



# Biotreibstoffe – Chancen und Grenzen

Alternative Energieträger werden heute intensiv erforscht. Zu ihnen gehören auch die Biotreibstoffe. Aber können Biotreibstoffe in der künftigen Energieversorgung wirklich einen wichtigen Beitrag leisten? Sind sie sowohl wirtschaftlich interessant wie auch ökologisch und sozial verträglich?

**SATW**

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften  
Académie suisse des sciences techniques  
Accademia svizzera delle scienze tecniche  
Swiss Academy of Engineering Sciences



## Vom Acker in den Tank

Erneuerbare Energien werden zurzeit stark gefördert. Zu ihnen gehören auch die Biotreibstoffe. Diese sollen fossile Energieträger teilweise ersetzen, denn sie können gleich gut gespeichert und transportiert werden. Biotreibstoffe der ersten Generation werden heute weltweit vorwiegend aus Raps, Mais und Zuckerrohr hergestellt.

Erneuerbare Energiequellen erleben gegenwärtig einen starken Aufschwung. Um die globale Klimaerwärmung zu begrenzen, müssen weltweit die CO<sub>2</sub>-Emissionen stark reduziert werden. Zugleich zeichnet sich beim Erdöl ein Versorgungsengpass ab, der in den kommenden Jahren zu einem Preisanstieg führen wird. Die SATW hat 2007 im Bericht «Roadmap Erneuerbare Energien Schweiz» die Potenziale der einheimischen erneuerbaren Energiequellen bis zum Jahr 2050 aufgezeigt. Auch wenn das Thema Biotreibstoffe dabei nicht vertieft behandelt wurde, bestätigte diese Studie doch, dass in der Schweiz (und in Westeuropa) hergestellte Biotreibstoffe den derzeitigen Treibstoffverbrauch nur zu einem geringen Teil ersetzen könnten.

Aus diesem Grund steht denn auch ausser Frage, dass der Verbrauch von Treibstoff in den kommenden Jahren stark reduziert werden muss, etwa durch den Einsatz sparsamerer Fahrzeuge, durch den Ausbau des öffentlichen Verkehrs sowie durch die Verminderung der Anzahl Fahrten. Dies lässt sich jedoch ohne massive Einschnitte in die Lebensweise kaum bewerkstelligen, wie die Studie «Erdölknappheit und Mobilität in der Schweiz» der SATW (2008) zeigte. Obwohl Biotreibstoffe mengenmässig eine relativ geringe Bedeutung spielen werden, ist es wichtig, Chancen und Grenzen ihrer Herstellung und Anwendung zu untersuchen. Die vorliegende Analyse soll die Basis für eine ausgewogene Einschätzung der künftigen Rolle von Biotreibstoffen in der Schweiz und anderen europäischen Industrienationen liefern.

### Substanzielle Förderung

Verschiedene westliche Industrienationen haben sich zum Ziel gesetzt, ihre Abhängigkeit von Erdölimporten zu reduzieren. So haben beispielsweise die USA im Jahr 2004 be-

schlossen, substanzielle Geldmittel in die Entwicklung von Biotreibstoffen zu stecken. Damit unterstützen sie indirekt auch ihre eigene Landwirtschaft. Während in den USA vor allem die Furcht vor nationalen Versorgungsengpässen das Interesse an Biotreibstoffen weckte, werden diese in Europa in erster Linie aus klimapolitischen Motiven gefördert. In Deutschland werden bereits beträchtliche Investitionen getätigt, um in grosstechnischen Anlagen Biotreibstoffe herzustellen.

Im Jahre 2007 sind Biotreibstoffe auch in der Schweiz zum politischen und öffentlichen Thema geworden, als diverse Fördermassnahmen – insbesondere Steuererleichterungen – diskutiert wurden. Dabei besteht weitgehende Einigkeit, dass Biotreibstoffe die fossilen Energieträger in beschränktem Masse ersetzen können. Dazu müssten die heutigen Verbraucher- und Verteilsysteme nicht einmal signifikant verändert werden. Obwohl biologisch produzierte flüssige Kraftstoffe als annähernd klimaneutral gelten, wird ihre Herstellung kontrovers diskutiert.

### Noch viel Entwicklungsarbeit

Biotreibstoffe werden aus Pflanzen oder pflanzlichen Produkten, also erneuerbaren Ressourcen, hergestellt. Das pflanzliche Ausgangsmaterial wird durch technische Prozesse in flüssige oder gasförmige Stoffe wie Methan, Ethanol und Biodiesel umgewandelt, die dann als Treibstoffe verwendet werden können. Für die Produktion der Biotreibstoffe der ersten Generation, manchmal auch Agrotreibstoffe genannt, werden die Ausgangsmaterialien – vorwiegend Raps, Mais und Zuckerrohr – mit landwirtschaftlichen Methoden hergestellt. Wie jeder grossflächige Anbau von Nutzpflanzen kann dies gravierende

### Herstellung von Biotreibstoffen

#### 1. Generation Kulturpflanzen

Mais	→	Zucker	→	Ethanol
Zuckerrohr	→	Zucker	→	Ethanol
Zuckerrüben	→	Zucker	→	Ethanol
Raps	→	Rapsöl	→	Dieselöl
Palmen	→	Palmöl	→	Dieselöl

#### 2. Generation Abfälle der Land- und Forstwirtschaft

Holz	→	Zucker	→	Ethanol
Ernterückstände, Abfälle	→		→	Gas
Energiepflanzen <sup>1)</sup>	→	Zucker	→	Ethanol
Papier	→	Zucker	→	Ethanol

#### 3. Generation Algenkulturen

Einzellige Algen → Öl → Dieselöl

<sup>1)</sup> gepflanzt auf Land, das sich nicht für die Nahrungsmittelproduktion eignet.

