

# Aus Wasser werde Licht

Die Energieprobleme der Welt lösen: Das haben sich die Zürcher Chemiker Roger Alberto und Greta Patzke vorgenommen. Den Anfang macht ein kleiner Glaszylinder mit gefärbtem Wasser. Von Theo von Däniken

Sieht so die Lösung des globalen Energieproblems aus? Ein enger, fensterloser Raum, auf dem Tisch eine unspektakuläre Apparatur: In einem kleinen Glaszylinder, kaum grösser als ein Filmdöschen, blubbert unter rötlichem Licht eine Flüssigkeit vor sich hin. Die Bläschen bestehen aus Wasserstoff, den ein Katalysator mit Hilfe von Licht aus Wasser erzeugt. Das unscheinbare Experiment ist ein kleiner Schritt auf dem Weg zum grossen Ziel: Lichtenergie in chemischen Verbindungen zu speichern und dadurch nutzbar zu machen.

«Bei uns sind die Experimente nicht so spektakulär wie in der Physik», erklärt Roger Alberto, Professor für Anorganische Chemie an der Universität Zürich. Vergleicht man die Versuchsanordnung in Albertos Labor mit den gewaltigen

«Denn», so erklärt Greta Patzke, Professorin für Anorganische Chemie an der UZH, «viele Entdeckungen in der Chemie beruhen auf reiner Serendipity.» Also auf Ergebnissen, die sich unerwartet und durch zufällige glückliche Fügung ergeben. Eines der bekanntesten Beispiele dafür ist etwa das Penicillin, das der spätere Nobelpreisträger Alexander Fleming auf einem in den Ferien verschimmelten Nährboden einer Bakterienkultur entdeckte.

Die Kunst des guten Experimentators bestehe darin, das unerwartete Ergebnis nicht als Misserfolg zu werten und wegzuerwerfen, sondern es genau anzuschauen, um zu verstehen, was dazu geführt hat. So landete beispielsweise das «schmierige Zeug», das sich bei einem Experiment

Ihr Ziel ist ganz unbescheiden: Nichts weniger als die künstliche Photosynthese wollen sie entwickeln. Dabei treibt sie nicht nur die wissenschaftliche Neugier an, einen der elementarsten Prozesse des Lebens auf der Erde zu verstehen und wissenschaftlich zu durchdringen. Ebenso motiviert sie die Aussicht, damit einen Beitrag zur Lösung des immer dringender werdenden Energieproblems der Menschheit zu leisten. Im nächsten Jahr wird dazu der Universitäre Forschungsschwerpunkt (UFSP) «Von Sonnenlicht zu chemischer Energie» lanciert, der Spezialistinnen und Spezialisten aus verschiedenen Bereichen der Chemie sowie der Physik zusammenbringt.

Die Forscher wollen aber nicht einfach die natürliche Photosynthese eins zu eins nachbauen. Das wäre viel zu schwierig. «Denn die daran beteiligten Proteine sind riesig und unglaublich komplex», erklärt Alberto. «Wir begnügen uns mit Wasserstoff, dem einfachsten Molekül, das es überhaupt gibt.» Das Zauberwort lautet «scale down»: Das heisst, der komplexe biologische Prozess soll so weit vereinfacht werden, dass er im Labor mit einfachen Molekülen aus leicht verfügbaren Materialien nachgebaut werden kann. «Wir kopieren nicht den Prozess, sondern nur das Konzept», so Alberto. Konkret bedeutet das: Wasser mit Hilfe von Sonnenlicht in Sauerstoff und Wasserstoff aufzuspalten. Als Energieträger kann Wasserstoff einerseits mit elektrischer Energie konkurrieren. Andererseits kann man damit einfach und in grossen Mengen Methanol erzeugen, das wie Benzin als Treibstoff verwendet werden kann. Auf diese Weise könnte man die bestehenden Technologien weiter nutzen.

## Besser als die natürliche Photosynthese

Doch die künstliche Photosynthese muss nicht nur sehr viel weniger komplex sein als ihr natürliches Vorbild, der Prozess sollte verbessert werden. «Die natürliche Photosynthese», erklärt Patzke, «nutzt bei weitem nicht alles einfallende Sonnenlicht. Die Pflanzen gleichen das einfach mit einer grossen Fläche aus.» Soll die künstliche Photosynthese aber dereinst wirklich einen Beitrag zur Energie-

---

*«Wir kopieren das Konzept der natürlichen Photosynthese, um Wasser mit Hilfe von Sonnenlicht in Wasser- und Sauerstoff aufzuspalten.» Roger Alberto, Chemiker*

---

Maschinerien, die die Teilchen- oder Astrophysiker für ihre Forschung ersinnen, so nimmt sie sich tatsächlich sehr unscheinbar aus. «Wir versuchen einen Einblick in die molekulare Welt zu erhalten, zu verstehen, wie Moleküle miteinander reagieren. Dazu braucht es in der Regel keine grossen Maschinen», sagt Alberto.

