



# Die Oktan-Vision

Warum etwas entsorgen, wenn es sich nutzen lässt? Empa-Forscher Andreas Züttel will zusammen mit der ETH Lausanne und dem Paul Scherrer Institut eine ehrgeizige Vision in die Realität umsetzen: Aus Wasserstoff und dem ungeliebten Treibhausgas Kohlendioxid soll ein flüssiger Kohlenwasserstoff entstehen, der ganz normal getankt wird. Im Labor funktioniert es bereits.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa



Empa-Forscher Andreas Züttel «produziert» hier CO<sub>2</sub>. Hinter ihm ist die Vakuum-Analyseapparatur zu sehen, in dem der Physiker erforscht, wie sich auf Metallhydrid-Oberflächen CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> zu Olefinen zusammenlagern kann. Seine Vision: Aus dem Treibhausgas CO<sub>2</sub> soll Treibstoff entstehen.

## So «fangen» Profis CO<sub>2</sub>

Während an der effizienten Herstellung von Wasserstoff noch geforscht wird, hat die Schweizer Firma «Climeworks» sich eine «Maschine» zur Gewinnung von CO<sub>2</sub> aus der Luft bereits patentieren lassen. Die Firma ist als «Spin-off» aus einem Forschungsprojekt der ETH Zürich entstanden und wurde beratend von der Empa unterstützt. Nun soll die Technologie weltweit vermarktet werden.

Das Verfahren basiert auf einem Zyklus von Absorption und Desorption: Das CO<sub>2</sub> lagert sich an einem speziellen Filtermaterial an und wird dort in regelmässigen Abständen wieder herausgelöst und als Reinstoff in Gasflaschen gespeichert. Vorteil des Verfahrens: Es werden nur moderate Temperaturen benötigt. Die notwendige Wärme lässt sich entweder solar erzeugen oder es wird billige Abwärme aus Kraftwerken und Industrieanlagen genutzt. Somit hat das Climeworks-Verfahren nicht nur ökologisch und ökonomisch die Nase vorn, es ist auch überall einsetzbar. Das Verfahren könnte einst als Basis für Andreas Züttels visionäres Projekt dienen – und Treibstoff aus der Luft herstellen helfen.

Die Reise in die Energiezukunft beginnt mit einem Blick auf die Vergangenheit: «Seit dem Zeitalter der Dampfmaschine geht die Menschheit mit der Energie gleich um», konstatiert Andreas Züttel, «wir graben Energieträger aus der Erde, verbrennen sie – und blasen CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre». Das müsse sich ändern, meint der Leiter der Abteilung «Wasserstoff und Energie». «Wenn unsere Gesellschaft zu einer nachhaltigen Energieversorgung finden will, dann brauchen wir einen geschlossenen Kreislauf von Energieträgern. Das könnte etwa ein CO<sub>2</sub>-neutraler Kohlenstoffkreislauf sein, mit dem sich einerseits die Abhängigkeit vom Erdöl reduzieren lässt und andererseits die CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Landes stabilisieren würden.»

### Wasserstoffspeicherung als Kernfrage

Züttel beschäftigt sich bereits seit 15 Jahren mit dem Energieträger Wasserstoff und seinen Speichermöglichkeiten, speziell der Speicherung in Metallhydriden. Er ist Präsident der Schweizer Wasserstoffvereinigung «Hydropole» und leitet seit 2006 die «Wasserstoff»-Abteilung der Empa. Doch trotz langjähriger Erfahrung musste Züttel erkennen, dass Metallhydride sich als Wasserstoffspeicher im Alltag nur mühsam behaupten: Hydride sind oft luftempfindlich und müssen daher zum Schutz mit Metallcontainern umhüllt werden – was sie noch schwerer und damit weniger konkurrenzfähig macht. Die Speicherung von teuer erzeugtem Solar- und Windstrom ist also noch immer schwierig, ein Schlüsselproblem zur nachhaltigen Energieversorgung weiterhin ungelöst.