Nachteile haben: einen Verlust an Biodiversität, einen erhöhten Wasserverbrauch sowie einen grossen Einsatz an Energie, Düngemitteln und Pestiziden auf den Feldern. Dies kann bei den Biotreibstoffen der ersten Generation zu stark negativen Ökobilanzen führen.

Die Entwicklung von Verfahren zur Herstellung von Biotreibstoffen aus Holz, Ernterückständen, Energiepflanzen und Papier (zweite Generation) oder gar aus Algen (dritte Generation) steht heute erst am Anfang. Es ist wichtig, dass nicht nur die technische Entwicklung, sondern auch die Analyse von sozialen, ethischen, rechtlichen und ökologischen Fragen rasch vorangetrieben wird, um spätere negative Auswirkungen zu vermeiden.

### Gespeicherte Sonnenenergie

Biotreibstoffe sind letztlich gespeicherte Sonnenenergie. Pro Quadratmeter besonnener Fläche lässt sich aus Pflanzen allerdings viel weniger Endenergie gewinnen als mit Photovoltaikanlagen. Ein realer Photovoltaikkollektor «erntet» 15 bis 20 Prozent der eingestrahnten Energie, wobei der maximal erreichbare Wert bei etwa 30 Prozent liegt. Allerdings sind zur Herstellung des Kollektors beträchtliche Energie- und Materialmengen notwendig, die in einer Ökobilanz zu berücksichtigen sind. In Pflanzen hingegen werden maximal 10 Prozent der eingestrahnten Energie in chemische Energie umgesetzt. Die Hälfte davon braucht die Pflanze zur Aufrechterhaltung ihres Stoffwechsels. Die landwirtschaftlichen Feldarbeiten und die nachfolgenden Umwandlungsprozesse verbrauchen wiederum etwa 90 Prozent der in den Pflanzen gespeicherten Energie, so dass schliesslich im Schnitt bloss 0,5 Prozent der ursprünglichen Sonnenenergie als Endenergie zur Verfügung stehen. In

Bezug auf den Flächenbedarf schneidet die Photovoltaik also viel besser ab: Um eine bestimmte Strecke mit dem Auto zu fahren bräuchte man gemäss einer Studie der EMPA 34 mal weniger Land, wenn das Fahrzeug mit Strom aus Photovoltaik betrieben wird anstatt mit Biodiesel aus Palmöl. Ein wichtiger Vorteil der flüssigen Biotreibstoffe ist jedoch, dass die Energie problemlos gespeichert und einfach transportiert werden kann. Die Frage, auf welche Art grosse Mengen an elektrischer Energie effizient gespeichert werden können, ist hingegen nach wie vor ungelöst. Zurzeit werden weltweit grosse Anstrengungen unternommen, um die Effizienz von Pflanzen im Hinblick auf die Energiegewinnung zu optimieren (so genannte Energiepflanzen) und die Produktionsprozesse der Biotreibstoffe zu verbessern. Als Energiepflanzen kommen vorzugsweise mehrjährige, rasch wachsende Gräser (Chinaschilf) oder Bäume (Pappeln, Weiden) in Frage, die wenig Pflege, Wasser und Dünger brauchen und auf Böden wachsen, die sich für die konventionelle Landwirtschaft kaum eignen.

### Empfehlung 1

Die SATW empfiehlt die Entwicklung von Biotreibstoffen der zweiten Generation unter Berücksichtigung international vereinbarter Nachhaltigkeitskriterien. Derzeit ist zwar bei der energetischen Nutzung von Pflanzen die Energieausbeute pro Flächeneinheit geringer als bei der Photovoltaik. Es ist aber zu erwarten, dass sich die Effizienz langfristig steigern lässt.

## Organische Abfälle – wertvolle Rohstoffe

Biologische Materialien sind wertvolle Stoffe, die für unterschiedliche Zwecke verwendet werden können. Genau dieser Umstand erschwert die Herstellung von Biotreibstoffen. Ein interessantes Potenzial eröffnet sich durch die Nutzung von organischen Abfällen für die Treibstoffproduktion.

Es besteht in fachkundigen Kreisen ein breiter Konsens, dass viele biologische Materialien zu wertvoll sind, um sie lediglich als Energielieferanten zu nutzen. Im Hinblick auf die Verwertung von biologischen Produkten sind somit neben energetischen Überlegungen auch andere Aspekte zu berücksichtigen. Pflanzen haben im Gegensatz zu technischen Systemen die Fähigkeit, hoch komplexe Moleküle mit einem Minimum an Energie aufzubauen. Aus der Tatsache, dass Pflanzen weitaus komplexere chemische Strukturen liefern als dies für eine einfache energetische Verwendung (Verbrennung) nötig wäre, lässt sich erklären, warum es zur Herstellung von Biotreibstoffen einen so hohen Energieaufwand braucht und warum es bei der Herstellung zu Verlusten kommt.

