

Mikroalgen – Rohstoffquelle der Zukunft?

Regenerative Biomasse und Träger erneuerbarer Energie

Von Janin Schneider und Stefan Gäth



Unbekannte Energiequelle aus den Tiefen der Meere – Was könnte damit wohl gemeint sein? Ein wenig erinnert diese Beschreibung an Frank Schätzing's Bestsellerroman „Der Schwarm“. Doch die von der Professur für Abfall- und Ressourcenmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen in Kooperation mit der Algenland GmbH betriebene Anlage zur Energiegewinnung ist von Science-Fiction weit entfernt. Kleine grüne Einzeller leben dort in offenen Becken, wandeln klimaschädliches CO₂ in lebensnotwendigen Sauerstoff um und lassen sich anschließend noch zur Energiegewinnung nutzen. Des Rätsels Lösung ist uralte, natürlichen Ursprungs und jedem von uns auf die eine oder andere Weise bekannt: Es sind Algen, genauer gesagt mikroskopisch kleine Mikroalgen.



■ Abb. 1: Getrocknete Mikroalgenbiomasse

Die Produktion von Algen ist prinzipiell nicht neu. In Asien oder auch auf Sylt werden Makroalgen im großen Maßstab für die Herstellung von Nahrungsmitteln gezüchtet. Im Gegensatz zu Mikroalgen (Abb. 1) können Makroalgen allerdings nur eine deutlich geringere Menge an Biomasse vegetativ und generativ produzieren. Ferner lagern Makroalgen im Gegensatz zu Mikroalgen keine Öltropfen, die den Energieträger der Algen darstellen, im Inneren ihrer Zellen ein. Noch dazu können sich Mikroalgen unter optimalen Lebensbedingungen täglich mehrmals teilen und generieren so große Mengen an Biomasse. Damit sind sie möglicherweise eine der erneuerbaren Energiequellen der Zukunft, wobei noch einige Fragen im Labor- und Feldmaßstab zu klären sind. Dazu zählt der Einfluss des Lichts ebenso wie die Frage, unter welchen Lebensbedingungen – oder besser: Lebenserfahrungen – Algen am meisten Fettreserven einlagern und die höchste Biomasseproduktion erreichen.

Algenbiologie und Konditionierung

Als die Arbeitstiere der Primärproduktion auf der Erde leben Algen in nahezu allen Gewässern. Sie gelten als extrem anpassungs- und widerstandsfähig und weisen eine hohe Biodiversität auf. Es wird geschätzt, dass zwischen 200.000 und mehrere Millionen verschiedene Arten von Algen existieren, von denen

bisher nur sehr wenige bekannt sind und genauer untersucht wurden. Für ein gutes Wachstum benötigen Algen lediglich Wasser, CO₂, Wärme und Licht. Wie die Landpflanzen betreiben sie Photosynthese, um aus Kohlendioxid und Wasser Sauerstoff und Biomasse zu erzeugen.

Das Wachstum vieler Algen, insbesondere der nur wenige Mikrometer großen Mikroalgen, beruht auf dem Prinzip der Teilung. Im Wachstum der Mikroalgen liegt auch ihr Erfolgsgeheimnis begründet, denn dieses ermöglicht es ihnen, große Mengen an Biomasse in sehr kurzer Zeit zu produzieren. Auf gleicher Fläche erreichen Mikroalgen so Erträge, die solche herkömmlicher Kulturpflanzen wie Mais, Raps, Soja oder Zuckerrohr um die drei- bis fünffache Menge übersteigen. Mit dieser Flächeneffizienz sind ideale Voraussetzungen gegeben, Algen als erneuerbare Biomasseenergeträger zu nutzen. Im Zuge der Photosynthese bilden Mikroalgen sowohl komplexe Eiweißstrukturen als auch Lipide im Zellinneren. Diese eingelagerten Lipidtropfen können wie die Öle und Fette traditioneller Energiepflanzen extrahiert und zur Energieproduktion eingesetzt werden. Wissenschaftliche Studien zeigen, dass einige der bisher untersuchten Mikroalgen einen Lipidgehalt von über 50 % ihrer Trockenmasse aufweisen können und damit den Landpflanzen deutlich überlegen sind. Bei optimalen Wachstumsbedingungen

