

KLIMAWANDEL

Rettungsanker künstliche Fotosynthese?

Andreas Lorenz-Meyer

Die tropischen Temperaturen in diesem Jahr zeigen: Die Erderwärmung ist auch in Mitteleuropa in vollem Gang. Wie lassen sich die Treibhausgasemissionen massiv reduzieren? Eine mögliche Antwort: Nachahmen, was die Natur vormacht.

Fotosynthese bedeutet, unter direkter Lichteinwirkung werden energiereiche chemische Substanzen gebildet. Grüne Pflanzen können das zum Beispiel. Sie nutzen Sonnenlicht, CO₂ und Wasser und machen daraus Glucose und andere organische Stoffe, die sie fürs Wachstum brauchen. Sauerstoff geben sie als „Abfallprodukt“ an die Umgebung. Ohne diesen genialen Umwandlungsprozess gäbe es kein höheres Leben auf der Erde. Was sich draußen in der Natur seit fast 4 Milliarden Jahren abspielt, schaffte Günther Knör vom Institut für Anorganische Chemie der Johannes Kepler Universität Linz vor fünf Jahren drinnen im Labor: die Fotosynthese mit künstlich hergestellten Substanzen. „Wir konnten erstmals zeigen, dass dieselbe energiespeichernde Lichtreaktion wie bei der natürlichen Fotosynthese auch in der unbelebten Natur möglich ist.“

Bemerkenswert war auch, dass sich bei dem Prozess – wie bei den Pflanzen – das Molekül NADH als primärer Energiespeicher bildete. Es ist die biologische Variante von Was-

serstoff. Im Labor gewonnenes NADH ließe sich vielseitig verwenden. Durch Folgereaktionen mit Kohlendioxid zum Beispiel für die klimaneutrale Gewinnung von erneuerbaren Treibstoffen wie Methan oder Alkoholen. Knör: „Tageslicht reicht aus, um diese Treibstoffe zu erzeugen. Wir haben hier echte solare Treibstoffe.“ Auch zur Freisetzung solaren Wasserstoffs würde sich das Verfahren eignen. Aber das ist nicht unbedingt die beste Variante. Geht man Umwege und bindet den Wasserstoff an CO₂, um flüssige Treibstoffe zu erhalten, so haben diese Treibstoffe zwar eine geringere Energiedichte, sind dafür aber leichter verwendbar und praktischer.

Statt Öl: „Sonnen-Öl“!

Der Durchbruch aus dem Jahr 2014 zeigte noch etwas: Die Energieausbeute bei künstlicher Fotosynthese von NADH kann weit höher sein als in der Natur. „Da wird ein sehr großer Anteil der eingestrahnten Energie direkt in Form von chemischen Bindungen gespeichert“, so Knör. „Die maximale Speichereffizienz der Lichtreaktion ist mit fast 80 Prozent sogar etwa doppelt so hoch wie im natürlichen Fotosystem I der grünen Pflanzen.“ Eine derart hohe Effizienz kommt zustande, weil im künstlichen Fotosystem nur wenige Zwischenschritte eingebaut sind. Dadurch wird ein viel kleinerer Anteil des eingestrahnten Lichts

ungenutzt als Wärmeenergie an die Umgebung abgegeben.

Das Verfahren verbessert sich laufend. Als Katalysator nimmt Knör mittlerweile nicht mehr das begrenzt verfügbare Edelmetall Rhodium, sondern ausreichend vorhandene Silizium- und Eisenverbindungen. Auch an der Langzeitstabilität wurde gefeilt. Der relativ empfindliche Naturstoff NADH lässt sich nunmehr durch viel robustere Substanzen ersetzen, die sich dennoch ganz ähnlich wie NADH als universeller Wasserstoffüberträger eignen. Im Moment versucht der Chemiker, die Lichtreaktionen der grünen Pflanzen anders als in der Natur, wo es die zwei gekoppelten Systeme Fotosystem I und II gibt, mit nur einem

Fotosystem zu erreichen, um die Effizienz nochmals zu verdoppeln.