### Sehr beschränktes Potenzial

Aus diesen Gründen ist es grundsätzlich ineffizient, für die blosse Energiegewinnung einen energetisch kostspieligen Umweg über Pflanzen zu machen. Weit aus effektiver ist es, die Pflanzen als Nahrungsmittel und Tierfutter oder als Ausgangsbasis für chemische Produkte und Pharmawirkstoffe zu nutzen. Das gleiche Argument wird übrigens seit langem auch gegen die Verwendung von Erdöl als Brenn- und Treibstoff vorgebracht: Das so genannte «schwarze Gold» enthält viele Stoffe, die für chemische Synthesen gebraucht werden können. Ist Erdöl künftig nicht mehr preisgünstig verfügbar, wird an seiner Stelle vermehrt Kohlenstoff aus Pflanzen als chemischer Ausgangsstoff in «Bioraffinerien» zum Einsatz kommen.

**Würden 100 Prozent des Mais aus der Kornkammer USA in Biotreibstoffe umgesetzt, könnten bei den heute erreichten Erträgen nur gerade 7 Prozent des Treibstoffbedarfs der USA gedeckt werden.**

Es ist offensichtlich, dass sich mit biogenen Energieträgern der ersten Generation der weltweite Treibstoffbedarf weder heute noch in Zukunft befriedigen lässt. Die für die Landwirtschaft nutzbaren Flächen sind dafür um ein Mehrfaches zu klein. Würden 100 Prozent des Mais aus der Kornkammer USA in Biotreibstoffe umgesetzt, könnten bei den heute erreichten Erträgen nur gerade etwa 7 Prozent des Treibstoffbedarfs der USA gedeckt werden. Dieser Anteil liesse sich (unter optimalen Bedingungen) vervierfachen, wenn alle Lignozellulose-Abfälle (verholzte Zellbestandteile) zu Ethanol umgewandelt würden. Heute decken Bioethanol und Biodiesel je rund 2 Prozent des Benzinbedarfs der USA bzw. des Dieselbedarfs Deutschlands.

Biotreibstoffe der ersten Generation werden somit, verglichen mit den fossilen Treibstoffen, ein Nischenprodukt bleiben, ausser in besonderen Situationen wie etwa in Brasilien, wo mit dem aus Zuckerrohr gewonnenen Ethanol ein hoher Anteil des nationalen Treibstoffverbrauchs abgedeckt werden kann. Dieses Land ist der weltweit grösste Produzent von Ethanol und stellt jährlich 20 Milliarden Liter her. Global können Biotreibstoffe jedoch in absehbarer Zeit lediglich dazu beitragen, Versorgungsengpässe von Erdölprodukten in geringem Mass zu überbrücken. Für die Schweiz würde ein solches Szenario bedeuten, dass mit inländisch produziertem Biotreibstoff bestenfalls die Notfalldienste bedient werden könnten.



### Ökologisch sinnvolle Nutzung

Die Energieproduktion liesse sich durch Biotreibstoffe der zweiten Generation massiv steigern. Eine Abschätzung des Potenzials liegt zwar noch nicht vor, doch es liegt auf der Hand, dass die Energieausbeute wesentlich erhöht werden könnte, wenn biogene Abfälle und Holz vermehrt einbezogen würden. Die Biotreibstoffgewinnung aus Abfällen wird in der Schweiz teilweise schon seit Jahrzehnten praktiziert, wenn auch noch lange nicht flächendeckend. Dass es nicht nur ökonomisch, sondern auch ökologisch Sinn macht, Abfälle als Energiequellen zu nutzen, wurde 2007 im Rahmen einer Studie der EMPA Dübendorf gezeigt.

Die Firma Borregaard AG in Riedholz bei Solothurn (ehemalige Cellulose Attisholz) hat während über 100 Jahren bis zu 30 Prozent des in der Schweiz verwendeten Ethanol aus Holz hergestellt. Beim chemischen Aufschluss von Holz zur Herstellung von Zellstofffasern entstand als Nebenprodukt eine zuckerreiche Flüssigkeit, die fermentiert und anschliessend zur Ethanolgewinnung destilliert wurde.

### Erste Erfolge beim Biogas

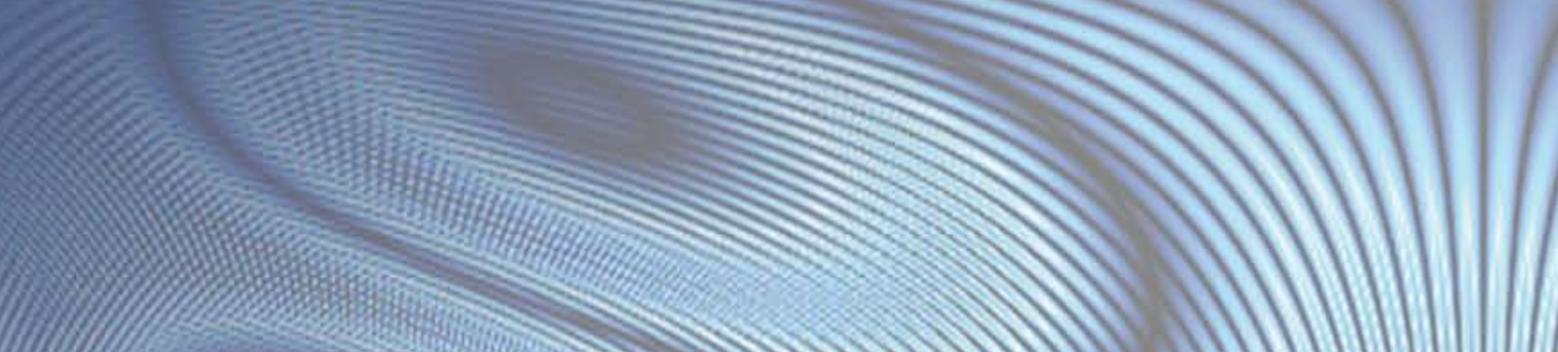
Erfolgreich wirtschaftet die Schweizer Firma Kompogas AG, welche in mehr als zehn Anlagen im In- und Ausland Biogas aus Garten-, Küchen- und Restaurantabfällen herstellt. Daneben wird auch dezentral auf zahlreichen Bauernhöfen Gülle in Biogas (vor allem Methan) umge-