kann ein Trockenmasseertrag von 60 bis 100 Tonnen pro ha und Jahr erreicht werden. Im Vergleich dazu werden durchschnittlich 50 bis 60 Tonnen Silomais Frischmasse pro ha und Jahr erzeugt, unter Berücksichtigung eines Trockensubstanzgehaltes von ca. 30 bis 35 Gewicht-% entspricht dies einem Trockenmasse-Ertrag von 15 bis 23 Tonnen pro ha und Jahr.

Algen-Forschung an der Universität Gießen

Im Rahmen der Forschungsarbeiten an der Professur für Abfall- und Ressourcenmanagement erfolgt ein Screening unterschiedlicher Algenarten im Hinblick auf ihre Eignung zur Zucht und Energiegewinnung (Abb. 2). Dabei werden insbesondere die Parameter Biomasseproduktion, Ölgehalt und CO₂-Bindungspotenzial genauer

■ Abb. 2: Mikroskopische Aufnahme einer Mikroalge

untersucht, aber auch Faktoren wie Resistenz, Erntbarkeit und Anpassungsfähigkeit finden bei der Auswahl geeigneter Arten Berücksichtigung (Abb. 2). Die Vielzahl von Arten, von denen ein Großteil bis heute nicht genauer untersucht wurde, stellt möglicherweise ein großes, noch unbekanntes Potenzial dar. Auf der Grundlage der „Sammlung von Algenkulturen Göttingen“ (SAG) werden die verschiedenen Algenstämme im Hinblick auf ihren praktischen Nutzen untersucht.

Die SAG, die seit Ende des 19. Jahrhunderts besteht, kann auf rund 2.600 Algenstämme zurückgreifen. Von dieser Vielzahl an Stämmen werden in einem ersten Schritt unterschiedliche Mikroalgen nach speziellen Kriterien wie Biomassebildung, Herkunft, Oberflächenbeschaffenheit, Wachstumsgeschwindigkeit, Widerstandsfähigkeit etc. ausgewählt und in Vorversuchen getestet. Anschließend werden die Stämme, die im Hinblick auf die genannten Kriterien positiv bewertet werden, in weiteren Versuchen auf ihre CO₂-Verträglichkeit, ihre spezifischen Lipid-Gehalte und ihr Biomassebildungs- bzw. CO₂-Fixierungspotenzial untersucht (Abb. 3).

Um die genutzten Mikroalgen zweifelsfrei bestimmen sowie ein Qualitätsmanagement aufbauen zu können, gilt es, da die physiologischen Versuche unter nicht sterilen Bedingungen durchgeführt werden, zu überprüfen, inwiefern sich Wildalgenpopulationen in den Versuchsgefäßen sowie im Race-Way-Pond-System, einem Umlaufbecken zur Anzucht von Algen, in der Klimakammer etablieren (Abb. 4). Dazu werden in Kooperation mit der Arbeitsgruppe von Prof. Ansgret Wilde, Institut für Mikrobiologie



und Molekularbiologie der Universität Gießen, die Kulturen mit molekularen Methoden untersucht. Für die meisten der verwendeten Algenstämme aus der SAG sind die DNA-Sequenzen noch nicht bekannt. Deshalb werden zunächst die DNA-Sequenzen für die Originalkulturen aus der Stammsammlung bestimmt, um sie dann mit

■ Abb. 3: Versuchsreihe zum Einfluss von Kraftwerksabgasen auf das Wachstum von Mikroalgen

den Kulturen aus den Versuchen vergleichen zu können.

