



## Synthetische Biologie und künstliches Leben – eine kritische Analyse

### **Teil 2: Die Erzeugung und Nutzung von Biokraftstoffen der zweiten Generation („Synthi-Fuels“)**

## **Synthetische Biologie und künstliches Leben - eine kritische Analyse**

### **Teil 2**

#### **Die Erzeugung und Nutzung von Biokraftstoffen der zweiten Generation („Synthi-Fuels“)**

Ein Testbiotech Report von  
Christoph Then, Christof Potthof und Sylvia Hamberger  
Stand 16. 08. 2010

Wir danken László Maráz für wertvolle Anregungen  
Wir danken der grassroots foundation für finanzielle Unterstützung

Editierung: Maren Borgerding  
Layout: Claudia Radig-Willy

#### **Impressum**

Testbiotech e.V.  
Frohschammerstr. 14  
80807 München  
Tel.: +49 (0) 89 358 992 76  
Fax: +49 (0) 89 359 66 22  
info@testbiotech.org  
www.testbiotech.org

Geschäftsführer: Dr. Christoph Then  
Eingetragen als gemeinnützig beim  
Finanzamt München 2008  
Datum der Veröffentlichung:  
September 2010

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1. Biokraftstoffe: Potenziale und Probleme	6
1.1 Die zweite Generation der Biokraftstoffe: technische Optionen	6
1.2 Agrosprit und Biokraftstoffe: Ziele, Märkte, Nachhaltigkeit	8
2. Synthetische Biologie und Biokraftstoffe	16
2.1 Allgemeiner technischer Stand	16
2.2 Firmenprofile	16
2.3 Wirtschaftliches und politisches Umfeld	22
3 „Synthi-Fuels“: Die falsche Strategie	26
3.1 Das Ressourcenproblem und Treibstoffe aus Lignozellulose	26
3.2 Unkontrollierte Freisetzungen und die Nutzung von Algen	26
3.3 Die Nutzung in Stoffkreisläufen	28
3.4 Green Goo around the corner	29
3.5 Teil der Lösung oder Ursache neuer Probleme?	30
4. Schlussfolgerungen und Empfehlungen	32
Quellen	34

## Zusammenfassung

In dem ersten Teil des Reports „Synthetische Biologie und künstliches Leben – eine kritische Analyse“ (Juni 2010) hat Testbiotech einen Überblick über Risiken und Forschungsaktivitäten im Bereich der Synthetischen Biologie gegeben und die Grundlagen neuer Schutzkonzepte aufgezeigt (Then & Hamberger, 2010). Der hier vorliegende zweite Teil des Berichts widmet sich einer Art Megatrend innerhalb der Synthetischen Biologie: der sogenannten zweiten Generation der „Agrarkraftstoffe“ oder „Biofuels“.<sup>1</sup>

Mit dieser zweiten Generation der Biokraftstoffe sollen Rohstoffe wie Holz und Gräser, Abfälle aus der Tierproduktion, Zeitungen, aber auch landwirtschaftliche Nutzpflanzen und Algen energetisch erschlossen werden, deren Verwertung bisher oft nicht wirtschaftlich erschien. Mithilfe der Synthetischen Biologie werden u. a. Enzyme und Mikroorganismen ‚designed‘, die die Energieausbeute dieser Rohstoffe wesentlich erhöhen sollen. Das Ergebnis sind Kraftstoffe, die man auch als „Synthi-Fuels“ bezeichnen könnte.

Die Synthetische Biologie wird als positiver Beitrag zum Klimaschutz dargestellt, weil sie unter anderem mit einer verminderten Konkurrenz zur Nahrungspflanzenproduktion punkten könne. Sie wird als eine Technologie propagiert, die Lösungen für die Probleme des Klimawandels, die Erzeugung von Energie und die Schonung natürlicher Ressourcen bietet. Grundsätzliche ethische Fragen nach der Erzeugung künstlichen Lebens und nach Risiken für die Umwelt werden dabei oft in den Hintergrund gedrängt.

Wie dieser Bericht zeigt, geht es bei der Einführung der Synthetischen Biologie in erster Linie um neue Märkte, zusätzliche Gewinne und die exklusive Kontrolle von Rohstoffen und Wertschöpfungsketten. Von einigen der Firmen werden Patente angemeldet, die vom manipulierten Mikroorganismus bis zu den Fahrzeugen reichen, die mit den neuen Synthetischen Kraftstoffen betankt werden sollen. Hinter vielen der relativ kleinen Firmen, die sich auf den Einsatz der Synthetischen Biologie fokussieren, stehen in den meisten Fällen große Kooperationspartner wie Cargill, Dow Chemical und Syngenta, BP oder Exxon, die in der Synthetischen Biologie ein Instrument zur Ausdehnung bzw. Absicherung ihrer Märkte sehen. Zudem können beispielsweise die großen Öl-Konzerne mit relativ geringen Investitionen den Eindruck erwecken, es gebe eine Lösung des Klimaproblems, die umweltfreundlich und nachhaltig ist und keiner grundsätzlich neuen Strategie für Mobilität und Energieerzeugung bedarf.

Auch unter optimistischen Annahmen wird die synthetische Biologie bei der Produktion der zweiten Generation von Biokraftstoffen aber nur einen bescheidenen Beitrag zur Lösung des Klimaproblems leisten können. Abgesehen davon, dass sie noch in ihrer Entwicklungsphase steckt und der Beweis ihrer grundsätzlichen technischen Eignung noch aussteht, bringt der Einsatz der Synthetischen Biologie spezifische Risiken mit sich: Gewollte oder ungewollte Freisetzungen von Organismen mit synthetischem Erbgut bergen neuartige Umweltrisiken. Da bei der Erzeugung von Biofuels immer große Mengen von entsprechenden Organismen eingesetzt und die anfallende Biomasse über offene Stoffkreisläufe (wie Tierfutter und Düngemittel) entsorgt werden soll, erscheint eine unkontrollierte Verbreitung von synthetischen Organismen in der Umwelt fast unvermeidbar.

---

<sup>1</sup> In diesem Bericht wird im weiteren die Bezeichnung Biokraftstoffe verwendet, obwohl die Silbe „Bio“ missverständlich ist.

Weiteren Risiken und Problemen bei der Herstellung von Biokraftstoffen vermag auch die Synthetische Biologie nicht beizukommen – es besteht sogar die Gefahr, dass sie bestehende „Brandherde“ weiter befeuert:

1. Werden die Verfahren zur Herstellung von Biokraftstoffen aus Lignozellulose ökonomisch effizienter, nimmt auch die Fläche zu, die für die Produktion geeigneter Pflanzen benötigt wird. Diese Flächen stehen auch bei der zweiten Generation von Biokraftstoffen in vielen Fällen in Konkurrenz zu den Flächen der Nahrungsmittelerzeugung. Die wirtschaftliche Spekulation mit landwirtschaftlichen Rohstoffen und Böden würde damit weiter angeheizt.
2. Eher extensiv oder nicht genutzten Ökosystemen wie (Ur-)Wäldern und Grasland drohen bei vermehrter Nachfrage Zerstörung bzw. Übernutzung – mit erheblichen ökologischen Folgen.
3. Bei der energetischen Nutzung von Abfallstoffen werden die Transporte und anderer Energieeinsatz sowie der erhöhte Wasserverbrauch in der Kosten-Nutzen-Analyse ungenügend berücksichtigt.

Bisher werden die möglichen Risiken der Synthetischen Biologie in der Öffentlichkeit kaum thematisiert. Die Synthetische Biologie wird vorwiegend positiv dargestellt, der Einsatz der zweiten Generation der Biokraftstoffe politisch massiv gefördert. Aber die Synthetische Biologie wirft grundlegende Fragen auf: Darf und soll künstliches Leben geschaffen werden? Welche Einflussmöglichkeit hat die Gesellschaft auf diese Entwicklung? Was ist künstliches Leben? Wer entscheidet über diese Fragen? Welche Einflussmöglichkeit hat die Gesellschaft auf diese Entwicklung? Diese Fragen können nicht erst entschieden werden, wenn Produkte zur Vermarktung anstehen.

Nach Ansicht von Testbiotech erfordert der Umgang mit der Synthetischen Biologie eine umfassende gesellschaftliche Debatte und neue Sicherheitskonzepte. Angesichts der neuen technischen Möglichkeiten fordert Testbiotech auch die Entwicklung von neuen Schutzkonzepten und hat dazu im Internationalen Jahr der biologischen Vielfalt 2010 einen Aufruf veröffentlicht.<sup>2</sup> Im Hinblick auf den Schutz der Biodiversität bedeutet insbesondere die Freisetzung synthetischer Lebensformen einen nicht verantwortbaren Eingriff in die Integrität der Evolution. Gewollten und ungewollten Freisetzungen muss deswegen durch geeignete Schutzkonzepte vorgebeugt werden. Zudem müssen die Aktivitäten von Firmen und Forschungseinrichtungen, die Gene und Mikroorganismen künstlich synthetisieren, möglichst lückenlos überwacht werden.

---

<sup>2</sup> <http://www.testbiotech.org>

## 1. Biokraftstoffe: Potenziale und Probleme

Unter Biokraftstoffen versteht man flüssige oder gasförmige Brennstoffe, die aus Biomasse hergestellt und hauptsächlich im Verkehr als Antriebsmittel, aber auch zur Strom- und Wärmeerzeugung z. B. in Blockheizkraftwerken eingesetzt werden. Es wird zwischen der ersten und zweiten Generation von Biokraftstoffen unterschieden. Innerhalb der ersten Generation gibt es zwei Gruppen: aus Pflanzenöl hergestellten Biodiesel, der mit etablierten physikalisch-chemischen Verfahren (Pressung, Extraktion, Veresterung) aus ölhaltigen Pflanzen (Soja, Raps, Palmöl) gewonnen wird und Bioethanol, das mit biochemischen Methoden (Alkoholgärung) aus stärke- und zuckerreichen Pflanzen (Mais, Zuckerrohr, Weizen) hergestellt wird. Zur zweiten Generation zählen Kraftstoffe, die über thermochemische Verfahren (Vergasung, Pyrolyse) oder neue biotechnologische Synthesewege hergestellt werden<sup>3</sup> – wie Lingoellulose oder Zellulose-Ethanol.

Die Produktion von Pflanzenölen zur Herstellung von Biodiesel der ersten Generation gefährdet u. a. die Urwälder in Asien (u. a. durch Palmöl-Plantagen) und in Südamerika (u. a. durch Sojaanbau). Die Produktion der Treibstoffe der ersten Generation steht zudem in Konkurrenz zur Produktion von Nahrungspflanzen (siehe z. B. Cotula et al., 2009, United Nations, 2007, WBGU, 2008). Sie werden von Experten oftmals als „Agrofuels“ bezeichnet, um klarzumachen, dass die entsprechenden Rohstoffe von landwirtschaftlichen Nutzflächen stammen. Wegen der bekannten Probleme der ersten Generation der Biokraftstoffe wird von Politik und Industrie verstärkt auf die zweite Generation gesetzt. Durch eine Steigerung der Effizienz der Energieausbeute will man u. a. die Konkurrenz zu Nahrungspflanzen mindern.

### 1.1 Die zweite Generation der Biokraftstoffe: technische Optionen

Die Synthetische Biologie wird insbesondere mit der zweiten Generation von Biokraftstoffen in Verbindung gebracht. Das Besondere dieser neuen Generation von Kraftstoffen besteht darin, dass auch Rohstoffe genutzt werden, die bisher aus mangelnder Wirtschaftlichkeit und aufgrund technischer Probleme nicht verwendet wurden.

Dabei geht es vor allem um die Verwertung von Lignoellulosen (oder Lignicellulose) aus Getreide, Stroh, Schilfrohr, Holz, Papier und zellulosehaltigen Abfällen. Lignoellulosen (von lat. lignum = Holz oder Baum) bestehen aus Zellulose, Hemicellulosen und dem nicht fermentierbaren Lignin und bilden die Zellwand verholzter Pflanzen. Die Zellulosen dienen dabei als Strukturgerüst, in das beim Vorgang der Verholzung (Lignifizierung) das Lignin eingelagert wird. Mit seiner Festigkeit stabilisiert Lignin die Pflanzengewebe und schützt sie vor Zersetzung durch Bakterien und Pilze. Der Ligninabbau erfolgt in der Natur u. a. über spezialisierte Mikroorganismen und holzabbauende Pilze. Deswegen stehen unter anderem Weißfäule-Pilze, die Lignin und Zellulose abbauen können, im Fokus der Forschung.<sup>4</sup> Ziel ist es, diejenigen biochemischen und insbesondere enzymatischen Mechanismen zu identifizieren und zur industriellen Anwendung zu bringen, mit denen z. B. Weißfäule-Pilze oder bestimmte Bakterien im Termitendarm Holz und Stroh zersetzen.

