

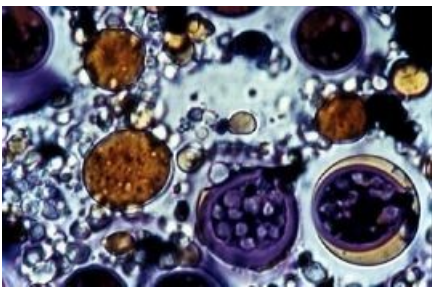
## Konzepte der Energiegewinnung: Kraftstoffe aus Mikroalgen

Die einzelligen Mikroalgen sind im Vergleich zu Landpflanzen eine von möglichen weiteren Energiequellen, die künftig genutzt werden könnte - auch wenn eine Reihe von technischen Problemen noch ungelöst sind. Eine Reihe von Biotechnologen auf der ganzen Welt beschäftigt sich derzeit mit Entwicklung optimierter Verfahren.

Algen stellen mit über 400.000 geschätzten Arten einen biotechnologischen und wirtschaftliches Potential dar, da ihre Artenvielfalt noch relativ unerforscht ist und bislang nur 160 Arten industriell genutzt werden. Aufgrund ihrer hohen Biodiversität weisen sie entsprechend vielfältige Stoffwechselwege auf, die eine Vielzahl an wertvollen Substanzen herstellen. Die phototrophen Organismen nutzen dabei das Sonnenlicht als Energiequelle und CO<sub>2</sub> zur Biomasseproduktion und bilden den Anfang der wichtigsten globalen Nahrungsketten und Stoffkreisläufe. Innerhalb der phototrophen Biotechnologie werden Algen bereits als Lieferanten von Vitaminen, Farbpigmenten, Aminosäuren und Lebensmittelzusatzstoffen für die Lebensmittel-, Kosmetik- und Chemieindustrie geschätzt und gewinnen zunehmend Bedeutung im Bereich des Molecular Farming pharmazeutisch wirksamer Stoffe. Algenprodukte sind unter anderem in Zahnpasta, Joghurt, Aspik oder Eiscreme enthalten und dienen mittlerweile als Primärquelle der für den Menschen essentiellen Omega-3-Fettsäuren, die bislang hauptsächlich aus Fischen gewonnen wurden. Größtes Problem bei industriellen Nutzung von Algen für die Energiegewinnung ist die Entwicklung von tatsächlich effizienten Verfahren.

## Forschung an Algen als Energiepflanzen

Neue Einsatzfelder werden vor allem in der Treibstoffproduktion von Biodiesel, Biogas und Biowasserstoff gesehen. Denn Algen schlagen alle Landpflanzen mit einer 15-80 mal höheren Produktivität, so der Fachbereich Phototrophe Biotechnologie der FH Lausitz in Brandenburg, der zusammen mit dem [IGV Institut für Getreideverarbeitung GmbH](#) und internationaler Kooperationen nicht nur in Deutschland ein Zentrum dieses Biotechnologiezweiges darstellt.



*Mikroalgen wie Grünalgen oder Cyanobakterien (Blualge) gelten als Energiepflanzen der Zukunft. Quelle: Paul Roessler, DOE/NREL*

Algen enthalten im Vergleich zu anderen traditionellen Ölsaaten wie z.B. Raps, Sonnenblumenkerne oder Sojabohnen bis zu zehnfach höhere Fettanteile und können je nach Bedingungen bis zu 70% ihres Eigengewichts an Öl produzieren, das zu biologischem Rohöl weiterverarbeitet zu fast jedem erdenklichen Treibstoff raffiniert werden könnte.

## Forscherprofil auf [biotechnologie.de](http://biotechnologie.de)

### [Herwig Brunner: Ein Wandler zwischen zwei Welten](#)

Nach einer Hochrechnung von Herwig Brunner vom FHI für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik eröffnen Algen im Vergleich zu Raps eine mindestens fünf- bis siebenfach höhere Ölausbeute pro Jahr. Nach Angaben des [Forschungsverbunds Greenhouse Gas Mitigation Project unter Leitung der Jacobs-Universität Bremen](#), wird erwartet, mit geschlossenen Algen-Bioreaktoren bis zu 12.000 Tonnen/km<sup>2</sup> an Biokraftstoff pro Jahr herstellen zu können.

Damit würden mit 230.000 Hektar nur 2% der Gesamtackerfläche in Deutschland benötigt, um den jährlichen Dieselbedarf Deutschlands zu decken.

Der Rapsanbau würde für das gleiche Ziel 22 Millionen Ackerfläche benötigen, was gut ein Drittel mehr Ackerfläche bedeutet, als in Deutschland an Gesamtackerfläche überhaupt zur Verfügung steht.

Unter optimierten Bedingungen sollen damit Ertragssteigerungen um das 15-75 fache an Algen-Biodiesel im Vergleich zu Raps möglich sein.

