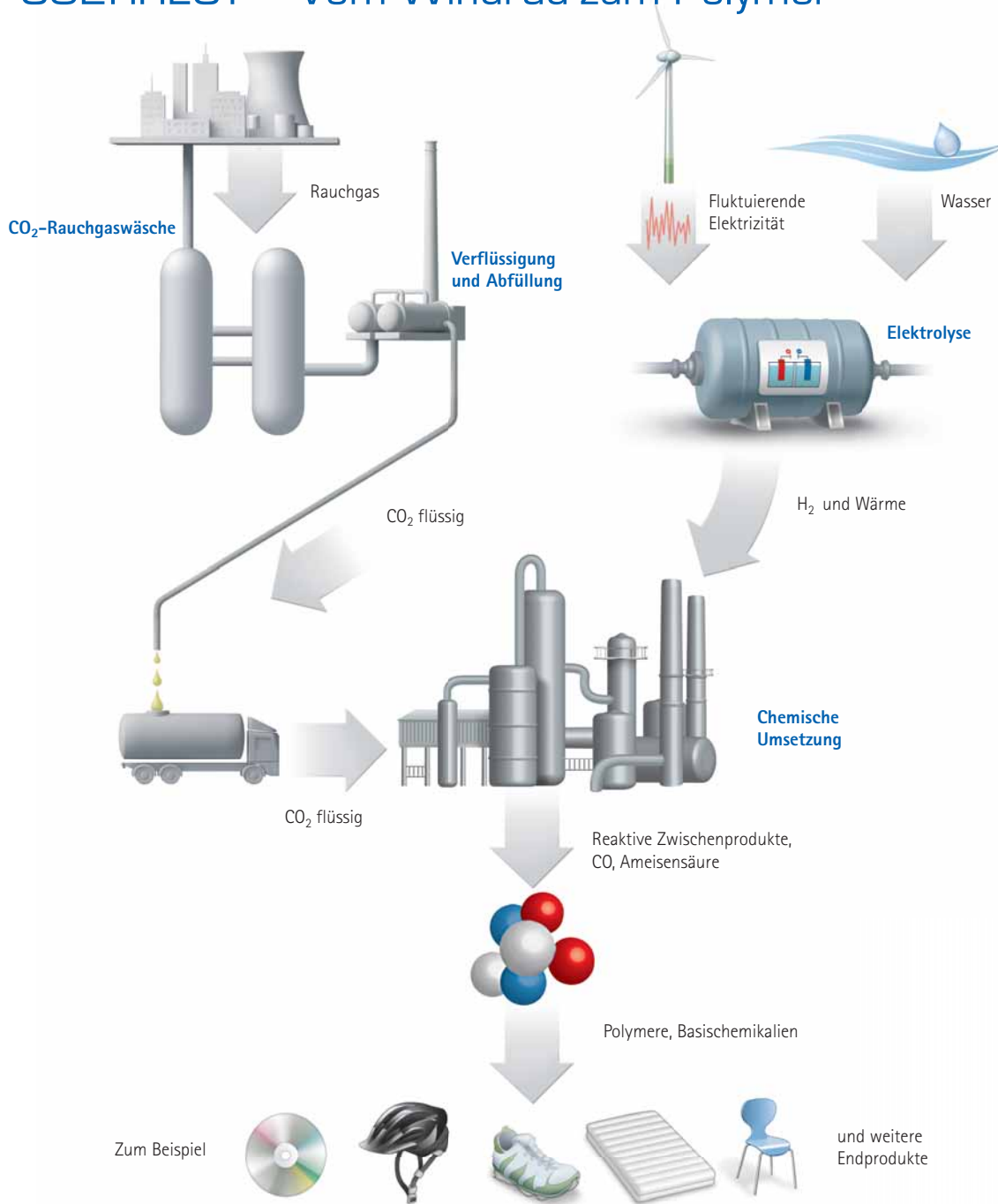
Ziel 2015: kommerzieller Industrieinsatz der Technik

Das große Ziel der Partner: die industrielle Realisierung ab 2015. Als erstes kommerzielles Produkt wollen die Chemiker dann Matratzen auf CO₂-Basis herstellen. Deren Innenleben könnte dann nicht nur nachhaltiger sein als bisher, sondern auch noch andere nützliche Eigenschaften haben.

Aber auch für den Partner RWE ist das Verfahren interessant. Als Betreiber von Gas- und Kohlekraftwerken sucht das Unternehmen nach Möglichkeiten den CO₂-Ausstoß zu reduzieren und Alternativen für seine Verwendung zu finden. Entsprechend knüpft RWE große Hoffnungen an den Einbau von CO₂ in Kunststoffe. Am Standort Niederaußem wird das Kohlendioxid aus dem Rauchgas abgetrennt, verflüssigt, in Flaschen gefüllt und zu Bayer nach Leverkusen transportiert.

