

Session I Regenerative Kraftstoffe: Status Heute

Was weiß man heute zu Ökobilanzen von Biokraftstoffen?

Kurzfassung

G. Reinhardt et al.
IFEU – Institut für Energie-
und Umweltforschung
guido.reinhardt@ifeu.de,
www.ifeu.de

Bereits zu Beginn der Neunziger Jahre erschienen erste Ökobilanzen, die sich mit dem Vergleich von fossilen Energieträgern mit Bioenergieträgern auseinandergesetzt haben. Seitdem ist die Anzahl der untersuchten Bioenergieträger und der berücksichtigten Parameter kontinuierlich angestiegen und auch die Untersuchungsmethodik verbessert worden. Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über Ökobilanzen von Biokraftstoffen. Er basiert auf der Zusammenführung verschiedener Studien über die Produktion und die Verwendung von Biokraftstoffen in unterschiedlichen Fahrzeugkonzepten. Die Zusammenstellung diskutiert Ethanol und ETBE aus unterschiedlichen Ausgangsstoffen, diverse Biokraftstoffe aus Pflanzenölen, die bereits auf dem Markt verfügbar sind, und auch innovative Kraftstoffe wie DME oder Biomethanol. Aus dem Vergleich der Biokraftstoffe mit fossilen Kraftstoffen, aber auch untereinander, wird eine Fülle von Ergebnissen gewonnen und daraus eine Vielzahl von Schlussfolgerungen gezogen.

1. Einleitung

Biokraftstoffe, wie der durch Umesterung von Rapsöl gewonnene Biokraftstoff RME, gelten allgemein als besonders umweltfreundlich, sind sie doch – zumindest auf den ersten Blick – CO₂-neutral und bioabbaubar, sparen fossile Rohstoffe ein, verursachen bei ihrer Verbrennung keine nennenswerten Schwefelemissionen und vieles andere

mehr. In Teilbereichen mag eine solche Charakterisierung auch durchaus zutreffen, so z. B. bei der direkten Verbrennung, wo exakt nur die Menge CO_2 freigesetzt wird, die zuvor beim Anbau der energieliefernden Pflanzen der Atmosphäre entzogen wurde.

Betrachtet man aber den gesamten Lebensweg von Biokraftstoffen von der Produktion der Biomasse über die Konversion bis hin zur energetischen Verwertung, so sind die genannten Vorteile nicht unbedingt systemimmanent: So werden beispielsweise für die Produktion der Düng- und Pflanzenschutzmittel wie auch für den eigentlichen landwirtschaftlichen Anbau zum Teil erhebliche Mengen an fossilen Energieträgern verwendet. Zudem ist der Einsatz fossiler Energien mit klimarelevanten Emissionen verbunden, womit nach Einbezug des gesamten Lebensweges auch die CO_2 -Bilanz nicht mehr von vornherein neutral ist. CO_2 wird wegen seiner Klimawirksamkeit bilanziert. Da CO_2 aber nur ein klimarelevantes Gas unter mehreren ist, ist zu fragen, ob nicht durch das Auftreten anderer klimarelevanter Stoffe selbst eine positive CO_2 -Bilanz relativiert, ausgeglichen oder gar überkompensiert wird. Hier kommt vor allem das bei der Düngemittelproduktion und aus Agrarökosystemen entweichende Distickstoffoxid (N_2O) in Frage, welches in der Prozesskette fossiler Energieträger nicht in nennenswerten Mengen freigesetzt wird.

Des Weiteren sind im Zusammenhang mit der Nutzung des Biokraftstoffs RME die mit der landwirtschaftlichen Produktion der Rohstoffe verbundenen Umweltauswirkungen wie die Belastung der Grund- und Oberflächengewässer mit Bioziden und deren Abbauprodukten sowie mit Nitraten und Phosphaten zu diskutieren, zumal diese seitens der fossilen Energieträger nicht auftreten. Zu nennen ist hier auch die Naturrauminanspruchnahme durch den

Anbau von Biomasse in der Landwirtschaft (die aber unter den derzeitigen Verhältnissen der politisch unterstützten Flächenstilllegung betrachtet werden muss). Somit können fossile Kraftstoffe im Vergleich zu Biokraftstoffen möglicherweise durchaus auch positive Umwelteffekte aufweisen.

Diese Beispiele zeigen, dass die ökologischen Vor- oder Nachteile von Biokraftstoffen nicht auf Anhieb aufgelistet und bewertet werden können, sondern dass deren Ermittlung sehr sorgfältig und unter Einbeziehung des gesamten Systems und nicht nur bestimmter Ausschnitte vorgenommen werden muss. Dies kann mit so genannten Ökobilanzen, bei denen – zumindest vom theoretischen Ansatz her – die gesamte Bandbreite der Umweltverträglichkeit betrachtet wird, sachgerecht durchgeführt werden.

