



Klimaschutz im Nanoschwamm

Recycling für Abgase: Die Forscher des Fritz-Haber-Instituts möchten das Kohlendioxid aus Kohlekraftwerken nicht länger in die Atmosphäre entweichen lassen, wo es den Treibhauseffekt verursacht. Sie wollen daraus Treibstoffe oder Grundstoffe für die chemische Industrie erzeugen.

Drei Probleme, eine Lösung. Das macht den besonderen Charme eines Forschungsprojekts aus, an dem **Malte Behrens** und **Robert Schlögl** am **Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft** in Berlin arbeiten. Die Chemiker möchten Kohlendioxid als chemischen Rohstoff einsetzen. Auf diese Weise wollen sie das Treibhausgas aus der Atmosphäre fernhalten, Kohle, Gas und Öl ersetzen und regenerative Energie speichern.

TEXT **PETER HERGERSBERG**

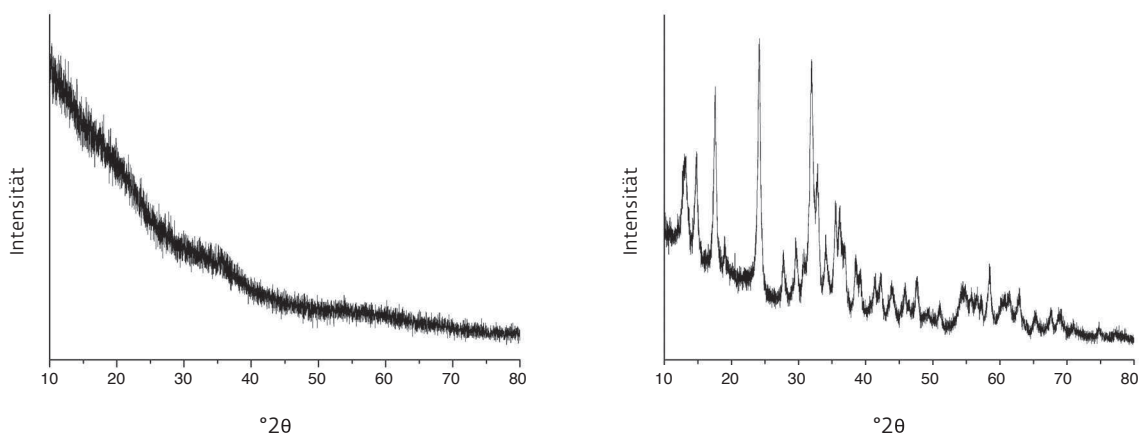
Dieser Abfall ist unsichtbar und in gewöhnlichen Konzentrationen völlig ungiftig, er stinkt nicht und zieht kein Ungeziefer an. Trotzdem handelt es sich um einen ziemlich üblen Müll, mit dem sich die Menschheit rumschlagen muss: Kohlendioxid. Mit knapp 35 Milliarden zusätzlichen Tonnen des Treibhausgases heizen Industrie, Verkehr und private Haushalte jährlich dem Klima ein. Das Gas in unterirdischen Lagerstätten zu entsorgen ist eine mögliche, aber recht umstrittene Lösung für das Problem. Besser wäre es, den Abfall, der vor allem bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entsteht, wiederzuverwerten.

Malte Behrens und Robert Schlögl möchten mit ihren Mitarbeitern am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin jedenfalls dazu beitragen, aus dem farb- und geruchlosen Gas Brennstoffe oder Rohstoffe für die chemische Industrie zu erzeugen: Methanol oder Kohlenmonoxid. Andere Forschergruppen arbeiten daran, das Treibhausgas in Methan oder Ameisensäure zu verwandeln. Egal, welche Substanz am Ende entstehen soll: Aus chemischer Sicht ist Kohlendioxid als Ausgangsstoff alles andere als optimal, weil es sich ziemlich träge verhält – nicht umsonst erstickt es als Löschmittel Brände.

Das Gas chemisch zu aktivieren ist auch Ziel eines Projekts, das den programmatischen Namen CO2RRECT trägt und an dem sich die Berliner Forscher beteiligen. Die Abkürzung steht für CO₂-Reaction using Regenerative Energies and Catalytic Technologies, zu Deutsch: CO₂-Reaktion mit regenerativen Energien und Katalysertechnik. An dem vom Bundesforschungsministerium geförderten Projekt arbeiten vier große Industriepartner und zehn Einrichtungen der akademischen Forschung mit, darunter auch das Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme in Magdeburg.