Besser als grüner Strom

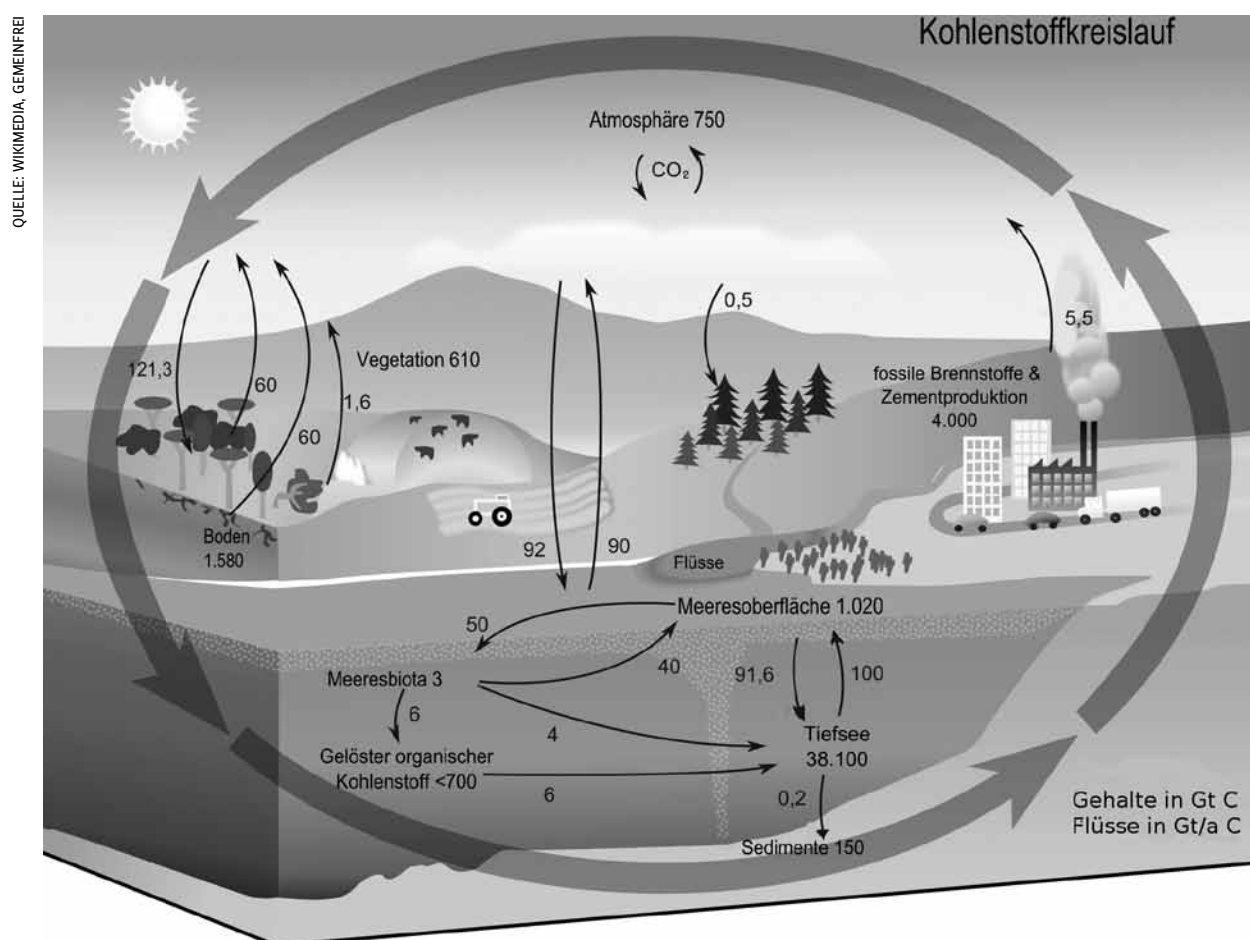
Knörs Wunsch: Künstliche Fotosynthese ebnet den Weg zu einer Treibstoffspeicherung auf Kohlenstoffbasis. Wobei die eigentliche Funktion des Kohlendioxids oft falsch verstanden werde. „Im geschlossenen Kreislauf der Erzeugung und Verwendung von solaren Brennstoffen kommt dem CO₂ lediglich die Rolle eines geeigneten Trägermaterials zur Verdichtung des durch Fotosynthese gebildeten Wasserstoffs zu. Das Kohlendioxid dient hier also nur als eine Art wiederverwendbarer molekularer Behälter zur bequemeren Aufbewahrung des durch die Wasserspaltung in der Lichtreaktion gewonnenen Treibstoffs. Den leeren Behälter, also das wieder freigesetzte Kohlendioxid, sollten wir nach der Verbrennung des eigentlichen Treibstoffs dann aber nicht wie bisher wegwerfen und ungenutzt in die Umwelt ausbringen, sondern klimaneutral recyceln.“

Langfristig sei künstliche Fotosynthese die „nachhaltigste und eleganteste Lösung“ des Energie- und Klimaproblems. Alle anderen Lösungen, auch scheinbar nachhaltige Verfahren mit erneuerbaren Energien, laufen über viele anspruchsvolle Zwischenstufen und erfordern technisch hohen Aufwand: Bauen und Betreiben von

WIKIMEDIA/RECORD STRAIGHTER SETTER/CC BY-SA 4.0



Günther Knör, Professor für Anorganische Chemie.