Daneben entsteht bei Rapsdiesel Glycerin als Abfallprodukt und die pflanzliche Biomasse enthält noch bis zu 80% schwer aufschließbare Lignozellulose-haltige Reststoffe. Algen sind hingegen Lignin-frei und enthalten kein Glycerin. Algenstämme, die mehr Kohlenhydrate als Öl bzw. kohlenhydratreiche Algenabfälle produzieren, lassen sich analog zu zucker- oder stärkehaltigen Pflanzen zu Ethanol fermentieren.

### *Erträge ausgewählter Kulturpflanzen*

<b>Kulturpflanze</b>	<b>kg Öl/Hektar</b>	<b>Liter Öl/Hektar</b>
Mais	145	172
Sojabohne	375	446
Sonnenblume	800	952
Raps (Canola)	1.000	1.190
Palmöl	5.000	5.959
Algen (aktuell)*	6.894	7.660
Algen (theoretisch)**	39.916	47.500

\*aktueller Biomasse-Ertrag aus verschiedenen Feldstudien mit gegenwärtig verwendeten Algen aus dem NREL ASP-Programm

\*\*erwarteter Ertragswert mit einem angenommenen Ölgehalt von 60%

*Quelle: NREL, Global Petroleum Club*

Algen sind außerdem äußerst genügsam und besitzen eine gute Kultivierbarkeit, insbesondere an Orten, die für Industrien nicht nutzbar sind. Gerade an Küstenregionen oder Salzwasserquellen, die keine Trinkwasserqualität besitzen, treten Algen im Vergleich zu anderen Energiepflanzen nicht in Konkurrenz zur Nutzung der landwirtschaftlichen Nutzfläche für Lebens- oder Futtermittel. Die nahrhaften Algenreste können sogar als Futtermittel verwendet werden. Algen sind zudem das ganze Jahr über kultivierbar, vorausgesetzt, sie erhalten genügend Sonnenlicht. Darüber hinaus benötigen die phototrophen Organismen keine Düngemittel und ihre Herstellung verbraucht keine

fossilen Energieträger für Landbearbeitung und Transport. Stattdessen können sie zum CO<sub>2</sub>-Abbau aus der Atmosphäre oder aus Abgasen der Industrie durch CO<sub>2</sub>-Emissions-Kopplung mit Kraftwerken verwendet werden. Denn durch die stärker werdende gesetzliche Limitierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes werden die ungeheuren CO<sub>2</sub>-Bindungsfähigkeiten der Algen für die Entwicklung einer nachhaltigen Umwelttechnologie zur Senkung des Treibhausgases CO<sub>2</sub> immer gefragter.

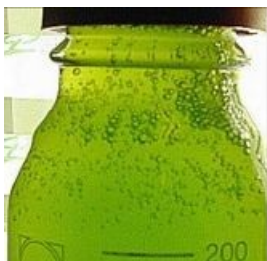
### **Algen galten als Kraftstoffquelle bislang als zu teuer**

Die Nutzung von Algen als Rohstoff ist nicht neu. Bereits 1978 rief in Amerika das Energieministerium (*Department of Energy*, DOE) mit der Gründung des *Aquatic Species Program* (ASP) eine Förderstrategie ins Leben, die speziell Algen als erneuerbare Energiequelle zur Biodiesel-Produktion untersuchen sollte. Von insgesamt 300 gesammelten Mikroalgen wurden schließlich zwei Stämme (*Ankistrodesmus sp.* und *Boekelovia sp.*) ausgewählt und hinsichtlich Wachstumsbedingungen und Lipidgehalt näher untersucht. Nach 20 Jahren Forschung fasste das *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) 1998 die Ergebnisse dieser Untersuchungen in einer Studie zusammen (siehe Download) und stellte zunächst fest, dass die Nutzung von Algen aufgrund unschlagbar billiger Rohölpreise und aufwendiger Verfahren zur Kultivierung und Ölextraktion aus der Algenmasse nicht rentabel sei. Zuviel direktes Sonnenlicht tötet Algen, Überwachsung und zuviel Sauerstoff hemmt ihr Wachstum, eingeblasenes CO<sub>2</sub> als Nährstoffquelle kann die empfindlichen Zellen zerreißen. Die Kultivierung in offenen Tanks ist ungeschützt gegenüber Regenfällen oder zu starken Verdunstungen, was zu Verschiebungen der pH-Konzentrationen oder zu einem Überwachsen durch anderer lokale Algenarten führte. Ein weiteres Problem liegt in der technischen Umsetzung der Energiegewinnung im industriellen Maßstab-beispielsweise bei der Entwicklung geeigneter Trennverfahren.

Mittlerweile glauben die Wissenschaftler vom NREL allerdings, dass aufgrund der neuer technologischer Entwicklungen und der veränderten Klimapolitik das Projekt erneut gestartet werden könnte. Fortschritte in der Biotechnologie sollen nun dabei helfen, Algen als Ersatzstoff für Treibstoffe zu verwirklichen. Möglichkeiten zur Kultivierung von Algen in großen Algenfarmen, wie sie in Asien bereits üblich sind, stoßen daher auch in Deutschland auf zunehmendes Interesse.