Denn Lignoellulosen lassen sich technisch bisher nur schwer aufschließen. Mit speziellen Verfahren

<sup>3</sup> Definition angelehnt an WBGU, 2008

<sup>4</sup> <http://idw-online.de/pages/de/news378745>

müssen die drei wichtigsten Komponenten – Zellulose, Hemizellulose und Lignin – voneinander getrennt werden. Zellulose und Hemizellulose werden zu fermentierbarem Zucker verarbeitet. Da Lignozellulosen nicht nur Glucose (wie die Stärke), sondern auch andere Zucker wie Xylose und Arabinose enthalten und die Zuckerketten nur schwer zugänglich sind, treten bei deren Abbau bzw. Aufschluss Probleme auf. Das Pflanzenmaterial muss mit thermochemischen Verfahren vorbehandelt werden. Spezielle Enzyme (Cellulasen, Xylanasen, Glucosidasen) übernehmen die weitere Verzuckerung. Sie werden bisher aus Pilzen gewonnen, die in der Natur an der Verrottung von Pflanzenresten beteiligt sind. Da wesentlich mehr (teure) Enzyme als bei der Stärkeverzuckerung benötigt werden und nicht alle Zucker mit hoher Ausbeute vergoren werden können, führt dies zu geringerer Ausbeute und erhöhten Kosten. Deshalb wird in der Synthetischen Biologie ein erhebliches Potenzial vermutet: Mit speziell „designten“ Enzymen und „re-designten“ bzw. synthetischen Mikroorganismen will man den Abbau von Lignozellulosen „effizienter“ machen und die Energieausbeute verholzter Pflanzen und Rohstoffe wesentlich erhöhen. Insgesamt kommt die Produktion von Biokraftstoffen aus Lignozellulose nicht so schnell voran, wie geplant. Offensichtlich wurden die technischen Schwierigkeiten unterschätzt. Die US-Regierung will angesichts der technischen und wirtschaftlichen Probleme ihre Vorgaben für die Beimischung von Kraftstoffen senken.<sup>5,6</sup>

Ein weiterer Ansatz der zweiten Generation von Biokraftstoffen und dem (potentiellen) Einsatz der Synthetischen Biologie ist die Verwertung ölhaltiger Pflanzen und Algen zur Gewinnung von Biodiesel. Hier geht es weniger darum, bereits bestehende Biomasse besser aufzuschließen und umzuwandeln, als neue Wege zu finden, die Öl- und Energieausbeute bestimmter Organismen direkt zu erhöhen. Verschiedene Firmen versuchen dies bereits bei Algen. Die US-amerikanische Firma Synthetic Genomics hat hier jüngst einen Kooperationsvertrag mit dem Exxon-Konzern abgeschlossen, der ein Volumen von 300-600 Millionen Euro umfasst.<sup>7</sup> Aus Algen können Energieträger wie Öl, Ethanol, Methan oder Wasserstoff gewonnen werden (Schenk et al., 2008).

Die zweite Generation der Biokraftstoffe kann auch ohne die Synthetische Biologie genutzt werden. Es gibt bereits erste Fabriken zur Herstellung von Biokraftstoffen aus Lignozellulose, die mit unterschiedlichen technischen Verfahren arbeiten. Algen und Mikroorganismen können auch ohne den Einsatz der Gentechnik oder der Synthetischen Biologie weiter optimiert werden (siehe z. B. Mata et al., 2010). Zudem arbeitet man an weiteren technologischen Ansätzen wie dem Verfahren der Biomasseverflüssigung (Biomass to Liquid, BtL).

Demgegenüber verfolgt die Synthetische Biologie den Ansatz, Gene künstlich zu synthetisieren, zielgerichtet zu optimieren und auch Stoffwechselforgänge, die aus mehreren Stufen bestehen, effizient zu kombinieren. Nicht immer ist dabei die Trennschärfe zur Gentechnik gegeben. In vielen Fällen werden Gene verwendet, die aus natürlichen Lebewesen isoliert worden sind. Ob diese dann technisch re-synthetisiert und/oder noch weiter verändert werden, ist von Fall zu Fall verschieden. In diesem Bericht werden die Kraftstoffe, die von gentechnisch umgebauten oder synthetisch konstruierten Organismen stammen, auch vereinfacht „Synthi-Fuels“ genannt.

5 <http://www.heise.de/tr/artikel/Zaehe-Zellulose-1017476.html>

6 <http://www.sciencemag.org/cgi/content/summary/329/5993/784>

7 <http://www.syntheticgenomics.com/media/media.html>

<b>Cellulose Crops</b>		<b>Non-edible oil crops</b>	
Short rotation trees and shrubs	Eucalyptus (various) ( <i>Eucalyptus</i> spp.) Poplar ( <i>Populus</i> spp.) Willow ( <i>Salix</i> spp.) Birch ( <i>Betula</i> spp.)	Field Crops	Castor oil ( <i>Ricinus communis</i> ) Physic nut ( <i>Jatropha curcas</i> ) Oil radish ( <i>Raphanus sativus</i> ) Pongamia ( <i>Pongamia</i> spp)
Perennial grasses	Giant reed ( <i>Arundo donax</i> ) Reed canary grass ( <i>Phalaris arundinacea</i> ) Switch grass ( <i>Panicum virgatum</i> ) Elephant grass ( <i>Miscanthus</i> hybrids) Johnson grass ( <i>Sorghum halepense</i> ) Sweet sorghum ( <i>Sorghum bicolor</i> )	Trees and shrubs	Souari Nut ( <i>Caryocar brasiliensis</i> ) Buruti palm ( <i>Mauritia flexuosa</i> ) Grugri Palm ( <i>Acronomia aculeata</i> ) Neem ( <i>Azadirachta indica</i> ) Various native (brazilian spp.)
Aquatic Plants		Various algae	

Tabelle 1: Überblick über pflanzliche Rohstoffe für die 2. Generation von Biokraftstoffen (Quelle: Howarth et al., 2009).

Die Hoffnung auf effizientere, billigere Produktionsverfahren bei unbegrenzter Energiebereitstellung ist der Motor für das Engagement der Synthetischen Biologen. Derzeit geht man davon aus, dass die Kosten für die zweite Generation von Biokraftstoffen (bei der Herstellung von Bioethanol und verwandter Kraftstoffe) in den nächsten zehn Jahren um etwa 30 Prozent höher liegen werden als die Kosten für die herkömmliche Herstellung von Biokraftstoffen (EU Commission 2007). Im Bereich der Biomasseverflüssigung wird noch mit wesentlich höheren Kosten gerechnet (70 Prozent Preisdifferenz). Die tatsächlichen Kosten für die verschiedenen Produktionsverfahren werden für die Einführung der zweiten Generation von Biokraftstoffen entscheidend sein. Es besteht die Hoffnung, dass die Synthetische Biologie einen Beitrag zur Verbesserung der Effizienz und damit zur Kostensenkung leisten kann.

## 1.2 Agrosprit und Biokraftstoffe: Ziele, Märkte, Nachhaltigkeit

In den letzten Jahren sind verschiedene Berichte erschienen, die sich vor dem Hintergrund des Klimawandels mit den Optionen von Biokraftstoffen der ersten Generation bzw. Agrosprit befassen. In den folgenden Ausführungen wird auf den UN-Report Sustainable Bioenergy (United Nations, 2007) Bezug genommen sowie ein kurzer Überblick über die Entwicklungen hinsichtlich Landnutzung und Ressourcenverbrauch gegeben.



### 1.2.1 Anforderungen der UN an die Nutzung von Biomasse

Der UN-Report Sustainable Bioenergy (United Nations, 2007) nennt verschiedene wichtige Bereiche, die für eine nachhaltige Erzeugung von Energie aus nachwachsenden Rohstoffen wichtig sind:

- › Gewährleistung der Energieversorgung für arme Länder
- › Entwicklung der Agro-Industrie und Förderung der Entstehung von Arbeitsplätzen
- › Gesundheitliche und geschlechterrelevante Aspekte
- › Berücksichtigung landwirtschaftlicher Strukturen
- › Auswirkungen auf Nahrungssicherheit
- › Auswirkungen auf Handel und Energieversorgung
- › Auswirkungen auf die biologische Vielfalt
- › Auswirkungen auf den Klimawandel

Nach Aussagen der UN verfügt der Markt für Biokraftstoffe über ein hohes Potenzial und wächst rasant. Die UN warnt vor den negativen Auswirkungen einer massiven Nutzung von Biokraftstoffen der ersten Generation. Durch die vermehrte „Umnutzung“ von Nahrungspflanzen zur Energiegewinnung würden die Preise für landwirtschaftliche Produkte steigen. Dies werde insbesondere für die Ärmsten erhebliche Probleme mit sich bringen. Die vermehrte Nachfrage führe außerdem zur Vernichtung von Urwäldern und Sekundärwäldern, die für den Anbau von Energiepflanzen und für Ölpalmenplantagen gerodet werden. Neue Technologien und die zweite Generation von Biokraftstoffen könnten nach Ansicht der UN zu Verbesserungen führen, stellen aber nicht automatisch eine Lösung des Problems dar, da die Nachfrage nach Treibstoffen insgesamt zu hoch sei. Zunächst einmal sollten die Kosten gesenkt und verstärkt Rohstoffe genutzt werden, die nicht mit Nahrungsmitteln in Konkurrenz stünden.

Für die Strukturen in der Landwirtschaft könne die zweite Generation von Biokraftstoffen sogar zu Verschlechterungen führen. Denn einige der Produktionsverfahren seien realistisch gesehen sehr kostenintensiv und nützten dadurch in erster Linie großen Unternehmen. Nicht die Landwirte würden an diesen neuen Technologien verdienen, sondern die Rechte-Inhaber. Zudem warnt die UN davor, dass durch die zweite Generation von Biokraftstoffen der ökologische Druck auf benachbarte Flächen und bisher extensiv oder nicht genutzte Vegetation erheblich zunehmen werde. Durch eine Intensivnutzung von Holz und Biomasse aus Wäldern sowie pflanzlicher Rohstoffe und (Ernte-) Resten von Feldern würden die Ökosysteme empfindlich gestört oder sogar zerstört.

Trotz allem befürwortet die UN eine rasche Einführung der zweiten Generation von Biokraftstoffen. Um sie nachhaltig nutzen zu können, sind nach Ansicht der UN „strong legal structures“ nötig. Landwirtschaft, Energie und Umwelt müssten in ihren wechselseitigen Beziehungen ausreichend berücksichtigt werden.

### 1.2.2 Die Situation in der EU

Auch die Europäische Kommission befürwortet die Herstellung von Biokraftstoffen der zweiten Generation. Damit soll die Herstellung von Bioethanol aus Zucker und Getreide ersetzt werden. Mit synthetischen Enzymen will man Rohstoffe aus Zellulose und Lignin aufschließen. Erste Pilotprojekte gibt es in Schweden, Spanien und Kanada (EU-Kommission, 2006). Die EU-Kommission (2005) erwartet, dass insbesondere neue enzymatische Technologien wesentlich zur Kostensenkung beitragen. Dies hätte für die zweite Generation der Biokraftstoffe entscheidende Vorteile. Die Europäische Kommission befürwortet den Einsatz von Biokraftstoffen vor allem im Transportwesen und im Automobilverkehr. Sie hofft dadurch, erdölbasierte Kraftstoffe (fossile Kraftstoffe) ersetzen und ihre Klimaschutzziele besser erreichen zu können (EU Kommission, 2006, 2007).

Die EU rechnet in den nächsten Jahren mit einer wesentlichen Ausweitung der Anbauflächen für Biomasse zur Erzeugung von Biodiesel und Bioethanol. Dies gilt auch dann, wenn die Treibstoffe der zweiten Generation zum Einsatz kommen. Ceddia & Cerezo (2008) geben einen Überblick über die vorhandene Produktion und den künftigen Bedarf.

Im Jahr 2005 wurden ihren Angaben zufolge 3,2 Millionen Tonnen Biodiesel und 0,7 Millionen Tonnen Bioethanol produziert. Die größten Erzeuger von Biodiesel waren Deutschland, Frankreich und Italien. Die für die Produktion von Biokraftstoffen beanspruchte Fläche in der EU entsprach 2005 insgesamt etwa 2,7 Millionen Hektar, davon wurden auf 0,9 Millionen Hektar ‚Brachland‘ hauptsächlich Raps angebaut. 0,6 Millionen Hektar entfallen auf Ackerflächen mit subventionierten Nahrungspflanzen, denn für die Erzeugung von Bioethanol wurde vorwiegend Weizen, Gerste und Mais verwendet. Im Jahr 2006 entsprachen die Anbauflächen hierfür etwa einem Prozent des Getreideanbaus in der EU.

Ceddia & Cerezo (2008) gehen von einer Produktion von 34 Millionen Tonnen Biodiesel bis zum Jahr 2014 aus. Dies entspricht einer fast zehnfachen Steigerung gegenüber dem Jahr 2005. Hierbei geht es vor allem um den Anbau von Raps, Soja und Sonnenblumen. Für die Bioethanol-Produktion wird auch in Zukunft weiter Weizen, Mais und Gerste verarbeitet, wobei im Rahmen der Produktion der zweiten Generation von Biokraftstoffen auch das Stroh dieser Flächen genutzt werden soll. Demnach will man also nicht unbedingt neue Rohstoffquellen erschließen, sondern bisherige Nahrungspflanzen zur Energiegewinnung „umnutzen“ und effizienter verwerten. Auch Zuckerrüben sollen verstärkt zur Energieerzeugung eingesetzt werden.

Bezogen auf die einzelnen Pflanzen und unter Einbeziehung der Optionen der zweiten Generation von Biokraftstoffe prognostizieren Ceddia & Cerezo (2008) eine deutliche Zunahme beim Verbrauch von wichtigen Nahrungspflanzen bis zum Jahr 2020:

- › Zuckerrüben: 12 Prozent
- › Mais: 20 Prozent
- › Weizen: 31 Prozent.