Eine weitere zentrale Aufgabe bildet im Rahmen der Forschungsarbeiten die Entwicklung einer energiearmen, effizienten Erntemethode. Bisher bestehende Techniken, wie etwa die Zentrifugation, verbrauchen ein hohes Maß an (fossiler) Energie und scheiden damit sowohl aus ökonomischer als auch aus ökologischer Sicht aus. Der von der Professur für Abfall- und Ressourcenmanagement verfolgte Ansatz basiert auf der Technik der Flotation. Dabei tragen kleinste Luftblasen die Mikroalgen an die Oberfläche, wo sie anschließend abgeschöpft und in einem weiteren Schritt getrocknet werden. Diese Ernte-Methode zeichnet sich sowohl als überaus energiearm als auch als extrem effizient aus (Abb. 5).

Integrierte Produktionsansätze

Hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkungen wird bei der Algenzucht ein hohes Maß an Ressourcenschonung erreicht. Fossile Energieträger kommen für Aufgaben der Düngung, des Pflanzenschutzes oder der Bodenbearbeitung nicht zum Einsatz. Ein wichtiges Argument für Biomasse aus Algen ist, dass Algen als Aquakultur keine Konkurrenz mit Böden der Nahrungsmittelproduktion bedingen. Die Anzucht



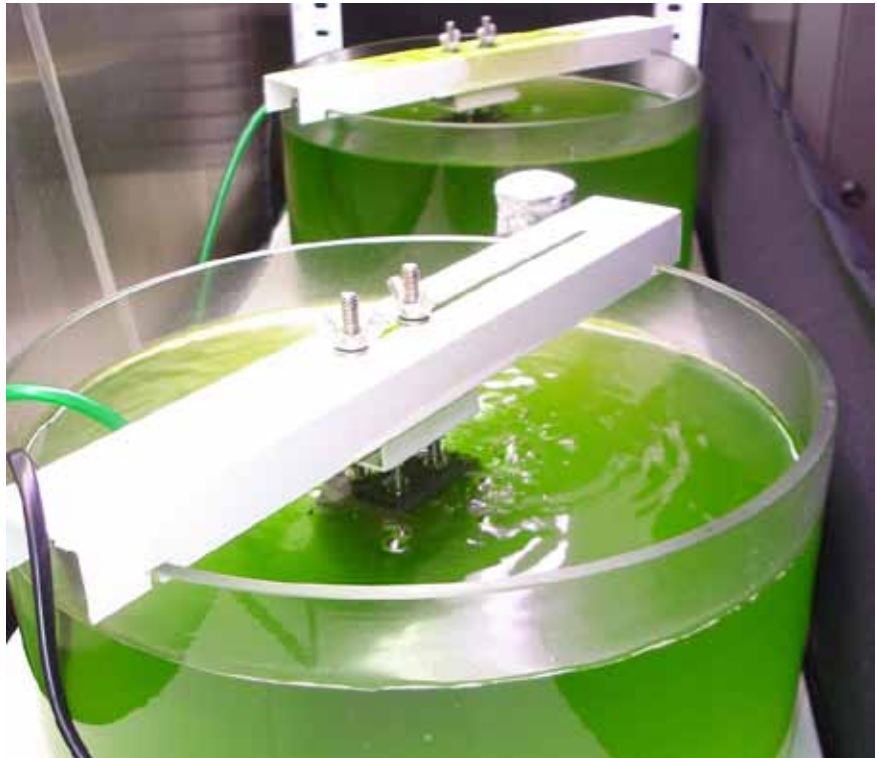
■ Abb. 4: Versuchsaufbau in einer der Klimakammern des Biotechnikums der Universität Gießen

