

Umweltbilanz von Biotreibstoffen

Situation und Ausblick

Bilan environnemental des biocarburants

Situation et perspectives

Les biocarburants permettent certes de réduire de plus de 30 % les émissions de gaz à effet de serre. Mais la plupart de ces biocarburants occasionnent par ailleurs une charge environnementale supérieure à celle de l'essence. S'il faut s'attendre à de rapides améliorations dans la culture des plantes énergétiques et leur transformation en biocarburants, les surfaces cultivables en Suisse resteront néanmoins globalement limitées. Les biocarburants sont certes appelés à jouer un rôle important dans notre approvisionnement énergétique futur, mais ils seront toujours complémentaires par rapport à d'autres formes d'énergies renouvelables.

Environmental Balance of Biofuels

Situation and Prospects

There are several biofuels which enable a reduction in CO₂ emissions of more than 30 %, but their impact on other environmental factors is higher than the impact of petrol. In the near future, the energy crop cultivation and processing technology will not only see an increase in efficiency but also cause smaller environmental impacts. However, the land areas which are available in Switzerland and worldwide are limited; and, only in connection with other renewable sources, bioenergy will play an important role in the Swiss energy supply.

Rainer Zah



Gegenwärtig lassen sich zwar verschiedene Biotreibstoffe produzieren, die Treibhausgas-Reduktionen von mehr als 30 % ermöglichen, die meisten dieser Biotreibstoffe weisen jedoch bei anderen Umweltfaktoren höhere Belastungen als Benzin auf. In der näheren Zukunft werden sowohl beim Anbau von Energiepflanzen als auch bei der Verarbeitungstechnologie deutliche Effizienzsteigerungen und Reduktionen der Umweltbelastung stattfinden. Dennoch sind die zur Verfügung stehenden Landflächen in der Schweiz, aber auch global beschränkt. Bioenergie wird auch in Zukunft nur im Verbund mit anderen erneuerbaren Energieformen eine wichtige Rolle in unserer Energieversorgung spielen.

1. Gegenwärtige Umweltbilanz

Ende Mai 2007 erschien im Auftrag der Bundesämter für Energie, Umwelt und Landwirtschaft eine *Ökobilanzstudie* zu den Umweltauswirkungen von Biotreibstoffen in der Schweiz [1]. Diese Studie bezieht sich auf die Situation in der Schweiz, gibt aber dennoch einen globalen Überblick über die gegenwärtigen Umweltauswirkungen aller relevanter Biotreibstoffe. Deshalb sollen in diesem Kapitel die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie zusammengefasst werden.

Obwohl Biotreibstoffe aus erneuerbaren Ressourcen bestehen, kann bei deren Anbau und Verarbeitung ein gegenüber fossilen Treibstoffen deutlich breiteres Spektrum von *Umweltbelastungen* entstehen. Dieses reicht von *Über-*

düngung und Versauerung des landwirtschaftlichen Bodens bis hin zu Biodiversitätsverlust, hervorgerufen durch die Brandrodung von Regenwaldflächen. Energetische Effizienz und erzielte Treibhausgasreduktion können daher nicht die alleinigen Kriterien für eine ökologische Gesamtbewertung dieser alternativen Treibstoffe sein.

Um die Auswirkungen von Biotreibstoffen auf die Umwelt möglichst genau bestimmen zu können, wurde in der oben erwähnten Studie die Methodik der Ökobilanzierung verwendet. Dabei werden der für die Erfüllung einer definierten Funktion (z. B. dem Tanken von 1 MJ Energie an einer Schweizer Tankstelle) notwendige Energie- und Ressourcenverbrauch und sämtliche anfallenden Schadstoffemissionen über den gesamten Lebenszyklus gesamthaft beurteilt. Die dazu notwendigen Inventardaten für Biotreibstoffe wurden in einem spezifischen Teilprojekt [2] erhoben und durch zusätzliche Daten aus der Schweizer Umwelt-

inventardatenbank *ecoinvent* [3] ergänzt. Die Auswirkungen auf die Umwelt wurden anschliessend einerseits mit Hilfe von *handlungsorientierten Indikatoren* bestimmt, welche die unmittelbaren Umweltauswirkungen beschreiben und gezielte Rückschlüsse auf mögliche Massnahmen erlauben. Andererseits wurde eine *ökologische Gesamtbilanz* erstellt, bei der die unterschiedlichen Schadstoff-Wirkungen gewichtet und aggregiert werden, sodass die gesamte Umweltauswirkung abgeschätzt werden konnte (Abb. 1).

