

Treibstoff der Energie-
wende: Anlagen wie diese
von Evonik im nord-
rhein-westfälischen Marl
können mit überschüssigem
Strom aus Windkraft und
Fotovoltaik Wasserstoff
erzeugen. Daraus lassen
sich mit CO₂ synthetische
Kraftstoffe und Grundstoffe
wie etwa Methan für die
chemische Industrie produzieren.



VOM SCHADSTOFF ZUM ROHSTOFF

TEXT: KARL HÜBNER

Recycling ist bislang vor allem bei Papier und Plastik ein Thema, wiederverwerten lässt sich aber auch CO₂ – zum Beispiel als Methan, der Hauptbestandteil von Erdgas. Ein Team des Max-Planck-Instituts für Dynamik komplexer technischer Systeme in Magdeburg hat einen Prozess entwickelt, der die CO₂-Methanisierung auch großtechnisch ermöglicht. Das Verfahren könnte dazu beitragen, den Einsatz fossiler Rohstoffe zu reduzieren.

Es ist eine der ganz großen Aufgaben, die mit der Energiewende verbunden sind: Je weiter der Ausbau erneuerbarer Energien voranschreitet, desto mehr Überfluss wird es an grünem Strom geben, wenn ihn gerade niemand braucht. Dann ist es wichtig, diese Überschüsse speichern zu können. Dafür eignen sich zum Beispiel Batterieanlagen. Möglich ist jedoch auch, den Überschuss an Energie für die Synthese chemischer Substanzen zu nutzen, die dann selbst als Energieträger oder als Rohstoff dienen –

ein Konzept, welches auch als Power-to-X-Konzept bekannt ist. Mögliche Substanzen sind etwa Wasserstoff, Methanol und Ammoniak.

Auch Methan wäre ein sinnvoller Speicher für grüne Energie. Es könnte zum Beispiel fossiles Erdgas ersetzen, dessen Hauptbestandteil es ist. Methan lässt sich über die sogenannte Methanisierung von Kohlendioxid (CO₂) gewinnen, bei der Wasserstoff und CO₂ miteinander reagieren. Den dafür benötigten Wasserstoff könnte man gewinnen, indem mit dem überschüssigen grünen Strom Wasser elektrolysiert wird. Das Kohlendioxid wiederum könnte aus industriellen Abgasen, zum Beispiel von Zement-, Stahl- oder Kraftwerken, sowie aus Biogasanlagen stammen. So ließen sich das Treibhausgas recyceln und der weitere Anstieg der CO₂-Emissionen begrenzen. Das Methan, das auf diese Weise entsteht, könnte als Übergangslösung in Gaskraftwerken ein-

gesetzt werden, bis diese direkt mit Wasserstoff betrieben werden können. „Aus unserer Sicht wäre es besonders sinnvoll, das Methan als Rohstoff für die chemische Industrie einzusetzen, die daraus viele Produkte erzeugen könnte“, sagt Kai Sundmacher, Direktor der Abteilung Prozesstechnik am Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme. „Anders als die Energiewirtschaft kann man die chemische Industrie nicht komplett dekarbonisieren, da Kohlenstoff ein wesentlicher Bestandteil zum Beispiel der meisten Kunststoffe, Farben oder medizinischen Wirkstoffe ist. Aber auch die chemische Industrie muss ihre Produktion defossilisieren, das heißt, sie muss die fossilen Rohstoffe durch klimafreundliche Alternativen ersetzen.“

Ein Team um Kai Sundmacher hat einen Prozess für die Methanisierung von CO₂ entwickelt, der sich auch industriell umsetzen lassen könnte. Denn



großtechnische Anlagen für die Methanisierung, die erneuerbare Energie speichern, gibt es bislang noch nicht. Das liegt auch an den technischen Herausforderungen bei dem chemischen Prozess. So setzt die Reaktion von CO_2 und Wasserstoff viel Wärme frei, was die Temperatur in den Reaktoren stark ansteigen lässt. Sie darf aber nicht über 550 Grad Celsius klettern, weil sonst das als Katalysator verwendete Nickel deaktiviert würde und die Reaktion bald zum Erliegen käme.