setzt. Dieses dient oftmals der Stromproduktion. Dabei gehen aber mehr als 50 Prozent der Energie als Wärme verloren. Für eine ungereinigte Einspeisung ins Erdgasnetz ist Biogas ungeeignet, da es zu viele Begleitgase enthält und einen zu geringen Druck aufweist. Bis anhin liessen sich Reinigung und Druckerhöhung nicht unter wirtschaftlichen Bedingungen erreichen.

Die Verwertung von Pflanzenresten des Ackerbaus zur Biotreibstoffgewinnung ist prinzipiell sinnvoll. Allerdings muss beachtet werden, dass ein Teil der Pflanzenreste wie Wurzeln und kurze Stoppeln auf den Feldern zu belassen ist, da es ein Minimum an organischem Material braucht, um die Humusschicht des Bodens zu erhalten.

### Empfehlung 2

Die als Ausgangsmaterialien für Biotreibstoffe verwendeten Pflanzenteile enthalten wertvolle Stoffe, aus denen sich – wie aus Erdöl – eine Vielfalt an Materialien herstellen lässt. Die SATW empfiehlt daher, neben der Konzentration auf Biotreibstoffe auch die Erzeugung höherwertiger Produkte aus Biomasse zu fördern.



## Treibstoff statt Nahrung?

Die Produktion von Biotreibstoffen der ersten Generation sorgt immer wieder für Kontroversen. Befürchtet wird, dass die Herstellung von Biotreibstoffen zu Engpässen bei der Nahrungsmittelversorgung führt. Vergessen geht dabei, dass auch in Bezug auf die Wassernutzung Konflikte zu erwarten sind.

Die Herstellung von Biotreibstoffen sorgt immer wieder für Kontroversen. Wenn Pflanzen nicht für Nahrungsmittel-, sondern für Energieproduktion angebaut werden, können Nutzungskonflikte entstehen. Solche Konflikte haben 2007 zur Verknappung von Mais beigetragen und waren teilweise verantwortlich für den markanten Preisanstieg von Tortillas in Mexiko und für die Hungeraufstände in mehreren Städten des Südens. Neben der Produktion von Bioethanol spielten damals aber auch andere Faktoren wie Dürren in Australien und der Ukraine, Überschwemmungen in Teilen Afrikas sowie der starke Preisanstieg von Erdöl und die gestiegene Nachfrage nach Futtermitteln in Schwellenländern eine bedeutende Rolle. Ein weiterer wichtiger Faktor für den damaligen Preisanstieg von Lebensmitteln war die spekulativ bedingte Erhöhung der Notierungen für Getreide an den Futures-Börsen. Für Weizen und Reis sind die Werte bereits wieder stark gefallen: Man erwartet allerdings, dass sie nicht ganz auf den Stand von 2006 zurückgehen werden. Hunger und Mangelernährung sind aber nach wie vor hauptsächlich durch Armut und gesellschaftliche Faktoren bedingt und nicht primär Folgen von Produktionsengpässen.

**Es könnte sein, dass es künftig wegen der Herstellung von Biotreibstoffen vermehrt zu Wassernutzungskonflikten kommen wird.**

### Nutzung ist politische Entscheidung

Der Preisanstieg für Agrarprodukte könnte sich für die Ärmsten der Welt indessen auch positiv auswirken: Die grosse Mehrheit der Unterernährten lebt nämlich auf dem Land und könnte daher von höheren Agrarpreisen profitieren, sofern die politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen kleine und mittlere Produzenten stützen. Leider ist die Realität heute oft eine andere, insbesondere

auf den grossen Plantagen der Tropen: Die Arbeitsbedingungen sind vielerorts mit den elementarsten Menschenrechten nicht vereinbar.

Die Herstellung und Verwendung von Nahrungsmitteln zur Treibstoffgewinnung gilt hierzulande allgemein als sozial und ethisch nicht vertretbar. Sie macht in den dicht besiedelten Regionen des Nordens ökonomisch und ökologisch auch keinen Sinn. In anderen Regionen wird diese Problematik anders beurteilt und kann weniger gravierend sein, so etwa in Brasilien. Eine direkte, ins Gewicht fallende Konkurrenz von Biotreibstoffen und Nahrungsmitteln wird die Linderung des Welthungerproblems zweifellos erschweren. Welche Nutzung bevorzugt wird, ist jedoch immer auch eine

politische Frage. Wie das Beispiel Baumwolle zeigt, geniesst etwa der Anbau von Textilfasern anstelle von Lebensmitteln weltweit eine breite Akzeptanz.

Die SATW ist dagegen, dass man die Biotreibstoffproduktion mit einfach verwertbaren Pflanzen beginnen sollte und dass die Produktion erst danach auf Lignozellulose, Abfälle und Energie-Pflanzen auszuweiten sei. Aus ihrer Sicht sollten Anlagen für die Verarbeitung

von Nahrungsmitteln zu Biotreibstoffen in der Schweiz auf keinen Fall gefördert werden.