Insgesamt würden trotz des Einsatzes der zweiten Generation von Biokraftstoffen bis 2020 etwa 15 Prozent der landwirtschaftlich nutzbaren Ackerfläche in der EU mit Energiepflanzen bebaut (siehe Tabelle 2). Die Preise für Getreide würden durch die höhere Nachfrage im Vergleich zu 2006 um etwa 3 bis 6 Prozent steigen. Um die Ziele der Europäischen Kommission zu erreichen, müsste die EU zusätzlich noch etwa 25 Prozent der notwendigen Rohstoffe importieren – vor allem Holz (EU Commission, 2007).

Land use for biofuels	Area (Mio ha)
Oil seeds for biodiesel	2.9
Cereals for bioethanol	12.3
Sugarbeet for bioethanol	0,6
Short rotation coppice & straw (BTL)	1.7
<b>Total area for biofuel production</b>	<b>17.5</b>
Non-biofuel arable production	91.6
Idle arable land	4.7
<b>Total arable land</b>	<b>113.8</b>
<i>Share of imports</i>	<i>20%</i>
<i>Share 2<sup>nd</sup> generation</i>	<i>30%</i>

Source: DG AGRI Impact Study<sup>2</sup>

Tabelle 2: Landnutzung in der EU bis 2020 gemäß den Zielen der EU-Kommission (Quelle: EuropaBio<sup>8</sup>)

Aus diesen Angaben lässt sich schließen, dass der Einsatz der zweiten Generation von Biokraftstoffen die steigende Flächennutzung für Biokraftstoffe bis 2020 also allenfalls verlangsamen wird, aber nicht zu einer Trendumkehr führt. Es ist zu erwarten, dass die energetische Nutzung von Nahrungspflanzen auch dann ausgeweitet wird, wenn zusätzlich Rohstoffe wie Holz und Gräser durch neue Technologien effizienter genutzt werden könnten.

Die ökologischen Folgen, die sich aus einer verstärkten Nutzung neuer Rohstoffquellen – wie von Holz und Biomasse aus Wäldern – ergeben werden, lässt die EU-Kommission (2007) außer Acht. Bereits heute gibt es Konkurrenzen zwischen der energetischen Holznutzung über Biokraftstoffe und der direkten Holzverbrennung sowie diverser Wertholz- und Altholznutzungen. Schon jetzt wird vor einer massiven Übernutzung der Wälder durch Verfahren der Ganzbaum- und Vollbaum-Nutzung gewarnt. Unter anderen befasst sich Hirschberger (2006) mit den Folgen des Entzugs von Nährstoffen und Mineralien aus dem Waldboden. Die Nadel- und Blattmasse, auch das Feinreisig und die Wurzelmasse müssen demzufolge als Hauptnährstoffvorräte im Waldboden verbleiben. Sonst droht eine irreversible Störung der Wald-Ökosysteme. Zusätzliche ökologische Probleme kann der in verschiedenen Regionen geplante Anbau von gentechnisch veränderten Bäumen verursachen.

8 [http://www.europabio.org/Biofuels/Biofuels\\_about.htm](http://www.europabio.org/Biofuels/Biofuels_about.htm)

### 1.2.3 Landraub, Landnutzung und Biokraftstoffe: Globale Entwicklungen

Die global steigende Landnutzung durch den Anbau von Biokraftstoffen hat in den letzten Jahren für heftige Kritik gesorgt. Vor allem das Phänomen des Aufkaufs und der wirtschaftlichen Spekulation mit großen Flächen und landwirtschaftlichen Böden („Landgrab“) sorgt immer wieder für Schlagzeilen: Regierungen und Investoren kaufen Millionen von Hektar fruchtbaren Bodens in verschiedenen Regionen der Welt auf, um dort Nahrungsmittel oder Biomasse zur energetischen Nutzung anbauen zu lassen, bestehende Vegetation als Biomasse zu verwerten oder die Fläche als Teil ihrer Anlage- und Spekulationsstrategie zu nutzen.

#### 1.2.3.1 Landraub – ein globales Phänomen

Die Organisation GRAIN untersucht seit einigen Jahren systematisch die großflächigen Landaufkäufe durch Regierungen, Investoren und Firmen. Auf einer speziellen Homepage werden entsprechende Fälle gesammelt.<sup>9</sup> Für das Jahr 2009 ergibt sich folgender Stand:<sup>10</sup> Spitzenreiter im internationalen Landkauf mit über zwei Millionen Hektar außerhalb seiner Landesgrenzen ist China, das u. a. auf den Philippinen, in Laos, Russland und Australien Ländereien gekauft hat. Gefolgt wird China von Südkorea mit einer Million Hektar Land u. a. im Sudan, in der Mongolei, in Indonesien, und Argentinien. Saudi Arabien belegt mit 1,6 Millionen Hektar in Indonesien, im Sudan und in Algerien den dritten Platz. Geplant ist der Flächenerwerb in Thailand, im Senegal, der Ukraine und der Türkei. Die Vereinigten Arabischen Emirate haben 1,2 Millionen Hektar in Pakistan, im Sudan und auf den Philippinen gekauft, in Kambodscha sind weitere Landkäufe geplant. Japan hat über 300.000 Hektar in den USA, Brasilien und Neuseeland aufgekauft. Deutsche Agrarinvestoren sind ebenfalls mit dabei. Nach einem Artikel in der „Die Zeit“<sup>11</sup> ist der Besitz von riesigen Ländereien für Unternehmen und Banken wie Goldman Sachs, Morgan Stanley und die Deutsche Bank sowie verschiedene Hedgefonds längst Teil ihrer Gewinnsspekulation und Anlagenstrategie.

Eine Studie der Welternährungsorganisation FAO (Cotula et al., 2009) listet 2,5 Millionen Hektar auf, die in Afrika seit 2004 aufgekauft wurden. Darunter auch ein Projekt mit 450.000 Hektar in Madagaskar für die Produktion von Biodiesel. Erwähnt werden weitere Landverkäufe in Mittel- und Südamerika und in asiatischen Ländern. Vor allem die Landübernahme durch große Konzerne sorgt für kontroverse politische Diskussionen. Weltweite Proteste verhinderten die Pläne des südkoreanischen Daewoo-Konzerns, in Madagaskar 1,3 Millionen Hektar (die Hälfte der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Insel) billig zu pachten, um dort 99 Jahre lang Mais und Palmöl anzubauen.<sup>12</sup>

Nicht nur wegen des Landverbrauchs kommt den Biokraftstoffen eine zentrale Rolle zu. Wie Cotula et al. (2009) darlegen, führt der Boom bei den Biokraftstoffen auch zu neuen Marktstrukturen: Firmen, die Biokraftstoffe produzieren, steigen direkt in die landwirtschaftliche Produktion ein und integrieren die Produktion vom Acker bis zur Tankstelle und schalten so die Marktmechanismen

<sup>9</sup> <http://www.farmlandgrab.org>

<sup>10</sup> Die Zahlen stammen aus einem Artikel der Unabhängigen Bauernstimme, Nr. 320 - März 2009

<sup>11</sup> „Die Zeit“: Land für die große Spekulation, 11.2.2010

<sup>12</sup> Unabhängige Bauernstimme, Nr. 320 - März 2009

bei der Preisbildung landwirtschaftlicher Produkte aus. Dadurch sichern sie ihre Rohstoffversorgung – auf Kosten der regionalen Nahrungsmittelsicherheit. Dass diese Entwicklung auch weitergehen wird, wenn statt der derzeitigen Agrokraftstoffe zunehmend Biokraftstoffe der zweiten Generation eingesetzt werden, steht außer Zweifel.

Land Use Category	Area (Mha)	Extent (%)
Forest	3989	30
Grassland*	3442	26
Agricultural crops	1534	11
Urban areas	40	0
Other land	4414	31
<b>Total</b>	<b>13418</b>	<b>100</b>

Tabelle 3: Flächennutzung weltweit  
(Quelle: Howarth et al., 2009)

### 1.2.3.2 Keine Trendumkehr

Howarth et al. (2009) geben einen Überblick über den weltweiten Flächenbedarf („land use“). Tabelle 3 zeigt, wofür derzeit Flächen genutzt werden, Tabelle 4 zeigt, wo Flächen in Zukunft schätzungsweise für Biokraftstoffe genutzt werden könnten. Howarth et al. (2009) heben hervor, dass angesichts der ungewissen technischen Entwicklungen sowie der politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen keine genauen Vorhersagen möglich sind.

Im Hinblick auf die Nutzung von Rohstoffen für die Herstellung von Biokraftstoffen rechnen Howarth et al. (2009) insgesamt mit einer Zunahme des Flächenbedarfs. Sie widersprechen ausdrücklich der Annahme, dass dies durch den Einsatz der zweiten Generation von Biokraftstoffen gebremst werden könne. Neben der Flächenkonkurrenz für die Nahrungsmittelproduktion komme es vermehrt zu einer konkurrierenden Ausbeutung der Wasservorräte und Bodennährstoffe. Die meisten der verfügbaren Studien seien ungeeignet, den tatsächlichen Bedarf abzuschätzen:

*„Concern about diverting food crops to biofuel has placed dedicated energy crops towards the center of the debate about future biofuel options. Many crops are proposed and three major types are distinguishable: nonedible oil plants, short rotation trees, and perennial grasses. Justifications for developing special energy crops include less intensive production requirements, use of poorer quality land, and intrinsically greater efficiency of dedicated energy crops relative to food crops. The reasoning behind these motivations, however, does not withstand scrutiny. The proposal that energy crops can be grown with less intensive production methods on land unsuitable for food crops is largely untrue. (...) An dedicated energy crops must always compete with food crops for land, nutrients, and/or water. Unfortunately, attention to the inputs required to show adequate and sustainable productivity are absent from most studies.“*

Source	Target	Energy Production (EJ/y)	Increase in Arable Land (Mha)
Leemans et al. (1996)	10% by 2030	181	381 – 478
Gurgel et al. (2007)	550 vppm CO <sub>2</sub> by 2100	128 – 141	1300
Ravindranath et al. (this volume)	2030		142 – 461
Field et al. (2008)	Use abandoned agricultural land	32 to 41	475 to 580

Tabelle 4: Verschiedene Szenarien für die Ausweitung der Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für die Produktion von Biokraftstoffen (Quelle: Howarth et al., 2009)

Auch der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung (WBGU, 2008) äußert sich skeptisch im Hinblick auf die Erwartungen an die zweite Generation von Biokraftstoffen:

*„Synthetische Biokraftstoffe der 2. Generation versprechen zwar eine höhere Energieausbeute als Biokraftstoffe der 1. Generation. Ihre Ökobilanz ist jedoch nicht wesentlich besser als die der 1. Generation und, wie alle Ergebnisse der Bilanzierung für Energiepflanzen, deutlich von den direkten und indirekten Landnutzungsänderungen abhängig. Neben den Flächen für Energiepflanzen ist auch die Menge der zu verwertenden Reststoffe limitiert.“*

### 1.2.3.3 Nutzung von Abfällen und Algen – eine Alternative?

Verfahren zur Erzeugung von Biokraftstoffen, die nicht unbedingt auf eine Ausweitung der Flächen hinauslaufen, sind die Nutzungen von Abfällen und Algen. Perlack (2005) rechnet aus, dass in den USA etwa eine Milliarde Tonnen biologischer „Abfälle“ zur Verfügung stehen würden: Ein gutes Drittel dieser sogenannten Abfälle kommen aus der Waldnutzung. Dabei dürfte es sich um für das Ökosystem Wald wertvolle Blatt- und Nadelmasse, Kronenteile, Reisig, Wurzeln und ggf. sogar Biotop-Totholz handeln (s.o.). Knapp die Hälfte der Abfallmenge soll nach den Berechnungen von Perlack aus der Landwirtschaft kommen sowie etwa 100 Millionen Tonnen Abfälle aus der Viehwirtschaft. Ergänzt werden könnten diese Ressourcen durch den Anbau von speziellen Non-Food-Energie-Pflanzen. Insgesamt ließe sich 30 Prozent des Treibstoffbedarfes der USA aus Abfällen und Non-Food-Energie-Pflanzen decken. Howarth et al. (2009) relativieren diese Zahlen: Erstens stehe der Anbau von Non-Food-Pflanzen letztlich doch in Konkurrenz zur Erzeugung von Nahrungspflanzen, zweitens sei der zusätzliche Energiebedarf, zum Beispiel für den Transport der Abfälle, nicht ausreichend berücksichtigt.

Die Nutzung von Algen könnte unter Umständen den Flächenbedarf für die Produktion von Biokraftstoffen erheblich reduzieren. Algen produzieren ein Öl, das pflanzlichen Ölen sehr ähnlich ist, aber pro Hektar mit einer etwa 100 mal höheren Ausbeute wesentlich effizienter ist als z. B. Sojaöl. Zudem können Algen auch zur Produktion von Ethanol und Wasserstoff genutzt werden. Algen bilden keine Wurzeln und Stengel, sie können leicht geerntet werden, ihr Wachstum kann gleichmäßig über das ganze Jahr erfolgen. Algen können CO<sub>2</sub> binden und ihre Nährstoffe aus Abwasser beziehen.<sup>13</sup>

<sup>13</sup> <http://www.physorg.com/print137684698.html>

Schenk et al. (2008) zählen verschiedene Vorteile einer Produktion von Biokraftstoffen mit Hilfe von Algen auf:

*„Microalgae are already reported to produce 15–300 times more oil for biodiesel production than traditional crops on an area basis. Furthermore compared with conventional crop plants which are usually harvested once or twice a year, microalgae have a very short harvesting cycle ( $\approx$  1-10 days depending on the process), allowing multiple or continuous harvests with significantly increased yields. Greater light capture and conversion efficiencies ultimately lead to reduced fertilizer and nutrient inputs and so result in less waste and pollution. The use of waste water for algal cultivation is also a viable option. Furthermore as the cultivation of microalgae for biofuel production can potentially be carried out on marginal or non-arable land, this could further reduce the competition for land and open up new economic opportunities for arid, drought or salinity-affected regions.“*

Es gibt eine relativ große Anzahl von Firmen, die auf diesem Konzept (mit und ohne Synthetische Biologie) aufbauen oder hier investieren wie zum Beispiel Algenol, PetroAlgae, Sapphire Energy, Solazyme, die NASA, US Air Force, BP, Dow Chemical, Exxon und die deutschen Firmen Linde, und Cyano Biofuels (beide in Kooperation mit Algenol). Die Firma Synthetic Genomics, die mit dem Ölkonzern Exxon einen Kooperationsvertrag über einige hundert Millionen US-Dollar zur Entwicklung „neuer“ Algen abgeschlossen hat, wirbt auf ihrer Homepage<sup>14</sup> mit vielen Vorteilen der Algenproduktion, darunter der geringere Landverbrauch, die CO<sub>2</sub>-Einsparungen und die höhere Energieausbeute. Die folgenden Ausführungen zeigen, warum diese Annahmen zu relativieren sind.