### **5.2 Umweltfreundliche Wasserstoffherzeugung durch Algen**

Algen bieten sogar eine Alternative zu der bisherigen Gewinnung von Wasserstoff, der als der erneuerbare Energieträger der Zukunft gilt. Bislang verbraucht die Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse aus Wasser genauso viel Energie, wie sie später als Autotreibstoff liefern soll. Eine Alternative dazu bilden auch hier nachwachsende Rohstoffe. Denn Wasserstoff wird unter bestimmten Bedingungen auch bei der Photosynthese in Pflanzen durch das Enzym Hydrogenase erzeugt. Die Pflanzen benötigen dafür nur die Sonnenenergie. Allerdings findet die Wasserstoffherzeugung in Pflanzen zum Schutz vor freien Wasserstoffkernen (Protonen) nur als Notprogramm statt und wird durch die Anwesenheit von Sauerstoff gehemmt.



*Unter Schwefel- und Sauerstoffmangel beginnen Mikroalgen mit der Produktion von Wasserstoff.  
Quelle: Ruhr-Universität Bochum*

Entdeckt wurde diese Form der Wasserstofferzeugung, schon in den 30er-Jahren des letzten Jahrhunderts vom deutschen Forscher Hans Gaffron. Seit einigen Jahren wird in Deutschland intensiv an der Wasserstoffproduktion durch Algen geforscht. Mikroalgen wie Grünalgen oder Cyanobakterien (Blaualgen) werden auf eine Schwefeldiät gesetzt, wodurch die Algen nicht mehr Biomasse aufbauen sondern Wasserstoff produzieren. Der Wirkungsgrad der dabei erreichten Wasserstoffproduktion ist allerdings noch sehr niedrig und führt nach kurzer Zeit zum Absterben der Algen. Durch Optimierung der Teilprozesse in den Algen und ihrer enzymatischen Bestandteile soll dieser Vorgang verbessert werden.

**Mehr zum Thema auf [biotechnologie.de](http://biotechnologie.de)**

News: [Grünalgen als umweltfreundlicher Energielieferant](#)

## **Standort Bochum spezialisiert auf Photobiotechnologie**

Vor allem die [Ruhr-Universität Bochum](#) hat sich als ein Forschungsstandort der photobiologischen Wasserstoffproduktion etabliert. Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Projektvorhabens befasst sich ein interdisziplinäres Netzwerk von Biologen, Chemikern, Biophysikern, Energie- und Verfahrenstechnikern mit der Herstellung von Wasserstoff durch biologische Wasserspaltung in Algen während der Photosynthese. Dabei sollen Modellsysteme entwickelt werden, in denen hochaktive Hydrogenasen an die photosynthetische Wasserspaltung gekoppelt werden – unter Lichteinwirkung sollen diese Nanosysteme dann Wasserstoff produzieren.

Darüber hinaus wollen die Wissenschaftler das zelluläre System von Mikroalgen durch gentechnische Veränderung dahingehend optimieren, dass neben einer photosynthetischen Wasserstoffproduktion gleichzeitig eine CO<sub>2</sub>-Fixierung zur Biomasseproduktion stattfindet. Dadurch könnten Algen als Wasserstoffproduzent und als Biodiesel- oder Bioethanollieferant genutzt werden.

### **5.3 Deutsche Unternehmensprojekte mit Mikroalgen**

Während die Algenzucht in Asien überwiegend in offener Beckenhaltung erfolgt, macht der Algenbioreaktor der Subitec GmbH, einer Ausgründung aus dem Fraunhofer Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, die landgestützte Zucht in geschlossenen Bioreaktoren möglich. Das Stuttgarter Unternehmen entwickelte hierzu einen speziellen Photobioreaktor, den Flachplatten-Airlift-Projektor (FPA), mit dem sich Algenbiomasse in industriellem Maßstab produzieren lässt. Im Juni 2007 schloss die [Subitec GmbH](#) ihre erste Finanzierungsrunde über 610.000 Euro mit dem High-Tech Gründerfond als Lead-Investor erfolgreich ab. Damit soll nun der Aufbau einer Pilotanlage realisiert werden. Nach Angaben von Geschäftsführer Peter Ripplinger, können mit den senkrecht stehenden Bioreaktoren 100 bis 150 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Hektar und Jahr in Biomasse umgesetzt werden. Die gleiche Fläche Wald setzt gerade mal drei bis zehn Tonnen CO<sub>2</sub> um. Aufgrund der Produktion in geschlossenen Bioreaktoren, können die Algen auch steril kultiviert werden, was insbesondere der Pharma- und Kosmetikindustrie weitere Nutzungsmöglichkeiten eröffnet. Nebenprodukte der Algen können zur Kostendeckung der aufwendigen Kultivierung und Aufreinigung in Bioreaktoren genutzt werden. Der rote Farbstoff Astaxanthin beispielsweise, der von den Mikroorganismen abgegeben wird, wird als Lebensmittelfarbstoff eingesetzt und ist ein wichtiger Bestandteil der Kosmetikindustrie.

