

Algen – der Biostoff der Zukunft

Positiver Stress:  
Algen produzieren Wasserstoff

Algen schlucken CO<sub>2</sub>

Serie auf [utopia.de](http://utopia.de), Frühjahr 2009

## Teil 1

# Algen – der Biostoff der Zukunft

Wer japanische Spezialitäten mag, dem sind sie vertraut: Blätter aus Nori-Algen, in die ein Sushi-Koch rohen Fisch, Reis und andere Zutaten einwickelt. Doch die grünen Winzlinge haben auch außerhalb von Restaurants eine große Zukunft – als regenerativer Rohstoff, der das Klima- und Energieproblem lösen hilft. Welche Wege dabei Wissenschaftler einschlagen, beschreibt Utopia in einer Artikel-Serie. Heute Teil 1: Biodiesel und Biogas.

„Algen sind die am schnellsten wachsenden Pflanzen auf unserem Planeten“, sagt Glen Cretz, Chef der amerikanischen Firma „Valcent Products“. Daher forschen Wissenschaftler weltweit, wie sich die Biomasse von Algen verwerten lässt – Biodiesel ist eines der denkbaren Produkte. Das glaubt auf jeden Fall Glen Cretz: „Unser Ziel ist es, die größte Menge an Biomasse aus Algen zu erzeugen.“ Dazu hat „Valcent Products“ ein vertikales Produktionsverfahren entwickelt: „Wir gehen in die Senkrechte, um die Oberfläche zu vergrößern und das Volumen des Materials zu erhöhen, das dem Sonnenlicht ausgesetzt ist“, erklärt Cretz. Denn Algen betreiben wie andere Pflanzen Photosynthese: Sie bauen ihre Biomasse auf, indem sie mit Hilfe des Sonnenlichts CO<sub>2</sub> aus der Luft fischen und Sauerstoff abgeben. Diesen Prozess haben Cretz und seine Mitarbeiter optimiert: In einem geschlossenen Kreislauf wandern die Algen aus einem Tank in Photobioreaktoren – unzähligen, kleinen Beuteln aus Plastik, die vertikal übereinander angeordnet sind. So werden die Algen optimal dem Sonnenlicht ausgesetzt, eine Pumpe befördert sie zurück in den Tank. So funktioniert die weltweit erste Versuchsanlage im kommerziellen Maßstab, die „Valcent Products“ in El Paso, Texas, aufgebaut hat.

Aber wie kommt bei diesem Kreislauf Biodiesel heraus? Die Algen lassen sich „ernten“ – 50 Prozent ihres Trockengewichts besteht aus hochwertigem Pflanzenöl. Das kann man weiter zu Flugbenzin oder LKW-Diesel verarbeiten. Und die Produktivität der Algen ist enorm, wie Cretz vorrechnet: Arbeitet man mit Getreide, lassen sich auf einem Morgen Land (etwa 4000 Quadratmeter) rund 68 Liter Pflanzenöl im Jahr gewinnen. Nimmt man auf der gleichen Fläche Algen, kommen 76.000 Liter Pflanzenöl heraus. Ein großer Sprung – und nicht der einzige Vorteil, wenn Algen gegen herkömmliche Energiepflanzen antreten: Sie stehen nicht in Konkurrenz zur Produktion von Nahrungsmitteln. Wird in

den USA aus Mais Ethanol gewonnen, steigen in Mexiko die Tortilla-Preise – ein Effekt, der bei Algen nicht zu erwarten ist. Außerdem braucht Cretz für sein Verfahren wenig Land; Pestizide, Dünger und schwere Landmaschinen sind überflüssig.

Diesen Optimismus will Karl-Herrmann Steinberg nicht teilen. Er züchtet selbst professionell Algen in Merseburg (Sachsen-Anhalt), um Nahrungsergänzungsmittel zu produzieren. Laut welt.de hält er das Separieren, Entwässern und Trocknen der Algen für zu aufwendig, um konkurrenzfähigen Biotreibstoff zu gewinnen. Steinberg schätzt, dass ein Liter Biodiesel auf Algenbasis im Moment 50 Euro kosten würde.

Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens hat auch dem Wissenschaftler Gregor Schneider von der Firma „Rent a scientist“ Kopfzerbrechen bereitet. Er hat mit der „Schmack Biogas AG“ Algen gezüchtet, um Biogas von überflüssigem CO<sub>2</sub> zu befreien. Die Algen bauen das CO<sub>2</sub> in ihre Biomasse ein – und lassen sich in der nächsten Stufe selbst vergären, um zusätzliches Biogas zu erzeugen. Schneiders Fazit: „In Mitteleuropa werden die Kosten durch die Mehrproduktion an Strom nicht gedeckt“. Als Grund nennt er die klimatischen Verhältnisse: „Wir haben keine durchgehende Wachstumsperiode – und damit reicht die Ausbeute an Biomasse in unseren Breiten nicht aus, um in einen wirtschaftlichen Bereich zu kommen.“ Konsequenz für das Projekt: Nach einer Labor- und Technikumsphase wollte man eigentlich einen Prototyp der Anlage bauen – doch er liegt vorläufig auf Eis, bis neue Erkenntnisse gewonnen sind.

Biodiesel oder Biogas aus Algen – eine spannende Technologie, die aber noch in den Kinderschuhen steckt. Doch sicher ist es nur eine Frage der Zeit, bis die neuen Verfahren rentabel werden. Das ist ja auch bei anderen Formen erneuerbarer Energie der Fall. Denn Algen können noch viel mehr: Wissenschaftler lassen sie bereits Wasserstoff produzieren – als Treibstoff der Zukunft (Teil 2 unserer Algen-Serie). Und: Algen holen bei Kohlekraftwerken CO<sub>2</sub> aus Rauchgasen heraus (Teil 3 unserer Algen-Serie).

## Teil 2

# Positiver Stress: Algen produzieren Wasserstoff

Wasserstoff ist der Treibstoff der Zukunft. Milliarden Euro fließen in Förderprogramme, um in den USA, Japan oder Europa neue Wege der Herstellung zu finden. Denn bisher braucht man dazu Strom aus konventionellen Energiequellen. Produzieren aber Algen den Wasserstoff, entsteht kein CO<sub>2</sub> – der Weg in eine saubere Energiewirtschaft wird frei.

„Gestatten, mein Name ist ‘Chlamydomonas reinhardtii’“ – wer so kompliziert heißt, verspricht, ein interessanter Zeitgenosse zu sein. Es handelt sich um eine spezielle Mikroalge, die unter Stress zur Höchstleistung aufläuft. Dann produziert sie „molekularen, also gasförmigen Wasserstoff“, wie Prof. Olaf Kruse von der Universität Bielefeld erklärt. Er leitet an der biologischen Fakultät die Arbeitsgruppe für Algenbiotechnologie.

„Biologisch gesehen ist der Wasserstoff ein Abfallprodukt dieses Organismus, das in bestimmten Stress-Situationen gebildet wird“, sagt der Biologe. Das hängt mit einem Ventilsystem zusammen, „mit dem die Algen in der Lage sind, Protonen aus dem Zellsystem herauszuschaukeln“, wie der Wissenschaftler erläutert. Der gasförmige Wasserstoff entweicht dann aus der Zelle. Grundlage ist die Photosynthese: Mit Sonnenenergie bauen die Algen ihre Biomasse auf, wozu natürlich CO<sub>2</sub> nötig ist. Dadurch verschwindet zugleich dieses Treibhausgas aus der Atmosphäre. Das alles geschieht in geschlossenen Behältern, in denen die Algen in einer wässrigen Lösung schwimmen – und beleuchtet werden. Zwei Wochen halten sie durch, dann muss eine neue Algenkultur im Photobioreaktor die Arbeit übernehmen.