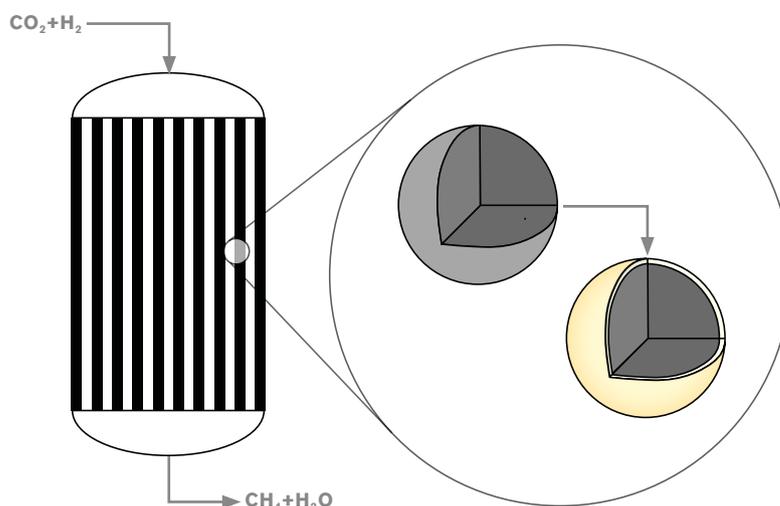
Es sind also Konzepte gefragt, bei denen die Erwärmung im Reaktor begrenzt wird. Zwar gibt es eine ganze Reihe technischer Ansätze, doch viele davon sind aufgrund eines hohen Aufwands unwirtschaftlich. Über die Größe einer Pilotanlage hinaus hat es bisher kein Verfahren geschafft. Das Magdeburger Team hat ein Konzept entwickelt, das ökonomisch interessante Ausbeuten an Methan liefert und den Temperaturanstieg trotzdem im Rahmen hält. Dabei haben die Forschenden die Idee sogenannter Kern-Schale-Katalysatorpellets weiterentwickelt. „Mit diesem Katalysatoraufbau aus einem katalytisch aktiven Kern und einer inaktiven Schale ist es möglich, die Reaktortemperatur zu begrenzen und so die Grundlage für eine großtechnische Methanisierung von Kohlendioxid zu schaffen“, erklärt Kai Sundmacher.

Der Clou: Porosität und Schalendicke

Der Clou an dem Kern-Schale-Ansatz ist die chemisch inerte, poröse Schale. Moleküle, die miteinander reagieren sollen, müssen zunächst diese Hülle durchdringen, um an die Nickel-Oberfläche zu gelangen, mit der der Kern beschichtet ist. Erst dort bildet sich das Methan. „Diese Diffusion der Reaktionspartner durch die Poren der Schale ist gerade das, was die Umsatzrate und damit auch einen möglicherweise zu starken Temperaturanstieg bremst“, erklärt Ronny Tobias Zimmermann, Chemieingenieur in Sundmachers Team. Mehr noch: Man

habe sogar in der Hand, durch die Eigenschaften der Schale – etwa den Durchmesser oder die Porosität – festzulegen, wie heiß der Reaktor maximal werden kann. „Je dicker die Schale, desto geringer die maximal mögliche Temperatur“, erklärt Zimmermann den Zusammenhang. Einfach weil bei einer dickeren Schale der längere Weg der einzelnen Moleküle zum Katalysator die Reaktion stärker bremst.

Die optimalen Eigenschaften und Maße des Kern-Schale-Katalysators und auch des Reaktors ermittelte das Magdeburger Team über Computersimulationen und anschließende Experimente. Es kristallisierte sich ein Ansatz heraus, bei dem man ein Bündel aus drei Meter langen, wenige Zentimeter dicken Röhren als Reaktor verwendet, die dann jeweils mit den kugelförmigen Kern-Schale-Katalysatorpellets gefüllt werden. Diese sind etwa drei Millimeter groß, wobei die Schale gerade einmal 0,1 Millimeter dünn ist, was etwa der doppelten Dicke eines menschlichen Haares entspricht. Für die Methanisierung leitet



Schutz vor Überhitzung: Katalysatorpellets aus einem aktiven Kern (grau) und einer inaktiven Schale (gelb) ermöglichen es, unter anderem über die Dicke der Schale, die Reaktionsrate und damit die Wärmeentwicklung zu kontrollieren. Auch der Reaktor ist mit Bündeln von Röhren, die wenige Zentimeter Durchmesser haben, so konzipiert, dass die Temperatur nicht zu stark steigt und der Katalysator keinen Schaden nimmt.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Kohlendioxid lässt sich mit Wasserstoff in Methan umwandeln, das als Rohstoff für die chemische Industrie dienen könnte. Bei den gängigen Verfahren wird dabei viel Wärme frei, was die CO_2 -Methanisierung im großtechnischen Maßstab erschwert.

Ein Magdeburger Team hat einen Prozess entwickelt, der auf Kern-Schale-Katalysatoren beruht und eine genaue Kontrolle der Temperatur ermöglicht.

Das Magdeburger Verfahren lässt sich lastflexibel betreiben, also mit schwankender Zufuhr der Ausgangsstoffe. Das ist industriell relevant, weil grüner Wasserstoff wegen des schwankenden Angebots an Strom aus erneuerbaren Quellen nicht immer in gleichen Mengen verfügbar ist.

man ein Gemisch aus Wasserstoff und Kohlendioxid durch die auf etwa 300 Grad Celsius temperierten Röhren. Das entstehende Methangas wird am anderen Ende der Röhren aufgefangen, gereinigt und kann dann zum Beispiel in Tanks oder in das bestehende Erdgasnetz eingespeist werden.