Ein weiteres Projekt wird von dem Konsortium aus der Jacobs-Universität Bremen, *Novagreen*, *BlueBioTech GmbH* und dem Alfred-Wegener Institut realisiert. Das *Greenhouse Gas Mitigation Project (GGMP)* will pro Jahr und Quadratkilometer Algenfarm 30.000 Tonnen CO<sub>2</sub> einfangen und mit dem Verkauf von Emissionsrechten die Anlagekosten und die Treibstoffproduktion finanzieren. Die Kosten der Anlage pro Quadratkilometer schätzen Mitarbeiter auf 15 Mio Euro. Mit immerhin 25 Quadratkilometern könnten die Abgase eines mittleren 350-Megawatt-Kraftwerks entsorgt werden, konventionelle Pflanzen würden hierfür hunderte Quadratkilometer benötigen.

Bereits seit dem Jahr 1999 existiert in Deutschland die weltweit einzigartige und größte geschlossene Produktionsanlage für Mikroalgen in Klötze/Altmark, in der die Grünalge *Chlorella vulgaris* in einem 500 km langen patentierten Glasröhrensystem kultiviert wird. Die Technologie dazu stammt vom IGV Institut für Getreideverarbeitung GmbH, das Anfang 2007 unter dem Konzept „Emissions to Biofuels“ eine Kooperation mit dem US-Unternehmen *GreenFuel* einging. *GreenFuel* ist ein Spin-off Unternehmen des MIT und der University of Cambridge. Ziel ist die Entwicklung eines neuen Kultivierungsverfahrens von Mikroalgen zur wirtschaftlichen Herstellung von Biodiesel. Mit den Algen sollen 100.000 l Öl pro Hektar und Jahr produziert werden. Peter Kretschmer, Geschäftsführer der IGV, rechnet mit einem Einstieg in die großtechnische Anwendung in sieben bis zehn Jahren.

Aber nicht nur in Deutschland, sondern weltweit wird an den optimalen Kultivierungsbedingungen für Algen gearbeitet, da Algen trotz ihrer Genügsamkeit vor allem ausreichend Sonnenlicht benötigen. Denn die durchschnittliche Sonnenscheindauer pro Jahr beträgt in Bremen gerade 1200 Stunden und erreicht aber bereits in Sofia mit 2100 Stunden oder in Dubai oder Bombay mit 3000 Stunden ganz andere Kultivierungsvoraussetzungen. Daher sehen Experten die zukünftigen Standorte für große Algenfarmen nicht in Deutschland, sondern eher in Gebieten mit hoher Sonneneinstrahlung, wie in Süd- und Osteuropa oder Afrika.

## **Weltweite Entwicklung von Algenkraftstoffen**

Die Herstellung von Algenkraftstoffen wird auch in vielen Ländern Europas und Amerika verfolgt. Der Schwerpunkt liegt vor allem in der Entwicklung geeigneter Industrieanlagen, die als Algenfarmen zur Treibstoffproduktion im industriellen Maßstab verwendet werden können.

Anfang 2007 vermeldete das spanische Biotech-Unternehmen *Bio-Fuel-Systems* (BFS) den Bau der ersten industriellen Anlage weltweit zur Algensprit-Produktion in der Region Alicante in Spanien. Den spanischen Wissenschaftlern um Christian Gomis war es gelungen, Algen in drei Meter langen senkrechten Röhren im industriellen Maßstab zu kultivieren und dabei die Wachstumsdichte auch noch zu erhöhen. Auch aus Frankreich, Holland, Portugal und USA nehmen die Nachrichten über geplante oder im Bau befindliche Algenfarmen rasant zu. Wissenschaftler des französischen Forschungsinstituts INRIA berichteten sogar Anfang des Jahres von Ölausbeuten aus Algen, die im Verhältnis 30 mal ergiebiger als Raps seien. In Villefranche-sur-Mer laufen nun erste Versuche mit Mikroalgen.

Mitte des Jahres verkündeten das Biotech-Unternehmen *Vertigro* und *SGCEnergia* aus Portugal die Bildung eines gemeinsamen europäischen Biodiesel Rohstoffunternehmens auf Basis von Mikroalgen. Miteigentümer von *Vertigro* ist das amerikanische börsennotierte Unternehmen *Global Green Solutions*, das sich auf die Entwicklung von Ökotechnologien für erneuerbarer Energien spezialisiert hat. Der Baubeginn der Pilotanlage in der Nähe von Lissabon ist für Ende 2007 geplant. Das Abkommen sieht vor, dass *SGC* sich verpflichtet, weitere gewerbsmäßige Anlagen in Portugal und anderen Ländern Europas zu bauen. Darüber hinaus sollen auch in Afrika Anlagen gebaut werden. Auch in Israel startete 2006 eine Kooperation zur Kraftstoffgewinnung aus Algen zwischen dem amerikanischen Unternehmen *GreenFuel Technologies* und der israelischen Biotech-Firma *Algatechnologies*, die in der Wüste Arava an der effizienten Kultivierung von Algen in

geschlossenen Bioreaktoren arbeitet. Das Projekt wird durch die BIRD (*Israel-US Binational Industrial Research and Development*) Foundation mit 36 Millionen Dollar unterstützt.