## Glück und genaues Hinschauen

Dennoch oder gerade deswegen ist die Chemie ein ideales Feld für leidenschaftliche Experimentatorinnen und Experimentatoren. Denn die Reaktionen der Moleküle sind meist derart komplex, dass es kaum möglich ist, diese allein auf Grundlage theoretischer Modelle zu berechnen. Es braucht das Experiment, und es braucht die Gabe des Experimentators, genau hinzuschauen, was dabei passiert – oder eben nicht passiert.

in Patzkes Labor gebildet hat, entgegen der ersten Absicht nicht im Abfalleimer. Eine genaue Untersuchung brachte an den Tag, dass es sich um eine neue und interessante Materialsynthese handelte.

Selbstverständlich ist es möglich, Moleküle und ihre Tauglichkeit für viele Reaktionen zu berechnen und vorauszusagen oder ihr Verhalten mit aufwendigen spektroskopischen Geräten zu analysieren. Dennoch ist Roger Alberto überzeugt, dass es die Intuition des Experimentators braucht, «sein Gefühl fürs System», um mit der richtigen Mischung aus fundierter theoretischer Kenntnis und experimentellem Spürsinn Durchbrüche zu erzielen.

Mit möglichst breiter Expertise und experimentatorischer Intuition machen sich Alberto und Patzke zusammen mit einer Reihe von Kollegen an der UZH derzeit an ihr neuestes Projekt.

versorgungen der Menschheit leisten, sollte sie möglichst effizient funktionieren: Denn es können nicht unbegrenzt Flächen und Materialien für die Energiegewinnung eingesetzt werden.

### Langsam hochhangeln

Das Ziel der Forscher ist es, ein Gerät zu entwickeln, das ans Licht gestellt mittels künstlicher Photosynthese Wasserstoff und Sauerstoff produziert. Die Grundlagen für das künftige Zaubergehärt sind bereits gelegt. Das Experiment von Roger Alberto erzeugt mit Hilfe eines speziellen Farbstoffs und eines Katalysators aus Licht und Wasser Wasserstoff. Die Gruppe von Greta Patzke andererseits kann Wasser zu Sauerstoff oxidi-

Farbstoff gefunden, versuchen sie, mit einem noch besseren Katalysator die Effizienz und Gebrauchstauglichkeit weiter zu steigern.

Patzke sucht intensiv nach geeigneten Katalysatoren für die Oxidation von Wasser zu Sauerstoff. «Heute wird heiss diskutiert, was eigentlich der aktive Katalysator bei diesem Prozess ist.» Sind es Ionen, Moleküle oder gar Nanopartikel? Aufgrund ihrer Erfahrungen im Gebiet der Wasserreinigung ist Patzke überzeugt, dass Nanopartikel als Katalysatoren bei der Oxidation eine grosse Rolle spielen können. In ihren Versuchsreihen arbeitet sie deshalb mit Kandidaten aus allen drei Gruppen, um die beste Strategie zu finden. Als katalytische Materialien verwendet

klärt Alberto. «Doch die meisten beschäftigen sich ausschliesslich mit einem Prozess.» Je weiter dieser jedoch ausgefeilt wird, desto schwieriger wird es, ihn nachher mit der Komplementärreaktion zu kombinieren. Die Stolpersteine sind mannigfaltig, wie Patzke erläutert: So können bei einer Kombination der Systeme plötzlich die Katalysatoren miteinander reagieren und das Wasser unbehellig lassen. Oder der Farbstoff zur Lichtabsorption reagiert mit dem Katalysator und fällt aus. Oder der Katalysator ist nicht wasserlöslich. «Oft kommt einem bei diesen komplexen Experimenten mit vielen Komponenten und einem hohen Ziel die simpelste Chemie dazwischen», so Patzke.

Deshalb ist es wichtig, dass die spätere Kombination der beiden Systeme bei der Entwicklung der Komponenten stets mitgedacht wird. Zentral ist dabei, dass die eine Gruppe tiefen Einblick in die Experimente der anderen hat und diese auch nachvollziehen kann. «Dafür braucht es die Zusammenarbeit am gleichen Ort», ist Patzke überzeugt. Der UFSP, der Spezialisten aus verschiedenen Fachbereichen zusammenbringt, bietet dafür ein ideales Umfeld.