---

<sup>14</sup> <http://www.syntheticgenomics.com/media/press/61307.html>

## 2. Synthetische Biologie und Biokraftstoffe

Im Folgenden werden der Stand der technischen Entwicklung dargelegt und Firmen vorgestellt, die im Bereich der Synthetischen Biologie und der Biokraftstoffe tätig sind. Zudem wird das wirtschaftliche und staatliche Umfeld analysiert. Dabei wurden auch Patentanträge verschiedener Firmen berücksichtigt.<sup>15</sup>

### 2.1 Allgemeiner technischer Stand

Bereits seit den 1970er Jahren wird versucht, die Ausbeute in der Produktion von Biokraftstoffen durch die Manipulation zellulärer Stoffwechselwege zu erhöhen. Anders als bei diesen frühen Anstrengungen stehen der Forschung und der Industrie heute eine große Palette von Werkzeugen zur Verfügung. Dazu gehören das „Metabolic Engineering“ (die Veränderung des Stoffwechsels mit Gentechnik) und die Synthetische Biologie, die den Aufbau völlig neuer Stoffwechselwege möglich macht. Diese werden als Schlüsseltechnologien für die Entwicklung von effizienten und kostengünstigen Biokraftstoff-Produktionssystemen behandelt (Alper & Stephanopoulos, 2009, Picataggio, 2009, Rubin, 2008, Savage et al., 2008, Fortman et al., 2007).

Es gibt allerdings grundsätzliche Zweifel, ob sich der Anspruch der Synthetischen Biologie, neue Stoffwechselwege für bestehende Organismen zu entwerfen und technisch umzusetzen, oder synthetische Organismen für die Herstellung von Biokraftstoffen zu fabrizieren, tatsächlich in absehbarer Zeit realisieren lässt (Alper & Stephanopoulos, 2009).

Verschiedene Firmen, die in diesem Bereich tätig sind, verzeichneten in den letzten Jahren einen verstärkten Zufluss von Investitionsgeldern, wodurch die Forschung erheblich ausgeweitet werden konnte. Allerdings mussten in Folge der allgemeinen wirtschaftlichen Entwicklung und angesichts erheblicher technischer Schwierigkeiten die Erwartungen deutlich reduziert werden.<sup>16</sup> Nachfolgend werden technische Konzepte und wirtschaftliche Erwartungen einiger der hier tätigen Firmen dargestellt.

### 2.2 Firmenprofile

Zwar sind in Europa und speziell in Deutschland relativ viele Firmen ansässig, die im Bereich der Synthetischen Biologie tätig sind, wie GeneArt, ATG Biosynthetic, BioSpring, Metabion, Entlechon, Sloning, siehe auch Then & Hamberger (2010). Die in Deutschland ansässigen Firmen Süd-Chemie und Cyano Biofuels sind dabei im Umfeld der Synthi-Fuels aktiv. Die meisten Aktivitäten in diesem Kontext lassen sich aber in den USA beobachten. Bei diesen Firmen gehen die Anwendungen des Metabolic Engineering und die Nutzung der Synthetischen Biologie oft ohne klare Trennung ineinander über. Allen gemeinsam ist das Ziel, Biokraftstoffe der zweiten Generation herzustellen, vor allem durch Umbau oder Neusynthese von Bakterien, Hefen oder Algen.

<sup>15</sup> Nach einer Präsentation von Rutz, B. (2009) vom Europäischen Patentamt wurden weltweit bereits über 3000 Patente im Bereich der Synthetischen Biologie angemeldet, 437 waren Ende 2009 als Europäische Anmeldungen registriert, 44 waren zu diesem Zeitpunkt in Europa bereits erteilt.

<sup>16</sup> <http://www.sciencemag.org/cgi/content/summary/329/5993/784>



### 2.2.1 Algenol

Die Firma Algenol<sup>17</sup> hat ihren Sitz in Florida, USA. Sie produziert Ethanol aus Algen. Die Firma will in Mexiko die weltweit größte Produktionsanlage für Ethanol-Algen errichten. Sie kooperiert mit Dow Chemical und der Firma Linde in Deutschland. In ihren Anlagen werden nicht die Algen selbst geerntet, sondern nur das Ethanol, das von den Algen kontinuierlich produziert wird. Neben Ethanol wird dabei aus Meerwasser auch Süß-/Trinkwasser gewonnen. Zudem kann CO<sub>2</sub> aus industriellen Anlagen von den Algen verstoffwechselt werden. Die Produktion des Ethanol findet in geschlossenen Systemen statt.

Nach Darstellung von Algenol verfügt die Firma über einen Zugang zu 10.000 Blaualgen-Stämmen, aus denen ihre Algen selektiert und zum Teil biotechnologisch aufgerüstet wurden. Für deren biotechnologischen ‚Umbau‘ arbeitete Algenol mit der Firma Codon Device<sup>18</sup> zusammen, die sich auf den Bereich Synthetische Biologie spezialisiert hatte und 2009 geschlossen wurde. Algenol lässt den Stoffwechsel von Algen seit 2007 von ihrer Tochter Cyano Biofuels mit Sitz in Berlin biotechnologisch verändern.<sup>19</sup> Bei dem Projekt, das auch mit öffentlichen Geldern finanziert wird, wurde die Syntheserate für die Ethanol-Produktion durch gentechnische Veränderungen (Metabolic Engineering) deutlich erhöht. Die Algen sollen 2010 erstmals in den Produktionsanlagen von Algenol in den USA getestet werden. Die gentechnisch veränderten Algen und die Produktionsanlagen wurden von Algenol auch zum Patent angemeldet (WO 2009098089, WO 2008055190).

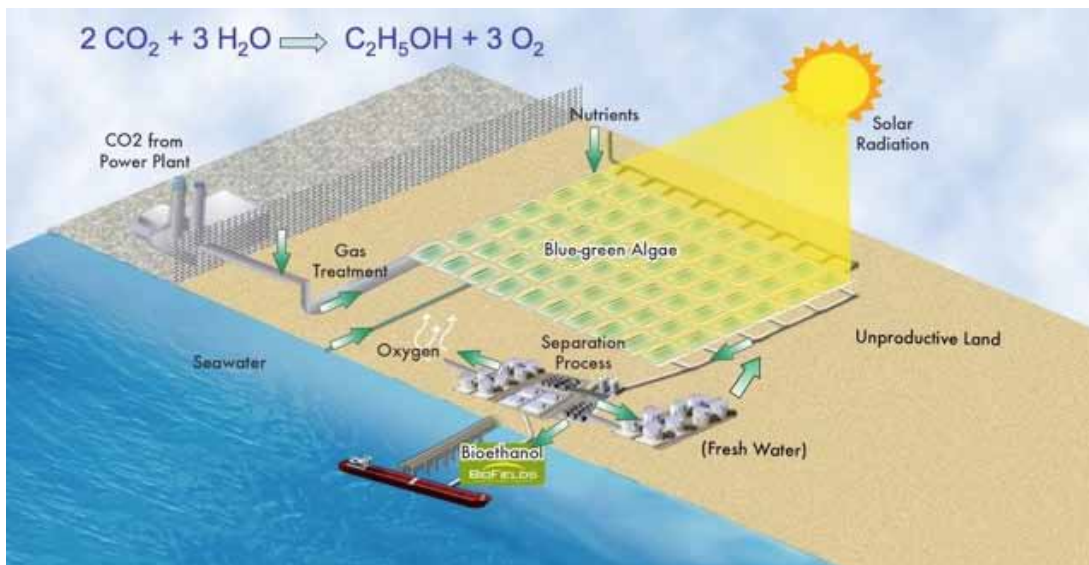


Abbildung 1: Ethanol-Algenproduktion der Firma Algenol (<http://www.algenolbiofuels.com>)

<sup>17</sup> <http://www.algenolbiofuels.com>

<sup>18</sup> <http://www.hcp.com/news/newsdetails.php/id/64199>

<sup>19</sup> <http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/Foerderung/foerderbeispiele.did=113142.html>

### 2.2.2 Amyris

Das US-amerikanische Unternehmen Amyris ist eine der bekanntesten Firmen im Bereich der Synthetischen Biologie. Sie wurde vor allem durch eine Beteiligung an Versuchen bekannt, das Malariamittel Artemisinin in Mikroorganismen zu synthetisieren. Hauptgeschäftsfeld der Firma sind inzwischen jedoch nach eigenen Angaben die Biokraftstoffe der zweiten Generation:<sup>20</sup>

*„Amyris applies synthetic biology to engineer microorganisms that serve as ‚living factories‘ to convert sugar into any one of 50,000 different molecules. These molecules have broad applications, including use in transportation fuels, polymers, lubricants, synthetic rubbers as well as in a wide range of consumer products. Amyris has proven this technology through the successful delivery of its technology to sanofi aventis for commercial scale use for the low-cost production of artemisinin, an anti-malarial drug.“*

Amyris kooperiert mit einem der größten Zuckerproduzenten in Brasilien und will seine Technologie an diesen „Hochenergiepflanzen“ einsetzen. In Brasilien wird eine entsprechende Produktionsanlage gebaut.<sup>21</sup> Auf ihrer Homepage betont Amyris die Bedeutung einiger neu erteilter US-Patente:

*„Securing these patents highlights the unique value of our growing line of renewable products as we move to full commercial scale,‘ said John Melo, chief executive officer of Amyris. ‚We will now be able to enter the marketplace with patent-protected products, giving tremendous competitive advantage to Amyris, to our production partners, and to our customers.“*

Liest man die Patentanträge von Amyris, zeigt sich, dass die Firma eine bedenkliche Strategie verfolgt, um Technologien, Märkte und Produkte zu monopolisieren. Laut den Patentanträgen will man sich nicht nur Biokraftstoffe, sondern auch entsprechende Motoren und Fahrzeuge (!!!) patentieren lassen, die mit dem neuen Sprit betrieben werden. Patentiert werden soll auch die Geschäftsidee, den Biosprit zu verkaufen (Patentanträge u. a.: WO 2007139925, WO 2008045555, WO 2008140492).

### 2.2.3 Athenix

Athenix, ebenfalls aus den USA, ist im Bereich der Biokraftstoffe vor allem für die Entwicklung von neuen Enzymen bekannt. Dabei geht es um Anwendungen für Ethanol und Biodiesel:<sup>22</sup>

*„Athenix provides genes and enzymes for the bioconversion of biomass, such as corn stover, straw and distillers dried grains (DDG), into biofuels. We have developed processes to release sugars from various biological substrates including corn stover, straws from other crops and industrial by-products like corn fiber and DDG.“*

Nach den analysierten Patentanträgen geht es um den Aufschluss von Lignozellulose (WO 2003093420, WO 2004 081185). Wesentlich mehr Patente als im Bereich der Biokraftstoffe hält Athenix im Bereich der Pflanzengentechnologie (Herbizidtoleranz und Insektenresistenz). Athenix wurde im November 2009 von der Firma Bayer übernommen.<sup>23</sup>

<sup>20</sup> <http://www.amyrisbiotech.com>

<sup>21</sup> <http://www.earth2tech.com/2008/11/11/amyris-opens-synthetic-diesel-pilot-plant>

<sup>22</sup> <http://www.athenixcorp.com>

<sup>23</sup> <http://www.bionity.com/news/d/109010>

### 2.2.4 Gevo

Für die US-amerikanische Firma Gevo stehen Biokraftstoffe im Zentrum ihrer wirtschaftlichen Aktivitäten. Gevo arbeitet unter anderem mit dem Agrarmulti Cargill und ICM (Illinois Cereal Mills), einem der größten Produzenten für Ethanol in den USA,<sup>24</sup> zusammen. Im April 2009 wurde eine Kooperation mit dem Öl-Konzern Total vereinbart.<sup>25</sup> Gevo ist unter anderem auf die Herstellung von Butanol spezialisiert, das dem Ethanol ähnlich ist, aber einen höheren Energiegehalt und breitere Anwendungsmöglichkeiten aufweisen soll.<sup>26</sup>

*„Advanced biofuels like isobutanol can also address many challenges that first-generation biofuels such as ethanol have faced on their path to market: energy efficiency, transport and the need to modify existing engines. In contrast, isobutanol:*

- *Has a higher energy content per gallon than many first generation biofuels*
- *Does not absorb water and can be transported through the existing oil and gas distribution infrastructure.*
- *Can be used in gas-powered vehicles without modification or blending, which reduces our dependency on fossil fuels.“*

Relevante Patentschriften sind WO 2009059253, WO 08143704, WO 09059254, WO 09086423, WO 09103026, WO 2008013996.