METHANOL ALS SPEICHER ERNEUERBARER ENERGIE

Kohlendioxid als Rohstoff zu nutzen würde nicht nur dem Klima helfen, sondern könnte auch dazu beitragen, fossile Rohstoffe zu ersetzen. Zudem könnte das Treibhausgas auf diese Weise zum chemischen Energiespeicher avancieren und die Energiewende antreiben: „Wenn wir das Speicherproblem nicht lösen, können wir nicht auf regenerative Energie umsteigen“, sagt Robert Schlögl, Direktor am Fritz-Haber-Institut. Denn das Stromangebot von Windrädern und Solarpanelen schwankt mit dem Wind und der Sonne, dem Bedarf dürfte es eher selten entsprechen. >



Nehmen erst im Alter Form an: Die Nanopartikel in der Vorstufe des Katalysators weisen zunächst keine geordnete Struktur auf, sie liegen amorph vor. Beim Altern bilden sich Kristalle. Im Spektrum der Röntgenbeugung ist das deutlich zu erkennen. Die amorphe Struktur liefert keine Signale. Die kristalline Struktur ergibt für einige Streuwinkel (2θ) dagegen scharfe Peaks.

Kraftwerke, die fossile Energieträger in Elektrizität verwandeln, lassen sich auf die Nachfrage einstellen; Wind- und Sonnenenergie müssen für Zeiten hoher Nachfrage gespeichert werden. Wasserstoff ist dafür ein Kandidat, weil er sich elektrolytisch aus Wasser gewinnen lässt. Das Gas hat aber einige Nachteile. Es explodiert nicht nur leicht, sondern ist auch so flüchtig, dass es sich nie ganz verlustfrei handhaben lässt.

Deshalb muss es zum Transport und zur Lagerung aufwendig verdichtet und gekühlt oder chemisch gespeichert werden. Methanol verhält sich deutlich zäher und lässt sich in Tanks leicht von A nach B verfrachten. Außerdem kann der Alkohol seine Qualitäten als Energieträger sowohl in Brennstoffzellen als auch in Verbrennungsmotoren ausspielen – schon heute fließt aus Methanol produzierter Sprit durch manche Tanksäulen.

Dass der Schritt über Methanol für die Energieversorgung sinnvoll sein kann, haben Forscher um Liisa Rihko-Struckmann und Kai Sundmacher am Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme in Rechnungen festgestellt. Egal in welchem der beiden Stoffe die Energie von Sonne oder Wind gespeichert wird, am meisten nutzbare Energie geht bei der elektrolytischen Produktion des Wasserstoffs verloren. Und dieser wird auch für die Methanolsynthese gebraucht.

Wie immer, wenn chemisch gespeicherte Energie Arbeit leistet, entsteht

zudem recht viel Wärme, wenn Wasserstoff oder Methanol eine Brennstoffzelle oder einen Motor antreibt. Unterm Strich könnte Methanol als Zwischenstation für regenerative Energie jedoch besser abschneiden als Wasserstoff. „Denn Energie in Wasserstoff zu speichern ist bei Weitem schwieriger und teurer“, sagt Liisa Rihko-Struckmann.

Auch ein Kohlendioxidrecycling in Form von Kohlenmonoxid hält die Magdeburger Forscherin für sinnvoll. Das Gas ist zwar giftig und auch nicht gerade einfach zu transportieren. Mit Methanol teilt es aber den Vorzug, dass die chemische Industrie viel damit anfangen kann. Denn damit lassen sich leicht komplexere chemische Verbindungen aufbauen, unter anderem etwa synthetische Kraftstoffe.

DAS ZIEL: METHANOLSYNTHESE MIT REINEM KOHLENDIOXID

Tatsächlich wandelt die Industrie Kohlendioxid bereits in großem Stil in Methanol um. In weltweit rund 90 Fabriken produziert sie auf diese Weise von dem Alkohol schon heute fast 50 Millionen Tonnen pro Jahr. Dennoch beschäftigen die Berliner Grundlagenforscher sich gerade mit der Methanolsynthese intensiv. Sie wollen herausfinden, ob mit dem etablierten Prozess tatsächlich das Maximum an Effizienz erreicht ist. Und sie wollen das Verfahren für Kohlendioxid aus Verbrennungsabgasen optimieren.

Bisher verwendet die Industrie für die Methanolsynthese kein Kohlendioxid, wie es Kohlekraftwerke durch ihre Schornsteine blasen. Sie arbeitet vielmehr mit einem Gasgemisch, das meist eigens aus Erdgas oder Kohle hergestellt wird und neben Wasserstoff und Kohlendioxid auch eine erkleckliche Menge Kohlenmonoxid enthält. Reines Kohlendioxid etwa aus Kohlekraftwerken lässt sich in den etablierten Prozessen nicht sonderlich effizient in Methanol verwandeln. Das liegt vor allem an dem Katalysator, der das Kohlendioxid mit dem Wasserstoff verheiratet. Und genau für diese chemischen Partnervermittler, ohne die in der chemischen Industrie nicht viel läuft, sind Malte Behrens und Robert Schlögl Experten.