In den letzten 10 Jahren sind eine Vielzahl an Ökobilanzen entstanden mit dem Ziel, Biokraftstoffe mit fossilen Kraftstoffen zu vergleichen. Einige dieser Untersuchungen werden hier zusammengefasst, wobei bei der Zusammenstellung besonderer Wert darauf gelegt wurde, dass die erhaltenen Ergebnisse miteinander vergleichbar sind, d. h., dass die zugrunde gelegten Annahmen wie Bezugsjahr und Systemgrenzen zueinander passen. Im Einzelnen werden die Umweltauswirkungen folgender Biokraftstoffe mit ihren fossilen Pendanten aber auch untereinander verglichen:

Ethanol aus Zuckerrüben	mit	Ottokraftstoff (E5 / E100 – PKW)
Ethanol aus Weizen	mit	Ottokraftstoff (E5 / E100 – PKW)
Ethanol aus Kartoffeln	mit	Ottokraftstoff (E5 / E100 – PKW)
ETBE aus Zuckerrüben	mit	MTBE als Additiv in Benzin
ETBE aus Weizen	mit	MTBE als Additiv in Benzin
ETBE aus Kartoffeln	mit	MTBE als Additiv in Benzin
Sonnenblumenölmethylester (SME)	mit	Diesel (PKW / LKW)
Rapsölmethylester (RME)	mit	Diesel (PKW / LKW)
Rapsöl (zentral Pressung)	mit	Diesel (PKW / LKW)
Rapsöl (dezentrale Pressung)	mit	Diesel (Traktor)
Biomethanol	mit	Ottokraftstoff (M5 / M10 – PKW)
Bio-DME	mit	Diesel (PKW / LKW)

E5 / M5: Zumischung des Biokraftstoffs zum fossilen Kraftstoff (5 Volumenprozent).
M10: 10 Volumenprozent. E100: Reinkraftstoff. Bei Ethanol aus Zuckerrüben wurde auch eine Variante "Optimum" unter optimierter Energienutzung untersucht.

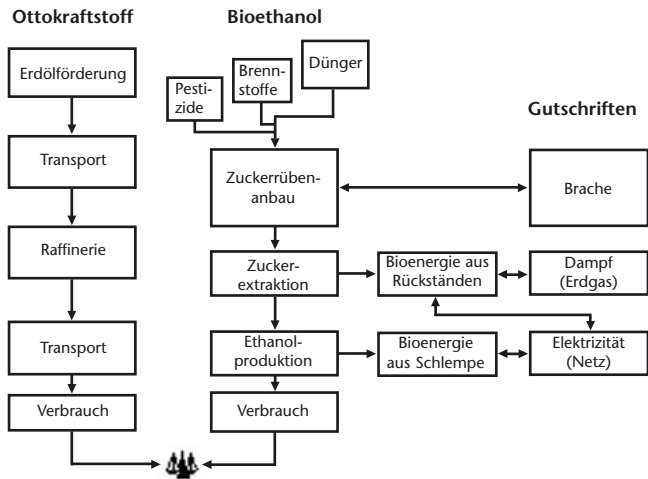
2. Vorgehensweise und Zwischenergebnisse

Alle Biokraftstoffe wurden, wie das bei Ökobilanzen üblich ist, über ihre gesamten Lebenswege hinweg bilanziert.

Abb. 1 zeigt hierfür beispielhaft schematisch den Lebenswegvergleich zwischen Ottokraftstoff und Bioethanol.

Grundsätzlich wurden auch alle Zusatzstoffe und Nebenprodukte berücksichtigt. Letztere wurden den Kraftstoffen in der Bilanz als Gutschriften über sogenannte Äquivalenzprozessbilanzierungen angerechnet. Darüber hinaus wurden auch landwirtschaftliche Referenzsysteme miteinbezogen. Alle Details der Festlegungen, Systemgrenzen, Vorgehensweise etc. finden sich für die genannten Biokraftstoffe in [1], [3], [4], [6] und [7].

Abbildung 1:
Schematischer
Lebenswegvergleich von
"Bioethanol aus Zuckerrüben mit Ottokraftstoff"
(optimale Bedingungen)



Entsprechend der Vorgehensweise bei Ökobilanzen werden in einem ersten Bilanzierungsschritt zunächst alle Umweltauswirkungen auf der Basis einzelner Parameter wie CO₂-Emissionen im Rahmen einer Sachbilanz ermittelt und in der so genannten Wirkungsabschätzung weiterverarbeitet. Bei diesem Schritt wird die Vielzahl der einzelnen untersuchten Parameter in Umweltwirkungskategorien wie z. B. "Ressourcenverbrauch", "Treibhauseffekt", "Versauerung", "Eutrophierung" oder auch "Photosmog" zusammengefasst. *Tab. 1* zeigt beispielhaft für Ethanol aus Zuckerrüben das Ergebnis der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung. Daran schließt sich die Interpretation bzw. Bewertung der Ergebnisse an.