### Unvoreingenommen an die Spitze

Das Ziel, das sich Patzke und Alberto zusammen mit den Kollegen vom UFSP vorgenommen haben, ist ein hoch gestecktes: Die Konkurrenz ist gross und die Zürcher Gruppen sind im Gegensatz zu anderen relativ neu. Doch genau dies sieht Alberto als eine ihrer Stärken an: «Weil wir mit einer gewissen Unvoreingenommenheit an das Thema herangehen können, machen wir vielleicht Dinge, die andere von vornherein nicht machen würden.» Und stellt sich der Erfolg eben tatsächlich dort ein, wo man ihn nicht erwartet.

Doch Alberto und Patzke wollen sich bestimmt nicht auf «Serendipity» verlassen, sondern sich durch genaue Arbeitsweise, durch theoretisch gut fundierte und analysierte Experimente eine Grundlage schaffen, die sie ihrem Ziel Stück für Stück näher bringt. Ob und wann daraus die bahnbrechende Entdeckung resultiert, darauf wollen sie sich nicht festlegen. Wohin der Weg führt, ist für sie aber klar: «In wenigen Jahren werden wir einen führenden Platz in diesem Forschungsbereich einnehmen.»

**Kontakt:** Prof. Roger Alberto, ariel@aci.uzh.ch; Prof. Greta Patzke, greta.patzke@aci.uzh.ch

---

*«Viele Entdeckungen in der Chemie beruhen auf reiner Serendipity – also auf unerwarteten experimentellen Ergebnissen.»* Greta Patzke, Chemikerin

---

dieren. Auf dem Weg zu einer praktischen Anwendung sind dies jedoch lediglich die ersten kleinen Schritte. Bis zum Ziel müssen noch viele Hürden genommen werden. «Unser System funktioniert zwar, es ist aber nicht gebrauchstauglich», stellt Alberto fest.

Denn der Farbstoff, der benötigt wird, um die Energie der Photonen in einem ersten Schritt zu absorbieren, ist nicht photostabil. Das heisst, wie so viele Farbstoffe bleicht er quasi aus und ist schon nach kurzer Zeit nicht mehr zu gebrauchen. Zudem ist sein wichtigster Bestandteil Rhenium, ein seltenes und teures Metall. An eine grossflächige Anwendung ist also von vornherein nicht zu denken.

Die Modellsysteme müssen deshalb Schritt für Schritt verbessert und neue Moleküle als Farbstoffe und Katalysatoren getestet werden. Ändert man jedoch eine Komponente, so hat das Auswirkungen auf den Rest des Systems. Die Entwicklung ähnelt deshalb einem langsamen Hochhangeln. «Auf einer früheren Stufe des Experiments arbeiteten wir mit einem wenig effizienten Katalysator», erklärt Alberto, «da konnten wir uns mittlerweile verbessern.» Jetzt ist allerdings der Farbstoff das schwache Glied in der Reaktionskette, denn er zerfällt viel zu rasch. Momentan untersuchen die Forscher, was genau diesen schnellen Zerfall bewirkt, und suchen nach Alternativen. Ist der neue

sie, wie auch Alberto, billige und in grossen Mengen verfügbare Elemente, besonders Mangan, Wolfram oder Cobalt. Sie wären für die Anwendung im grossen Stil geeignet.

### Knallige Kombination

Zwar haben die Chemiker mittlerweile Fortschritte bei der photosynthetischen Herstellung von Wasserstoff und Sauerstoff aus Wasser gemacht. Das eigentliche Pièce de résistance ihres Projekts sind sie bisher aber gar noch nicht angegangen: Reduktions- und Oxidationsprozess müssen nämlich miteinander verbunden werden. «Will man Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff aufspalten, braucht man beide Komponenten» so Alberto. Das Problem dabei: Wasserstoff und Sauerstoff bilden zusammen das explosionsfähige Knallgas. Notwendig ist also eine sorgfältige Trennung der beiden Prozesse, die dennoch im gleichen System ablaufen müssen. Dies kann man durch die Architektur des Systems, mit geeigneten Membranen oder ähnlichen technologischen Hilfsmitteln erreichen.

Obwohl sie zunächst noch mit den Teilreaktionen beschäftigt sind, sehen Patzke und Alberto eine der Stärken des künftigen UFSP gerade im Zusammenbringen dieser beiden Prozesse. «Weltweit arbeiten viele Gruppen an der Erzeugung von Sauerstoff und Wasserstoff aus Wasser», er-