„Wir suchen den optimalen Katalysator, um reines Kohlendioxid in Methanol zu verwandeln“, sagt Malte Behrens. „Dabei verfolgen wir einen wissensbasierten Ansatz.“ Das heißt, die Berliner Chemiker wollen erst einmal verstehen, warum die Mischung aus Kupfer, Zinkoxid und einer kleinen Dosis Aluminiumoxid, die heute den Kohlendioxid-Kohlenmonoxid-Mix umsetzt, so gut funktioniert. In Versuch und Irrtum hat sich diese Rezeptur als besonders wirksam erwiesen. Aber nur, wenn sie nach einer genau festgelegten Prozedur zubereitet wird. Warum diese so strikt einzuhalten ist, erforschen die Max-Planck-Wissenschaftler ebenfalls.

Auf der Basis dieser Erkenntnisse suchen Malte Behrens und Robert Schlögl dann planvoll nach chemischen Kuppelern, die eine Reaktion wie etwa die Methanolsynthese optimal vermitteln. „Als Exempel haben wir uns bewusst einen etablierten Industrieprozess ausgesucht, um zu zeigen, dass unser Ansatz erfolgreich ist“, erklärt Robert Schlögl. Ein ehrgeiziges Ziel, denn natürlich hat auch die chemische Industrie schon viel versucht, um den Katalysator für die Methanolsynthese effizienter zu machen.

MODELLSYSTEME VEREINFACHEN KATALYSATOREN ZU STARK

Doch die Forscher und Entwickler in den Industrielaboren haben nicht das probiert, was sich die Berliner Wissenschaftler vorgenommen haben: „Wir sind überzeugt, dass man Katalysatoren in ihrer gesamten Komplexität untersuchen muss“, sagt Schlögl. So haben Chemiker den Kupfer-Zinkoxid-Katalysator bisher in einfachen Modellsystemen studiert, etwa in Form genau abgemessener Kupferinseln auf einer völlig ebenen Zinkoxid-Oberfläche. Der Katalysator, so wie er in Industriereaktoren seine chemischen Kupplerdienste leistet, hat mit diesem idealisierten Modell wenig zu tun. Denn in der industriellen Wirklichkeit präsentiert sich der Reaktionsbeschleuniger als schwammartiges Konglomerat unzähliger, gerade einmal zehn Nanometer (millionstel Millimeter) großer Kügelchen, die mal aus Kupfer und mal aus Zinkoxid mit einer kleinen Menge Aluminiumoxid bestehen.

Stand des Wissens war bis vor einigen Jahren, dass die eigentliche Reaktion ausschließlich am Kupfer stattfindet. Zudem gingen die Chemiker lange Zeit davon aus, dass sie dem Kupfer nur eine große Oberfläche zu geben brauchen, um seine Aktivität zu erhöhen – ein Schwamm aus unzähligen Nanokügelchen schien da genau recht. Dem Zinkoxid dachten die Lehrbücher lange vor allem die Rolle eines Abstandhalters zu, der verhindert, dass die Kupferpartikel sich im hitzigen Reaktionsgeschehen zu größeren Kugeln mit vergleichsweise kleiner Oberfläche zusammenziehen. >



Der erste Schritt zum Katalysator ist der wichtigste: Julia Neuendorf und Malte Behrens kontrollieren, wie sich in dem halbautomatischen Fällungsreaktor ein Gemisch aus Kupfer-, Zink-, und Aluminiumsalzen abscheidet – die Vorstufe zum Katalysator der Methanolsynthese (oben). Welche Struktur die verschiedenen Zwischenprodukte und das Endergebnis der Katalysatorherstellung bilden, analysiert Stefan Zander mithilfe der Röntgenbeugung (unten).



Wie gut arbeitet der Katalysator? Nygil Thomas testet die Aktivität der Reaktionsbeschleuniger, indem er die Ausgangsstoffe unter genau kontrollierten Bedingungen an ihnen zusammenführt und die Produkte analysiert.

„Doch seit einiger Zeit ist klar, dass Zinkoxid mehr leistet“, erklärt Malte Behrens. „Denn andere Kupfersysteme mit ähnlicher Struktur sind katalytisch kaum aktiv.“ Es kommt also nicht nur auf eine große Oberfläche an. Unklar ist bisher auch noch die Rolle des Aluminiumoxids. Die Fachliteratur apostrophiert es als Promotor, was in diesem Fall so viel heißt wie: Es hilft, wir wissen aber nicht genau, warum.