### Sorgenkind Wasser

Im Gegensatz zum Spannungsfeld zwischen Nahrung und Energie wird dasjenige zwischen Wasser und Energie heute noch kaum thematisiert, obwohl in verschiedenen Regi-

onen die Ressource Wasser offensichtlich knapp wird. Grosse Mengen an Biotreibstoffen können vorwiegend dort gewonnen werden, wo viel Wasser verfügbar ist. Würde Mais nur mit künstlicher Bewässerung angebaut, müssten umgerechnet pro Liter Bioethanol 3000 Liter Wasser eingesetzt werden. Da mehr als die Hälfte der globalen Getreideernte von bewässerten Feldern stammt, verschlechtert der Faktor Wasser die Ökobilanz von Biotreibstoffen der ersten Generation. Es könnte sein, dass es künftig wegen der Herstellung von Biotreibstoffen vermehrt zu Wassernutzungskonflikten kommen wird.

Auf Grund des heutigen Wissens rechnet man im Schweizer Mittelland in Zukunft mit mildereren Wintern, mehr Niederschlägen im Frühjahr und Herbst sowie mit mehr Extremereignissen und weniger Niederschlägen im Sommer. Sofern es im Sommer keine starke Trockenheit gibt, kann also bei uns mit Mehrerträgen gerechnet werden. Manche Regionen der Welt werden jedoch künftig deutlich weniger Wasser zur Verfügung haben. In diesen Gebieten gilt die Entwicklung von trockenheitstoleranten Sorten als Hoffnungsträger.

### Anbau als grösste Belastung

Die EMPA Dübendorf hat in einer umfassenden Studie im Jahre 2007 die Biotreibstoffgewinnung unter ökologischen Gesichtspunkten untersucht. Dabei wurden neben der Energieeffizienz auch die Treibhausgasreduktion, das Versauerungspotenzial des Bodens, der Verlust an Humus sowie der Verlust an Biodiversität durch den grossflächigen Anbau systematisch erfasst und einer Gesamtbewertung zugeführt. Die weitaus grösste Belastung der Umwelt erfolgt demnach durch den landwirtschaftlichen Anbau. Durch das

Abholzen von Wäldern oder durch die Umnutzung von Ackerland kann sich die Ökobilanz sogar verschlechtern und der Ausstoss von Treibhausgasen vergrössern. Diese potenziellen Effekte wurden bereits kontrovers diskutiert, sollten jedoch weiter untersucht werden. Dass die Ethanolproduktion aus Mais kaum eine positive Energiebilanz aufweist, wurde in zahlreichen Studien bestätigt. Mehrjährige Energiepflanzen auf Böden, die sich kaum für die konventionelle Landwirtschaft eignen, haben hingegen eine deutlich bessere Energiebilanz. Im Gegensatz dazu verursachen die Abfall- und Reststoffverarbeitung keine signifikanten Belastungen, im Gegenteil: Sie weisen eine signifikant positivere Ökobilanz auf als die Verarbeitung von landwirtschaftlich genutzten Pflanzen.

### Empfehlung 3

Die Zunahme der Weltbevölkerung, die abnehmende Verfügbarkeit von Wasser in vielen Regionen und der Verlust von Ackerland gefährden in zunehmendem Masse die sichere Versorgung mit Nahrungsmitteln. Die Herstellung von Biotreibstoffen verschärft diesen Konflikt. Zudem können Biotreibstoffe der ersten Generation nur einen kleinen Teil des heute im Transportsektor verwendeten Benzins und Dieselöls ersetzen und weisen oft eine nachteilige Umwelt- und Energiebilanz auf. Daher empfiehlt die SATW für die Schweiz einen raschen Ausstieg aus Forschung, Entwicklung und Förderung von Biotreibstoffen der ersten Generation.

## Eine Chance für arme Länder?

Die Biotreibstoffproduktion weist eindruckliche Zuwachsraten auf und könnte zu einem längerfristigen Anstieg der Agrarpreise führen. Für die Landbevölkerung ärmerer Länder könnte dies allerdings auch eine grosse Chance darstellen – sofern die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen entsprechend ausgestaltet werden.

Die Bioethanolproduktion aus Mais (USA) und Zuckerrohr (Brasilien) nimmt gegenwärtig jährlich um fast 10 Prozent zu. Rund die Hälfte des in Brasilien angebauten Zuckerrohrs dient der Ethanolproduktion. Solche Zuwachsraten sehen aus rein ökonomischer Sicht vielversprechend aus: Die Folge davon könnte ein globales Ansteigen der Agrarpreise sein, was für Bauern eine erfreuliche Entwicklung darstellen würde. Vor allem in ländlichen Regionen von Industrie- und Entwicklungsländern kann dies Entwicklungsmöglichkeiten bieten – sofern die entsprechenden sozialen und ökonomischen Rahmenbedingungen geschaffen werden.

### Lokaler Markt entscheidet

Nicht alle Biotreibstoffe sind wirtschaftlich gleich interessant. Entscheidend ist insbesondere der lokale Markt. So ist das in Brasilien hergestellte Bioethanol aus Zuckerrohr zurzeit der billigste Biotreibstoff, während der in der EU hergestellte Biodiesel am teuersten ist. Ebenso tragen nicht alle Biotreibstoffe in gleichem Masse zum Ausgleich der Treibhausgas- und Energiebilanz bei. Ethanol aus Zuckerrohr (Brasilien) schneidet auch in dieser Hinsicht vorteilhaft ab.