Kraftwerken zur Elektrizitätsgewinnung, Stromleitungen, Produktion von Elektrolyseanlagen, Zwischenspeicherung und Transport von Wasserstoff, Bereitstellung von Katalysatoren und Reaktoren in großtechnischen Prozessen für die eigentliche Treibstoffgewinnung. „Gehen alle diese technisch aufwändigen Schritte mit in die Gesamtbilanz ein, wird klar, dass es im globalen Maßstab viel günstiger kommt, den gewünschten Treibstoff in einem Schritt an Ort und Stelle direkt bei Einstrahlung der Sonne zu ernten. Dafür braucht es nur die jeweiligen Katalysatorsysteme.“

Vom Karbon-Kollaps zum Kreislauf

Die industrielle Produktion solarer Treibstoffe hätte gewaltige Ausmaße. Momentan ist es so, dass durch natürliche Fotosynthese an Land und in den Ozeanen jährlich etwa 460 Milliarden Tonnen Kohlendioxid in einem geschlossenen Stoffkreislauf umgewandelt werden. Die Verbrennung fossiler Treibstoffe durch uns Menschen bringt im Jahr fast 40 Milliarden Tonnen CO₂ zusätzlich in die Atmosphäre - mit den bekannten Konsequenzen fürs Erdklima.

„Um den derzeitigen Verbrauch leicht verfügbarer fossiler Energie komplett durch künstliche Fotosynthese zu ersetzen, müssten wir zusätzlich rund neun Prozent an abio-

tischer Fotosyntheseleistung für die Treibstoffproduktion beisteuern“, so Knör. Neun Prozent von den 460 Milliarden Tonnen - das entspräche den

40 Milliarden Tonnen jährlicher anthropogener CO₂-Emissionen. „Damit wäre der natürliche Kohlenstoffkreislauf wieder stabilisiert und mit einem

höheren Wert von 500 Milliarden Tonnen an den Bedarf der Menschheit angepasst." Auch wenn die künstliche Fotosynthese effizienter als die in der Natur sein sollte, müssten die Anlagen vier bis fünf Prozent der gesamten Erdoberfläche bedecken, um den CO₂-Kreislauf stabil zu bekommen. An Land wie auch in nährstoffarmen Meeresoberflächenregionen. Vorteile wären, dass Systeme für künstliche Fotosynthese anders als Pflanzen keine speziellen Lebensbedingungen brauchen und nicht in Konkurrenz zur Nahrungsproduktion stehen.

Eine rasche industrielle Produktion von solaren Treibstoffen in ausreichender Menge ist für Knör zwar nicht absehbar. Die Technik steckt noch in der Grundlagenforschung. Sollte es aber eines Tages gelingen, die Prozesse nachhaltig global einzusetzen, wäre der Nutzen enorm. „Die Menschheit steht an einem Wendepunkt. Der allmähliche Wandel weg von der Ausbeutung begrenzt verfügbarer Ressourcen hin zu einer Kreislaufwirtschaft nach dem Vorbild der Natur ist unausweichlich. Auch wenn heute noch immer über 95 Prozent des globalen Primärenergieverbrauchs mit nicht-erneuerbaren Quellen abgedeckt werden.“

Denkanstoß statt Wunderlösung

(lm) - Die künstliche Fotosynthese ist effizienter als die natürliche - das klingt wie ein Aufruf, Wälder durch CO₂-absorbierende Maschinen zu ersetzen und den Klimaschutz zu vergessen. Doch diese Maschinen erfüllen nur eine der zahlreichen Funktionen von Bäumen, und niemand weiß, ob mit dieser Technik wirklich genug ausgestoßenes CO₂ wieder aufgefangen werden kann. Was wir wissen: Wenn wir nichts tun, wird die Klimaveränderung unumkehrbar sein, bevor die hier beschriebene „Wunderlösung“ überhaupt einsetzbar ist.

Es ist wohl auch nicht Günther Knörs Absicht, die Wichtigkeit des Klimaschutzes im Hier und Jetzt zu bestreiten. Der Durchbruch in Sachen künstliche Fotosynthese situiert sich im Bereich der Grundlagenforschung, nicht der angewandten Wissenschaft. Und es geht auch nicht darum, Bäume durch Maschinen zu ersetzen, denn die abiotische Fotosyntheseleistung soll ja die natürliche nur ergänzen, um den CO₂-Kreislauf zu stabilisieren.

Knörs Herangehensweise kann aber als Denkanstoß dienen, das Klimaproblem anders zu betrachten. Ist es langfristig möglich, die Energiewirtschaft und unsere Lebensweise auf neue, CO₂-arme Technologien umzustellen, die ihrerseits Ungleichgewichte schaffen, zum Beispiel durch den Verbrauch von „Seltene Erden“? Für Knör müssen nachhaltige Lösungen auf stabile Kreisläufe setzen - wozu seine Fotosynthese-Maschinen beitragen könnten. Die Menschheit muss also kurzfristig den Klimawandel stoppen. Und wird dabei wohl auch ihren Ressourcenverbrauch reduzieren müssen. Möglich, dass sie in 50 Jahren wirklich Knörs Maschinen einsetzen will, um wieder mehr CO₂ ausstoßen zu können. Möglich auch, dass sie sich dann mit den Bäumen begnügt.