Um herauszufinden, warum Zink den feinen Unterschied zu anderen Metallen macht, was außer einer großen Oberfläche die Qualität eines Katalysators beeinflusst und welchen Part der Promotor übernimmt, testen Malte Behrens und seine Kollegen viele Katalysatorkandidaten. Mal unterscheiden sich die Materialmischungen in einer ihrer Komponenten, mal in einem Detail ihres Präparationsprozesses. Denn in dieser Prozedur liegt das Geheimnis der Katalysatorforschung – im doppelten Sinn: „Viele Chemiker halten die Herstellung industriell relevanter Feststoffkatalysatoren für schwarze Magie“, sagt Behrens, der angetreten ist, das Mysterium zu entzaubern.

Wie sein Team dabei vorgeht, zeigt der Chemiker zunächst in einem Labor, in dem Julia Neuendorf bereits einen Versuch vorbereitet hat. Auf dem Laborisch steht eine Apparatur, an der ein geschlossenes Glasgefäß in Augenhöhe sofort auffällt. In diesem Bottich, der gut eine halbe Armlänge hoch ist und sich mit zwei Händen nicht ganz umfassen lässt, hält ein Rührer eine geringe Menge Wasser in Schwung. Darin wird der Precursor, die Vorstufe eines Katalysators, entstehen – eine fein verteilte Mischung aus Kupfer- und Zinkcarbonat.

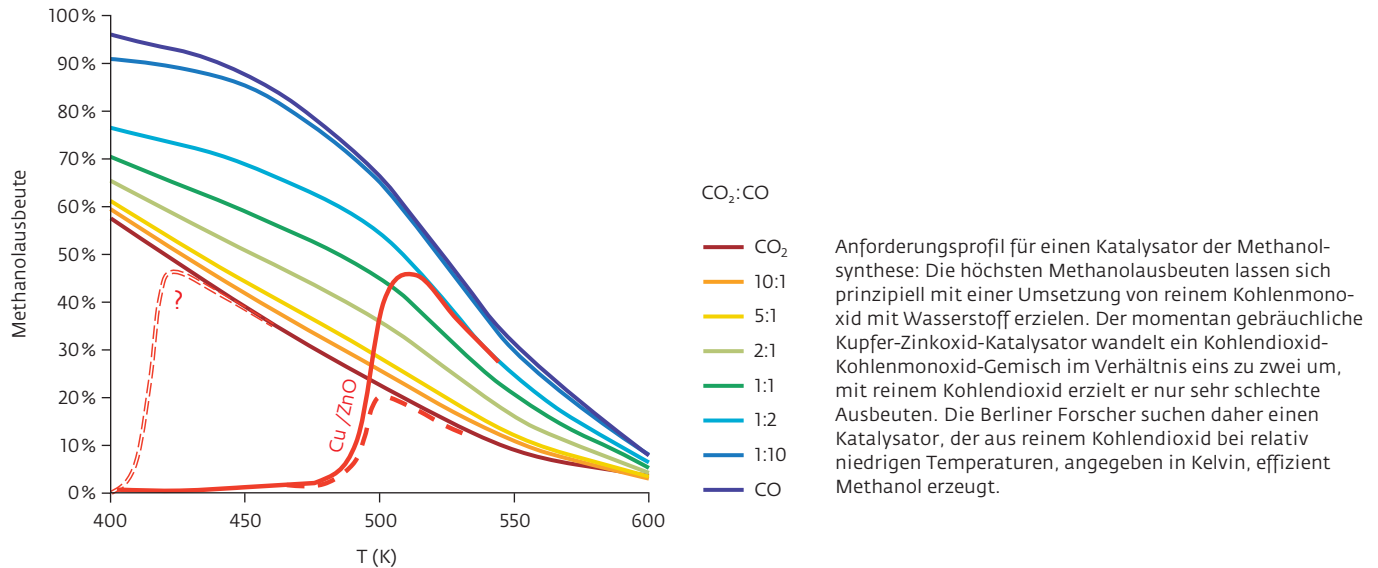
DER KATALYSATOR BESITZT EIN CHEMISCHES GEDÄCHTNIS

Über verschiedene Sonden und Schläuche kontrolliert ein Computer die Temperatur, die Leitfähigkeit und die Trübe des Reaktorinhalts. „Am wichtigsten ist aber der pH-Wert“, sagt Julia Neuendorf. „Den müssen wir für jeden Precursor optimieren.“ Denn vor allem der pH-Wert, aber auch die Temperatur beeinflusst, in welcher Verteilung sich die Bestandteile der Katalysatorvorstufe aus der Lösung abscheiden und welche