Doch ganz freiwillig erledigt „Chlamydomonas reinhardtii“ diesen Job nicht: „Wenn man Wildformen aus ihrer natürlichen Umgebung isolierte, lieferten sie in einer Stress-Situationen zwar Wasserstoff“, berichtet Kruse, „aber die Menge war sehr gering, so dass eine ökonomische Nutzung nur in sehr weiter Ferne zu sehen war.“ Das war die Geburtsstunde für „Stm6“: Diese gentechnisch veränderte Variante der Mikroalge stellte

Kruse zusammen mit Ben Hankamer her. Der australische Wissenschaftler arbeitet am „Institute of Molecular Bioscience“ der University of Queensland. „Auf die Produktionsmengen aus der Wildform müsste man mindestens den Faktor 50 draufsetzen, um annähernd ökonomisch profitable Wasserstoff-Systeme zu erreichen“, begründet Kruse den Griff zur Gentechnik. Eine ganze Menge – „mit rein biologischen Schritten sind solche Verbesserungsfaktoren nicht machbar“, so der Wissenschaftler. Und

wie fleißig ist „Stm6“? Fünf- bis sechsmal mehr Wasserstoff als die Wildform produziert die mutierte Alge – ein deutlicher Fortschritt. Aber bis zur Rentabilität ist es noch ein weiter Weg. Kruse: „Wir müssen noch den Faktor 8 draufsetzen.“ Ein weiteres Problem sind die Photobioreaktoren, die noch in den Herstellungs- und Materialkosten zu teuer sind.

Hapert es noch an der Quantität, so ist Kruse mit der Qualität sehr zufrieden: „Der Wasserstoff ist sehr rein, er hat einen Reinheitsgrad von über 90 Prozent“. Damit kann er direkt in einer Brennstoffzelle genutzt werden. Hätte er weniger als 90 Prozent, käme er dafür nicht in Frage. So kann der Wasserstoff aus Algen zum lagerfähigen Treibstoff werden – als Ersatz für Gas und Öl. Wird er verbrannt, entsteht nur Wasser, das Klimaproblem wäre entschärft.

Im ersten Teil der Algen-Serie ging es auch um das Projekt EBSIE. Dabei werden Algen verwendet, um Biogas von nutzlosem CO<sub>2</sub> zu befreien – die Biomasse der Algen wird anschließend vergärt, um zusätzliches Biogas zu erzeugen. „Dieses Projekt verfolgen wir nicht, weil wir uns nicht sicher sind, ob das ein Erfolg versprechender Weg ist“, sagt Kruse, „EBSIE steht in keinem Zusammenhang mit unserem Projekt.“ Der Biologe schlägt eine andere Richtung ein: Er arbeitet mit der Firma „Biogas Nord“, den Stadtwerken und der Fachhochschule in Bielefeld zusammen, um in einem „Bioraffinerie-System“ Wertstoffe herzustellen und unter Umständen Wasserstoff zu produzieren. Erst in einem letzten Schritt wird aus den Mikroalgen Biogas erzeugt. Kruse: „Ziel ist es, in einem kleinen Maßstab solche Bioraffinerie-Konzepte zu testen und sie mittelfristig in einem großen Maßstab zu realisieren.“

## Teil 3

# Algen schlucken CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> finden Algen richtig lecker. Nur das Treibhausgas lässt sie wachsen. Warum also nicht ein Heizkraftwerk mit Algen kombinieren, um die Rauchgase zu reinigen? Genau das wird im Moment getestet, zwei Pilotanlagen laufen in Deutschland.

Die erste Pilotanlage steht in Hamburg/Reitbrook: „Algen brauchen zum Wachsen wie höhere Pflanzen Licht und benutzen CO<sub>2</sub> als Kohlenstoff-Quelle, um daraus Biomasse aufzubauen“, erklärt Dr. Martin Kerner, „wie Pflanzen auf dem Acker benötigen sie noch Phosphor und Stickstoff als Nährstoffe.“ Dr. Kerner ist Leiter des Projekts TERM: „Technologien zur Erschließung der Ressource Mikroalgen“. Sein Unternehmen „Strategic Science Consult GmbH“ arbeitet u. a. mit der Stadt Hamburg und „E.ON Hanse“ zusammen – der Energiekonzern stellt für TERM das Gelände zur Verfügung, direkt neben einem Blockheizkraftwerk.