Abbildung 2 gibt eine Übersicht über die Verteilung der Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) entlang verschiedener Produktionsketten für Bioethanol, Biodiesel, Methanol und Methan. Die Abbildung zeigt, dass gegenwärtig je nach Biotreibstoff und Produktionsweg Einsparungen von bis zu 80 % gegenüber fossilen Treibstoffen möglich sind. Entlang der Produktionskette zeigen sich jedoch grosse Unterschiede:

Der grösste Anteil an den THG-Emissionen stammt aus dem *landwirtschaftlichen Anbau* (Abb. 2, grün) durch den Einsatz von Maschinen, Düngemitteln und/oder Pestiziden, aber auch in Form von direkten Emissionen (z. B. Lachgas). Gleichzeitig ist dieser Anteil jedoch sehr variabel. Wichtigste Einflussfaktoren für die landwirtschaftlichen THG-Emissionen sind die Flächenerträge (hoch bei Schweizer Zuckerrüben oder Brasilianischem Zuckerrohr, jedoch niedrig bei Schweizer Kartoffeln oder europäischem Roggen), die Lachgasemissionen (machen z. B. bei US-Mais 30 % aus) und die Brandrodung von Regenwaldflächen (relevant bei Malaysischem Palmöl und Brasilianischem Sojaöl). Die regionalen Unterschiede in der Intensität der Regenwaldabholzung können einen relevanten Einfluss auf die Gesamtbilanz haben. Hauptfaktor ist generell die Art und Weise, wie Energiepflanzen angebaut werden. Dies gilt nicht nur für die THG-Emissionen, sondern auch für die meisten anderen Umweltauswirkungen von Biotreibstoffen. Im Gegensatz zu landwirtschaftlichen Produkten brauchen Abfall- und Reststoffe zur Bereitstellung keinen Energieaufwand; dies wirkt sich sehr positiv auf deren Gesamtbilanz aus. So lassen sich die insgesamt niedrigsten THG-Emissionen bei der Verwendung von Biodiesel aus Altpeiseöl oder Methan aus Gülle erzielen. Die *Treibstoff-Produktion* (Abb. 2, gelb) verursacht im Schnitt deutlich geringere THG-Emissionen als der landwirtschaftliche Anbau. Besonders gering sind die Emissionen bei der Ölgewinnung und Veresterung zu Biodiesel. Bei der Fermentierung von Bioethanol sind die Emissionen sehr variabel, da entweder fossile Energieträger zum Einsatz kommen (Bioethanol aus US-Mais) oder Abfälle aus der landwirtschaftlichen Produktion als Prozess-Energie verwendet werden (Bagasse beim Brasilianischen Zuckerrohr). Die höchsten THG-Emissionen im Produktionsprozess werden bei der Gewinnung von biogenem Methan frei. Die Ursachen hierfür sind die Methan- und Lachgasemissionen bei der Nachgärung des Gärückstands sowie der Methanschlupf bei der Aufbereitung von Biogas zu 96 Vol.-% Methan. *Abbildung 2* zeigt aber auch, dass beispielsweise bei der Gülle durch gezielte Massnahmen wie die Abdeckung des Nachgärbehälters ein Grossteil dieser Emissionen reduziert werden kann. Diese Abdeckung entspricht 2007 schon dem Stand der Technik.

Der *Treibstoff-Transport* (Abb. 2, orange) aus den Produktionsgegenden an die Schweizer

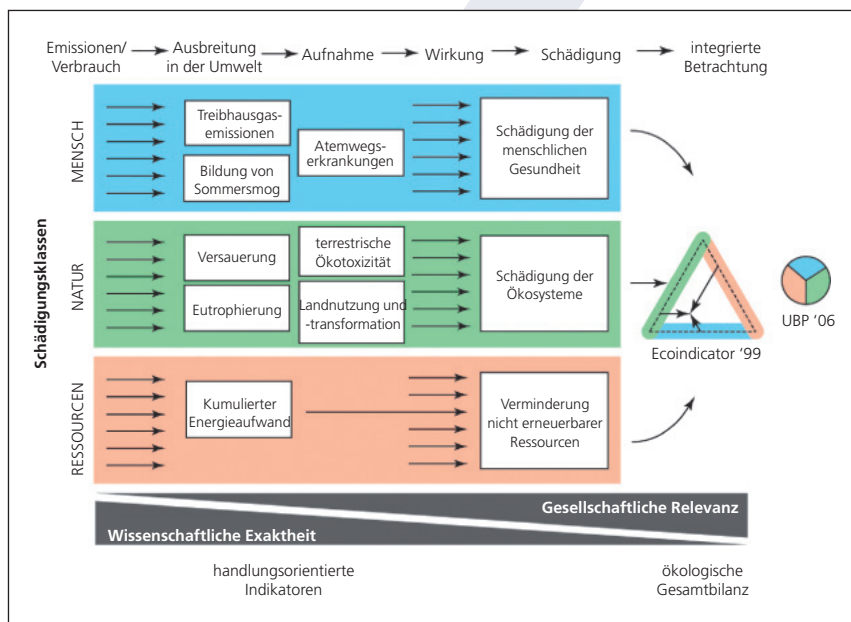


Abb. 1 Schematische Darstellung der für Biotreibstoffe relevanten Umweltindikatoren entlang des Ausbreitungs- und Wirkungspfads.