Um das Problem zu lösen, tüfteln viele Energieforscher an einer Idee, auf die auch schon die alten Alchemisten stolz gewesen wären: Man nehme ein billiges, ungeliebtes Gas und «verwandle» damit den

flüchtigen Wasserstoff in eine «brauchbare» Flüssigkeit. Mit dem «Abfallstoff» CO<sub>2</sub> wäre solch ein Verfahren denkbar, davon ist Züttel überzeugt. Am Ende könnte aus dem ungeliebten Treibhausgas ein wertvoller, synthetischer Treibstoff entstehen – Synfuel genannt. Der alte Alchemistentraum – aus Blei Gold zu machen – wäre damit ins 21. Jahrhundert übersetzt.

### Chemische Idee mit Friedensmission

Die Idee hat es auch politisch in sich. «Heute finden die meisten globalen Konflikte dort statt, wo es Erdöl gibt», sagt Züttel. «Wenn jeder auf der Welt in der Lage wäre, Treibstoff nicht aus Erdöl, sondern buchstäblich aus Energie und Luft zu machen, dann fielen diese Begehrlichkeiten weg. Das CO<sub>2</sub>, das wir benötigen, macht ja nicht an Ländergrenzen halt. Es ist überall in der Atmosphäre verfügbar. Jeder kann es extrahieren.»

Hinter der politischen Vision steckt natürlich auch eine chemische Idee: Ein an der Empa entwickelter Katalysator soll H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> zu kurzkettingen Olefinen verbinden – etwa zu Oktan. Dieser bei Raumtemperatur flüssige Kohlenwasserstoff ist als Bestandteil von Benzin den meisten Autofahrenden bekannt: Die «Oktanzahl» gilt als Qualitätsmerkmal für klopfestes Benzin. Synthetisch erzeugtes Oktan liesse sich wie gewohnt tanken und in herkömmlichen Motoren verwenden. Damit wäre der solar oder per Windkraft erzeugte Wasserstoff endlich in eine handhabbare Form gebracht; zugleich würde die Methode CO<sub>2</sub> binden. Ein Spin-off der ETH Zürich hat in Zusammenarbeit mit der Empa sogar schon die passende Apparatur für die CO<sub>2</sub>-Gewinnung entwickelt: eine solar betriebene Abscheideanlage holt das Gas effizient aus der Luft (siehe Kasten).

1

Oben: Andreas Züttel prüft die Gasanalyse an seinem Reaktor. Wenn die Geräte «Benzingeruch» melden, hat er gewonnen.

Unten: In diesem beheizbaren Metallzylinder in Züttels Labor soll die ersehnte Reaktion stattfinden. Einmal hat es schon geklappt: Aus  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$  ist Methan entstanden. Der Anfang ist geschafft.

2

Die Vision einer Energieversorgung der Zukunft: Aus Öko-Strom und  $\text{CO}_2$  werden künstliche Treibstoffe synthetisiert – «Synfuels», mit denen man genau wie heute Autos, Lastwagen und Flugzeuge betanken kann. Das Treibhausgas aus den Auspuffrohren wird wieder «eingesammelt» und erneut verwendet – der Kreislauf ist geschlossen.



Natürlich ist Züttels Idee nicht einfach aus der Luft gegriffen: Seit Jahren schon forscht seine Abteilung an Metallhydriden und komplexen Hydriden, die ursprünglich als Wasserstoffspeicher dienen sollten. Der Vorteil: Wasserstoff ist in diesen Hydriden in atomarer Form gebunden – also in einer deutlich reaktiveren Form als im Wasserstoffgas  $\text{H}_2$ . Das, so Züttel, müsste sich für die anvisierte Methode nutzbar machen lassen.