Wie kann man sich die Anlage vorstellen? „Was man sieht, sind die Photobioreaktoren, in die das Rauchgas einströmt und hochblubbert, wodurch die Algen in Bewegung bleiben“, beschreibt Dr. Kerner die Technologie. Das Rauchgas kommt aus dem Blockheizkraftwerk, die grüne Algen-Flüssigkeit zirkuliert in Modulen, die in Nachführsystemen aus der Solartechnik installiert sind. Das Prinzip haben sich die Wissenschaftler bei der Sonnenblume abgeschaut, die ihre Blüten nach dem Stand der Sonne ausrichtet: „Licht ist der wesentliche Faktor, weil man es für das Wachstum der Algen braucht“, sagt Dr. Kerner, „im Winter kann es zu wenig Licht geben – und im Sommer zu viel, weil dadurch die Temperatur in den Reaktoren zu stark ansteigt.“ Die Lösung: „Wenn es zu viel Licht gibt, sind wir in der Lage, die Reaktoren aus dem Licht wegzudrehen und in eine Schattenposition zu führen“, erklärt Dr. Kerner. So werden die Algen immer optimal mit Licht versorgt. Neben dem Licht ist die Temperatur ein weiterer entscheidender Faktor – „besonders wichtig im Winter wegen der Wirtschaftlichkeit der Anlage“, wie Dr. Kerner betont. Damit die Algen nicht frieren, führen die Wissenschaftler ihnen Abwärme des Blockheizkraftwerks zu – auf diese Weise wachsen sie auch im Winter. Ein Kilogramm ihrer Biomasse bindet ungefähr zwei Kilogramm CO<sub>2</sub>.

Führt dieser Weg zum CO<sub>2</sub>-freien Kraftwerk? Dr. Kerner bleibt auf dem Boden der Tatsachen: „Im Bereich der Mengen, also wie viele Mengen CO<sub>2</sub> durch Algen gebunden werden können, reicht die Technologie nicht aus – auch nicht bei der langfristigen Bindung von Kohlenstoff.“ Denn aus der Biomasse lässt sich zum Beispiel Biogas

gewinnen, das bei der Verbrennung CO<sub>2</sub> freisetzt. „Der Kohlenstoff gelangt wieder in die Atmosphäre“, stellt Dr. Kern.

Dieses Problem sieht auch Laurenz Thomsen. Er ist Professor of Geoscience an der Jacobs Universität Bremen – und der wissenschaftliche Leiter des zweiten Projekts in Deutschland, das sich mit der CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Rauchgasen beschäftigt: Diese Pilotanlage steht in Niederaußem bei Köln, und zwar in einem Braunkohlekraftwerk der RWE. Wie will Thomsen langfristig CO<sub>2</sub> binden, das seine Algen eingefangen haben? „Wir simulieren im Labor Prozesse aus der Tiefsee“, erklärt der Wissenschaftler. Im Ozean sinken abgestorbene Algen auf den Meeresgrund, es bilden sich Sedimente – und Mikroorganismen zersetzen diese Überreste nicht vollständig. „Bei diesen Prozessen setzen wir an“, sagt Thomsen, „auf diese Weise lassen sich aus Algen Baustoffe gewinnen.“ Und das CO<sub>2</sub> aus den Rauchgasen würde nicht zurück in die Atmosphäre wandern.

Thomsen arbeitet in Niederaußem bewusst mit Meeresalgen, die in Salzwasser schwimmen. Wie in Hamburg ernähren sich die die Algen von Rauchgasen, die durch Photobioreaktoren strömen. Diese transparenten Kunststoffschläuche sind in V-Form an Trägern befestigt, verteilt in einem Gewächshaus. „98 Prozent der Wasservorkommen auf der Erde sind Meerwasser“, sagt Thomsen. Daher sieht er gute Chancen, die Algentechnologie am Meer oder in großen Meeresbuchten anzuwenden. Die „Phytolutions GmbH“, eine Ausgründung der Jacobs Universität, sei bereits vor der Küste Südafrikas aktiv. Da gibt es genug Platz, das Meereswasser dient als Kulturmedium – und es besteht nicht die Gefahr, dass Ackerfläche für Nahrungspflanzen verloren geht. „Biomasse ist ja in letzter Zeit ins Gerede gekommen“, so Thomsen. Gerade vor diesem Hintergrund ist er optimistisch: „Bis 2020 werden wir den Anteil der Algen an der Nutzung von Biomasse auf über 50 Prozent hochfahren.“