Tankstelle macht in den meisten Fällen deutlich weniger als 10 % der Gesamtemissionen aus und spielt aus Umweltsicht eine untergeordnete Rolle – sofern der interkontinentale Transport mit Tankschiffen oder in Pipelines erfolgt.

Der eigentliche *Fahrzeug-Betrieb* (Abb. 2, *dunkelgrau*) ist bei den hier verglichenen, reinen Biotreibstoffen CO₂-neutral, da das freigesetzte CO₂ beim Pflanzenwachstum in einem kurzen Zeitraum gebunden wurde.

Die Bereitstellung und der Unterhalt der *Fahrzeuge und Strassen* (Abb. 2, *hellgrau*) wurde in dieser Studie ebenfalls berücksichtigt. Allerdings wurden für alle betrachteten Fälle ein identisches Fahrzeug und eine gleiche jährliche Fahrleistung angenommen, weshalb dieser Anteil für alle Varianten gleich hoch ist. Dieser Aufwand kann bei sehr effizienten alternativen Treibstoffen wie Biodiesel aus Altöl, Bioethanol aus Zuckerrohr oder Methan aus Gülle deutlich mehr als die Hälfte der gesamten THG-Emissionen ausmachen.

Eine andere Situation zeigt *Abbildung 3*, in der die *gesamte Umweltbelastung*, berechnet nach der Methode der ökologischen Knappheit (UBP 06), dargestellt ist [4]. Zwar sind die Umweltauswirkungen des Fahrzeugbetriebs (*dunkelgrau*) bei der Verwendung von fossilem Treibstoff im Vergleich zu den Biotreibstoffen noch deutlich höher, dies wird aber durch teilweise sehr hohe Umweltbelastungen in der landwirtschaftlichen Produktion überkompensiert. Ursachen hierfür sind Bodenversauerung und Überdüngung bei der europäischen und Schweizer Landwirtschaft. Bei der tropischen Landwirtschaft sind Biodiversitätsverlust, Luftbelastung durch Brandrodung sowie Toxizität von in der Schweiz teilweise verbotenen Pestiziden die wesentlichen Ursachen für die hohen Umweltbelastungen. Die sehr hohe Belastung bei der Nutzung von Schweizer Kartoffeln ist durch die hohe Gewichtung der Nährstoffauswaschung zu erklären. Die sehr hohen Werte für Roggen aus europäischer Produktion lassen sich dagegen durch den niedrigen Ernteertrag von Roggen im gesamteuropäischen Schnitt erklären.

Vergleicht man die Ergebnisse von *Abbildung 2* und *3*, zeigt sich, dass bei den meisten Biotreibstoffen ein Zielkonflikt zwischen der Minimierung der Treibhausgasemissionen und einer positiven ökologischen Gesamtbilanz besteht. Zwar lassen sich Treibhausgas-Reduktionen von mehr als 30 % mit einer ganzen Reihe von Biotreibstoffen erzielen, die meisten dieser Bereitstellungspfade weisen jedoch