Die Herstellung von Bioethanol aus Lignozellulose ist heute noch viel aufwändiger als die Herstellung aus Zuckerrohr. Es wird jedoch angenommen, dass Lignozellulose das wichtigste Ausgangsmaterial für die Herstel-

lung von Bioethanol der zweiten Generation sein wird, weil es in riesigen Mengen ohne ernährungsorientierten Verwendungszweck vorkommt. Sowohl beim Pflanzenmaterial als auch bei der Umwandlung der Fasern besteht Verbesserungspotenzial. Die Ertragssteigerung optimierter Energiepflanzen wird unterschiedlich beurteilt. Schätzungen jährlicher Zuwachsraten variieren zwischen zwei und vier Prozent.

### Problematische Subventionen

Heute wird vor allem im EU-Raum und in den USA die Herstellung von Biotreibstoffen durch grosszügige Subventionen gefördert. Diese erfolgen unabhängig davon, ob die Biotreibstoffe aus Pflanzen, die auch als Nahrungsmittel dienen, oder aus Abfällen hergestellt werden. In den USA fliessen jedes Jahr mehrere hundert Millionen Dollar in Form von Venture Capital in die Biotreibstoff-Industrie. Zwischen 2007 und 2008 verschob sich dieser Zufluss allerdings fast ganz von der ersten zur zweiten Biotreibstoff-Generation.

In der Schweiz muss für die Befreiung von der Mineralölsteuer nachgewiesen werden, dass die erzeugten Biotreibstoffe und ihre Herstellungsverfahren im Vergleich zu Benzin eine positive Treibhausgasbilanz (mindestens 40 Prozent weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen) und keine wesentlich schlechtere Ökobilanz aufweisen. Ziel ist es, einen solchen Nachweis künftig durch Zertifizierung zu errei-

**Die Subventionierung der Biotreibstoffe kann die Einkommenssituation der Landwirtschaft verbessern. Dabei besteht jedoch die Gefahr, dass diese Subventionen auf dem Weltmarkt wettbewerbsverzerrend wirken.**



chen. Die Subventionierung der Biotreibstoffe kann bei geeigneten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen die Einkommenssituation der Landwirtschaft verbessern. Das ist in den letzten beiden Jahren in den USA in grossem Umfang geschehen. Dabei entsteht jedoch die Gefahr, dass diese Subventionen auf dem Weltmarkt wettbewerbsverzerrend wirken.

### Schwer abschätzbare Folgen

Wie sich die Produktion von Biotreibstoffen auf den Welthandel auswirkt, wird derzeit intensiv erforscht. Der «Roundtable on Sustainable Biofuels» der EPFL hat bestätigt, dass ein Anstieg der Preise für Landwirtschaftsprodukte die Situation der Landbevölkerung verbessern würde. Doch es wird erwartet, dass sich gleichzeitig die Lage der armen Bevölkerung in den Städten

**Es muss ein vordringliches Ziel sein, den Übergang in die nachfossile Zukunft nachhaltig und verteilungsgerecht zu gestalten.**

durch steigende Agrarpreise verschlimmern wird. Die UNEP und andere internationale Organisationen stellen fest, dass die Nachfrage nach Energie für Mobilität hoch bleiben wird. Es muss daher ein vordringliches Ziel sein, den Übergang vom Erdölzeitalter in die nachfossile Energiezukunft nachhaltig und verteilungsgerecht zu bewältigen. Zum Thema «Biotreibstoffe der zweiten Generation» hat die TA-SWISS eine umfangreiche Studie in Angriff genommen, die Anfang 2010 abgeschlossen werden soll, und in Deutschland hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung kürzlich einen ausführlichen Bericht publiziert.

Wie sich die Biotreibstoffproduktion für die Länder des Nordens in Entwicklungsländern auswirken wird, ist schwierig zu beurteilen. In erster Linie geht es dabei um Palmöl und Jatropaöl, die ähnlich wie Rapsöl als Dieseltreibstoff verwendet werden können. Der Erlös aus dem Verkauf dieser Treibstoffe oder ihrer Rohmaterialien kann für ärmere Länder eine Chance sein, und der Anstieg der Welthandelspreise könnte die wirtschaftliche Lage dieser Länder verbessern. Längerfristig ist diese Entwicklung für die ärmeren Länder jedoch nur vorteilhaft, wenn Anbau und Verkauf unter sozialverträglichen Bedingungen ablaufen.

### Empfehlung 4

Die zunehmenden Umweltprobleme, die durch die Nutzung fossiler Energiequellen entstehen, sowie die absehbare Verknappung des Erdöls fördern Investitionen in alternative Energieträger, unter anderem auch in Biotreibstoffe. Viele Fragen zu den Biotreibstoffen sind derzeit noch offen. Die SATW begrüsst die schweizerischen Aktivitäten zur Beurteilung der anstehenden Probleme. Sie erachtet es als unabdingbar, dass nicht ausschliesslich naturwissenschaftlich-technische Fragen untersucht werden, sondern auch wirtschaftliche, ethische und soziale Aspekte.



## Umsichtiges Handeln gefordert

Während Biotreibstoffe der ersten Generation bereits in grossem Massstab produziert werden, steht die Entwicklung der zweiten und dritten Generation erst am Anfang. Auch auf politischer Ebene gibt es zahlreiche Fragen zu klären. Ziel sollte sein, durch entsprechende Rahmenbedingungen unerwünschte soziale und ökologische Folgen zu vermeiden.