Bei der Interpretation der Ergebnisse aus der Sachbilanz und aus der Wirkungsabschätzung wurde wie folgt verfahren: Zuerst wurden die Parameter bezüglich ihrer Eignung zu einer weiterreichenden Einschätzung untersucht und dann nur jene Parameter gewählt, die für eine weiterreichende Einschätzung infrage kamen ([9]; [10]).

Sachbilanz Parameter	Einheit	Zucker- rübe		Wirkungskategorie Parameter	Einheit	Zucker- rübe	
		Standard	Optimum			Standard	Optimum
	je ha*a ¹⁾				je ha*a ¹⁾		
Erdgas	MJ	1.885	-643	Energiebedarf ²⁾	GJ	-88	-124
Steinkohle	MJ	-3.456	-2.237	(CED)			
Braunkohle	MJ	-4.407	-3.228	Treibhauseffekt (CO ₂ -Äquivalente)	kg	-5.442	-7.332
Uranerz	MJ	-4.393	-3.175				
Wasser	MJ	-545	-380	Versauerung (SO ₂ -Äquivalente)	kg	13	32
Kalk	kg	45	81				
Rohphosphat	kg	126	228	Eutrophierung (PO ₄ -Äquivalente)	kg	2	5
Schwefel	kg	8	15				
Kalium	kg	811	1.475	Photosmog (C ₂ H ₄ -Äquivalente)	kg	-2	-1
Natriumchlorid	kg	0	0				
Tonminerale	kg	0	0	1) Die Einheit "ha*a" zeigt an wie viel Energie und Emissionen eingespart oder zusätzlich verbraucht/emittiert wird/werden, wenn die je Hektar und Jahr produzierte Ethanolmenge die entsprechende Menge Kraftstoff in einem Fahrzeugmotor ersetzt; positive Zahlen bedeuten ein günstiges Ergebnis für die fossilen Kraftstoffe, negative Zahlen ein günstiges Ergebnis für Bioethanol. 2) Rohöl, Erdgas, Uranerz, Steinkohle und Braunkohle			
CO ₂ (fossil)	kg	-6.303	-9.029				
CH ₄	kg	-1	-2				
SO ₂	kg	2	4				
NO _x	kg	5	22				
HCl	g	-10	131				
NH ₃	kg	4	7				
CO	kg	2	6				
NMHC	g	-3.624	-3.352				
Diesel Rußpartikel	g	0	0				
Staub	g	-362	761				
Formaldehyd	g	29	70				
Benzen	g	-30	17				
Benzo(a)pyrene	mg	2	1				
TCDD-Äq.	ng	-394	-21				
N ₂ O	kg	3	6				

Die Diskussion der Gesamteinschätzung wurde unter zwei Gesichtspunkten geführt: Auf der einen Seite unter dem Aspekt Biokraftstoffe verglichen mit fossilen Kraftstoffen und auf der anderen Seite im Hinblick auf den Vergleich der Biokraftstoffe untereinander. Aus praktischen Gründen werden die Ergebnisse nach folgenden Kriterien diskutiert:

- Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse
- Biokraftstoffe aus Rückständen

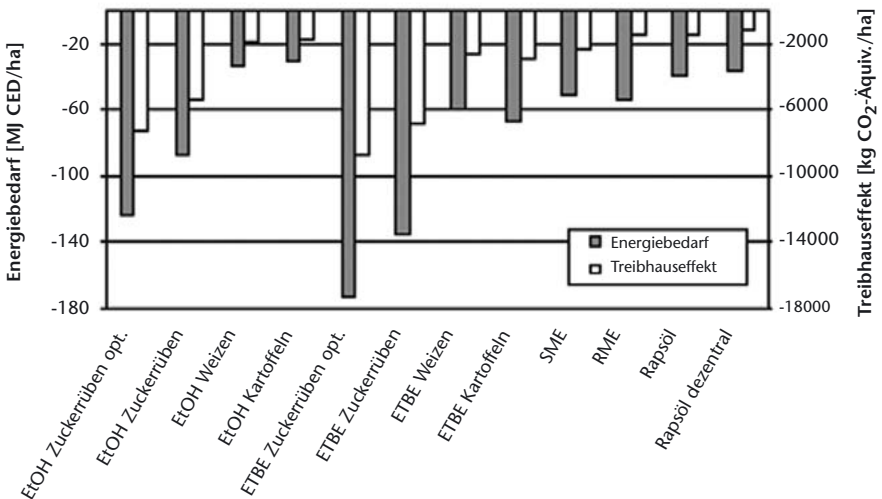
*Tabelle 1:
Ergebnisse der Ökobilanz
für Ethanol aus Zucker-
rüben verglichen mit
Ottokraftstoff bezüglich
der betrachteten Sach-
bilanz- und Wirkungs-
abschätzungs-Parameter
(Quelle: [10], dieser
Artikel)*