In Neuseeland laufen bereits Tests für Algen-Biodiesel der Firma *Aquaflow Bionomic* in Marlborough. Der Biodiesel enthält momentan nur eine aus Algen gewonnene Kraftstoffbeimischung von 5%. Das Unternehmen hat eine Million NZ-Dollar und eineinhalb Jahre Forschung in diese Entwicklung investiert, mit der sie aus in Abwasser wachsenden Algen Öl gewinnen können. Für 2008 wird ein Biodiesel-Beimischungszwang durch die neuseeländische Regierung erwartet.

Auch in Amerika wird die Entwicklung erneuerbarer Energien dank milliardenschwerer Investitionen kräftig angeschoben. US-Präsident George W. Bush forderte in einer Rede zur Lage der Nation 2007, dass bis zum Jahr 2017 mindestens 20% des Benzinbedarfs der USA, d.h. 132 Milliarden Liter, aus dem eigenen Land stammen müsse. Bereits mehrere US-Start-Ups, wie *LiveFuels*, *SolixBiofuels*, *PetroSun*, oder *Solazyme* arbeiten dabei an verschiedenen Technologien, mit denen sich speziell gezüchtete Algen kultivieren und zu Biodiesel verarbeiten lassen. Während *Solix Biofuels* mit geschlossenen Algentanks operiert, sieht *LiveFuels* die einzig kommerziell lohnende Möglichkeit zur Algenkultivierung mit offenen Beckensystemen. Kapitalgeber unterstützten diesen Ansatz bislang mit 10 Millionen Dollar. Das Spin-off Unternehmen GreenFuel aus dem MIT in Cambridge erhielt bislang 20 Millionen Dollar von Venture-Capital-Gebern, womit GreenFuel die Frühphasenfinanzierung weiterer vielversprechender Unternehmen und ihrer Technologien auf diesem Gebiet unterstützt. Das Beratungsunternehmen *New Energy Finance* schätzte für das Jahr 2006, dass weltweit ein Investitionsvolumen von 8,6 Milliarden Dollar in erneuerbare Technologien durch Venture-Capital-Unternehmen und private Geldgeber aufgebracht wurde, was eine Steigerung um 68% gegenüber 2005 bedeutete. Der größte Teil des Geldes für derartige Unternehmen kam dabei aus den USA, insbesondere aus dem Silicon Valley, das sich damit zunehmend zu einem Hochtechnologiepark, dem „Green Valley“, für erneuerbare Technologien entwickelt.

## **Bio-Kerosin aus Algen**

Energiehersteller konkurrieren um einen neuen Rohstoff: Algen. Das US-amerikanische Start-up-Unternehmen Solazyme hat eine neue Methode entwickelt, um aus dem glitschigen Grünzeug Kraftstoff zu gewinnen. Das Herstellungsverfahren wurde so optimiert, dass der Biosprit bald möglicherweise nicht viel mehr kosten würde als aus Erdöl gewonnenes Benzin.

Solazyme nimmt genetisch veränderte Algenstämme und setzt sie in dunkle, abgeschlossene Zuchtanks, riesige Behälter aus rostfreiem Stahl. Der Grund: Die Algen sind nicht dem Sonnenlicht ausgesetzt – können also keine Photosynthese betreiben, um Energie zu gewinnen. Stattdessen werden sie mit Biomasse gefüttert. Aus ihr ziehen die Algen Zucker, den sie dann in Öl umbauen. Dieses pflanzliche Rohöl lässt sich zu unterschiedlichen Treibstoffvarianten verarbeiten – darunter Diesel, aber auch Flugbenzin.

Das Wachstum der Algen im Dunkeln ist deshalb sinnvoll, weil sie sich dabei völlig auf die Produktion des Öls konzentrieren und in kurzer große Mengen davon produzieren. Außerdem lassen sich möglicherweise deutlich mehr Algen züchten, wenn man sie mit Zucker füttert, statt mit Sonnenenergie in Teichen – die Produktion von Biokraftstoff wird also billiger. Allerdings derzeit noch nicht billig genug, um mit Treibstoffen aus Erdöl mithalten.