In Bezug auf die Herstellung und Nutzung von Biotreibstoffen besteht nach wie vor grosser Forschungsbedarf, sowohl im naturwissenschaftlich-technischen und ökologischen wie auch im gesellschaftlich-politischen Bereich. Wenn eine neue Technologie erfolgreich eingeführt werden soll, muss eine breite Öffentlichkeit von ihrem Nutzen überzeugt werden. Neben Meinungsumfragen sind auch Verfahren zur Einbindung der Öffentlichkeit in Entscheidungsfindungsprozesse anzuwenden.

### Viele ungeklärte Fragen

Der naturwissenschaftlich-technische Forschungs- und Entwicklungsbedarf ist gross. Für die Herstellung von Biotreibstoffen der zweiten Generation sind erst wenige Demonstrationsanlagen in Betrieb, die aus Pflanzenabfällen Ethanol produzieren. Dabei werden in Nordamerika bereits hohe Investitionen getätigt, während Europa nachhinkt.

Insbesondere besteht in folgenden technischen Bereichen Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

- Weiterentwicklung beziehungsweise Züchtung von Pflanzen, die sich besonders für die Biotreibstoffproduktion eignen. Dazu gehören beispielsweise Pflanzen mit relativ leicht abbaubaren Inhaltsstoffen und wenig Lignin wie Pappeln, Weiden, Luzerne oder Chinaschilf. Attraktiv könnten auch Pflanzen sein, die in der Aufarbeitung der Inhaltsstoffe eigene, durch Züchtung eingefügte Enzyme freisetzen und Polymere abbauen.
- Züchtung von Mikroorganismen, die in der Lage sind, pflanzliche Polymere (Zellulose, Hemizellulose, Lignin) effizient zu fermentierbaren Zuckern abzubauen.

- Einsatz von Enzymen im Produktionsmassstab. Für die verschiedenen Substrate (Holzschnitzel, Stroh, Maisstauden, Chinaschilf, organische Abfälle) müssen die optimalen chemischen oder biologischen Verfahren gefunden werden, um Stoffgemische zu erzeugen, die sich in Biotreibstoffe überführen lassen.
- Entwicklung chemisch-katalytischer Verfahren zum Abbau von pflanzlichen Polymeren
- Herstellung anderer Endprodukte wie Butanol, Propanol, Vorläufer von Isopren oder Kunststoffe

### Algenkulturen als Alternative?

Es ist zudem zu prüfen, ob im Wasser lebende einzellige Algen sich besser für die Fixierung von Kohlendioxid eignen als landwirtschaftliche Nutzpflanzen. Versuche mit der Grünalge *Botryococcus braunii* zeigen, dass die Trockenmasse dieser rasch wachsenden Einzeller zu 85 Prozent aus Isopren-artigen Lipiden besteht, die durch Crack-Prozesse in benzinartige Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden können. Die Verwendung von in geschlossenen Systemen gezüchteten Algen erfordert viel Entwicklungsarbeit, und die Wirtschaftlichkeit solcher Prozesse ist bis jetzt keineswegs gesichert.

Welche ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Folgen die breite Einführung von Biotreibstoffen mit sich bringen würde, ist noch weitgehend unklar. An vielen Orten der Welt wäre zu untersuchen, wie Energiepflanzen sozialverträglich angebaut werden können. Dabei gibt es eine Reihe von Fragen zu prüfen: Wird durch die Produktion von Biotreibstoffen die traditionelle Land- und Forstwirtschaft verbessert, ergänzt oder verdrängt? Wird durch zusätzliches Einkommen Mehrwert

geschaffen? Wie wird der Mehrwert zwischen kleinen und mittleren Produzenten einerseits und grossen Firmen und Institutionen andererseits verteilt? Wie kann die Geschwindigkeit des Wandels reguliert werden? Welche Faktoren sind für eine optimale Einführung von Biotreibstoffen in Ländern des Südens besonders wichtig: Märkte, Schulen, Wasser, Spitäler, Kreditsysteme, Strassen, landwirtschaftliche Beratungssysteme, das Internet?

**Eine aktuelle politische Herausforderung besteht darin, ökologische und soziale Kriterien zu definieren, welche für die Gewährung von Steuererleichterungen erfüllt sein müssen. Die SATW fordert, dass sich die Schweiz für die Schaffung eines verbindlichen internationalen Vertragswerkes einsetzt, das sowohl im technischen wie auch im gesellschaftlichen Bereich die Produktion und den Umgang mit Biotreibstoffen regelt. Ein generelles Moratorium des Imports von Biotreibstoffen aus Ländern des Südens ist nach Ansicht der SATW abzulehnen.**

### Klare internationale Regeln

Die SATW hat kürzlich auf die potenziellen Folgen des so genannten «Peak Oil» aufmerksam gemacht. Im Hinblick auf die Tatsache, dass die Erdölproduktion in absehbarer Zeit ihren Zenit überschreiten wird, ist es wichtig, alternative Energiequellen zu suchen und ihre Zweckmässigkeit zu prüfen. In der schweizerischen Tagespolitik geht es unter anderem darum zu bestimmen, inwieweit Biotreibstoffe staatlich gefördert werden sollen. Die SATW setzt sich dafür ein, dass Biotreibstoffe eine positive Energie- und Treibhausgasbilanz aufweisen sowie ökologische und soziale Mindestanforderungen erfüllen müssen, um in den Genuss von steuerlichen Erleichterungen zu kommen.