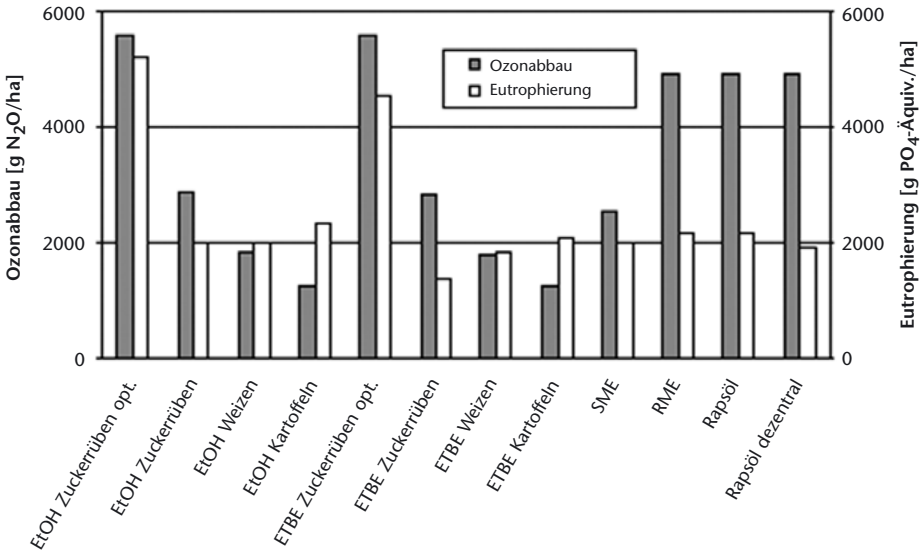
3.1 Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse

Abbildung 2:
 Ökologische Vor- und Nachteile aller betrachteten Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse verglichen mit den entsprechenden fossilen Kraftstoffen für die Parameter Ressourcenbedarf erschöpflicher Energieträger (MJ Primärenergie/ha) und Treibhauseffekt (kg CO₂-Äquivalente/ha). Negative Werte bedeuten Vorteile für die Biokraftstoffe.

Da die Verfügbarkeit landwirtschaftlicher Nutzfläche den am stärksten limitierenden Faktor für die Produktion von Biokraftstoffen in Deutschland wie auch Europa darstellt, sind alle Ergebnisse flächenbezogen (je Hektar) angegeben. In den Abb. 2 bis 4 sind die Ergebnisse für die Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse, verglichen mit denen der fossilen Kraftstoffe, zusammengestellt. Positive Werte zeigen Vorteile für die fossilen Kraftstoffe an, negative Werte bedeuten Vorteile für die Biokraftstoffe.

Für alle Lebenswegvergleiche fallen die Ergebnisse der Parameter "Energiebedarf" und "Treibhauseffekt" zugunsten der Biokraftstoffe aus, wogegen die meisten anderen Parameter zugunsten der fossilen Kraftstoffe ausfallen. Dies bedeutet, dass eine objektive Entscheidung für oder gegen den einen oder anderen – Biokraftstoff oder fossiler Kraftstoff – nicht möglich ist. Aus diesem Grund muss die





Gesamteinschätzung letztendlich auf ein subjektives Wertesystem zurückgreifen. Sollte beispielsweise in einer abschließenden Einschätzung der Schonung fossiler Ressourcen und der Verminderung des Treibhauseffektes die höchsten Prioritäten eingeräumt werden, wäre eine Einschätzung zugunsten der Biokraftstoffe gerechtfertigt. Ähnliche Vorgehensweisen sind notwendig, um Biokraftstoffe untereinander zu vergleichen. Für eine ausführliche Diskussion dieser Thematik verweisen wir auf [8], [9]. Für weitere Schlussfolgerungen verweisen wir auf Kapitel 4 ("Schlussfolgerungen und Ausblick").

Abbildung 3: Ökologische Vor- und Nachteile aller betrachteten Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse verglichen mit den entsprechenden fossilen Kraftstoffen für die Parameter Ozonabbau (g N₂O/ha) und Eutrophierung (g PO₄-Äquivalente/ha). Negative Werte bedeuten Vorteile für die Biokraftstoffe.