### 2.2.5 LS9

Die Firma LS9, ebenfalls aus den USA kooperiert mit Procter and Gamble und wird ebenso wie auffallend viele andere Firmen in diesem Bereich (Mascoma, Amyris, Gevo) vom Investor Khosla Ventures finanziell unterstützt.<sup>27</sup>

*„LS9 is the market leader in the production of renewable fuels, and is rapidly commercializing and scaling up production capabilities to meet market demands. LS9’s pilot facility produces UltraClean™ fuels that we customize to closely resemble petroleum fuels and engineered to be renewable, low-carbon and cost competitive with crude oil.“*

An den Patentanmeldungen von LS9 ist auch Jay Keasling als Erfinder beteiligt (WO 2007136762), einer der Väter der Synthetischen Biologie. Er hat mit Unterstützung der Bill und Melinda Gates-Stiftung ursprünglich am Malaria-Mittel Artemisinin (siehe Firma Amyris) gearbeitet, einem der Vorzeigeprojekte der Synthetischen Biologie (s. o.).

In den Patenten von LS9 werden Technologien, relevante Gene und Biokraftstoffe in verschiedenen Zusammensetzungen beansprucht. Es geht unter anderem um die Gewinnung von Rohstoffen zur Herstellung von Biodiesel aus Algen (WO 08147781, WO 2007136762, WO 2008119082, WO 2008113041).

<sup>24</sup> <http://www.icminc.com>

<sup>25</sup> [http://www.gevo.com/news\\_Total-pr\\_042709.php](http://www.gevo.com/news_Total-pr_042709.php)

<sup>26</sup> <http://www.gevo.com>

<sup>27</sup> <http://www.ls9.com>

### 2.2.6 Mascoma

Auch für Mascoma (USA) steht die Gewinnung von Biokraftstoffen aus Lignozellulose im Zentrum des Geschäfts:<sup>28</sup>

*„The unique technology developed by Mascoma Corporation uses yeast and bacteria that are engineered to produce large quantities of the enzymes necessary to break down the cellulose and ferment the resulting sugars into ethanol. Combining these two steps (enzymatic digestion and fermentation) significantly reduces costs by eliminating the need for enzyme produced in a separate refinery. This process, called Consolidated Bioprocessing or ,CBP‘, will ultimately enable the conversion of the solar energy contained in plants to ethanol in just a few days. This represents a vastly different time scale than the fossil fuels we use today which required millions of years to be formed from decomposing plants and animals.“*

Im September 2009 schloss Mascoma einen Kooperationsvertrag mit dem US-Konzern Chevron ab. Nach einem von Mascoma patentierten Verfahren sollen Biokraftstoffe hergestellt und von Chevron auf ihre Praxistauglichkeit getestet werden. Mascoma hat Patentanträge auf verschiedene Gensequenzen, Mikroorganismen und Verfahren zur Herstellung von Biokraftstoffen gestellt (WO 2007130984, WO 2009043012, WO 2008137639, WO 2008141174, WO 2009035595). Nach Angaben der Firma ist es ihr gelungen, die Ausbeute an Biokraftstoffen aus Lignozellulose mit Hilfe von Mikroorganismen, deren Stoffwechsel mehrfach gentechnisch verändert wurde, wesentlich zu erhöhen.<sup>29</sup>

### 2.2.7 Synthetic Genomics

Die Firma Synthetic Genomics (SGI), ebenfalls aus den USA, gehört mit ihren Gründern Craig Venter und dem Nobelpreisträger Hamilton O. Smith zu den bekanntesten Firmen im Bereich der Synthetischen Biologie. SGI forscht gleichermaßen in den Bereichen Pharmazie, Chemie und Biokraftstoffe. Ein Blick auf ihre Homepage<sup>30</sup> zeigt den universellen Anspruch.

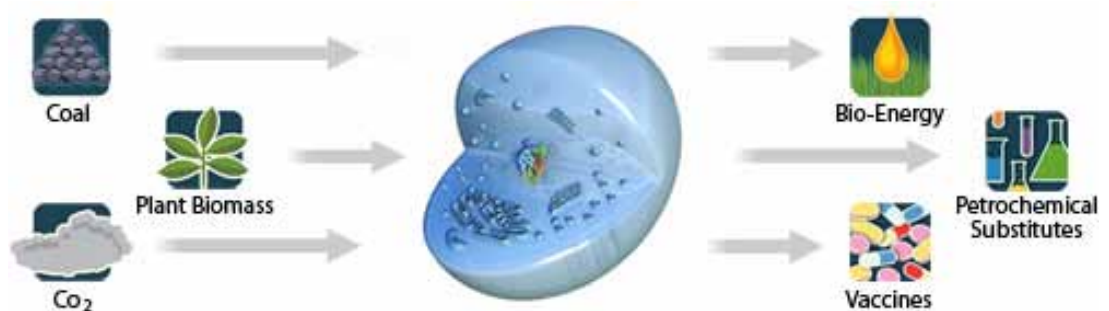


Abbildung 2: Nutzung der Synthetischen Biologie zur Erzeugung von Energie, chemischen Stoffen und Impfstoffen (Quelle: <http://www.syntheticgenomics.com>)

<sup>28</sup> <http://www.mascoma.com/pages/index.php>

<sup>29</sup> <http://www.heise.de/tr/artikel/Supermikroben-fuer-Zellulose-Ethanol-276395.html>

<sup>30</sup> <http://www.syntheticgenomics.com>

Im Bereich Biokraftstoffe gibt es eine Kooperation zwischen SGI und dem Konzern BP zur Bioethanol-Produktion.<sup>31</sup> SGI hat unter anderem einen Kraftstoff mit dem Namen Geraniol zum Patent angemeldet. Dieser Kraftstoff soll einen höheren Energiegehalt als Ethanol haben. Durch einen chemischen Fingerprint soll er von anderen Kraftstoffen unterscheidbar sein, so dass ggf. die Patentrechte auf den Kraftstoff auch an der Tanksäule durchgesetzt werden könnten (WO 09064910, WO 09076480).

SGI arbeitet auch an Verfahren zur Herstellung von Biodiesel aus Algen und ist hier eine Kooperation mit der Firma Exxon eingegangen,<sup>32</sup> ein entsprechendes Verfahren wurde zum Patent angemeldet (WO 09076559). SGI wirbt auf seiner Homepage ausdrücklich damit, dass bei Algen die Energieausbeute wesentlich höher sei als bei Landpflanzen.

Mit Craig Venter hat die Firma nicht nur einen bekannten, sondern auch einen sehr sendungsbewussten und umstrittenen Vorkämpfer der Synthetischen Biologie in seinen Reihen. Er findet in den Medien große Beachtung und erweckt bisweilen den Eindruck, die Evolution könne jetzt vom Labor aus gesteuert werden. In einem Interview mit der Süddeutschen Zeitung am 14. 10. 2009 äußerte er sich beispielsweise folgendermaßen:

*„Schon bald werden Roboter vollautomatisch eine Million Chromosome täglich zusammensetzen und prüfen, ob sie lebensfähig sind oder gewünschte Stoffe herstellen. Auf diesem Wege geht die Evolution von Menschenhand geleitet weiter.“*

Für Schlagzeilen sorgte Venter unter anderem 2010, als er bekannt gab, dass sein Team das Erbgut eines vermehrungsfähigen Organismus synthetisiert hatte (Gibson et al., 2010). Nach einem Artikel in der New York Times vom Juli 2010<sup>33</sup> hat SGI jedoch selbst Zweifel daran, ob ihre manipulierten Algen jemals in der Produktion eingesetzt werden können.

### 2.2.8 Solazyme

Solazyme ist nach eigener Auskunft die einzige Firma, die bereits auf der Basis von Mikroorganismen produzierten Biodiesel anbietet:

*„Solazyme is the only microbial biofuel company to produce an oil-based fuel, Soladiesel®, at industrial manufacturing scale with production capabilities currently in the tens of thousands of gallons, and plans to ramp up production for demonstration and pre-commercialization purposes.“<sup>34</sup>*

Wie Synthetic Genomics setzt auch Solazyme auf die Algenproduktion. Relevante Patentanmeldungen sind WO 2005072262 und WO 2008151149.

31 <http://www.syntheticgenomics.com/media/press/61307.html>

32 <http://www.syntheticgenomics.com/media/media.html>

33 <http://www.nytimes.com/cwire/2010/07/22/22climatewire-the-race-to-make-fuel-out-of-algae-poses-ris-80037.html?pagewanted=1>

34 <http://www.solazyme.com/>

### 2.2.9 Verenum

Verenum ist aus einer Fusion hervorgegangen, an der die Firma Diversa beteiligt war. Diversa, eine Gründung von Craig Venter (s.o.), war auf Bioprospecting ausgerichtet, das heißt, sie sammelte weltweit Mikroorganismen mit möglicherweise wirtschaftlich verwertbaren Eigenschaften.

Aus dieser Zeit stammen Patentanträge, in denen auf über 1.000 Seiten Enzyme aufgezählt werden, die aus diesen Mikroorganismen stammen und die für verschiedene Produktionsprozesse genutzt werden könnten (WO 2006096527, WO 2007055735, WO 2007092314).

Inzwischen konzentrieren sich die Verenum-Geschäfte auf die Herstellung von Biokraftstoffen. Als Partner von Verenum werden u. a. BASF, Bunge, BP, Cargill und Danisco aufgeführt.

*„Verenum Corporation is a leader in the development and the commercialization of cellulosic ethanol, an environmentally-friendly and renewable transportation fuel, as well as higher performance specialty enzymes for applications within the biofuels, industrial, and animal nutrition and health markets.“*

Ähnlich wie Amyris verfolgt Verenum eine extrem aggressive Patentstrategie, die die gesamte Produktionskette umfasst. Bei Verenum werden Patente auf gentechnisch veränderte Pflanzen und Tiere bis hin zu Patenten auf Arzneimittel, Bekleidung, Bier, Brot und Butter beantragt (WO 200827501, WO 2008080093, WO 2008118176, WO 2009018449 WO 2007094852). Interessanterweise wurden einige dieser Patentanträge zusammen mit dem Saatgutkonzern Syngenta angemeldet (WO 2008095033, WO 200945627).

## 2.3 Wirtschaftliches und politisches Umfeld

Das wirtschaftliche Firmen-Umfeld im Bereich der Synthetischen Biologie ist von großen Konzernen aus dem Bereich der Agrar-, Holz- und Erdölindustrie geprägt, die die Herstellung von Biokraftstoffen der zweiten Generation aus eigener wirtschaftlicher Perspektive verfolgen. Die Markteinführung und Entwicklung ihrer Produkte wird in den USA und der EU von der Politik massiv gefördert.

Auch Investoren schätzten in den letzten Jahren Biokraftstoffe aus Lignozellulose und Algen als ‚saubere‘ Geldanlage, wie in Nature Biotechnology bereits 2008 berichtet wurde.<sup>35</sup> Dagegen ist die Gewinnung von Bioethanol aus Getreide als Anagemöglichkeit auf dem Rückzug (siehe Abbildung 3):

---

35 Nat. Biotech., 2008, 26:1209

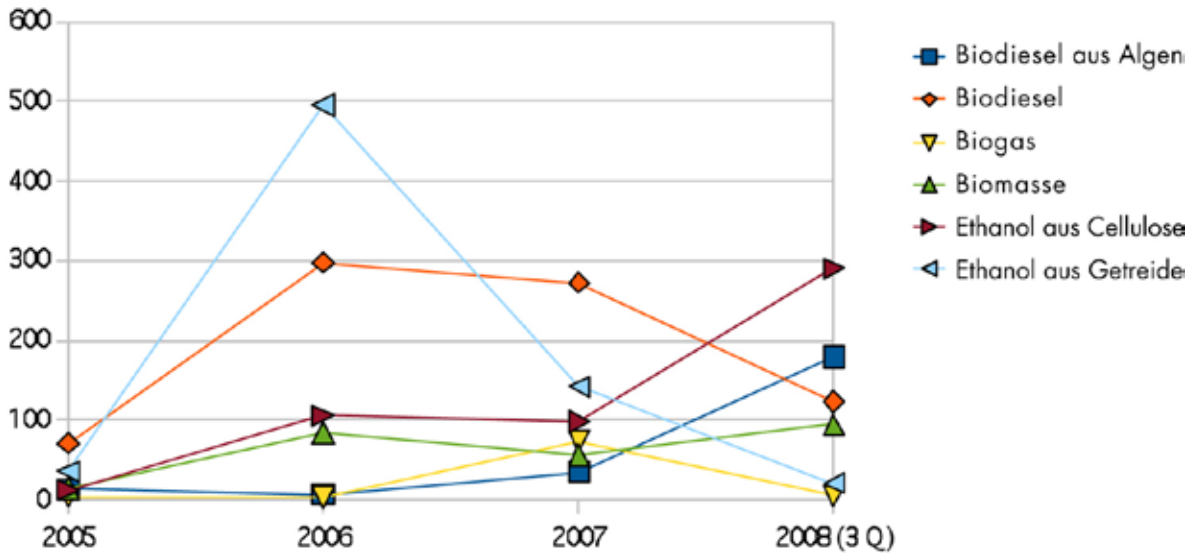


Abbildung 3: Übersicht über Venture Capital Investment im Bereich der Biokraftstoffe, 2005-2008 (3 Q).