Die zentrale Forderung dabei ist, dass der Anbau von Energiepflanzen in keinem Land zu einem Mangel an Nahrungsmitteln führen darf. Das kann erreicht werden, indem die sozialen Bedingungen in den Produzentenländern fallweise geprüft und zertifiziert werden. Der Bundesrat ist aufgefordert, in einem weiteren Schritt eine internationale Übereinkunft ähnlich der Biodiversitäts-

Konvention anzustreben, welche verbindliche Rahmenbedingungen für die Produktion und den Handel von Biotreibstoffen festlegt. Als Sofortmassnahme wird von manchen Nicht-Regierungsorganisationen (NGOs) ein zeitlich begrenztes Moratorium verlangt. Dieses soll verhindern, dass Biotreibstoffe aus Entwicklungsländern steuerlich bevorzugt werden. Die NGOs befürchten, dass die grossen Firmen der Industrieländer die Kleinbauern

im Süden verdrängen. Das vorgeschlagene Moratorium ist nach Ansicht der SATW kritisch zu prüfen, da es auch diejenigen Länder und Regionen des Südens, die sozialverträglich und nachhaltig arbeiten, daran hindert, mehr Einkommen aus ihrer Landwirtschaft zu generieren. Während derzeit politische Entscheide über die erste Ge-

neration von Biotreibstoffen zu fällen sind, steckt die Entwicklung von Biotreibstoffen der zweiten Generation noch in den Anfängen. Es gilt daher, die sozialen und politischen Konsequenzen vorausschauend zu bewerten und geeignete Massnahmen rechtzeitig zu ergreifen.

### Empfehlung 5

Die Entwicklung von Biotreibstoffen der zweiten und dritten Generation benötigt hohe Investitionen, insbesondere in die Forschung. Die SATW empfiehlt, dass der Staat und private Investoren diese Investitionen nach Abwägen technischer, ökologischer, wirtschaftlicher, entwicklungspolitischer und sozialer Kriterien rasch tätigen. Die SATW empfiehlt, auch die ökologischen und gesellschaftlichen Folgen eines breiten Anbaus von Energiepflanzen in den Ländern des Südens zu untersuchen.

# Zusammenfassung

Alternative Energieträger werden heute – aus verschiedenen Gründen – intensiv erforscht. Zu ihnen gehören auch Biotreibstoffe. Ob und in welchem Mass sie gefördert werden sollen, ist umstritten, sind doch viele Fragen bezüglich Energieeffizienz, Wirtschaftlichkeit, Ökologie und sozialer Verträglichkeit noch ungeklärt.

Die SATW unterstützt grundsätzlich die Förderung von Biotreibstoffen, sofern Herstellung und Handel zu einer positiven Nettoenergiebilanz führen, die Treibhausgasbilanz signifikant entlastet wird und wirtschaftliche, soziale sowie ökologische Nachhaltigkeitskriterien erfüllt werden. In unserem Land hergestellte Biotreibstoffe können in der künftigen Energieversorgung jedoch höchstens eine Nischenfunktion übernehmen.

Die SATW empfiehlt, Biotreibstoffe in der Schweiz ausschliesslich aus organischen Abfällen herzustellen sowie aus Pflanzenmaterial, das sich für die menschliche oder tierische Ernährung nicht eignet. Bevor die Schweiz Biotreibstoffe intensiver erforscht, entwickelt, produziert, importiert und verwendet, müssen Regeln geschaffen werden, damit die Konflikte zwischen Nahrungsmittelproduktion, Umweltschutz und Energieerzeugung minimiert werden. Der Bundesrat wird aufgefordert, eine internationale Vereinbarung anzustreben und sich daran zu beteiligen, damit in allen Ländern die gleichen Grundsätze gelten.

## Weiterführende Literatur

Berg, M. & Real, M.: Road Map Erneuerbare Energien Schweiz. SATW Schrift Nr. 39, 2006.  
[www.satw.ch/publikationen/schriften/39\\_roadmap\\_d.pdf](http://www.satw.ch/publikationen/schriften/39_roadmap_d.pdf)

Ganser, D. & Reinhardt, E.: Erdölknappheit und Mobilität in der Schweiz. SATW Schrift Nr. 40, 2008.  
[www.satw.ch/publikationen/schriften/Peakoil.pdf](http://www.satw.ch/publikationen/schriften/Peakoil.pdf)

Kampa, A. & Wolfensberger, U.: Biotreibstoffe – Grundlagen für die Beurteilung aus Schweizer Sicht. ART Schriftenreihe 5, 2007.  
[www.fat.admin.ch/pdf/ART\\_SR\\_05\\_D\\_i.pdf](http://www.fat.admin.ch/pdf/ART_SR_05_D_i.pdf)

Kreyenbühl, T.: Immer mehr Getreide und immer mehr Hunger. NZZ 11.4.2008

Sheridan, C.: Europe lags, US leads 2nd generation biofuels; Nature Biotechnology 26, 1319 – 1321, 2008

WBGU (Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Berlin, 2008:  
Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung

Zah, R.: Umweltbilanz von Biotreibstoffen. Heft 12, 2007

# SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften  
Académie suisse des sciences techniques  
Accademia svizzera delle scienze tecniche  
Swiss Academy of Engineering Sciences



Mitglied der  
Akademien der Wissenschaften Schweiz