Der Algen-Sprit wurde bereits in einem Dieselfahrzeug getestet und könnte in zwei oder drei Jahren auf den Markt kommen. Das Foto zeigt ein Labor, in dem aus Algen Treibstoff gewonnen wird. Auf Hawaii zum Beispiel gibt es bereits eine große Algenfarm, die diese Technologie im großen

Maßstab realisieren will. Algenreaktor schluckt CO<sub>2</sub> - Physiker entwickeln System zur Umwandlung des Klimakillers

**Duisburg, 11.03.2009: Der Klimawandel gilt als eines der größten Probleme des 21. Jahrhunderts. Hauptverantwortlich ist der hohe CO<sub>2</sub>-Ausstoß, der vor allem durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe - also Öl, Kohle, Gas oder Holz - entsteht. Um den Treibhauseffekt aufzuhalten, versuchen sich Wissenschaftler an unterschiedlichen technischen Entwicklungen. Eine Lösung macht die Natur vor:**

Grünpflanzen filtern durch In einem komplexen Prozess, Photosynthese genannt, zerlegen diese Lebewesen mit Hilfe von Sonnenlicht und ihrer Blutfarbstoffe, vor allem den grünen Chlorophyllen, Wasser in seine Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff. Photosynthese das Treibhausgas aus der Die L. besteht hauptsächlich aus den Gasen Stickstoff (ca. 78 Vol.-%), Sauerstoff (ca. 21 Vol.-%), ca. 0,03 Vol.-% Kohlendioxid, unterschiedlichen Edelgasen (weniger als 1 Vol.-%) sowie verschiedenen Schadstoffen. Luft. Ähnliches passiert in Bioreaktoren, wo Grünalgen, bekannt für ihr schnelles Wachstum, zugeführtes CO<sub>2</sub> zu Als B. wird die auf der Erde vorhandene organische Substanz in lebenden, toten oder zersetzten Organismen bzw. deren Exkrementen bezeichnet. Biochemische Grundlage jeglicher B. ist der Kohlenstoff. Alle B. ist durch die von grünen Pflanzen gespeicherte Sonnenenergie entstanden. Biomasse umwandeln. Diesen Prozess wollen Physiker der Uni Duisburg-Essen (UDE) industriell nutzen. Die Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Hilmar Franke hat einen faseroptischen Photo-Bioreaktor entwickelt. Das bislang einzigartige System filtert Farbloses, unbrennbares, schwach säuerliches riechendes und schmeckendes Gas. In freiem Zustand natürlicher Bestandteil von Luft (0,03 – 0,036 Vol.-Prozent) und Mineralquellen. Kohlendioxid aus dem Abgas fossiler Energieerzeugung.

Oder anders ausgedrückt: Die Wissenschaftler haben einen Algenreaktor gebaut, der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Heizungsanlagen zu Biomasse, sprich Chemisches Element der VI. Hauptgruppe, Symbol O, Ordnungszahl 8, Siedepunkt –182,97 °C, Schmelzpunkt –218,79 °C, bei Normalbedingungen farb- und geruchloses Gas, tritt normalerweise als S.-Molekül auf, kann aber auch kurzzeitig atomar oder als Ozon auftreten. Es ist das häufigste Element auf der Erde (Erdrinde 46,5 Gew.-%, Gewässer 89 Gew.-%, Luft 23 Gew.-%). Sauerstoff und Artenreiche Abteilung des Pflanzenreichs. Niedere, autotroph lebende Pflanzen aus einzelnen Zellen oder Zellverbänden, die zumeist im Wasser, aber auch im Boden leben. Algen macht. Der CO<sub>2</sub>-Vernichter funktioniert so: Auf einem Gebäudedach wird über einen Lichtsammler Tageslicht eingefangen. Dünne hocheffiziente Kabel, so genannte Lichtleitfasern, transportieren das Licht gehört zur elektromagnetischen Strahlung, es umfasst den für Menschen sichtbaren Spektralbereich zwischen UV-Strahlung und Infrarotstrahlung. Licht in den Bioreaktor. Hier wird die Algensuppe mit den Emissionen einer Industrieanlage begast. Die Algen verwerten dank des Lichts das CO<sub>2</sub> und vermehren sich.

Aus den zwei Effekten - Vernichtung von Treibhausgas und Entstehung von Biomasse - lässt sich trefflich Kapital schlagen, erklärt Prof. Franke: "Stichwort Emissionshandel: Wer durch umweltfreundliche Technologien Kohlendioxid einspart, kann überschüssige Verschmutzungszertifikate verkaufen. Stichwort Biomasse: Algen werden schon jetzt in vielen Industriezweigen verwertet. In unserem Fall ließen sie sich als Biotreibstoff oder für Baustoffe vermarkten."

Die technische Entwicklung des Algenreaktors ist abgeschlossen. Was den UDE-Forschern noch fehlt, sind interessierte Investoren. Die hoffen sie auf der Hannovermesse zu finden, wo sie im April den Prototypen ihrer Entwicklung, ein gläsernes Modell, vorstellen. "Wir denken da an die Biogastechnologie oder an Betreiber von Klär- oder Heizanlagen", so Franke und rechnet vor: "Ein 50qm großes Geneigte D. sind weniger bauschadensanfällig und sollten Flachdächer vorgezogen

werden. Dach würde ausreichen, eine Tonne CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr umzusetzen. Ein Hallendach von einem Hektar könnte in Deutschland rund 200 Tonnen Treibhausgas vernichten."