Quelle: Nature Biotechnology, 2008

Angesichts neuer Berichte über technische und wirtschaftliche Schwierigkeiten können sich die Anlagestrategien in diesem Bereich allerdings rasch wieder verschieben – insgesamt fehlt der zweiten Generation von Biokraftstoffen noch der Beweis ihrer Wirtschaftlichkeit.<sup>36</sup>

### 2.3.1 Internationales Umfeld

Firmen, die mit Synthetischer Biologie an einer Optimierung der Herstellungsverfahren für Biokraftstoffe arbeiten, können auf verschiedene Investoren und Kooperationspartner zählen, die ihre Forschung finanzieren. Die Markteinführung und Entwicklung ihrer Produkte wird zudem von der Politik gefördert. In den USA wurde beispielsweise im Juli 2009 vom US-Ministerium für Energie ein 85-Millionen-US-Dollar schweres Programm zur Förderung der Energiegewinnung aus Lignozellulose und aus Algen aufgelegt.<sup>37</sup> Bereits 2007 hat die US-Regierung 125 Millionen US-Dollar für ein gemeinsames Projekt der Universität von Kalifornien und des BP-Konzerns zur Verfügung gestellt (Sheridan, 2007). Howarth et al. (2009) berichten von Plänen, denen zufolge in den USA bis 2020 bis zu 70 Milliarden Liter Biokraftstoffe der zweiten Generation („advanced biofuels“) produziert werden sollten. Nach jüngeren Berichten sollen diese Vorgaben allerdings angesichts technischer Schwierigkeiten reduziert werden.<sup>38</sup>

In den letzten Jahren kam es insbesondere in den USA zu einem neuen Zusammenspiel von Erdöl- und Agrarindustrie. Große Unternehmen aus diesen Bereichen dominieren die hier entstehenden Energiemärkte wirtschaftlich. Sie hoffen auf Stärkung ihrer eigenen Marktposition und zusätzliche (staatliche) Fördermittel. An direkten Kooperationen im Bereich der Biokraftstoffe sind u. a. die

<sup>36</sup> <http://www.sciencemag.org/cgi/content/summary/329/5993/784>

<sup>37</sup> <http://www.biofuelstp.eu/news.html#071009>

<sup>38</sup> <http://www.sciencemag.org/cgi/content/summary/329/5993/784>

Agrarfirmen ADM, Bayer, Cargill, Dupont, Dow Chemical, Monsanto und Syngenta beteiligt. Die Erdölindustrie ist unter anderem mit BP, Exxon, Shell und Total dabei. Eine enge Vernetzung verschiedener wirtschaftlicher Sektoren gibt es auch in der EU: Eine wichtige Technologieplattform der Wirtschaft ist hier die European Biofuels Technical Platform, in der u.a. Automobilfirmen, Ölkonzerne und auch Europäische Landwirtschaftsverbände Mitglied sind.<sup>39</sup>

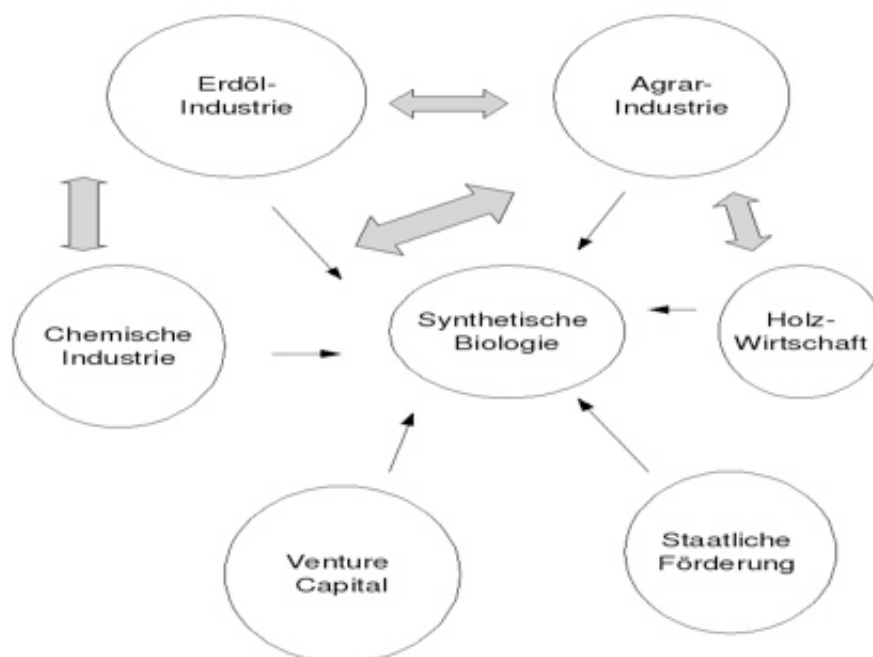


Abbildung 4: Wirtschaftliches Umfeld der Synthetischen Biologie<sup>40</sup>

### 2.3.2 Förderung in der EU

Auch in der EU werden Forschungsprojekte der Synthetischen Biologie massiv gefördert. Im Rahmen des 6. Rahmenforschungsprogramms (bis Ende 2008) wurde beispielsweise TESSY finanziert, ein Programm, das der Zusammenführung und dem systematischen Aufbau der Synthetischen Biologie in der EU dienen soll.<sup>41</sup> Im Projekt EMERGENCE,<sup>42</sup> das an der ETH Zürich angesiedelt ist, wurden die NEST-(New and Emerging Scientific and Technology) Aktivitäten der EU koordiniert:

*„The objective of this coordination action (CA) EMERGENCE is to provide a communication and working platform for the emerging European synthetic biology community in order to strengthen the organizational and conceptual basis of the synthetic biology as a true engineering discipline in biological engineering.“*

<sup>39</sup> <http://www.biofuelstp.eu>

<sup>40</sup> Angelehnt an eine Graphik aus ETC, 2008

<sup>41</sup> <http://www.tessy-europe.eu>

<sup>42</sup> <http://www.emergence.ethz.ch/home.htm>



Im Rahmen des Projektes SynBioSafe<sup>43</sup> wurden Fragen der Risiken, der Ethik und sozioökonomischen Auswirkungen der Synthetischen Biologie bearbeitet.

Auch im derzeitigen 7. Forschungsrahmenprogramm der EU gibt es in den Bereichen Ernährung, Landwirtschaft, Fischerei und Biotechnologie erhebliche Fördermittel für die Synthetische Biologie. Nach einer Präsentation der Generaldirektion Forschung werden u. a. folgende Projekte gefördert:<sup>44</sup>

- › PLANT CELL WALLS – Verständnis der Pflanzenzellwand für optimiertes Biomasse-Potenzial
- › ENERGY PLANTS – Neuartige Pflanzen für Energieproduktion
- › GREEN OIL – Pflanzen für das Öl der Zukunft
- › FOREST PRODUCTS – Neue Holzprodukte und -prozesse
- › FUTURE CROPS – Technische, sozioökonomische, geographische und regulatorische Aspekte zukünftiger Nicht-Nahrungssysteme mit besonderer Berücksichtigung von Koexistenz und der Sicherheit von Agro-Nahrungs-Ketten
- › BIOMASS SUPPLY AND IMPACT – Identifizierung optimaler terrestrischer und aquatischer Biomasse und Abfälle für Bioprodukte
- › LIGNOCELLULOSIC ENZYMES – Entwicklung von Zellulasen für die Vorbehandlung von Holz/Papier
- › DESIGNER ENZYMES – Verbesserte Biokatalysatoren für Bioprozesse – LCP
- › BIOETHANOL AND BEYOND – Neue Enzyme und Mikroorganismen für die Umwandlung von Biomasse in Bioethanol
- › NOVEL ENZYMES – Suche nach neuartigen Enzymen und Mikroorganismen für verschiedene Bioprozesse
- › SYNTHETIC BIOLOGY FOR THE ENVIRONMENT – Nutzung der Synthetischen Biologie für die Lösung von Umweltproblemen
- › USEFUL WASTE – Neuartige Biotechnologiemethoden für die Nutzung von Abfall, einschließlich Aquakultur-Abfall, bei der Herstellung von hochwertigen Produkten

Nach Schätzungen von Experten sitzen etwa 80 Prozent der Firmen, die sich auf die Synthese von Genen spezialisiert haben, in Deutschland und den USA. In Marburg soll in den nächsten Jahren eines der größten Zentren für Synthetische Biologie in Europa entstehen.<sup>45</sup> Das Bundesministerium für Wirtschaft (BMBWF) fördert unter anderem die Entwicklung von gentechnisch veränderten Algen der Firma Algenol (bzw. von deren Tochter Cyano Biofuels).<sup>46</sup>

43 <http://www.synbiosafe.eu/>

44 [http://www.hse.ru/temp/2007/files/02\\_22\\_konf/Patermann.pdf](http://www.hse.ru/temp/2007/files/02_22_konf/Patermann.pdf), siehe auch

[http://www.cordis.europa.eu/fp7/dc/index.cfm?fuseaction=UserSite.FP7DetailsCallPage&call\\_id=318#infopack](http://www.cordis.europa.eu/fp7/dc/index.cfm?fuseaction=UserSite.FP7DetailsCallPage&call_id=318#infopack)

45 <http://www.idw-online.de/pages/de/news342927>

46 <http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/Foerderung/foerderbeispiele.did=113142.html>

### 3 „Synthi-Fuels“: Die falsche Strategie

Die Strategie hinter dem Einsatz der Synthetischen Biologie zur Produktion von Biokraftstoffen muss insgesamt kritisch hinterfragt werden. Als Begründung für ihren Einsatz wird vor allem der Klimaschutz bemüht. Tatsächlich stehen jedoch vor allem wirtschaftliche Erwägungen im Vordergrund. Ein nachhaltiger ökologischer Nutzen ist in den meisten Fällen nicht zu erwarten. Zudem besteht aber die Gefahr, dass weitreichende ökologische Schäden verursacht werden.

#### 3.1 Das Ressourcenproblem und Treibstoffe aus Lignozellulose

Auch für die Erzeugung von Biokraftstoffen der zweiten Generation aus Lignozellulose werden erhebliche Flächen benötigt. Außerdem braucht man Wasser, Dünger und Energie (siehe Howarth et al., 2009). Angesichts des riesigen und stetig steigenden Bedarfs an Treibstoffen aller Art besteht eine große Gefahr der Übernutzung und Zerstörung wichtiger Ökosysteme wie Wälder und Grasland (United Nations, 2007; Howarth et al., 2009). Auch der Bedarf an landwirtschaftlichen Nutzflächen und deren Intensivnutzung wird weiter zunehmen. Dies gilt auch, wenn sich durch den Einsatz der Synthetischen Biologie die Ausbeute an Energie erhöht und die Kosten für die zweite Generation von Biokraftstoffen verringert werden (Ceddia & Cerezo, 2008). Wird die Effizienz erheblich gesteigert, wird dies die Konkurrenzfähigkeit der Biokraftstoffe steigern, die aus Lignozellulose hergestellt werden. Damit erhöht sich die Nachfrage nach Flächen, Rohstoffen und Wasser. Der Druck auf die Flächennutzung und auf die Ökosysteme wird deutlich zunehmen, ohne dass man dadurch entscheidend zur Lösung des Energie- und Klimaproblems beigetragen hätte. Insgesamt taugen Biokraftstoffe wohl nur als eine zusätzliche Treibstoffquelle und nicht als echter Ersatz für erdölbasierten Treibstoff (Sheridan, 2007).

In der Diskussion um Biokraftstoffe der zweiten Generation muss berücksichtigt werden, dass Rohstoffe wie Holz und Gras unter anderem auch der direkten Verfeuerung und anderen Verwertungen zugeführt werden. Entsprechende Verfahren werden ebenfalls weiter optimiert und stehen im Hinblick auf die Nutzungsintensivierung in direkter Konkurrenz zu den Biokraftstoffen der zweiten Generation (Howarth et al., 2009). Auch daraus ergibt sich, dass sich die Flächennachfrage und die ökologischen Problemen über den verstärkten Einsatz von Biostoffen der zweiten Generation nicht entschärfen, sondern eher verschärfen werden.

#### 3.2 Unkontrollierte Freisetzungen und die Nutzung von Algen

Von allen Möglichkeiten, die zur Erzeugung von Biokraftstoffen genannt werden, weist die Nutzung von Algen scheinbar die meisten Vorteile auf, weil die Energieausbeute pro Hektar wesentlich höher ist als bei Landpflanzen (Schenk et al., 2008). Zudem spielen hier weder die Konkurrenz mit Agrarflächen noch die Übernutzung von terrestrischen Ökosystemen wie Wäldern, Grasland- und Brachflächen eine Rolle. Da die Algen meist in Meerwasser kultiviert werden können, ist die Konkurrenz zur Trinkwasserversorgung nicht unbedingt gegeben. Es wird auch darüber diskutiert, für die Produktion der Algen Abwasser zu nutzen. Je nach Art und Größe der Produktionsanlagen können aber erhebliche Eingriffe in Meeresökosysteme und Gewässerbelastungen zum Beispiel durch Düngemittel und organische Reststoffe verursacht werden (Lardon et al., 2009).

Der Einsatz der Synthetischen Biologie birgt in diesem Zusammenhang besondere Probleme, weil es bei Algen besonders leicht zu unkontrollierten Freisetzungen kommen kann. Die Produktion von Algen funktioniert zwar auch in geschlossenen Systemen (Schenk et al., 2008). In offenen Tanks ist die Wirtschaftlichkeit der Verfahren aber wesentlich höher (Mata et al., 2010), weil hier u. a. die Sonneneinstrahlung genutzt werden kann. Die Gefahr einer ungewollten Freisetzung oder Verschleppung ist hier jedoch besonders hoch.