Form ihre winzigen Kristalle annehmen – und bestimmt damit auch das Erscheinungsbild des fertigen Katalysators. „Wir haben festgestellt, dass der Katalysator ein chemisches Gedächtnis besitzt“, sagt Malte Behrens. „Daher kommt es sehr darauf an, schon den Precursor gut zu verstehen.“

Daher behält Julia Neuendorf auf einem Bildschirm alle Messgrößen im Blick, die Aufschluss über das Geschehen im halbautomatischen Fällungsreaktor geben; ein paar farbige, horizontale Linien signalisieren zunächst die Ruhe vor dem Experiment. Nach einem Tastenbefehl der Doktorandin fällt eine der Kurven schnell in die Tiefe: Eine blaue Lösung tropft in den Reaktor, und der pH-Wert gleitet in den sauren Bereich. Sofort veranlasst der Computer die Zugabe von basischem Natriumcarbonat und fängt die pH-Kurve rasch wieder ein. Dabei trübt sich die Lösung mit einem grünblauen Feststoff, einer Mischung aus Kupfer- und Zinkcarbonat.

Sobald das Reaktorgefäß vollständig gefüllt ist, wird Neuendorf die Vorstufe abfiltrieren, trocknen, heizen und dann mit Wasserstoff reagieren lassen. Beim



Heizen entstehen Kupfer- und Zinkoxid, der Wasserstoff befreit das Kupfer vom Sauerstoff. Am Ende dann wird der Katalysator seine malachitgrüne Farbe gegen ein unauffälliges Schwarz getauscht haben. Luft bekommt ihm nun gar nicht mehr, weil das fein verteilte Kupfer sofort mit Sauerstoff reagieren würde. Aus diesem Grund halten die Berliner Chemiker ihn sorgfältig von der Luft fern, während sie ihn mit allen Mitteln moderner Katalysatorforschung untersuchen.

Zu diesem Zweck macht der Katalysator Station im Labor Stefan Zanders, der das Material durch verschiedene Instrumente schleust. Mithilfe der Röntgenbeugung bestimmt Zander die Kristallstruktur der Nanopartikel und kann damit sogar verfolgen, wie diese sich verändert, während der Reaktionsbeschleuniger seine Arbeit verrichtet. Die chemische Zusammensetzung analysiert der Forscher mithilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse.

Und um die Oberfläche des fein granulierten Kupfers auszumessen, hält Zanders Gerätepark etwas besonders Raffiniertes bereit: die reaktive Frontalchromatografie. Bei dieser Untersuchung strömt Distickstoffoxid, besser bekannt als Lachgas, durch den porösen Katalysator. „Lachgas ist ein mildes Oxidationsmittel, das auf der Kupferoberfläche genau eine geschlossene Lage Sauerstoff ablädt“, erklärt Stefan Zander.

„Den Stickstoff, der dabei übrig bleibt, fangen wir auf.“ Aus seiner Menge ermittelt Zander, wie viel Sauerstoff auf dem Kupfer Platz gefunden hat und wie groß mithin dessen Oberfläche ist.

DER BLICK AUF EINZELNE ATOME LÜFTET DAS GEHEIMNIS

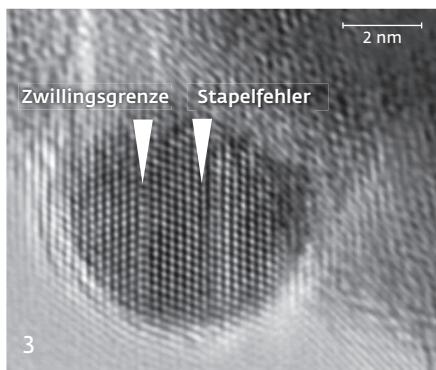
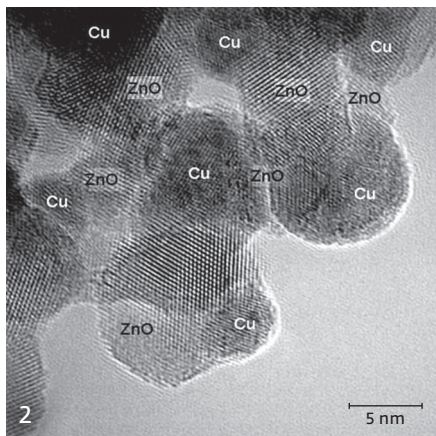
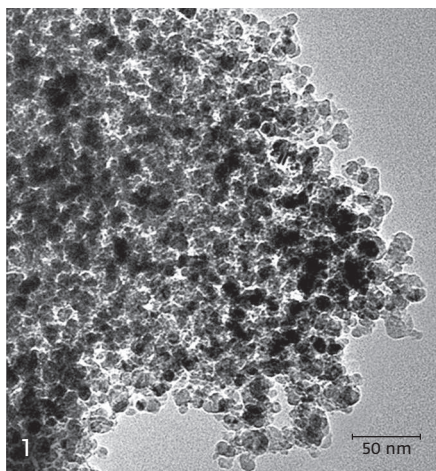
Seine eigentliche Bewährungsprobe steht dem Katalysator aber dort bevor, wo Edward Kunkes und Nygil Thomas arbeiten. Die Chemiker testen den Katalysator bei einer Temperatur und einem Druck, wie sie das Material auch in der Industrie erleben würde. Sie leiten Kohlendioxid und Wasserstoff über den Reaktionsbeschleuniger und analysieren mit einem Gaschromatografen, was hinten rauskommt.