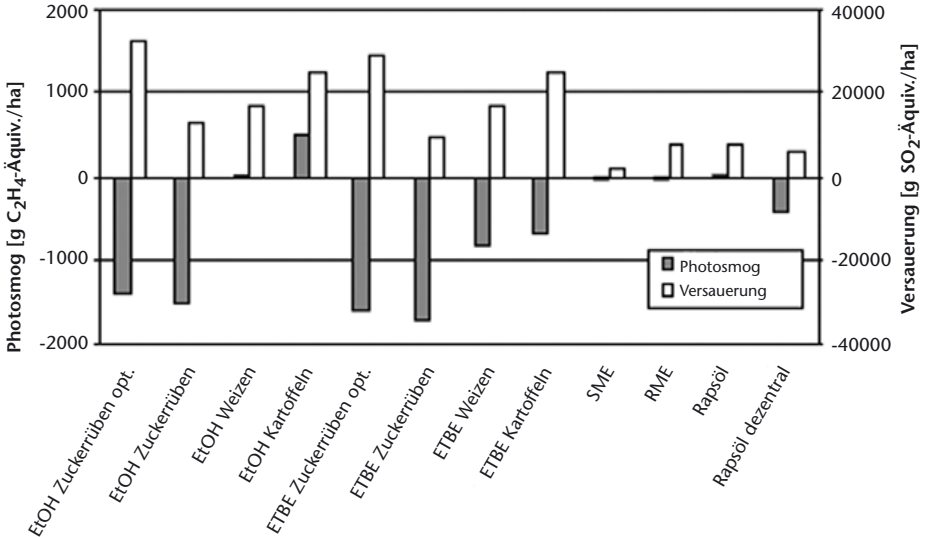


Abbildung 4:
 Ökologische Vor- und Nachteile aller betrachteten Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse verglichen mit den entsprechenden fossilen Kraftstoffen für die Parameter Photosmog (g C₂H₄-Äquivalente/ha) und Versauerung (g SO₂-Äquivalente/ha). Negative Werte bedeuten Vorteile für die Biokraftstoffe.

3.2 Biokraftstoffe aus Rückständen

Um Biokraftstoffe aus Rückständen miteinander vergleichen zu können, bietet es sich an, die Parameter bezogen auf die Fahrleistung (je km) anzugeben. In Abb. 5 sind die Ergebnisse der Ökobilanzen der Biokraftstoffe aus Rückständen verglichen mit den fossilen Kraftstoffen dargestellt. Die Grafik enthält zum Vergleich auch einige Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse. Positive Werte zeigen Vorteile der fossilen Kraftstoffe an und negative Werte bedeuten Vorteile der Biokraftstoffe.

Die Ergebnisse zeigen das gleiche qualitative Muster wie auch die Ergebnisse für die Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse. Deshalb ist auch in diesem Fall keine objektive

Entscheidung für oder gegen Biokraftstoffe oder fossile Kraftstoffe möglich, und die Gesamteinschätzung hängt wiederum von einem subjektiven Wertesystem ab. Dennoch können einige Schlussfolgerungen gezogen werden, die im folgenden Kapitel zusammengefasst sind.

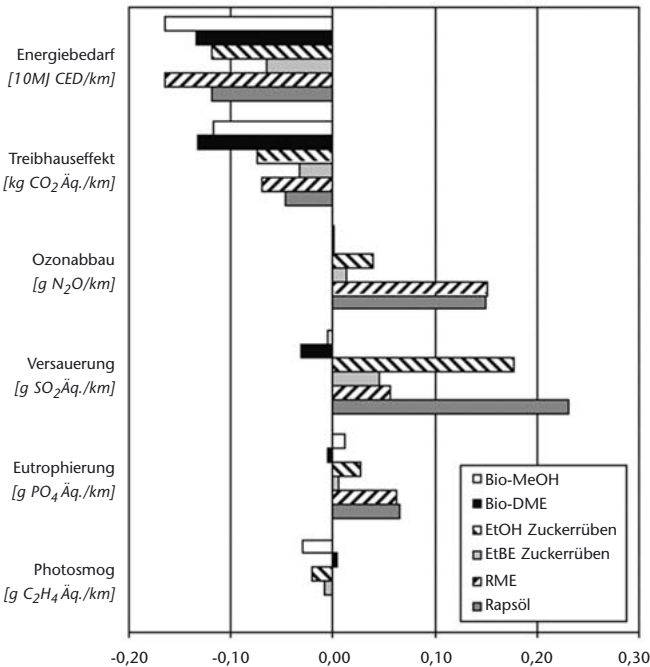


Abbildung 5: Ökologische Vor- und Nachteile aller betrachteten Biokraftstoffe aus Rückständen und für einige Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse verglichen mit fossilen Kraftstoffen. Negative Werte bedeuten Vorteile für die Biokraftstoffe.

4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die gegenwärtige Einschätzung basiert auf den Ergebnissen diverser Ökobilanzvergleiche. Diese Vergleiche beruhen auf einer Vielzahl von Festlegungen. Obwohl wissenschaftlich zuverlässige Ergebnisse errechnet wurden, können diese

Ergebnisse und die daraus resultierenden Interpretationen nur bedingt bzw. unter bestimmten Voraussetzungen verallgemeinert werden, da abweichende Annahmen, Systemgrenzen etc. zu abweichenden Ergebnissen führen können. Andererseits beruhen die Ergebnisse aus der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung auf sehr zuverlässigen Daten, denn die unzuverlässigen Daten wurden von der weiteren Bewertung ausgeschlossen bzw. deren Einfluss einer Sensitivitätsanalyse unterzogen.