Und auch das spricht aus Sicht des Physikers für das System made in Duisburg-Essen: "Ein Algenreaktor mit einem Hektar Lichtsammel­fläche kann mehr als 200 Mal mehr CO<sub>2</sub> umsetzen als ein Buchen- oder Eichenwald gleicher Fläche. Auch die Ausbeute gegenüber einem Hektar Der Mais ist eine einhäusige, getrenntgeschlechtlich (monözisch) Pflanze, die bis zu 2,5 Meter hohe Stängel hat, die in einen männlichen Blütenstand enden. Die weiblichen Blütenstände entspringen der mittleren Stängelhälfte. Die Fremdbestäubung erfolgt durch den Wind. Mais ist bis zu 20 Mal höher."

Für Privathaushalte wird der Bioreaktor erst in zweiter Der Begriff Generation bezeichnet die Geschlechterfolge (Eltern, Kinder, Enkel usw.). Generation geeignet sein. Ein CO<sub>2</sub>-1. Optische F. sind Gläser, die nur für bestimmte Wellenlängen des Lichtes durchlässig oder undurchlässig sind. Filter für kleine Objekte, zum Beispiel für ein Einfamilienhaus, stelle ganz andere Anforderungen an die Technik, sagt Franke. "Die Idee, dass der Schornsteinfeger nicht den Ruß, sondern Algenpulver aus dem Kamin kehrt, ist allerdings sehr reizvoll."



Algenpower an der Zapfsäule

**Biostrom aus Algenkraftwerken, Algensprit an der Tankstelle - Mikroalgen gehören zu den Energiequellen der Zukunft. Sie sind wahre Kraftpakete und können im Vergleich zu Landpflanzen ein Vielfaches an Energie liefern. Auf dem Zukunftsworkshop "Mikrosystemtechnik für die effiziente Bioenergieerzeugung" am 15. Oktober in Dresden wollen Expertinnen und Experten ausloten, wie die technischen Voraussetzungen für die Nutzung dieser natürlichen Energiequelle geschaffen werden können.**

In Deutschland werden heute 4,1 Prozent des Primärenergiebedarfs mit Bioenergie gedeckt; zu den bekanntesten Beispielen gehört Biodiesel aus Raps. Nicht zuletzt aufgrund des hohen Flächenbedarfs ist die Gewinnung von Bioenergie bislang jedoch wenig effizient. Soll Bioenergie einen ernsthaften Beitrag zur Energieerzeugung liefern, sind Effizienzsteigerungen um Zehnerpotenzen notwendig.

Weil sie in einem komplexen Prozess, Photosynthese genannt, zerlegen diese Lebewesen mit Hilfe von Sonnenlicht und ihrer Blutfarbstoffe, vor allem den grünen Chlorophyllen, Wasser in seine Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff. Photosynthese mit einem besonders hohen Der W. einer Anlage gibt an, wieviel Prozent der eingesetzten Energie in Strom umgewandelt wird. Bei der Umwandlung verschiedener Energieformen entsteht Wärme, die entweder als Prozess- oder Heizenergie verwendet wird oder bei alten Anlagen in die Umwelt gelangt. Wirkungsgrad betreiben, sind Artenreiche Abteilung des Pflanzenreichs. Niedere, autotroph lebende Pflanzen aus einzelnen Zellen oder Zellverbänden, die zumeist im Wasser, aber auch im Boden leben. Algen hervorragend für die Energieerzeugung geeignet. Bis zu 34,7 % der photosynthetisch aktiven Strahlung ist Energie, die in Form von Wellen bzw. Teilchen ausgesandt wird. Als Strahlung



bezeichnet man die elektromagnetische Strahlung dazu gehören Radiowellen, Mikrowellen, Infrarotstrahlung, Licht, UV-Strahlung, Röntgenstrahlung, Gammastrahlung, und die beim radioaktiven Zerfall entstehende Teilchenstrahlung, wozu Alphastrahlung, Betastrahlung und Neutronenstrahlung gerechnet werden (ionisierende Strahlung). Strahlung - das entspricht ungefähr dem sichtbaren Spektrum des Sonnenlichtes - werden vom Phytoplankton zur Biomasseproduktion genutzt. Daraus resultiert ein Biomasseertrag, der über dem Zehnfachen von höheren Landpflanzen liegt. Diese als B. wird die auf der Erde vorhandene organische Substanz in lebenden, toten oder zersetzten Organismen bzw. deren Exkrementen bezeichnet. Biochemische Grundlage jeglicher B. ist der Kohlenstoff. Alle B. ist durch die von grünen Pflanzen gespeicherte Sonnenenergie entstanden. Biomasse kann zur Produktion von B. gehört zu den regenerativen Energiequellen. B. entsteht beim bakteriellen Abbau von organischem Material (z.B. pflanzliche und tierische Abfälle) unter Luftabschluß in Anwesenheit von Wasser und innerhalb eines Temperaturbereiches von 20 bis 55 Grad C. Biogas, In einer Ökobilanz des ifeu-Institutes (2003) wurde nachgewiesen, dass beim Einsatz von einem Liter Biosprit 2,2 Kilogramm Treibhausgase eingespart werden. Für die Handhabung des Produktes Biodiesel sprechen seine gute biologische Abbaubarkeit und die daraus resultierende niedrige Wassergefährdung. Biodiesel, Bioethanol oder Biowasserstoff eingesetzt werden.