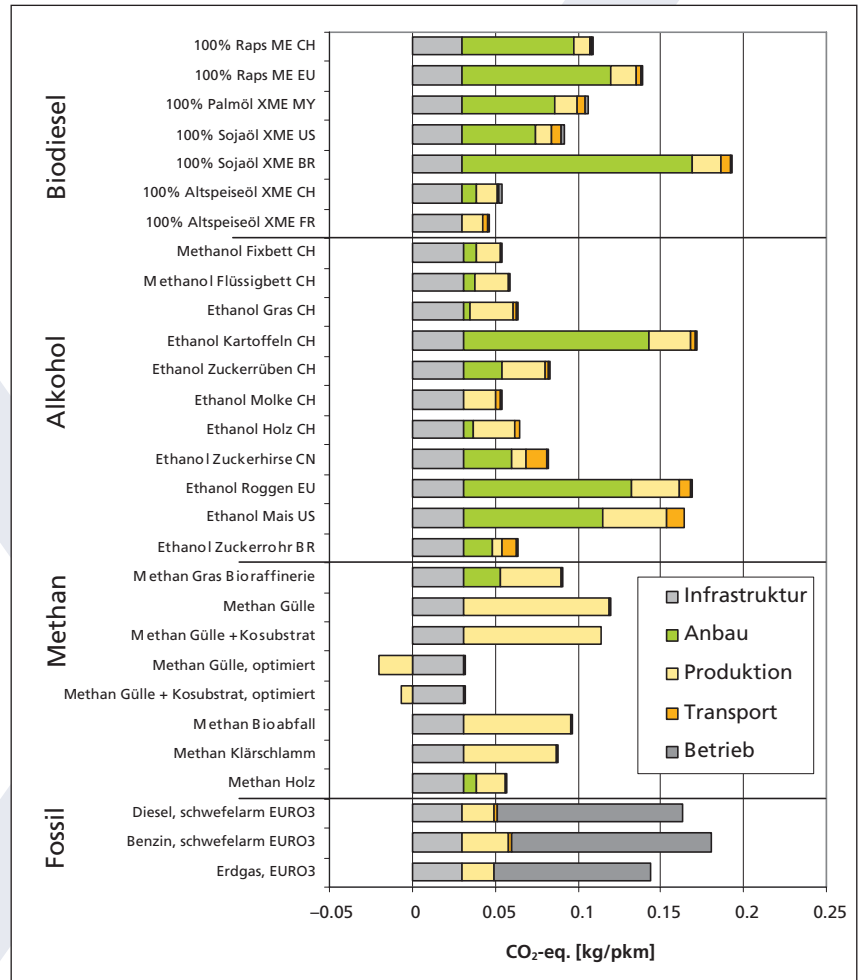


Abb. 2 Vergleich der Treibhausgas-Emissionen von Biotreibstoffen im Vergleich mit fossilen Treibstoffen (Benzin und Diesel, EURO3). Die Emissionen sind nach den einzelnen Prozessen der Wertschöpfungskette gegliedert.

bei mehreren anderen Umweltindikatoren höhere Belastungen als Benzin auf. Der Transport auch von ausländischen Biotreibstoffen in die Schweiz ist dabei von untergeordneter Bedeutung. Wesentlich bedeutender ist, wie der jeweilige Biotreibstoff hergestellt wird.

Zentrale Erkenntnis ist, dass bei Biotreibstoffen der Grossteil der Umweltbelastungen durch den landwirtschaftlichen Anbau verursacht wird. Im Falle der tropischen Landwirtschaft ist dies primär die Brandrodung von Urwäldern, welche grosse Mengen von CO₂ freisetzt, eine

erhöhte Luftbelastung bewirkt und massive Auswirkungen auf die Biodiversität hat. Konkrete Zertifizierungsrichtlinien für Biotreibstoffe, welche dieser Problematik Rechnung tragen, beispielsweise analog den Richtlinien des *Forest Stewardship Council* (FSC), wären dringend wünschbar. In den gemässigten Breiten sind teils der niedrige Flächenertrag, teils die intensive Düngung und mechanische Bearbeitung für eine ungünstige Umweltbeurteilung ausschlaggebend. Hier gilt es, durch geeignete Sortenwahl und Fruchtfolge ein optimales Verhältnis aus