- Alle betrachteten Biokraftstoffe weisen im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen sowohl ökologische Vorteile wie auch Nachteile auf. Dies gilt teilweise auch beim Vergleich der Biokraftstoffe untereinander, wobei sich hier auch einige eindeutige Ergebnisse finden. Somit ist eine Entscheidung für oder gegen den einen oder anderen Kraftstoff auf objektiver Basis in den meisten Fällen nicht möglich, jedoch kann eine Entscheidung mit Hilfe eines subjektiven Wertesystems getroffen werden.

Berücksichtigt man diese Bedingungen und gibt sowohl der Einsparung fossiler Ressourcen als auch der Vermeidung von Treibhausgasen die höchste ökologische Priorität, kann zusammengefasst werden, dass alle dargestellten Biokraftstoffe im Vergleich mit den fossilen Kraftstoffen günstiger abschneiden. Mit der gleichen Werthaltung lässt sich eine Reihe weiterer Bewertungen ableiten:

- SME zeigt bessere Ergebnisse als RME.
- RME schneidet besser oder gleich gut ab wie Rapsöl (siehe insbesondere auch [3]).

Im Vergleich der zentralen Pressung mit der dezentralen Pressung von Rapsöl ergeben sich ökologische Vor- und Nachteile. Ein Wertesystem, das Rapsöl dem Diesel vor-

zieht, führt zu einer Bevorzugung einer zentralen Pressung des Rapsöls. Für weitere Schlussfolgerungen über weitere Szenarien von RME und Rapsöl siehe [3] und [11].

- ETBE zeigt bessere Ergebnisse als Ethanol aufgrund der Tatsache, dass der Energieüberschuss, um ETBE aus Ethanol herzustellen, durch MTBE, welches viel mehr Energie verbraucht als Ottokraftstoff, mehr als aufgewogen wird.
- Ethanol aus Zuckerrüben ist erheblich günstiger einzuschätzen als Ethanol aus Weizen oder Kartoffeln.
- Ethanol aus Weizen ist in diesem Vergleich als zweitbeste Alternative einzuschätzen, wogegen Ethanol aus Kartoffeln die ungünstigsten Ergebnisse in allen Kategorien, außer N_2O , lieferte.
- Ethanolproduktionsprozesse, die eine optimale Energieausnutzung erreichen, weisen auch erheblich reduzierte Treibhausgasemissionen auf, tendieren jedoch dazu, in allen anderen Kategorien schlechter abzuschneiden. Dies gilt auch für das jeweils entsprechende ETBE.
- Die untersuchten Optionen für Bioethanol und ETBE, insbesondere aus Zuckerrüben, sind signifikant besser als die hier betrachteten Biokraftstoffe aus Pflanzenölen (SME, RME, Rapsöl).
- Die Produktion von Bio-DME und Biomethanol zeigt in allen Kategorien wesentlich bessere Ergebnisse als Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse. Darüber hinaus ist für deren Produktion keine Fläche erforderlich, was ein weiterer Vorteil gegenüber Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse ist.
- Ob Bio-DME oder Biomethanol besser abschneidet, kann nicht eindeutig gefolgert werden. Beide Produkte haben große Vor- und Nachteile hinsichtlich der Umweltwirkung.

Schließlich muss an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die hier präsentierten Ergebnisse zum Teil von Bewertungen abhängen, die a priori nicht ausschließlich auf wissenschaftlich objektiven Kriterien beruhen, sondern auch subjektive Elemente enthalten. Daher dürfen die Ergebnisse dieser Einschätzung nur auf der Basis des gewählten Wertesystems diskutiert werden. Zudem ist eine Dokumentation des gesamten Bewertungsverfahrens erforderlich, um eine umfassende Beurteilung zu gewährleisten. Eine andere Wertewahl kann zu unterschiedlichen Interpretationen führen. Deshalb ist es notwendig, eindeutige Positionen hinsichtlich der Einschätzung der ökologischen Bedeutung der betrachteten Parameter zu definieren.

Darüber hinaus muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass einige Parameter, wie Schwermetallemissionen, von der Betrachtung ausgeschlossen wurden, da keine Daten für die Lebenswege oder für die Aggregation der Umweltfaktoren zur Verfügung standen. Hier, wie auch bei weiteren humantoxischen Substanzen wie etwa Partikelemissionen, besteht noch Forschungsbedarf. Des Weiteren ist anzumerken, dass für erst kürzlich in die Diskussion gekommene Biokraftstoffe wie Sunfuels oder Synfuels noch keine aussagekräftigen Ökobilanzen vorliegen. Auch hier herrscht noch Forschungsbedarf.