„Gemessen am Ausstoß eines Kraftwerks sind die Mengen an CO₂, die wir

CO₂RRECT – Vom Windrad zum Polymer



CO₂ lässt sich in nutzbare chemische Bausteine umwandeln. Im Projekt CO₂RRECT kommt das Kohlendioxid aus dem RWE-Braunkohlekraftwerk Niederaußem, wo eine Rauchgaswäsche betrieben wird. Das Kohlendioxid wird dort abgeschieden, verflüssigt und zur chemischen Umsetzung bereitgestellt. Zur Zwischenspeicherung der fluktuierend anfallenden regenerativen Energien wird eine Elektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff (H₂) betrieben. Die dabei anfallende Wärme wird ebenfalls in der Chemiefabrik genutzt, wo H₂ mit Kohlendioxid reagiert und das Gas in Zwischenprodukte wie Kohlenmonoxid oder Ameisensäure umwandelt. In weiteren Schritten werden daraus Polymere und Basischemikalien hergestellt, die wiederum als Ausgangsbasis für vielfältige Kunststoffprodukte wie Polyurethane dienen können.



Macher: In der Pilotanlage zur Kunststoffherstellung mit Kohlendioxid prüft Deniz Capar (Foto li.) die Anschlüsse der Leitungen. In Zukunft könnte zudem überschüssiger Strom aus der Windkraft zur CO₂-Nutzung verwendet werden. Unter anderem daran arbeitet Dr. Martina Peters (Foto re.), CO₂-Projektkoordinatorin bei Bayer Technology Services.

für die Polyurethan-Synthese benötigen, natürlich klein", sagt Dr. Christoph Gürtler von Bayer MaterialScience, der das Projekt leitet. Dennoch: Jedes Gramm Kohlenstoff im Polymer, das aus Kohlendioxid stammt, kann am Rohstoff Erdöl gespart werden. Für die Chemieindustrie geht es dabei durchaus um bedeutende Mengen.

Doch bevor die CO₂-Nutzung in großem Stil – und damit die Verwirklichung eines Chemikertraums – Realität werden kann, müssen noch zwei grundlegende Fragen geklärt werden: Ist das neue Verfahren insgesamt wirklich besser als

die bestehenden Prozesse zur Polyol-Herstellung und wird am Ende tatsächlich CO₂ einspart? Antworten darauf suchen unabhängige Forscher der RWTH Aachen. Am Lehrstuhl für Technische Thermodynamik werden die einzelnen Schritte der Technologie genau untersucht. Im Rahmen einer Ökoeffizienzanalyse vergleichen die Wissenschaftler die gesamte neue Wertschöpfungskette mit den bereits existenten Verfahren. Eine äußerst komplexe Analyse, die noch einige Zeit dauern wird.

Aber erste Ergebnisse bestärken die Projektpartner bereits: „Unsere bis-

herigen Berechnungen deuten darauf hin, dass das neue Verfahren über den Lebenszyklus weniger Energie benötigt und damit auch weniger CO₂ ausstößt", sagt Professor André Bardow, Lehrstuhlinhaber für Technische Thermodynamik der RWTH Aachen. „Damit wäre das Verfahren ökologisch sinnvoller als die bestehenden Prozesse. Zudem sollte der geringere Energieverbrauch auch bedeuten, dass es wirtschaftlicher ist", so Bardow weiter.

Wind liefert grünen Strom für chemische Prozesse

Wissenschaft und Industrie verfolgen aber nicht nur diesen einen Strang. So arbeitet ein weiteres Konsortium unter Führung von Bayer daran, bei der Nutzung von CO₂ als Kohlenstoff-Lieferant gleichzeitig auf Energie zurückzugreifen, die aus regenerativen Quellen stammt. Das wäre ein doppelter Nachhaltigkeits-effekt.

Aber Strom aus Sonnenenergie und Windkraft steht aufgrund der natürlichen Gegebenheiten nicht gleichmäßig zur Verfügung. Weht der Wind beispielsweise stark, resultieren daraus Überschüsse im Energieangebot, die bislang nicht optimal genutzt werden. Um diese Stromspitzen aufzufangen, stehen jedoch vielerorts nicht genügend Spei-

Klimaschutz mit Nanoschaum

Polyurethane (PUR) tragen auch auf petrochemischer Basis schon jetzt zum Klimaschutz bei: Forscher von Bayer MaterialScience arbeiten aber an der Entwicklung von Polyurethan-Nanoschäumen, die in einigen Jahren die Wärmedämmung noch erheblich verbessern könnten. Die Wissenschaftler nutzen dabei sogenannte Mikroemulsionen, die unter speziellen Bedingungen zu PUR-Hartschäumen verarbeitet werden. Ziel ist es, Hartschäume mit Porengrößen von weniger als 150 Nanometern Durchmesser herzustellen. Die Nanoschäume würden aufgrund ihrer guten Wärmedämmeleistung zum Beispiel den Stromverbrauch von Kühlgeräten noch einmal deutlich reduzieren und so helfen, die CO₂-Emissionen zu senken (s. a. research 21, „Gedämmt und mobil im Klimawandel“).