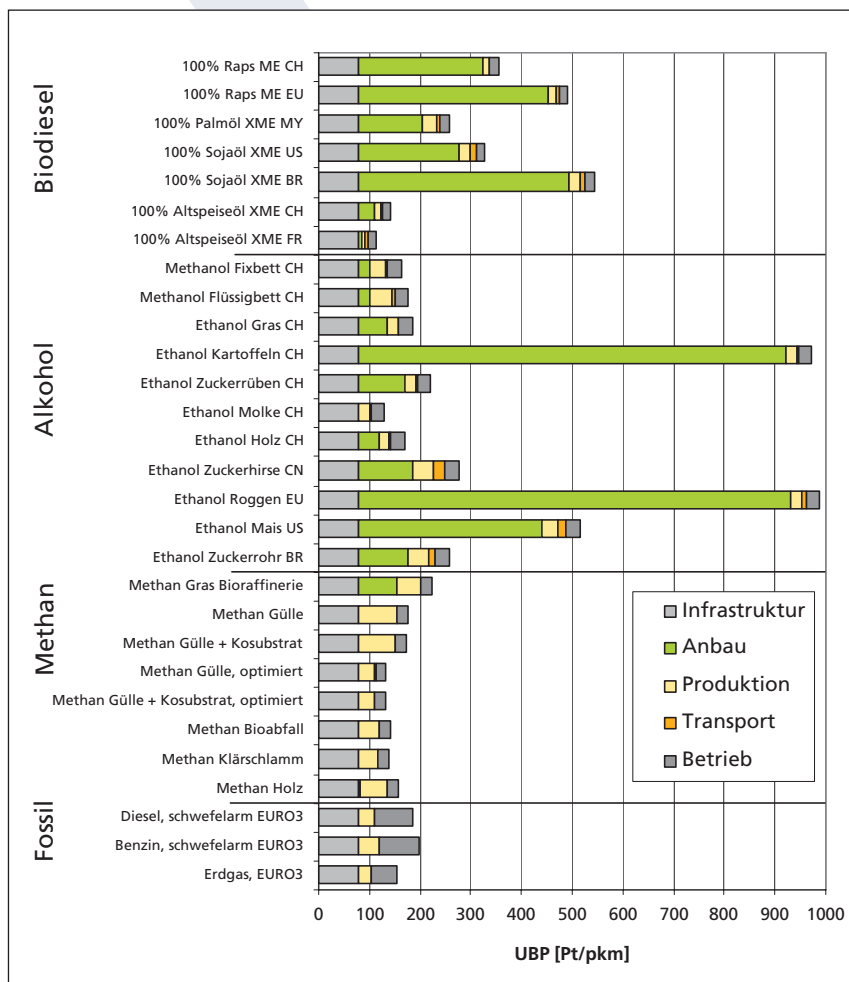


Abb. 3 Vergleich der aggregierten Umweltbelastung (Methode der ökologischen Knappheit, UBP 06) von Biotreibstoffen im Vergleich mit fossilen Treibstoffen (Benzin und Diesel, EURO3). Die Umweltbelastung ist nach den einzelnen Prozessen der Wertschöpfungskette gegliedert.

energetischem Ertrag und geringen Umweltbelastungen zu finden. Eine günstigere Umweltbilanz lässt sich auch bei der energetischen Nutzung von landwirtschaftlichen Co-Produkten erreichen, beispielsweise mit Melasse oder Zuckerhirse-Stroh. Am besten schneidet die energetische Nutzung von *Abfall- und Reststoffen* ab, da hier einerseits die hohen Belastungen aus der Rohstoff-Bereitstellung wegfallen und andererseits Umweltemissionen aus der Abfallbehandlung, wie Abwasserbelastung durch Molke oder Methan-Emissionen durch Düngung mit unver-

gorener Gülle, reduziert werden können. Ein kritischer Faktor sind die teilweise hohen Methanemissionen bei der Produktion und Aufbereitung von Biogas. Auch in diesem Bereich liesse sich die Gesamtbilanz durch gezielte Massnahmen markant verbessern. Diese werden bei neuen Anlagen zum einen bereits verwirklicht, zum anderen besteht aber gerade bei der effizienten CO₂-Abtrennung noch konkreter Forschungsbedarf. Ebenfalls gute Ergebnisse zeigt die energetische Nutzung von *Holz*, da hier die Umweltauswirkungen bei

der Rohstoff-Bereitstellung sehr gering sind. Eine mögliche Technologie für die Zukunft ist die Vergasung von Holz, falls treibhauswirksame Methan-Emissionen durch eine geschlossene Prozessführung minimiert werden können. Auch wenn solche Verfahren grundsätzlich als zukunftsfruchtig beurteilt werden, ist die zukünftige Bedeutung aufgrund der limitierten Rohstoffverfügbarkeit und der heutigen konkurrenzierenden Verwertungen noch offen.

2. Grenzen der Aussagekraft

Obwohl klare Aussagen zu den Umweltauswirkungen von Biotreibstoffen vorliegen, dürfen die Grenzen einer Ökobilanz nicht vergessen werden:

- Die Methodik der Ökobilanzierung analysiert die Umweltauswirkungen von Stoff- und Energieflüssen. Es lassen sich damit keine Aussagen zu *ökonomischen* Faktoren wie z. B. Kosten oder zu *sozialen* Faktoren wie z. B. Kinderarbeit machen.
- Obwohl der hier gewählte Ökobilanzierungsansatz sehr umfassend ist, werden gewisse Umweltauswirkungen nicht oder nur unvollständig berücksichtigt. Beispielsweise werden die Auswirkungen der *Wassernutzung* nicht bewertet, da diese stark von lokalen Gegebenheiten (Niederschlagsmenge, Grundwasserspiegel etc.) abhängig ist. Unvollständig ist die Bewertung von Biodiversitätsverlusten, da insbesondere bei tropischen Ökosystemen die Datengrundlage fehlt.
- Im gewählten Bilanzierungsansatz werden nur die primären Umweltauswirkungen der Prozesskette berechnet, beispielsweise Energieverbrauch und Schadstoffemissionen beim Anbau von Energie-Raps. *Sekundäre Folgen* werden hingegen nicht berücksichtigt. (Auf der Energie-Raps-Anbaufläche wurden beispielsweise vorher Nahrungsmittel angebaut. Diese müssen nun aus dem Ausland importiert werden, es fallen also zusätzliche Transporte und damit verbundene Umweltbelastungen an.)
- Auf Grund der vorliegenden Sachbilanzdaten beziehen sich die Resultate im Wesentlichen auf bestehende Prozessketten und decken somit das Bezugsjahr 2004 ab; zukünftige Entwicklungen werden nicht beurteilt.
- Die zugrunde liegenden Sachbilanzdaten bilden *durchschnittliche Verhältnisse* in den jeweiligen Produktionsländern (Schweiz,