Ein weiterer Vorteil sind die biologischen Strukturen der sehr kleinen artenreiche Abteilung des Pflanzenreichs. Niedere, autotroph lebende Pflanzen aus einzelnen Zellen oder Zellverbänden, die zumeist im Wasser, aber auch im Boden leben. Algen - meist einzellige Mikroalgen mit einem Zelldurchmesser von wenigen bis einigen zig Mikrometern. Neue Methoden der B. ist die technische Nutzung lebender Organismen und ihrer Stoffwechselprodukte zur Produktion und Umwandlung von Substanzen. Biotechnologie können aus diesen Strukturen eine Effizienzsteigerung um mehr als eine weitere Zehnerpotenz herausholen.

Im industriellen Maßstab werden bislang weltweit weniger als 10.000 Tonnen Mikroalgen pro Jahr erzeugt. Neueste Entwicklungen der Mikrosystemtechnik und Mikroverfahrenstechnik ermöglichen hier eine erhebliche Steigerung. Werden bei der Algenzucht statt der klassischen Röhrenreaktoren Reaktoren aus der Mikroverfahrenstechnik eingesetzt, ist ein zehnfach höherer Ertrag möglich.

Darüber hinaus kann ein intelligenter Lichteintrag von Tageslicht, z.B. durch mikrostrukturierte Flächenlichtleiter, die für Anlagen zur Massenkultivierung der Algen benötigte Fläche zehnfach effizienter nutzen.

Die Bioenergie aus der Alge ist schon während der Produktion gut für das Klima. Das System setzt sich zusammen aus dem inneren und dem äußeren System.

Bei der Algenkultivierung können CO<sub>2</sub>-Abgase aus Kraft-, Zement ist ein fein gemahlene, hydraulisches Bindemittel zur Herstellung von Mörtel, Beton, Putz, Estrich und künstlichen Steinen. Die wichtigsten Rohstoffe Kalkstein, Ton (Tonminerale) und ihr natürliches Gemisch, der Kalkmergel, werden an vielen Stellen in Deutschland im Tagebau abgebaut, gemahlen und meist in Drehöfen oberhalb der Sintertemperatur von 1.400 bis 1.450 °C gebrannt. Zement- oder Kalkwerken genutzt werden. Ihren Beitrag zur Minderung von Treibhausgasen können die Betreiber entsprechender Anlagen durch den Verkauf von Emissionszertifikaten als weitere Einnahmequelle nutzen.

Auf dem Mikrosystemtechnik-Kongress 2007 in Dresden soll in einem Zukunftsworkshop ausgelotet werden, welche Beiträge die Mikrosystemtechnik und die Mikroverfahrenstechnik für eine effiziente Bioenergieerzeugung bieten können. Expertinnen und Experten aus Die Biologie ist die Wissenschaft vom Leben. Biologie, Bioverfahrenstechnik, Mikroverfahrenstechnik, Optik und Energieversorgung werden über ihre Erfahrungen berichten und Problemlösungsansätze diskutieren.

Der Mikrosystemtechnik-Kongress ist die zentrale deutschlandweite Mikrosystemtechnik-Veranstaltung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und des VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.. In Konferenz, Ausstellung und Nachwuchsforum werden Forschung und Auch als sekundärer Sektor bezeichnet, in Abgrenzung von Landwirtschaft (primärer Sektor) und Dienstleistungen (tertiärer Sektor). Industrie, P. (= autotrophe Organismen) bauen mit Hilfe von Lichtenergie (grüne Pflanzen, Photosynthese) oder mittels chemischer Energie (manche Bakterien) aus energiearmen anorganischen Stoffen komplizierte energiereichere organische Verbindungen auf. Produzenten und Anwender, Ausbilder und Studenten, Politik und Netzwerke vom 15. bis zum 17. Oktober in Dresden gemeinsam die Weichen für die Zukunft stellen. Der Kongress wird von der VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik (GMM) und der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH organisiert. Den Kongressteilnehmern wird ein umfassender Überblick über die aktuellen Initiativen im Rahmenprogramm "Mikrosysteme" des BMBF geboten. Im Zukunftsworkshop "Mikrosystemtechnik für die effiziente Bioenergieerzeugung" am 15. Oktober können sie außerdem aktiv an der Gestaltung möglicher kommender Förderungsschwerpunkte im Rahmenprogramm "Mikrosysteme" mitwirken.

Für den Workshop "Mikrosystemtechnik für die effiziente Bioenergieerzeugung" ist die Teilnehmerzahl begrenzt. Anmeldungen unter: [www.mikrosystemtechnik-kongress.de/anmeldung/bioenergie](http://www.mikrosystemtechnik-kongress.de/anmeldung/bioenergie)