5. Literatur

- [1] Borken J., Patyk A., Reinhardt G.A. (1999). Basisdaten für ökologische Bilanzierungen: Einsatz von Nutzfahrzeugen für Transporte, Landwirtschaft und Bergbau. Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden

- [2] CML & TNO & B&G (1992). Environmental Life Cycle Assessment of Products. Guide (Part 1) and Backgrounds (Part 2), prepared by CML, TNO and B&G, Leiden

- [3] Gärtner S.O., Reinhardt G.A. (2001): Ökologischer Vergleich von RME und Rapsöl. Im Auftrag der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, aus Mitteln des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft

- [4] IFEU (ed) (2000) Bioenergy for Europe: which ones fit best? A comparative analysis for the community. Final report. IFEU (co-ordinator) with BLT (A), CLM (NL), CRES (GR), CTI (I), FAT/FAL (CH), INRA (F), TUD (DK). Supported by the European Commission. DG XII; 09/1998 – 08/2000. For details see www.ifeu.de

- [5] IPCC (1996). Climate Change 1995. The Science of Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge

- [6] Kaltschmitt M., Reinhardt G.A. (eds.) (1997). Nachwachsende Energieträger: Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden

- [7] Patyk A., Höpfner U. (1999). Ökologischer Vergleich von Kraftfahrzeugen mit verschiedenen Antriebsenergien unter besonderer Berücksichtigung der Brennstoffzelle. Studie im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag. ifeu, Heidelberg

- [8] Reinhardt G.A., Borken J., Patyk A., Vogt R., Zemanek G. (1997, aktualisierte Fassung von 1999) Ressourcen- und Emissionsbilanzen: Rapsöl und RME im Vergleich zu Diesekraftstoff. Erschienen in: Umweltbundesamt (Hrsg.): Kraus K., Niklas G., Tappe M.: Aktuelle Bewertung des Einsatzes von Rapsöl/RME im Vergleich zu Diesekraftstoff, UBA-Texte 97/99, Berlin

- [9] Reinhardt G.A., Jungk N.C. (2000). Which ethanol is best? An ecological comparison of Bioethanol from different crops versus conventional fuel. Proceedings of the ISAF XIII part III, International Symposium on Alcohol Fuels, 3.-6.7.2000, Stockholm

- [10] Reinhardt G.A., Zemanek G. (2000): Ökobilanz Bioenergieträger. Bewertung von Lebenswegvergleichen "Bioenergieträger versus fossilen Energieträgern". Erich Schmidt Verlag, Berlin

- [11] Gärtner S.O., Reinhardt G.A. (2003): Aktualisierung und Erweiterung der Ökobilanz RME. Im Auftrag der UFOP, Berlin

Biodiesel – Situation und Entwicklungsperspektive

Zusammenfassung

Die Biodieselproduktion hat in den vergangenen Jahren einen erheblichen Aufschwung in der Europäischen Union genommen. Von 1996 bis 2002 wurde die Biodieselproduktionskapazität mit insgesamt 2 Mio. t etwa vervierfacht. Nach In-Kraft-Treten der EU-Richtlinie zur Förderung von Biokraftstoffen im Frühjahr 2003 sowie der zu erwartenden Verabschiedung der Energiesteuerrichtlinie ist ein verstärkter Ausbau der Produktionskapazität EU-weit, und hier vor allem in den neuen Mitgliedsstaaten, zu erwarten. Mit der Förderrichtlinie unterstreicht die Europäische Union den politischen Willen mit Biokraftstoffen einen Beitrag zur Reduzierung der Rohölimportabhängigkeit und zur Erfüllung der Klimaschutzziele im Mobilitätsektor zu leisten.

Für die Landwirtschaft als Rohstoffproduzent eröffnen sich hieraus neue Produktions- und Absatzalternativen, die insbesondere für die EU-Beitrittsländer von großer Bedeutung sein werden.

In Deutschland und Österreich wird Biodiesel bisher ausschließlich als Reinkraftstoff vermarktet. Die nationale Änderung des Mineralölsteueränderungsgesetzes wird zukünftig die steuerunschädliche Vermischung von Biokraftstoffen mit fossilen Kraftstoffen ermöglichen. Der Einsatz von Biodiesel als Reinkraftstoff zieht zwangsläufig die Frage nach der Erfüllung der ordnungspolitischen Rahmenbedingungen nach sich.

D. Bockey
Union zur Förderung von
Oel- und Proteinpflanzen e.V.
d.bockey@
bauernverband.net

Dies betrifft nicht nur die Erfüllung der abgasrechtlichen und damit motortechnischen Anforderungen, sondern ebenfalls die hiermit einhergehende Normierung des Kraftstoffes und Wechselwirkungen auf Materialverträglichkeit, beginnend über den Einfüllstutzen bis zum Abgasnachbehandlungssystem des Fahrzeugs sowie der im Tankstellenbau eingesetzten Werkstoffe (Koaleszenzabscheider, Lagerbehälter, Betonflächen usw.). Das Ordnungsrecht erfordert eine Vielzahl von Prüfungen als Voraussetzung für die Vermarktung und Einbindung in bestehende Distributionswege.