Diese Tests durchlaufen die Katalysatoren, die das Team von Malte Behrens untersucht, am Fritz-Haber-Institut routinemäßig. Erst ein besonders genauer Blick auf den Katalysator offenbarte Malte Behrens und seinen internationalen Kollegen allerdings, warum die Kombination aus Kupfer, Zink- und Aluminiumoxid sowie ihr bewährter Herstellungsprozess besser funktioniert als alle bisher erforschten Alternativen: Auf den Bildern eines hochauflösenden Transmissionselektronenmikroskops machten die Forscher in einem kleinen Ausschnitt des Kugelkonglomerats einzelne Kupfer- und Zinkatome aus.

In der atomaren Struktur erkannten die Forscher zum einen, dass der Katalysator erst mit Fehlern einwandfrei arbeitet. Kleine Unregelmäßigkeiten im Kristallgitter der Kupferpartikel äußern sich auf ihrer Oberfläche als Knicke, Täler und Spitzen. Genau an diese Defekte binden die Reaktionspartner und die Zwischenprodukte der Methanolsynthese besonders gut, wie Chemiker der Universität Stanford berechneten, die an dem Team beteiligt waren.

Der Blick auf die einzelnen Atome des Kupfer-Zinkoxid-Schwamms bestätigte zum anderen eine Vermutung, die in wissenschaftlichen Veröffentlichungen zur Methanolsynthese schon immer wieder mal geäußert wurde: Das Zinkoxid findet sich nicht nur in Nanopartikeln, welche die Kupferteilchen voneinander trennen; es kriecht auch über einen Teil des Kupfers und bildet dort eine Schicht von wenigen ungeordneten Atomlagen. Einzelne Zinkatome mogeln sich wahrscheinlich sogar in das Kupfergitter.

„Wie die Rechnungen unserer Kollegen von der Stanford University ergeben haben, binden die sauerstoffhaltigen Zwischenprodukte der Reaktion an den Zinkatomen besser als an den Kupferatomen“, sagt Malte Behrens. Wenn der Katalysator den Zwischenprodukten besseren Halt bietet, entstehen diese auch leichter. Dann arbeitet der Reaktionsbeschleuniger insgesamt



Zoom in den Nanoschwamm: Den bewährten Katalysator der Methanolsynthese bilden unzählige Partikel, die teils aus Kupfer und teils aus Zinkoxid mit einem kleinen Anteil Aluminiumoxid bestehen (1). Im hochauflösenden Transmissionselektronenmikroskop lassen sich die Kupfer- und Zinkoxidteilchen unterscheiden (2). Ein Blick auf die Anordnung der einzelnen Atome in einem Teilchen offenbart Stapelfehler und Zwillingsgrenzen (3). Diese Fehler in der Kristallstruktur machen sich auch an der Oberfläche der Partikel bemerkbar und erhöhen die Aktivität des Katalysators.

besser, weil er vor allem die instabilen chemischen Gebilde erzeugen soll, an denen kein Weg vom Ausgangsstoff zum Produkt vorbeiführt.

„Wir vermuten daher, dass die aktiven Stellen des Katalysators dort liegen, wo das Zinkoxid und die Defekte im Kupfer aufeinandertreffen.“ Auch auf die Rolle des Aluminiums geben die Erkenntnisse der Forscher einen Hinweis. Wahrscheinlich werden die dreifach geladenen Aluminiumionen in das Gitter des zweifach geladenen Zinks eingebaut und verändern dessen elektronische Eigenschaften, sodass sich die dünne Zinkoxidschicht leichter über die Kupferpartikel legt.

Da die Forscher nun den genauen Ort kennen, an dem Kohlendioxid und Wasserstoff ihre Verbindung eingehen, können sie auch erklären, warum nur der industriell etablierte Herstellungsweg einen brauchbaren Katalysator liefert. Denn nur unter den dort bewährten Bedingungen von Temperatur und pH-Wert bildet sich eine Vorstufe des Katalysators, aus der nach der weiteren Behandlung Kupferkriställchen mit kleinen Mängeln und einem dünnen Zinkoxidüberzug entstehen.