Europa, Brasilien, USA etc.) ab und gelten bezüglich Nutzung für die Schweiz als Ganzes. Die Ergebnisse lassen sich daher nicht ohne weiteres auf Entscheidungssituationen in Teilregionen oder bei einzelnen Betrieben anwenden, da die Umweltauswirkungen im Einzelfall erheblich von der Durchschnittssituation abweichen können.

- Schlussendlich darf nicht vergessen werden, dass eine Ausdehnung der landwirtschaftlichen Energieproduktion zu einer *Flächenkonkurrenz* mit anderen Landnutzungsformen wie der Nahrungsmittelproduktion oder dem Erhalt natürlicher Flächen führen kann.
- Die Studie gibt somit keine Antworten auf die Frage nach den zukünftigen Folgen einer Umstellung auf erneuerbare Treibstoffe, beispielsweise die Konsequenzen für die Umwelt, falls landwirtschaftliche Produkte in grossem Massstab für energetische Nutzung angebaut würden und damit die landwirtschaftliche Produktion insgesamt intensiviert werden müsste oder mögliche *Rebound-Effekte*¹, falls sich durch die Einführung von Biotreibstoffen eine Erhöhung des Treibstoffverbrauchs ergeben sollte, da diese in der Wahrnehmung der Konsumenten als «umweltfreundlich» und daher unproblematisch angesehen werden. Diese zukünftigen Trends bei der Umweltbelastung von Biotreibstoffen sollen in den nachfolgenden Kapiteln näher beleuchtet werden.

3. Zukünftige Umweltprobleme

Die Produktion und Nutzung von Biotreibstoffen ist eng mit dem landwirtschaftlichen Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln und mit anderen Nutzungsformen für Bioenergie wie Strom- und Wärmeproduktion verbunden. Entsprechend schwierig lassen sich deshalb bereits im heutigen Zustand generelle Aussagen zur Umweltverträglichkeit von Biotreibstoffen treffen. Noch schwieriger ist die konkrete Quantifizierung der zukünftigen Umweltauswirkungen von Biotreibstoffen. Nichtsdestotrotz zeichnen sich verschiedene Trends ab. Die Produktion von Biotreibstoffen benötigt grosse Landflächen. Der Nutzungskonflikt um diese Landflächen wird in Zukunft weiter ansteigen, da

- a) die Weltbevölkerung weiter am Wachsen ist,
- b) durch den Wirtschaftsaufschwung in Schwellenländern wie Indien und China der Bedarf nach aufwändig produzierten Lebensmitteln wie Milch und Fleisch am Steigen ist, und
- c) auch die Produktion von Biomaterialien, wie natürliche Fasern oder Proteinprodukte, ebenfalls zunimmt (Abb. 4).

Bei der Frage, welche Landfläche ohne Nutzungskonkurrenz für die zukünftige Biotreibstoffproduktion zur Verfügung stehen wird, gehen die Fachmeinungen auseinander. In einem Extremfall führt jede zusätzlich beanspruchte Hektare zu erhöhtem Landnutzungsdruck und zu einer Verteuerung der Weltmarktpreise von Nahrungsmitteln [5]. Im anderen Extremfall wird geschätzt, dass global nochmals die Hälfte der heutigen Landwirtschaftsfläche unproduktiv ist und ohne Nebenwirkungen für die Energieproduktion verwendet werden könnte [6], was zu

einer Deckung von 20 % bis 50 % des Weltenergiebedarfs durch Bioenergie führen könnte. Die Wahrheit liegt wohl irgendwo dazwischen. Die zunehmende Verknappung der fossilen Energiereserven führt aber auch bei der Förderung von Erdöl zu steigenden Umweltauswirkungen. Die Gewinnung von Erdöl aus Ölsanden (vor allem in Kanada) und Schweröl (vor allem in Venezuela) benötigt grosse Mengen von Wasser und Energie zur Verflüssigung und Aufbereitung der Öl-Ressourcen. Massnahmen zur Bindung des Kohlendioxids bei der Verbrennung von Kohle (CO₂-Sequestrierung) sind ebenfalls mit hohen Kosten verbunden, technisch noch nicht ausgereift und werden die Energieeffizienz um ca. 20 % senken. Die Zukunft wird bei den fossilen Treibstoffen also höhere Kosten und Umweltauswirkungen bescheren. Im Gegensatz zu den fossilen Treibstoffen steht die technische Entwicklung bei den Biotreibstoffen noch am Anfang und durch gezielte Massnahmen lassen