Gelangen Algen ins Freiland, die mit Hilfe der Synthetischen Biologie oder per Gentechnik verändert worden sind und die zum Beispiel eine höhere Photosynthese-Rate haben, ist ihr Gefährdungspotenzial extrem hoch: Algen vermehren sich rasch und können sich gut an Umweltbedingungen anpassen. Aufgrund einer erhöhten Photosynthese-Rate können sie gegenüber anderen Algen einen erheblichen Überlebensvorteil aufweisen. Auf einer Konferenz der US Presidential Commission For The Study Of Bioethical Issues im Juli 2010 warnte die Biologin Allison Snow deswegen eindringlich vor einer Freisetzung dieser Algen.<sup>47</sup> Auch Mata et al. (2010) weisen auf dieses Problem hin:

*„Also, these promising advances should be viewed with caution because transgenic algae potentially pose a considerable threat to the ecosystem and thus will most likely be banned from outdoor cultivation systems.“*

Der Einsatz von Algen, die per Synthetischer Biologie aufgerüstet wurden, muss in offenen Systemen insgesamt als ein nicht zu verantwortendes Sicherheitsrisiko eingestuft werden. Auch einige Firmen, die aktiv an Algen forschen, wie die Firma Sapphire Energy, haben nach einem Bericht in der New York Times vom Juli 2010<sup>48</sup> erhebliche Vorbehalte gegenüber einer Produktion von gentechnisch veränderten (oder mit Hilfe von Synthetischer Biologie produzierten) Algen in offenen Tanks. Die Firma Sapphire will hier nur mit natürlichen Algenstämmen arbeiten.

Auch wenn biotechnologisch aufgerüstete Algen in geschlossenen Systemen verwendet werden, wie dies bei der Firma Algenol geplant ist, können Freisetzungen nicht sicher ausgeschlossen werden. Algenol will ihre Algen Produktion in Sonora (Mexiko) in geschlossenen Anlagen in der mexikanischen Pazifikregion errichten. Angesichts der Gefährdung durch Wirbelstürme, die in dieser Region auftreten können, dürfte die Errichtung einer Großanlage für Algen mit Synthetischen Genen in dieser Region ähnlich sicher sein wie die Errichtung eines Kernkraftwerkes in einem Erdbebengebiet. In dem erwähnten Beitrag in der New York Times wird eine Mitarbeiterin der Firma Livefuels zitiert, die zwar ökologische Risiken abstreitet, aber der Ansicht ist, dass Algenstämmen aus dem Labor bereits ins Freiland verschleppt wurden:

*„They have been carried out on skin, on hair and all sort of other ways, like being blown on a breeze out the air conditioning system.“*

Ein Mitarbeiter der Firma Greenfuel wird im selben Artikel mit der Auffassung zitiert, dass entsprechende Algen bisher noch nicht ins Freiland gekommen seien. Es sei aber sicher davon auszugehen, dass es passieren werde, *„weil Menschen Fehler machen“*. Greenfuel hat nach einem Bericht in „Der Spiegel“ nach zehn Jahren die Forschung an Algen eingestellt.<sup>49</sup>

47 <http://www.bioethics.gov/background>

48 <http://www.nytimes.com/cwire/2010/07/22/22climatewire-the-race-to-make-fuel-out-of-algae-poses-ris-80037.html?pagewanted=1>

49 <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/0,1518,665958,00.html>

### 3.3 Die Nutzung in Stoffkreisläufen

Gegen den Einsatz der Synthetischen Biologie sprechen weitere Gründe: Betrachtet man die Stoffkreisläufe bei der Erzeugung von Biokraftstoffen, taucht das Problem der Entsorgung des biologischen Restmaterials auf. Hier werden u. a. die Verwertung als Tierfutter und Düngemittel diskutiert. Diese möglichen Verwertungen fließen in die Berechnungen der Gesamtwirtschaftlichkeit ein und stellen ein wichtiges Element im Hinblick auf die Ökobilanz der Biokraftstoffe dar. Kommt die Synthetische Biologie zum Einsatz, stammt auch das (Rest)-Material aus der synthetischen Herstellung und enthält künstliche Gene, ggf. sogar lebensfähige synthetische Organismen. Es ist fraglich, ob die großen Mengen organischen Materials, die zur Energiegewinnung nötig sind, nach ihrer Nutzung tatsächlich so transportiert und behandelt werden können, dass keine funktionsfähigen Gene oder synthetische Organismen in die Umwelt gelangen können. Bei einer Verwertung dieser Restmasse als Dünger oder als Tierfutter droht eine massenhafte unkontrollierte Freisetzung und „Inverkehrbringung“ von biologischem Material mit schwer bzw. nicht einschätzbarem Risikopotenzial.

Dieses Problem wird zum Teil auch von den Betreibern selbst gesehen. So benennt die Firma Gevo in der Patentanmeldung WO 2009059253 einige wichtige Kriterien, die bei einer Produktion von Biokraftstoffen wichtig sind. Demnach sollten die verwendeten Organismen (sogenannte „biocatalysts“) keine künstliche DNA und auch keine Antibiotikaresistenzgene enthalten, damit die Reste aus dem Produktionsprozess gefahrlos in der Umwelt ausgebracht oder als Viehfutter genutzt werden können:

*„Biocatalysts that contain foreign DNA may pose several environmental and food safety concerns, depending on how the spent biocatalyst is used after industrial fermentation process. One concern is the release of live biocatalysts into the environment.“<sup>50</sup>*

Deswegen können nach der Patentschrift von Gevo nur Organismen mit natürlicher DNA als Dünger oder Viehfutter genutzt werden:

*„An important characteristic of the biocatalyst is that the biocatalyst contains DNA consisting of natural DNA .... biocatalysts that contain DNA consisting of natural DNA allow the spent biocatalyst to be used as an animal feed supplement, as fertilizer, or disposed of as waste with minimal treatment.“<sup>51</sup>*

Andernfalls müssten die Reststoffe aus der Erzeugung von Biokraftstoffen zu sicheren Entsorgung verbrannt werden, was nach Aussage von Gevo ökonomisch aber viel ungünstiger sei. Die von Gevo skizzierten Stoffkreisläufe sind in Abbildung 5 wiedergegeben. Die Firma Gevo scheint sich allerdings nicht unbedingt an ihre eigenen Zielvorgaben zu halten – sie arbeitet intensiv an gentechnisch veränderten und synthetischen Mikroben für die Produktion von Biokraftstoffen.

<sup>50</sup> WO 2009059253, Seite 31

<sup>51</sup> WO 2009059253, Seite 29

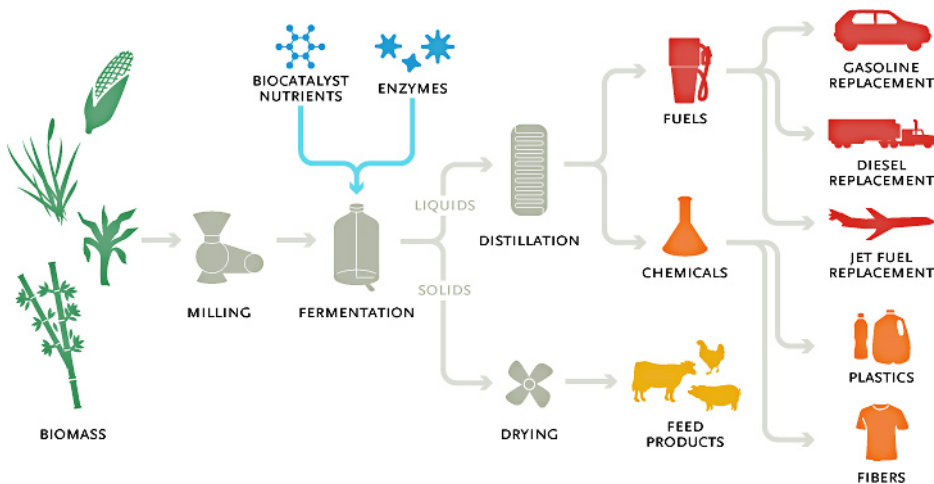


Abbildung 5: Produktionsprozess bei der Produktion von Biokraftstoffen nach Angaben der Firma Gevo (<http://www.gevo.com>)

### 3.4 Green Goo around the corner

Die Risiken bei einer Freisetzung von synthetischen Organismen, die zur Herstellung von Biokraftstoffen der zweiten Generation verwendet werden, müssen als hoch eingestuft werden: Es handelt sich um Organismen, die biologische Substanzen schnell und effizient abbauen und verwerten oder Sonnenlicht wesentlich effizienter nutzen als natürliche Spezies. Eine Ausbreitung von z. B. hocheffizienten Supermikroben, die auf Kahlfraß spezialisiert sind und die zu einem Green-Goo-Szenario führen könnten, ist nicht auszuschließen. Experten wie Van Est et al. (2007) sprechen von Green Goo, wenn das Risiko besteht, dass sich synthetisch produzierte Organismen unkontrolliert in der Umwelt ausbreiten können (siehe auch Then&Hamberger, 2010).

Beispielsweise sollen die genetischen Eigenschaften von Bakterien genutzt werden, die im Darm von Termiten auf die Zersetzung von Holz spezialisiert sind.<sup>52</sup> Termiten richten durch diese Fähigkeiten alleine in den USA Jahr für Jahr einen Schaden von etwa einer Milliarde US-Dollar an. Ein anderer Ansatz besteht darin, Gene aus dem Holzbohrerkrebs zu verwenden, der hölzerne Schiffsrümpfe komplett zerstören kann.<sup>53</sup> Könnten synthetische Bakterien mit entsprechenden Genen, die unter Umständen technisch weiter „optimiert“ wurden, zu ähnlichen oder sogar größeren Bedrohungen werden? Experten warnen auch vor der großen Wandlungsfähigkeit von Algen, die sich rasch an verschiedene Umweltbedingungen anpassen können.<sup>54</sup>

Die bisherigen gesetzlichen Regelungen im Bereich Gentechnik reichen jedenfalls nicht aus, um die Risiken, die von synthetischen Organismen ausgehen, mit ausreichender Sicherheit auszuschließen.

52 <http://www.physorg.com/print114878059.html>

53 SZ 9.3.2010, Quelle PNAS online

54 <http://www.nytimes.com/cwire/2010/07/22/22climatewire-the-race-to-make-fuel-out-of-algae-poses-ris-80037.html?pagewanted=1>

Es gibt keine vergleichbaren Lebewesen, keine verlässlichen Erfahrungswerte, die herangezogen werden können. Auch die Synthese von künstlichen Genen wird im Gentechnikgesetz nicht ausreichend berücksichtigt. Dieses Problem wird von Firmen wie GeneArt anerkannt, dabei wird aber der wirtschaftlichen Entwicklung der Branche Vorrang vor dem Prinzip der Vorsorge eingeräumt. Die Argumentation lautet sogar, dass es für wirksame Vorsorgemaßnahmen bereits zu spät sei.

*„The cat is already out of the bag.“ (Minshull & Wagner, 2009)*

### 3.5 Teil der Lösung oder Ursache neuer Probleme?

Die Synthetische Biologie wurde in ihrer Anfangsphase vor allem mit dem Argument beworben, dass sie zur Herstellung neuer Arzneimittel benötigt würde. Insbesondere die Herstellung von billigerem Artemisinin zur Bekämpfung der Malaria war das Projekt, mit dem weltweit für den Einsatz der Synthetischen Biologie geworben wurde. Das Produkt steht jetzt – nach massiver Förderung durch die Gates-Stiftung – vor der Markteinführung.<sup>55</sup> Doch inzwischen konzentriert sich die Firma Amyris, die es entwickelt hat, längst auf die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen. Das Produkt Artemisinin diene wohl eher der Einführung einer neuen Technologie als zur Herstellung eines Arzneimittels. Denn weitere Medikamente, die auf ähnliche Weise wie Artemisinin hergestellt werden sollen, sind nicht in Sicht.<sup>56</sup>

Das wirtschaftliche Umfeld der Biokraftstoffe lässt vermuten, dass es bei der Propagierung der Synthetischen Biologie keineswegs (in erster Linie) um bessere Medikamente oder Klimaschutz geht, sondern vielmehr um neue Märkte, zusätzliche Gewinne und exklusive Kontrolle. So können beispielsweise die großen Öl-Konzerne mit relativ geringen Investitionen den Eindruck erwecken, es gebe eine Lösung des Klimaproblems, die umweltfreundlich und nachhaltig ist, ohne dass es grundsätzlich neuer Strategien für Mobilität und Energieerzeugung bedürfe. Dass mit Agrokraftstoffen bzw. Biokraftstoffen ein nennenswerter Teil der erdölbasierten Treibstoffe ersetzt werden kann, glauben die Ölkonzerne hingegen selbst nicht, wie die Äußerungen eines Vertreters der US-Firma Chevron zeigen:

*„What helps a lot is that if I sell a gallon of ethanol today, it didn't mean I didn't sell gas. There's growth. It's a bigger pie.“ (Sheridan, 2007)*

Und ein Experte des italienischen Öl-Konzerns Eni wird mit folgenden Worten zitiert:

*„A large-scale production of ethanol, capable of substituting relevant quotas of oil products, is a chimera.“*

Ein ähnliches Resümee wird in Howarth et al. (2009) gezogen:

*„Evidence suggests biofuels can make a modest (10%) contribution to national transportation fuel supply in countries with large cropland resources relative to population size. However, few countries will be significant exporters of biofuels. Clearly, biofuels cannot be a major source of transportation fuel in a highly populated and energy demanding world.“*

<sup>55</sup> <http://www.physorg.com/news198146090.html>

<sup>56</sup> Siehe Carlson R., 2010, The Context of Current Practices in Synthetic Biology, <http://www.bioethics.gov/background/>

Aufschlussreich sind die weitreichenden Patentanträge, die in diesem Zusammenhang eingereicht wurden. Firmen wie Verenum oder Amyris rechnen damit, dass alles, was mit diesen neuen Technologien zusammenhängt, auch patentiert werden kann (Mikroben, Enzyme, Biokraftstoffe, Technologie, sekundäre Produkte wie Futtermittel usw.). Gelingt einer Firma hier der Durchbruch, winkt eine lukrative exklusive Verwertung.