von Mikroalgen kann auf landwirtschaftlich nicht nutzbaren Böden, auf versiegelten Flächen oder auch auf Dächern geschehen. Damit erfahren die Märkte der biogenen Energie und der Nahrungsmittel eine wirtschaftliche Entkoppelung und die viel diskutierte Frage nach „Tank oder Teller?“, die sich bei anderen erneuerbaren Energieträgern stellt, erübrigt sich hier. Weiterhin bilden Algenerzeugung und Algenverwertung ein Gesamtkonzept zur Nutzung von klimaschädlichem CO₂ und bisher häufig ungenutzter Abwärme von Generatoren und Industrieanlagen auf der einen Seite und zur Herstellung eines wertvollen Rohstoffes auf der anderen Seite. Die gewonnenen Extraktionsrückstände bzw. die erzeugte Algenbiomasse stellen einen hervorragenden und vielseitig einsetzbaren Rohstoff dar (Abb. 5).

Pilotanlage

Vor dem Hintergrund der Kreislaufidee baut die Algenland GmbH in enger Kooperation mit der Professur für Abfall- und Ressourcenmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen eine Algenzuchtanlage, die im Zusammenspiel mit einer Biogasanlage betrieben wird und somit die Bedingungen einer Kreislaufwirtschaft erfüllt.

Die Zucht der Mikroalgen erfolgt in großen wassergefüllten halboffenen Becken, den so genannten Ponds, in denen eine ständige Strömung und CO₂-Begasung die Einzeller zum Wachsen anregen. Der im Zuge der Biomassebildung geschätzte Verbrauch an CO₂ liegt dabei bei 1,8 bis 2 Tonnen CO₂ pro Tonne erzeugter Trockenmasse. Das bedeutet, mit Algen kann klimarelevantes CO₂ effizienter



gebunden werden als mit gängigen Energiepflanzen. Gleichzeitig wird die Abwärme der jeweils genutzten Industrie- oder Biogasanlage zur Erwärmung der Algensuspension, also der Kultivierungsflüssigkeit, und zur Trocknung der generierten Biomasse genutzt. Als Lichtquelle, die für das Wachstum der Algen unabdingbar ist, dient Sonnenlicht, da sich eine künstliche Beleuchtung aufgrund der entstehenden Kosten als zu teuer und damit als ineffizient erwiesen hat.

Die Gesamtgröße eines von insgesamt vier Becken umfasst jeweils 400 m² Wasserfläche mit einer Tiefe von ca. 30 cm, was einem Gesamtvolumen von rund 120 m³ Algensuspension entspricht. Zum Schutz vor möglichen negativen externen Umwelteinflüssen, wie Verschmutzung durch Tiere, Laub oder ähnliches, befinden sich die Ponds unter handelsüblichen Gewächshäusern, wie sie auch im gartenbaulichen Bereich Einsatz finden (Abb. 6).

Gedüngt und ernährt von einströmendem CO₂ aus dem Abgas des Blockheizkraftwerkes (BHKW) der

Biogasanlage, wachsen dort Mikroalgen unter Freiluftbedingungen. Die Gärrückstände der Biogasanlage dienen als zusätzliche Nährstoffe. Die Synergien dieses Verfahrens sind offensichtlich: Zum einen findet durch die Umwandlung des CO₂ in Sauerstoff und Biomasse eine Neutralisation des klimaschädlichen Gases statt. Zum anderen entsteht durch die Nutzung der Abwärme des BHKWs ein Kraft-Wärme-Kopplungs-Konzept, das nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vergütet wird. Unter diesen idealen Voraussetzungen wachsen die Mikroalgen optimal, können ihr enormes Potenzial entfalten und entsprechend größere Mengen an klimaschädlichem CO₂ binden.