Basisforschung: Um die Grundlagen der CO₂-Chemie genauer zu verstehen, kooperiert Bayer mit Wissenschaftlern wie Torren Carlson vom CAT Catalytic Center in Aachen, das die RWTH Aachen am Institut für Technische und Makromolekulare Chemie gemeinsam mit Bayer betreibt.

chermedien, wie beispielsweise Pumpspeicherkraftwerke, zur Verfügung.

Doch der Stromüberschuss könnte beispielsweise chemisch gespeichert werden. Diesen Ansatz verfolgt die Initiative CO₂RRECT (CO₂-Reaction using Regenerative Energies and Catalytic Technologies) unter Führung von Bayer Technology Services. Sie umfasst neben Bayer MaterialScience und RWE noch den Technologiekonzern Siemens sowie eine Reihe von namhaften wissenschaftlichen Institutionen. „Unser Ziel ist, die Stromspitzen zu nutzen, um aus Wasser per Elektrolyse den Energieträger Wasserstoff herzustellen“, erläutert Projektleiter Dr. Daniel Wichmann von Bayer Technology Services.

Wandel der Rohstoffbasis erfordert neue Ansätze

Der Wasserstoff kann dann zusammen mit CO₂ in Zwischenprodukte wie Ameisensäure oder Kohlenmonoxid (CO) umgewandelt werden. Aus CO lassen sich wiederum Isocyanate herstellen – neben den Polyolen die zweite Komponente zur Polyurethan-Produktion. Damit würde sich der Kreis schließen.

Doch das ist noch Zukunftsmusik. Das Ende 2010 angelaufene Forschungsprojekt – es wird ebenfalls mit Fördergeldern unterstützt – verläuft

vielversprechend. Aber an die technische Realisierung ist aus heutiger Sicht erst ab 2020 zu denken. Dennoch – die Welt braucht nicht nur mehr Klimaschutz. „Auch der generelle Wandel der Rohstoffbasis für die Chemieindustrie erfordert solche neuen Ansätze“, sagt Dr. Martina Peters, CO₂-Projektkoordinatorin bei Bayer Technology Services.

Bei CO₂RRECT und Dream Production sind allerdings nicht nur die Verfahren neu. Den Initiativen liegt auch ein verändertes Verhalten der Industrie zugrunde: Große Branchen wie Chemie und Energie rücken enger zusammen. „Wir haben erkannt, wie wichtig es ist, Synergien zu nutzen“, resümiert Gürtler. „Und das ist genau der richtige Weg!“



Video im Web: Neues Verfahren zur Kunststoffherstellung unter bayer.de/r006



www.research.bayer.de/co2
Weiterführende Informationen zum Thema CO₂ als Rohstoff

„Rohstoffe aus dem Kraftwerk“



CO₂ als Rohstoff der Zukunft: „research“ sprach mit Dr. Johannes Heithoff, Leiter Forschung und Entwicklung der RWE Power AG.

Welche Voraussetzungen für die CO₂-Nutzung sind in Kraftwerken erforderlich?

Im Kraftwerk selbst muss lediglich die CO₂-Rauchgaswäsche installiert werden. Hierzu benötigt man ausreichend große Flächen.

Was ist die technisch größte Herausforderung beim Projekt CO₂RRECT?

Die Entwicklung leistungsfähiger Elektrolysen zur Wasserstoffproduktion und die Entwicklung von Katalysatoren zur Umwandlung des abgetrennten CO₂ mit Wasserstoff in Kohlenwasserstoffe als chemische Energiespeicher. Denn der Strommarkt wird künftig geprägt sein von un stetiger Stromerzeugung in Windkraft- und Photovoltaikanlagen.

Werden die Energieversorger künftig zum Rohstofflieferanten für die Chemieindustrie?

Ja, wir Kraftwerksbetreiber verstehen uns auch als Rohstofflieferant für andere Industrien. CO₂ ist heute ein Abfallprodukt bei der Verbrennung von Gas, Öl oder Kohle. Wenn CO₂ in anderen Prozessen genutzt wird, ist die Vermeidung der Kosten für die Emissionsrechte ein Anreiz. Damit wird das CO₂ zu einem Wertstoff genauso wie heute schon der anfallende Gips aus der Rauchgasentschwefelung oder Kraftwerksasche, die im Straßenbau oder als Betonzusatzstoff genutzt wird.

Wie sehen die Stoffströme der Zukunft aus, damit Projekte wie Dream Production großtechnisch aufgebaut werden können?

Als CO₂-Lieferant für die chemische Industrie stehen wir am Anfang der Wertschöpfungskette zum Beispiel für die Kunststoffherstellung. Idealerweise sollte dann zur Minimierung des Transportaufwands für das CO₂ die Weiterverarbeitung in Kraftwerksnähe erfolgen. Hier könnte dann auch der zusätzliche Energiebedarf in Form von Prozesswärme und Strom direkt aus dem Kraftwerk zur Verfügung gestellt werden, was die Gesamteffizienz beispielsweise durch Kraft-Wärme-Kopplung noch steigern könnte.