### Energiekreislauf der Zukunft

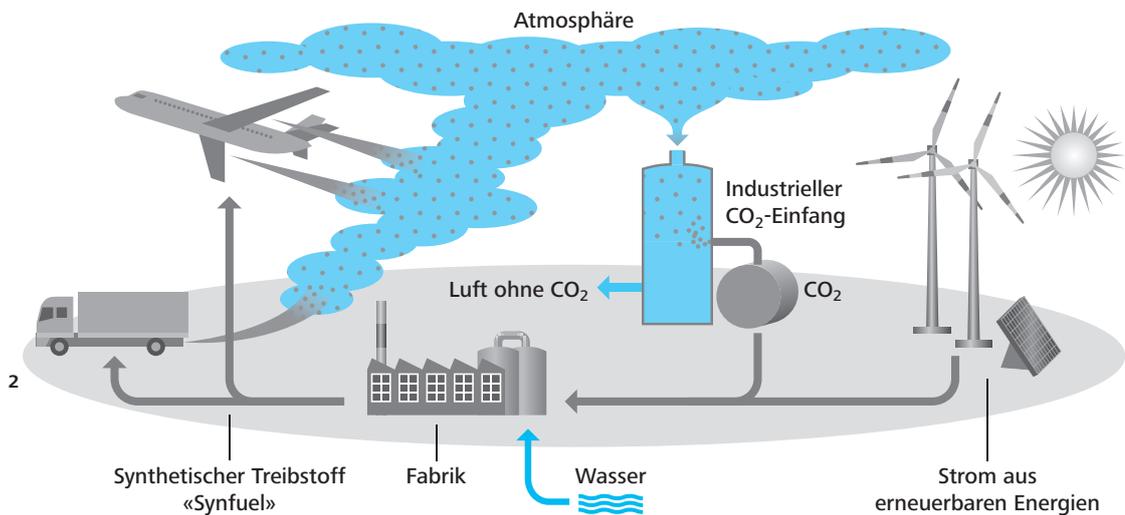
Das entsprechende Gerät steht bereits in seinem Labor an der Empa. Ein unscheinbarer, beheizbarer Metallzylinder von der Grösse eines Bierfässchens. Hier soll das, was einst die Welt verändern könnte – der Energiekreislauf der Zukunft –, in Gang kommen. Geführt von einem Trägergas, fliessen  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$  in den Zylinder; die Gasmischung trifft dort auf ein Metallhydrid – derzeit ist es  $\text{Mg}_2\text{NiH}_4$ . Um zu bemerken, was im Reaktor passiert, sind am Abluftschlauch ein Massenspektrometer und ein Infrarotspektrometer angeschlossen. Die Analysegeräte zeigen an, sobald die ersehnte Reaktion stattgefunden hat – nämlich dann, wenn sich das bislang «nutzlose» Treibhausgas  $\text{CO}_2$  in den brennbaren Treibstoff Methan ( $\text{CH}_4$ ) verwandelt hat.

Im Nachbarlabor läuft ein ähnlicher Versuch unter stark vermindertem Druck. Dort möchte man auf atomarer Ebene verstehen, welche Reaktionen auf der Oberfläche der Hydride ablaufen. Dazu wird sie spektroskopisch untersucht.

### Erfolg im Labor

Zwar läuft der kleine Reaktor erst seit Anfang des Jahres, doch die ersten Ergebnisse liegen bereits vor: Bei Temperaturen zwischen 150 und 350 Grad Celsius gelang es dem Empa-Team, Methan aus  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$  zu erzeugen. Auch ein Mechanismus ist bereits postuliert: Das zunächst vorliegende Metallhydrid  $\text{Mg}_2\text{NiH}_4$  zerfällt während der zyklischen Aufnahme und Abgabe von Wasserstoff allmählich zu Magnesiumoxid  $\text{MgO}$  und fein verteiltem Nickel. An den Nickelpartikeln lagern sich dann  $\text{CO}_2$ -Moleküle an und werden – wie gewünscht – zu  $\text{CH}_4$  hydriert. Die Ergebnisse sollen demnächst im Magazin «Energy & Environmental Science» erscheinen.