Abb. 4 Rapsfeld im Burgund. Die Produktion von Biotreibstoffen benötigt Landfläche. Land, das auch für andere Nutzungen benötigt wird. (Quelle: R. Zah)

¹ Ein Rebound-Effekt liegt dann vor, wenn Effizienzgewinne zu einem erhöhten Verbrauch führen, welcher wiederum die Vorteile dieses Effizienzgewinns vermindert resp. zunichte macht.

5. Verarbeitungstechnologien

Heutige Verarbeitungstechnologien für Biotreibstoffe basieren auf der mechanischen oder chemischen Extraktion von Pflanzenölen oder auf der Fermentierung oder Vergärung von Zucker, Stärke und Ölen zu Alkohol und Methan (Abb. 5). Bei dieser so genannten *ersten Generation* von Biotreibstoffen wird daher immer nur ein Teil des in den Pflanzen gespeicherten Kohlenstoffs verwertet. Lignin und Zellstoff werden dabei nicht umgesetzt, was natürlich den Wirkungsgrad der Biotreibstoffproduktion senkt. Bei der so genannten *zweiten Generation* von Biotreibstoffen kann sämtlicher in der Biomasse enthaltener Kohlenstoff energetisch genutzt werden. Dies geschieht entweder, indem die Biomasse vollständig in gasförmige Bestandteile (CO, CO₂, CH₄, H₂) transformiert und daraus synthetisches Methan, Diesel oder Benzin synthetisiert wird, oder indem ligno-cellulotische Bestandteile mittels Enzymen oder Bakterien in Zucker oder Stärke umgewandelt werden, die dann fermentierbar sind. Biotreibstoffe der zweiten Generation lassen sich also mit einem besseren Wirkungsgrad und aus einem breiteren Spektrum von Ausgangsmaterialien herstellen als konventionelle Biotreibstoffe. Der prozesstechnische Aufwand für die Biomasse-Vergasung mit anschliessender Synthese ist aber höher als bei den einfachen Prozessen der ersten Generation, was sich wiederum negativ auf die energetische Effizienz auswirkt. Zusätzlich sind die Verfahren momentan noch zu teuer und zu sensibel auf schwankende Biomasse-Zusammensetzung, weshalb heute und in den nächsten Jahren noch nicht mit gross-technischen Anlagen zu rechnen ist. Es ist zu erwarten, dass sich mit Biotreibstoffen der 2. Generation die Umweltbilanz verbessern lässt, wenngleich auch kein Quantensprung zu erwarten ist.

6. Ausblick

Das Potenzial der einheimischen Bioenergie ist mit der heutigen Technologie limitiert. Die nähere Zukunft verspricht aber sowohl beim Anbau von Energiepflanzen als auch bei der Verarbeitungstechnologie deutliche *Effizienzsteigerungen* und *Reduktionen der Umweltbelastung*. Dennoch sind die zur Verfügung stehenden Landflächen in der Schweiz, aber auch global beschränkt und die nutzbare Strahlungsenergie pro Fläche ist bei Bioenergie um Faktoren geringer als beispielsweise bei

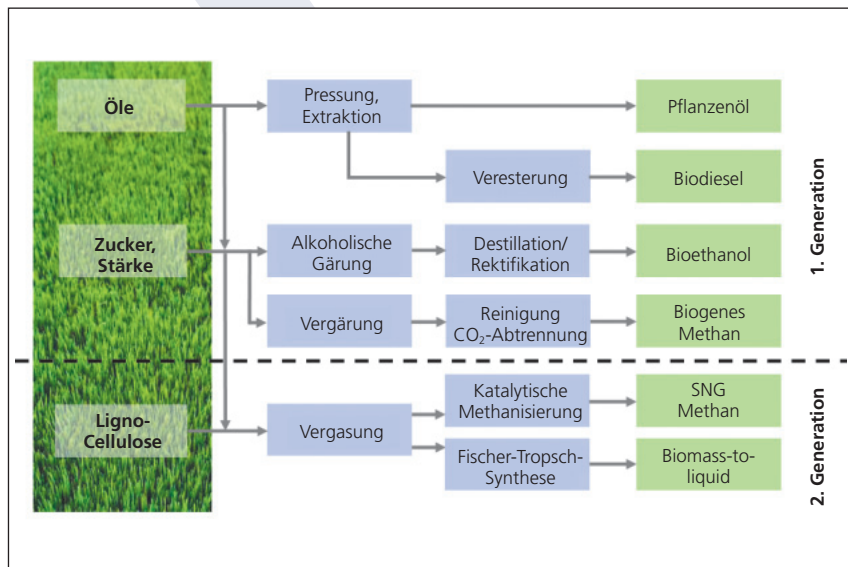


Abb. 5 Die verschiedenen Verarbeitungstechnologien für Biotreibstoffe, die heute am Markt sind (1. Generation) und die in den nächsten Jahren am Markt erwartet werden (2. Generation).