„Alles ist so konzipiert, dass der Reaktor nie heißer als etwa 480 Grad Celsius wird, egal wie viel Ausgangsmaterial wir zuführen“, erklärt Zimmermann. Zu einer Inaktivierung des Nickels kann es also nicht kommen, auch wenn wechselnde Mengen an Wasserstoff und CO₂ eingesetzt werden. Diese Flexibilität und diese Robustheit sind gerade im Hinblick auf den Einsatz erneuerbarer Energien wichtig, die mal mehr, mal weniger Strom liefern. Mit dem Stromangebot schwankt auch die Menge an Wasserstoff, die erzeugt wird und mit Kohlendioxid reagieren kann. Für die Prozesstechnik sind solche Schwankungen in der Menge der Reaktionspartner generell eine große Herausforderung. Lösungen, die mit den Schwankungen gut zurechtkommen, heißen lastflexibel. „Man kann das Problem natürlich umgehen, indem

man den Wasserstoff zwischenspeichert und dann konstant abrufft“, sagt Kai Sundmacher. „Allerdings sind solche Speicher sehr kostenintensiv.“ Daher sei eine lastflexible Lösung wie die jetzt entwickelte von großem Interesse. Mögliche Einsatzorte seines Reaktors für die Methangewinnung sieht das Magdeburger Team prinzipiell überall dort, wo Überschüsse an erneuerbarem Strom für den nötigen Wasserstoff sorgen können – bei Windparks ebenso wie bei größeren Fotovoltaikanlagen.

Kontakt mit Chemieunternehmen

Inzwischen haben die Magdeburger Forschenden das Kern-Schale-Konzept für die CO₂-Methanisierung auch im institutseigenen Technikum erprobt. Dort können sie Prozesse unter Bedingungen testen, die der großtechnischen Praxis nahe kommen. „Wir versuchen nun, den Prozess in die industrielle Anwendung zu bringen, und sind auch bereits in Kontakt mit Chemieunternehmen“, sagt Kai Sundmacher. Dabei kommen die

Kern-Schale-Katalysatoren nicht nur für die Synthese von Methan aus Kohlendioxid infrage. Denn es lassen sich aus dem Treibhausgas auch andere Substanzen wie Methanol gewinnen, die für die chemische Industrie relevant sind. Generell lasse sich das Konzept der maßgeschneiderten Kern-Schale-Katalysatoren auf alle Gasreaktionen übertragen, bei denen viel Wärme entsteht, erklärt Sundmacher. So auch für die Umsetzung von Wasserstoff mit Stickstoff zu Ammoniak. Aktuell ist das Magdeburger Institut auch an einem Strang des H2Mare-Projekts beteiligt. Darin geht es generell um die direkte Nutzung des Überschussstroms von Offshore-Windanlagen zur Wasserstoffherzeugung. Bei der möglichen Weiterverwendung des gewonnenen Wasserstoffs werden auch die Reaktoren mit Kern-Schale-Katalysatoren zur Bildung von Methan oder Ammoniak untersucht. Kai Sundmacher und sein Team sehen jedenfalls noch ein riesiges Potenzial für die Speicherung erneuerbaren Stroms in Chemikalien und Energieträgern. Limitierend sei derzeit vor allem die Menge an erneuerbarer Energie. Etwas, das sich aber in Zukunft ändern dürfte.

61

Pellets im Test: Ronny Tobias Zimmermann steuert Versuche, in denen er unterschiedliche Kern-Schale-Katalysatoren erprobt.



FOTO: NILS THOMAS / MPI FÜR DYNAMIK KOMPLEXER TECHNISCHER SYSTEME

GLOSSAR

CO₂-METHANISIERUNG heißt die Umwandlung von Kohlendioxid mit Wasserstoff in Methan.

DEFOSSILISIERUNG bezeichnet die Transformation weg von fossilen Rohstoffen wie Erdöl und Erdgas hin zu erneuerbaren Rohstoffen etwa aus Biomasse oder CO₂.

DEKARBONISIERUNG meint die Abkehr von kohlenstoffhaltigen Verbindungen als Energieträgern, da bei deren Verbrennung das Treibhausgas CO₂ frei wird.

KERN-SCHALE-KATALYSATOR heißt ein chemischer Reaktionsbeschleuniger, der aus einem aktiven Kern und einer porösen, inaktiven Schale besteht. Über die Dicke und die Porosität der Schale lässt sich die Wärmeentwicklung im Reaktor kontrollieren.