Stoffliche Verwertung

Das Nutzungsspektrum von Mikroalgen oder aus ihnen gewonnenen Produkten ist sehr breit und reicht vom Einsatz in der Nahrungs- und Futtermittelindustrie über den Gebrauch der Produkte als Düngemittel oder in

Aquakulturen bis hin zur Verwendung hochwertiger Algenextrakte in Kosmetik, Pharmazie und Medizin. Der weltweit größte Markt für Mikroalgen findet sich in China, Korea und Japan sowie an den Pazifikküsten Südamerikas, Australiens und Neuseelands wo Algen schon seit Jahrhunderten traditionell zum täglichen Speiseplan gehören. Der Einsatz von größeren Mengen an Mikroalgen in Europa begann erst deutlich später mit Forschungsarbeiten im Auftrag des Nazi-Regimes gegen Ende des Zweiten Weltkriegs.

Heutzutage gelangt die reine Algenbiomasse in erster Linie als Nahrungs- und Nahrungsergänzungsmittel in Form von Tabletten, Pulver, Kapseln oder Pasten auf den europäischen Markt. Weiterhin finden sich Spuren



von Mikroalgen in allen möglichen Kombinationen in Produkten wie Kaugummis, Getränke, Joghurts, Kekse, Müsli- und Schokoriegel, Gummibärchen etc.. Insbesondere im „Health-Food“- und Anti-Aging-Bereich finden mit Algen versetzte Produkte großen Absatz, da die probiotische und verjüngende – wenn auch nicht immer wissenschaftlich nachgewiesene –

■ Abb. 5: Flotierte Mikroalgenbiomasse

Wirkung vieler Algeninhaltsstoffe dem momentanen europäischen und amerikanischen Zeitgeist der „ewigen Jugend“ entspricht. Gerade im Nahrungsmittel- und Futtermittelbereich sind die in Mikroalgen häufig enthaltenen essentiellen omega-3- und -6-Fettsäuren von besonderem Interesse, da diese weder von Menschen noch von Tieren selbst synthetisiert werden können.

Energetische Verwertung

Ein weiterer möglicher Markt für Mikroalgen, der in den letzten Jahren immer mehr in das Interesse der Öffentlichkeit gerückt ist, ist der Energiesektor. Durch die Fähigkeit vieler Mikroalgen große Mengen an Lipiden und/oder Proteinen zu speichern, bieten sie die Grundvoraussetzungen für ihre Nutzung als erneuerbarer Energieträger. Bei Nutzung von Mikroalgen als Träger erneuerbarer Energien wird grundsätzlich zwischen zwei möglichen Techniken zur Energieerzeugung unterschieden. Zum einen ist der Einsatz der Algenbiomasse zur Vergasung in einer Biogasanlage zum Zwecke der anschließenden Stromgewinnung möglich. Zum anderen besteht die Option, die im Zellinnern der Mikroalgen enthaltenen Lipidtröpfchen zu extrahieren und nach einer Veresterung als Biodiesel zu nutzen. Beide Wege sind möglich und können sowohl im Labor- als auch im Feldmaßstab erfolgreich in die Praxis umgesetzt werden. Die Erzeugung von Mikroalgenöl ist derzeit allerdings noch nicht in industriellem Großmaßstab wirtschaftlich umsetzbar. Grund dafür sind in erster Linie die sehr hohen Kosten für die Extraktion. Prinzipiell ist aber ein

DIE AUTOREN

Janin Schneider, Jahrgang 1982, Bachelor-Studium „Agrarwissenschaften und Umweltmanagement“ an der Justus-Liebig-Universität Gießen, anschließend Master-Studium „Umwelt- und Ressourcenmanagement“ an der Universität Gießen; Promotion: 2011 mit



einer Dissertation über das Biomassebildungspotenzial von Mikroalgen an der Professur für Abfall- und Ressourcenmanagement. Sie ist seit 2011 wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Professur für Abfall- und Ressourcenmanagement.

Stefan Gäth, Jahrgang 1959, von 1979 bis 1984 Studium der Agrarwissenschaften an der Universität Göttingen. Seit 1995 ist er Professor für Abfall- und Ressourcenmanagement am Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement der Universität Gießen. Seit 2005 ist er



Sprecher des Technologiebeirates des Landes Hessen und Technologiebeauftragter für die Sparte Umwelttechnologie und seit 2007 Gründer und Mitglied des KompetenzNetzes UmweltTechnologie KNUT.