„Das bewährte Kupfer-Zinkoxid-System lässt sich auf Basis unserer Daten wahrscheinlich noch etwas weiter optimieren“, sagt Malte Behrens. „Deutlich bessere Katalysatoren für die Methanolsynthese aus reinem Kohlendioxid können wir aber meiner Meinung nach eher unter neuen Materialkombinationen und neuen Synthesansätzen finden.“ Seit die Berliner Wissenschaftler das Geheimnis des derzeit tüchtigsten Reaktionsbeschleunigers aufgedeckt haben, wissen sie, worauf sie bei ihrer Suche achten müssen.

Wenn auch bei dem gebräuchlichen Kupfer-Zinkoxid-System nicht viel zu machen ist, so lässt sich doch dessen Herstellungsprozess verbessern – zumindest mit Blick auf seine Nachhaltigkeit. Bei dem industriell praktizierten Verfahren fallen große Mengen Nitratlauge an, die entweder die Gewässer überdüngen oder aufwendig aufgearbeitet werden müssen. „Wir haben in unseren Experimenten mit verschiedenen Vorstufen aber festgestellt, dass wir das Nitrat durch ökologisch unbedenkliche Salze der Ameisensäure ersetzen können“, sagt Behrens. „Auf diese Weise erhalten wir in einem umweltschonenden Prozess einen Katalysator, der genauso strukturiert und effizient ist wie der aus Nitratlösung entstandene.“

KOHLLENMONOXID-PRODUKTION OHNE EDELMETALL

Weiter geht ein Verbesserungsvorschlag der Chemiker für den Katalysator, der träges Kohlendioxid in aktives Kohlenmonoxid umwandelt. Dafür präsentierte Malte Behrens kürzlich eine Materialkombination aus Nickel sowie Magnesium- und Aluminiumoxid. Zuvor hatte seine Gruppe die in der Industrie gebräuchlichen Katalysatoren detailliert analysiert. Diese spielen ihre chemische Vermittlerrolle recht ordentlich – aber nur dank einer Edelmetallkomponente wie Rhodium oder Platin.

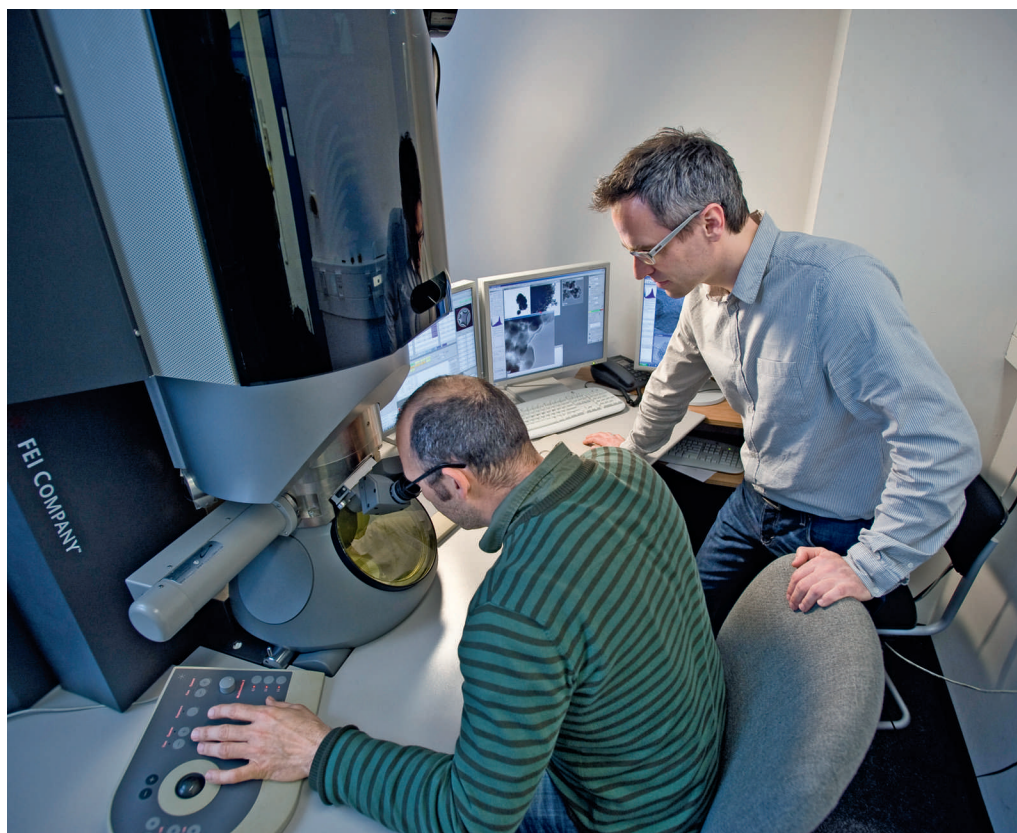
Das Material aus den Berliner Laboren kommt nicht nur ohne teures Edelmetall aus, mit ihm lässt sich Kohlenmonoxid möglicherweise auch effizienter produzieren. Denn es behält seine Nanostruktur auch noch bei 1000 Grad und könnte daher bei großer Hitze arbeiten. Das käme der Effizienz zugute, weil aus Kohlendioxid und Wasserstoff umso mehr Kohlenmonoxid entsteht, je höher die Temperatur im Reaktor steigt. Die Tests, wie gut der Katalysator auf Nickelbasis unter Hochtemperaturbedingungen ar-