Doch das Erzeugen von (gasförmigem) Methan ist nur der erste Schritt auf dem Weg zu flüssigem Treibstoff. «Wir müssen die Mechanismen auf der Oberfläche der Hydride besser verstehen. Dann können wir nach Strukturen suchen, auf denen sich acht  $\text{CO}_2$ -Moleküle nebeneinander gruppieren können, die dann gleichzeitig hydriert werden», sagt Andreas Züttel. «Und schon hätten wir Oktan.»



### Moderne Alchimisten im Wettrennen

Empa-Forscher Züttel steht mit seinem Vorhaben durchaus unter Konkurrenzdruck – denn es gibt auch andere Projekte zum Thema «CO<sub>2</sub>-Alchemie». So hat etwa Aldo Steinfeld, Professor für erneuerbare Energieträger an der ETH Zürich Anfang des Jahres seine Vision einer solaren Treibstoffherzeugung im Wissenschaftsmagazin Science vorgestellt. Steinfelds Team wählte ein Hochtemperaturverfahren: In einem Solar-Reaktor wird Ceriumoxid auf 1500 Grad Celsius erhitzt, Sauerstoff spaltet sich ab. Das Material ist nun in der Lage, Wasser und CO<sub>2</sub> bei 900 Grad aufzuspalten; es entsteht ein Gemisch aus H<sub>2</sub> und CO – so genanntes Synthesegas, aus dem sich Benzin synthetisieren lässt.

Doch Steinfelds Reaktor setzt nur 0,8 Prozent der Sonnenenergie in Treibstoff um. Diesen Wirkungsgrad möchte Züttel mit seiner Methode übertreffen. Das Rennen der Solar-Alchemisten ist also eröffnet. //

Link	↗
Direkter Link zur Forschungsabteilung, zu Originalliteratur und Podcasts: <a href="http://www.empa.ch/empanews">www.empa.ch/empanews</a>	

### Schweizer Forschungsverbund – mit internationaler «Unterstützung»

Die Hydrierung von CO<sub>2</sub> an Metallhydriden ist Teil eines schweizweiten Forschungsvorhabens, das von Andreas Züttel koordiniert wird und an dem unter anderem Thomas J. Schmidt mit seinem Team vom PSI, Gabor Laurency von der EPFL und Jens Norskov, ein Experte für Oberflächenkatalyse an der Stanford University, USA, beteiligt sind. Das Forscherteam will nach neuen – effizienteren – Methoden suchen, um aus erneuerbaren Energien und CO<sub>2</sub> einen synthetischen Treibstoff herzustellen, der sich in herkömmlichen Motoren und Flugzeugtriebwerken verwenden lässt. Die Forscher untersuchen die Produktion von synthetischem Treibstoff (Synfuel) in zwei Stufen:

In Stufe 1 geht es um die effiziente Erzeugung von Wasserstoff. Drei verschiedene Verfahren werden näher untersucht:

- Hydrolyseanlagen, die auf Polymer-Elektrolytmembranen (PEM) basieren (PSI, Empa, EPFL)
- Elektrokatalysatoren für die Reduktion von CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O in wässriger Lösung (PSI, EPFL, Stanford)
- die Reduktion von CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O bei hoher Temperatur; dabei wird nach neuen, keramischen Materialien gesucht, die Sauerstoffionen O<sup>2-</sup> gut leiten können (Empa).

In Stufe 2 wird der Wasserstoff weiterverarbeitet. Hier werden zwei Methoden untersucht:

- die Reduktion von CO<sub>2</sub> an Metallhydriden, um länger-kettige Kohlenwasserstoffe wie etwa Oktan zu erzeugen (Empa – siehe Haupttext)
- die Reduktion von CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> in homogener Katalyse (Fischer-Tropsch-Verfahren); (EPFL, Stanford).

Am Ende könnte ein Weg gefunden sein, um den teuer erzeugten, aber schwer speicherbaren Solarstrom effizient in flüssigen Treibstoff zu verwandeln. Ein grosser Schritt für die industrialisierte Welt und für Schwellenländer gleichermaßen – es brächte die Welt ein Stückchen weiter von ihrer Erdöl-Abhängigkeit.