■ Abb. 6: Halboffener Pond der Algenland GmbH zur Anzucht von Mikroalgen

Einsatz des Öles neben der Nutzung als Biodiesel auch in Form von Kerosin in der Luftfahrt denkbar. Erste Flugversuche mit einem rein mit Algentreibstoff betriebenen Flugzeug sollen bereits erfolgreich durchgeführt worden sein.

Der Einsatz von Mikroalgenbiomasse zur Vergasung in Biogasanlagen ist dagegen schon heute wirtschaftlich umsetzbar, insofern die erzeugte Biomasse nicht ausschließlich als Gärsubstrat eingesetzt, sondern auch in stofflicher Form ökonomisch verwertet wird. Durch die Verwendung aller bei der Produktion anfallenden Rückstände entstehen in der Algenzucht keinerlei Abfälle und ein geschlossener Produktionskreislauf wird erreicht. Eine Algen-Kreislaufwirtschaft ist entstanden.

Wie sieht die Zukunft aus?

Die Reise in das Jahrtausend der Energie- und Wasserknappheit hat begonnen. Der Blick in die Zukunft zeigt, dass die Forschungen im Bereich der Mikroalgen-Biotechnologie auch in den nächsten Jahren und Jahrzehnten weitergeführt werden. Vor dem Hintergrund globaler Erwärmung und der stetig steigenden Weltbevölkerung ist eine Forderung klar formuliert: „low impact, longterm usage“. Deshalb ist damit zu rechnen, dass die derzeit vergleichsweise hohen Produktionskosten durch immer effizientere Produktions- und Erntemethoden innerhalb der nächsten 10 bis 15 Jahre drastisch sinken werden. Auch im Bereich der Energiebranche ist davon auszugehen, dass zukünftig weitere Anstrengungen

unternommen werden, Mikroalgen als erneuerbare Energieträger nutzbar zu machen. Dies zeigt sich insbesondere in der Tatsache, dass die Anzahl derartiger Forschungsvorhaben schon jetzt stetig steigt und das energetische Potenzial von Mikroalgen auch den großen Firmen der Energiebranche immer deutlicher wird.

Zudem sind Mikroalgen als erneuerbare Energieträger in der Lage hohe Mengen an Kohlendioxid zu binden. Im Vergleich zu anderen Energiepflanzen sind sie in ihrer Effizienz konkurrenzlos. Die Biologie liefert damit sehr wahrscheinlich eine weitere, mögliche Lösungsstrategie aus unserer Energie- und Klimafalle. Allerdings wird nur eine ausgeglichene Mischung aus klimafreundlicher und CO₂-arm erzeugter Energie, in Verbindung mit erneuerbaren Energieträgern und effizienten CO₂-Bindungs-Konzepten den weiteren Anstieg des atmosphärischen CO₂-Gehalts und damit eine weitergehende Klimaerwärmung aufhalten können. Mikroalgen können (und werden) dabei – nicht allein, aber doch zu einem guten Teil – ihren Beitrag leisten. Nun kommt es darauf an, technische Lösungen zu entwickeln, die ohne großen Bedarf an fossilen Energieträgern die erneuerbaren Energiepotenziale von Mikroalgen zur Verfügung stellen.

KONTAKT

Prof. Dr. Stefan Gäth
Dr. Janin Schneider
 Justus-Liebig-Universität
 Institut für Landschaftsökologie und
 Ressourcenmanagement
 IFZ für Umweltsicherung
 Heinrich-Buff-Ring 26-32, 35392 Gießen
 Telefon: 0641 99-37393
 stefan.a.gaeth@umwelt.uni-giessen.de
 janin.schneider@umwelt.uni-giessen.de