sich die Umweltauswirkungen von Biotreibstoffen deutlich verringern. Auf Grund des möglichen Optimierungspotenzials ist deshalb zu erwarten, dass sich in Zukunft für verschiedene Biotreibstoffe relativ zu den fossilen Treibstoffen bessere Beurteilungen ergeben werden.

4. Energiepflanzen

Die Ökobilanz von Biotreibstoffen [1] hat gezeigt, dass die grössten Umweltauswirkungen bei der landwirtschaftlichen Produktion liegen, sowohl was die Treibhausgasbilanz betrifft als auch bei den meisten übrigen Umweltauswirkungen. Die heutige Biotreibstoffproduktion beruht aber weitestgehend auf landwirtschaftlichen Produkten und Anbauformen, die für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion entwickelt worden sind. Die Pflanzen wurden im Hinblick auf einen hohen Nährwert gezüchtet, sie benötigen aber auch eine entsprechende Pflege, um einen hohen Ertrag zu erzielen. Bei der Produktion von Bio-

energie sind aber andere Eigenschaften gefragt. Ziel ist ein maximaler Ertrag an energiereichen Kohlenstoffverbindungen, der bei minimalem Einsatz von Dünger und Pestiziden und unter langfristiger Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit erzielt werden kann.

Besonders *mehrfährige Kulturen* wie Chinaschilf und Grasland sowie Kurz-Umtriebs-Plantagen von Weiden und Pappeln benötigen einen minimalen Einsatz an Pflanzenschutzmitteln und Düngern und erzielen einen sehr hohen Biomasse-Ertrag. Synergien ergeben sich auch beim Anbau von artenreichen Wiesenkulturen auf Brachflächen. Ohne Düngung und Bodenbearbeitung und bei gleichzeitig *erhöhter Biodiversität* lassen sich damit ähnliche Energieausbeuten wie beim Intensivanbau von Mais erzielen [7]. Um solche Kulturen mit hohem Wirkungsgrad in Biotreibstoffe zu verwandeln, müssen aber auch neue Verarbeitungstechnologien eingesetzt werden, die momentan erst in Pilotanlagen existieren.

Photovoltaik. Mit biogenen Energieträgern allein lassen sich somit die Energieprobleme nicht lösen. Wird die dafür verfügbare Biomasse aber effizient und umweltfreundlich in Energie transformiert, gleichzeitig der Verbrauch gesenkt und die Energieeffizienz erhöht, so können diese alternativen Energieträger im Verbund mit anderen erneuerbaren Energieformen aber dennoch eine nicht zu vernachlässigende Rolle in der zukünftigen Energieversorgung spielen.

Literaturverzeichnis

- [1] *Zah, R. et al. (2007):* Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen. Bundesamt für Energie, Bundesamt für Umwelt, Bundesamt für Landwirtschaft: Bern. p. 206.
- [2] *Jungbluth, N. et al. (2007):* Life Cycle Inventories of Bioenergy. Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Dübendorf, CH. p. 641.
- [3] *Frischknecht, R. et al. (2005):* The ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework. Int J LCA. 10(1): p. 3–9.
- [4] *Frischknecht, R. et al. (2006):* Swiss Ecological Scarcity Method: The New Version 2006. p. 4.
- [5] *Patzek, T.W. et al. (2005):* Ethanol from Corn: Clean Renewable Fuel for the Future, or Drain on our Resources and Pockets? Environment, Development and Sustainability. 7: p. 319–336.
- [6] *IEA (2007):* Potential Contribution of Bioenergy to the World's Future Energy Demand. I. Bioenergy, Editor. p. 12.
- [7] *Tilman, D.; Hill, J.; Lehmann, C. (2006):* Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass. Science. 314.

Keywords

Biotreibstoffe – Ökobilanzierung – erneuerbare Energie

Adresse des Autors

Rainer Zah, Dr.
Technologie & Gesellschaft
EMPA
Lerchenfeldstrasse 5
CH-9014 St. Gallen
rainer.zah@empa.ch
Tel. +41 (0)71 274 78 49
Fax +41 (0)71 274 74 99