beitet, laufen derzeit noch. Sollte der Katalysator sich bewähren, könnte er die Edelsonkurrenz bald ersetzen.

So vielversprechend diese Arbeit ist: Die Katalysatoren, an denen Kohlendioxid in brauchbare Verbindungen umgewandelt wird, stellen nur ein Problem des Treibhausgasrecyclings dar. Großen Herausforderungen begegnen auch die Forscher, die sich mit der elektrolytischen Produktion von Wasserstoff abmühen. Sie liefert quasi den Treibstoff für die Umwandlung von Kohlendioxid, funktioniert mit zufriedenstellender Effizienz jedoch nur an teuren Iridium- oder Rutheniumdioxid-Elektroden.

Als Katalysator für die Wasserspaltung im großen Stil und somit für das Szenario, das die CO2RECT-Partner avisieren, taugen die teuren Edelmetallverbindungen nicht. An diesem Problem arbeitet die Gruppe von Malte Behrens ebenfalls – und wartet auch schon mit einer möglichen Lösung auf: Wie die Forscher festgestellt haben, bietet ein deutlich billigeres Kompositmaterial aus Manganoxid und Kohlenstoffnanoröhrchen eine Alternative zu den herkömmlichen Elektroden.

Nach solch preiswerterem Ersatz möchte Robert Schlögl im Max-Planck-Institut für chemische Energieumwandlung suchen, das in Mülheim an der Ruhr aus dem Max-Planck-Institut für bioorganische Chemie entstehen soll. Dort wollen Forscher grundsätzliche Schwierigkeiten beseitigen, die bei der Umwandlung von regenerativer Energie in speicherbare Formen wie Methanol oder nutzbare Formen wie Strom auftreten. Das geht nur mit der Erfahrung, die Robert Schlögl in der Katalyseforschung gesammelt hat. Denn für den Chemiker steht fest: „Die Probleme der Energieumwandlung und -speicherung sind Katalysatorprobleme.“ ◀



Einen Blick auf die einzelnen Atome des Kupfer-Zink-Katalysators ermöglichte den Max-Planck-Forschern Malte Behrens (rechts) und Mark Willinger ein hochauflösendes Transmissions-elektronenmikroskop. Mit seiner Hilfe erkannten die Wissenschaftler Defekte in der Kupferstruktur und eine dünne Schicht Zinkoxid auf den Kupfernanopartikeln.

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Katalysatoren wandeln das Treibhausgas Kohlendioxid in Methanol oder in Kohlenmonoxid um, die als Grundstoffe für die chemische Industrie oder flüssige Treibstoffe dienen.
- Mit der chemischen Nutzung von Kohlendioxid ist es möglich, das Klima zu schützen, Energie aus Wind und Sonne zu speichern und Ersatz für fossile Rohstoffe zu schaffen.
- Die Vorstufe eines Katalysators entscheidet wesentlich über dessen Eigenschaften und katalytische Aktivität.
- Das genaue Verständnis der Katalysatorpräparation und der katalytischen Prozesse ermöglicht eine umweltschonendere Herstellung des Katalysators für die Methanolsynthese und einen Katalysator ohne Edelmetall für die Kohlenmonoxidherzeugung.

GLOSSAR

Halbautomatischer Fällungsreaktor: Steuert über automatische Rückkopplungsschleifen die Bedingungen, vor allem die Temperatur und den pH-Wert, unter denen Salze aus einer Lösung abgeschieden werden.

pH-Wert: Ein negativer Logarithmus der Konzentration an Oxoniumionen (protonierte Wassermoleküle) in einer Lösung. Gibt Auskunft darüber, ob eine Lösung sauer oder basisch ist.

Precursor: Vorstufe eines Katalysators, die bei der Fällung von Metallsalzen aus einer Lösung entsteht. Aus ihr wird über verschiedene Zwischenschritte, unter anderem Alterung und Umkristallisation, der Katalysator erzeugt.