Insgesamt drängt sich der Eindruck auf, dass Medizin oder Klimawandel hier bemüht werden, um neue, zweifelhafte und risikobehaftete Technologien auf den Markt zu drücken, deren Potenzial zur Lösung der alten Probleme offensichtlich begrenzt ist, dafür aber neue und völlig unbekannte Probleme schafft.

## 4. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Produktion von Biokraftstoffen der zweiten Generation könnte gerade dann kontraproduktiv werden, wenn es gelingt, die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Verfahren zu steigern: Ressourcen wie Holz und Gräser sind nicht unbegrenzt vorhanden und wachsen zum Teil auf ökologisch besonders wertvollen Flächen (Schutzgebiete, Steppen, Wälder und extensiv genutzte landwirtschaftliche Flächen). Steigt hier die Nachfrage, kommt es zur Übernutzung und Zerstörung. Gleichzeitig wird der Nutzen im Hinblick auf den Ersatz der erdölbasierten Treibstoffe auch bei hoher wirtschaftlicher Effizienz begrenzt bleiben. Selbst bei intensiver Nutzung aller möglichen Ressourcen zur Herstellung von Biokraftstoffen der zweiten Generation kann nur ein relativ kleiner Anteil der gesamten Menge an Treibstoff ersetzt werden.

Neben den allgemeinen Problemfeldern der Biokraftstoffe bergen die möglichen Anwendungen der Synthetischen Biologie in jedem Fall erhebliche Risiken: Werden DNA-Elemente künstlich synthetisiert, schafft man die Voraussetzungen dafür, künstliche Lebewesen herzustellen, die sich unkontrolliert in der Umwelt verbreiten können und ggf. auch werden. Kommen synthetische Organismen in den Stoff- und Produktionskreisläufen zur Erzeugung von Biokraftstoffen zum Einsatz, droht ein besonderes Risiko der Freisetzung. Denn es fallen große Mengen von Reststoffen an, deren Entsorgung problematisch ist: Künstliche Gene und möglicherweise noch lebensfähige Organismen könnten massenhaft in die Umwelt gelangen. Diese Organismen sind vor allem auf die effiziente Zersetzung von Biomasse optimiert und stellen deshalb ein erhebliches Risiko für die biologische Vielfalt dar.

Das UN-Jahr der biologischen Vielfalt 2010 bietet einen wichtigen Anlass, Schutzkonzepte zu diskutieren, die den heutigen naturwissenschaftlichen und technischen Entwicklungen angemessener sind als die derzeitigen Regelungen. Eine Risikoabschätzung, die Fall für Fall vorgeht, aber keine Frage an die langfristigen systembezogenen Folgen für Evolution und Biodiversität stellt, ist nicht ausreichend. So wie man versucht, Ökosysteme grundsätzlich vor dem Eintrag langlebiger chemischer Stoffe, die akkumulieren, zu schützen, sollte man im Sinne der biologischen Integrität, den Eintrag von synthetischen und technisch umgebauten, nicht von der Evolution entwickelten Organismen und Genen in die Umwelt grundsätzlich vermeiden (siehe Then & Hamberger, 2010, Breckling, 2009).



**Vor diesem Hintergrund müssen folgende Gesichtspunkte beachtet werden:**

1. Eine Förderung von Technologien zur Produktion von Biokraftstoffen aus Lignozellulose muss (mit und ohne Synthetische Biologie) von einer strikten Gesetzgebung begleitet werden, die klarstellt, welche Flächen (welche Vegetation und welche Ökosysteme) in welchem Umfang dafür genutzt werden dürfen. Auch bei Importen müssen Herkünfte und Stoffströme kontrollierbar sein und sozioökonomische sowie ökologische Standards verbindlich festgelegt werden.
2. Werden Algen zur Produktion von Biokraftstoffen genutzt, müssen Stoffkreisläufe und Energiebilanzen insgesamt analysiert werden und Regelungen zur Vermeidung von Meeres- und Gewässerbelastungen erarbeitet werden. Freisetzungen von Algen mit synthetischem Erbgut oder gentechnischen Veränderungen müssen verhindert werden. Kann eine Freisetzung nicht ausgeschlossen werden, muss auf den Einsatz der Algen verzichtet werden.
3. Der Einsatz der Synthetischen Biologie im Bereich der Erzeugung von Biokraftstoffen („Synthi-Fuels“) kann nur dort in Frage kommen, wo in geschlossenen Systemen gearbeitet wird. Da in Zusammenhang mit der Erzeugung von Biokraftstoffen große Mengen an Restmaterialien zu erwarten sind, muss von Anfang an eine Analyse der Stoffkreisläufe erstellt werden. Kann eine ökologisch sichere Entsorgung nicht gewährleistet werden, muss auf den Einsatz der Synthetischen Biologie verzichtet werden.
4. Wenn lebende Organismen mit neuen Eigenschaften produziert werden, muss deren Existenz sowohl räumlich als auch zeitlich klar begrenzt sein. Deren Eintrag in die Umwelt muss verhindert werden. Es bedarf in diesem Zusammenhang neuer gesetzlicher Regelungen, um Eigendynamik und Evolutionsfähigkeit der Natur – die Integrität der Evolution – zu schützen.
5. Zusätzlich müssen Aktivitäten von Firmen und Forschungseinrichtungen, die Gene und/oder Organismen künstlich synthetisieren, in ein funktionierendes Überwachungsprogramm eingebunden werden. Entsprechende Regelungen sollen unter anderem die Entwicklung von Biowaffen und die Synthese von neuen Krankheitserregern verhindern. Dazu muss erfasst werden, welche Gene synthetisiert werden.

Die weitere Entwicklung der Synthetischen Biologie muss von der Etablierung gesetzlicher Regelungen und wirksamer Kontrollen abhängig gemacht werden. Testbiotech fordert nicht nur spezifische gesetzliche Regelungen für die Synthetische Biologie, sondern auch ein Moratorium für staatliche Fördermaßnahmen. Eine Aussetzung der Fördermaßnahmen ist auch nötig, um Zeit für eine breite gesellschaftliche Debatte zu gewinnen.

## Quellen

- Alper, H. & Stephanopoulos, G. (2009)** Engineering for biofuels: exploiting innate microbial capacity or importing biosynthetic potential? *Nature Reviews Microbiology* 7: 715 – 723
- Breckling, B. (2009)** Evolutionary integrity – an issue to be considered in the long-term and large-scale assessment of genetically modified organisms in: Breckling, B., Reuter, H. & Verhoeven, R. (2008) Implications of GM-Crop Cultivation at Large Spatial Scales. *Theorie in der Ökologie* 14. Frankfurt, Peter Lang
- Ceddia, M. G., & Cerezo E.R. (2008)** A Descriptive Analysis of Conventional, Organic and GM Crop and Certified Seed Production in the EU , Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, EUR 23443 EN, ISSN 1018-5593 , ISBN 978-92-79-09563-4 , Scientific and Technical Research Series
- Cotula, L., Vermeulen, S., Leonard R. & Keeley J. (2009)** Land grab or development opportunity? Agricultural investment and international land deals in Africa, IIED/FAO/IFAD, London/Rome, ISBN: 978-1-84369-741-1
- EU Kommission (2005)**. Aktionsplan für Biomasse. {SEK(2005) 1573}, KOM(2005) 628 endgültig
- EU Kommission (2006)**. Eine EU-Strategie für Biokraftstoffe {SEK(2006) 142}, KOM(2006) 34 endgültig
- EU Kommission (2007)**. The impact of a minimum 10% obligation for biofuel use in the EU-27 in 2020 on agricultural markets. DG AGRI Note to the file AGRI G-2/WM D(2007), 30 April 2007
- ETC Group (2008)**. Commodifying Nature's Last Straw? Extreme Genetic Engineering and the Post-Petroleum Sugar Economy. <http://www.etcgroup.org/en/node/703>
- Fortman, J.L., Chhabra, S., Mukhopadhyay, A., Chou, H., Lee, T.S., Steen, E. & Keasling, J.D. (2008)**. Biofuel alternatives to ethanol: pumping the microbial well. *Trends in Biotechnology* 26: 375 – 381
- Gibson, D. G., Glass, J. I., Lartigue, C., Noskov, V. N., Chuang, R. Y., Algire, M. A., Benders, G. A., Montague, M. G., Ma, L., Moodie, M. M., Merryman, C., Vashee, S., Krishnakumar, R., Garcia, N. A., Pfannkoch, C. A., Denisova, E. A., Young, L., Qi, Z. Q., Segall-Shapiro, T. H., Calvey, C. H., Parmar, P. P., Hutchison, C. A., Smith, H. O., Venter, J. C. (2010)**. Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome, *Science*, Vol. 329. no. 5987, pp. 52 – 56
- Hirschberger, P. (2006)**. Potenziale der Biomassennutzung aus dem Österreichischen Wald unter Berücksichtigung der Biodiversität. Naturverträgliche Nutzung forstlicher Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung unter besonderer Berücksichtigung der Flächen der Österreichischen Bundesforste. <http://www.oebf.at>
- Howarth, R.W., S. Bringezu, M. Bekunda, C. de Fraiture, L. Maene, L. Martinelli, O. Sala (2009)**. Rapid assessment on biofuels and environment: overview and key findings. Pages 1-13 in R.W. Howarth and S. Bringezu (eds), *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use*. Proceedings of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) International Biofuels Project Rapid Assessment, 22-25 September 2008, Gumpersbach Germany. Cornell University, Ithaca NY, USA. <http://www.cip.cornell.edu/biofuels>
- Lardon, L., Helias, A., Sialve, B., Steyer, P.P. & Bernard O. (2009)**. Life Cycle Assessment of Biodiesel Production from Microalgae, *Environmental Science & Technologie* 43: 6475 – 6481

- Mata, T. M., Martins, A.A., Caetano N., S., (2010)** Microalgae for biodiesel production and other applications: A review *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (2010) 217–232
- Minshull, J., & Wagner, R. (2009).** Preventing the misuse of gene synthesis, *Nature Biotechnology* 27: 800 – 810
- Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge TN, USA ()**. technical feasibility of a billion-ton annual supply. Technical Report ORNL/TM 2006/66
- Perlack R. (2005).** Biomass as a feedstock for a bioenergy and bioproducts industry: The technical feasibility of a billion-ton annual supply. Technical Report ORNL/TM 2006/66. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge TN, USA
- Picataggio, S. (2009).** Potential impact of synthetic biology on the development of microbial systems for the production of renewable fuels and chemicals. *Current Opinion in Biotechnology* 19: 325 – 329
- Rubin, E.M. (2008).** Genomics of cellulosic biofuels. *Nature* 454: 841 – 845
- Savage, D.F., Way, J. & Silver, P.A. (2008).** Defossilizing fuel: how synthetic biology can transform biofuel production. *ACS Chem Biol* 3: 13 – 16
- Schenk Peer M.; Thomas-Hall, Skye R.; Stephens, Evan; Marx, Ute C.; Mussnug, Jan H.; Posten, Clemens; Kruse, Olaf; Hankamer, Ben (2008).** Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. *Bioenerg. Res.* 1:20 – 43
- Sheridan, C. (2007).** Big oil's biomass play. *Nature Biotechnology* 25: 1201 – 1203
- Then, C., Hamberger, S., (2010).** Synthetische Biologie und künstliches Leben - Eine kritische Analyse, ein Testbiotech Report, <http://www.testbiotech.org>
- United Nations (2007)** Sustainable Bioenergy: A Framework for decision makers <http://esa.un.org/un-energy/pdf/susdev.Biofuels.FAO.pdf>
- WBGU, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung (2008)** Globale Umweltveränderungen Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung [http://www.wbgu.de/wbgu\\_jg2008.pdf](http://www.wbgu.de/wbgu_jg2008.pdf)
- Van Est, R., de Vriend, H. & Walhout, B. (2007).** Constructing Life – The world of Synthetic Biology. Rathenau Instituut, The Hague

### Wichtige Homepages

<http://www.wupperinst.org>

<http://www.np-net.pbworks.com>

<http://www.physorg.com>

<http://www.biofuelstp.eu>

<http://www.biofuelsdigest.com>

<http://www.synbioproject.org>

<http://www.farmlandgrab.org>

<http://www.bioethics.gov/background>

Synthetische Biologie und künstliches Leben –  
eine kritische Analyse

**Teil 2:  
Die Erzeugung und Nutzung von  
Biokraftstoffen der zweiten Generation  
(„Synthi-Fuels“)**

Ein Testbiotech Report unterstützt von der grassroots foundation

**g r a s s r o o t s**  

---

**f o u n d a t i o n**

September 2010  
Autoren: Christoph Then, Christof Potthof und Sylvia Hamberger