Einleitung

Ausgelöst durch die Agrarreform 1992 und der hiermit verbundenen EU-weiten Verpflichtung zur Stilllegung von Ackerflächen bietet bis heute die Produktion von Biokraftstoffen das für die Landwirtschaft bei weitem interessanteste Flächennutzungspotenzial.

Mit Rapsöl steht bereits von Natur aus ein Energieträger zur Verfügung, der in etwa der Energiedichte von Dieselmotorkraftstoff entspricht. Im Wege der Umesterung wird ein Kraftstoff hergestellt, der grundsätzlich die dieselmotorischen Anforderungen erfüllt. Ein Vorteil, der maßgeblich die positive Ökobilanz von Biodiesel bestimmt, wie auch die Verwertung des bei der Ölgewinnung anfallenden Rapsschrotes in der Tierernährung und das bei der Umesterung gewonnene Glycerin in der chemischen Industrie.

Biodieselproduktion

Gemessen am Stand von 1998 umfasst die Biodieselproduktionskapazität in Deutschland inzwischen etwa 1,1 Mio. t und hat sich in der genannten Zeitspanne in

etwa verzehnfacht. Die Umesterungskapazität der jeweiligen Anlage schwankt mit 5.000t und 150.000t erheblich.

Richtschnur für die Qualitätsproduktion ist die im November vom DIN veröffentlichte Europäische Norm für Biodiesel – DIN EN 14214. Im Vergleich zur bisher gültigen nationalen Norm E DIN 51606 wurden die Grenzwerte bei den Parametern Methanol-, Diglyzerid- und Triglyzerid-Gehalt wesentlich verschärft, wobei jedoch festgestellt werden kann, dass verfahrenstechnisch diese Anforderungen ohne weiteres erfüllt werden können.

Mit der Einführung des Parameters Oxidationsstabilität wurde der Forderung der Fahrzeugindustrie entsprochen, einen Kennwert einzuführen, der die Kraftstoffstabilität ausweist. Der Aufnahme dieses Parameters in die Norm hatte die Biodieselindustrie angesichts der mit der Einführung von Hochdruckeinspritzsystemen verbundenen Notwendigkeit der Sicherung der thermischen Stabilität des Kraftstoffes zugestimmt.

Entwicklung

Biodiesel wird heute in Deutschland an über 1.700 öffentlichen Tankstellen angeboten. Hierbei handelt es sich überwiegend um so genannte "Freie Tankstellen", also konzernunabhängige Tankstellen. Für diese Unternehmen ist Biodiesel inzwischen ein wichtiges Ergänzungsprodukt im ruinösen Wettbewerb des Tankstellengewerbes. Etwa jede zehnte öffentliche Tankstelle bietet Biodiesel in Deutschland an. Die mittlere Entfernung von Tankstelle zu Tankstelle beträgt etwa 23km. Bundesweit ist Biodiesel in Form von loser Ware erhältlich. Biodiesel ist damit der erste alternative Kraftstoff, der praktisch flächendeckend angeboten wird.

Nach einer kürzlich abgeschlossenen Erhebung der Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. werden 2003 etwa 40 % des Gesamtbiodieselabsatzes von 650.000 t über öffentliche Tankstellen abgesetzt.

In den vergangenen Jahren wurde oftmals die Einhaltung der Qualitätsanforderungen bei der Produktion und Vermarktung von Biodiesel, beginnend über den Hersteller bis in den Markt, diskutiert und vielfach auch hinterfragt. Die Qualitätsdiskussion hat leider die Diskussion über den Biokraftstoff nicht immer zu seinem Vorteil mitbestimmt. Vor diesem Hintergrund hatte die UFOP zwar die Gründung der Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. maßgeblich mit initiiert, gleichzeitig aber auch gegenüber der Bundesregierung sich für eine möglichst schnelle Einbindung von Biodiesel in die Kraftstoffqualitäts- und Kennzeichnungsverordnung (10. BImSchV.) ausgesprochen.

Nach Angaben des Bundesumweltministeriums ist davon auszugehen, dass spätestens Anfang 2004 Biodiesel in die Kraftstoffqualitäts- und Kennzeichnungsverordnung (10. BImSchV.) aufgenommen sein wird. Dies bedeutet, dass analog zu den übrigen Kraftstoffen auch Biodiesel den unangemeldeten behördlichen Kontrollmaßnahmen unterliegt. Der Kontrolldruck wird somit erheblich verschärft.

Der Ordnung halber ist darauf hinzuweisen, dass in die 10. BImSchV. ebenfalls die geänderte Europäische Dieselmischkraftstoffnorm aufgenommen wird, die die Zumischungsmöglichkeit von max. 5 % Biodiesel vorsieht.

Politische Rahmenbedingungen

Mit In-Kraft-Treten der Förderrichtlinie im Frühjahr 2003 unterstreicht die Europäische Union ihren Willen schrittweise den Anteil von Biokraftstoffen im Kraftstoffmarkt zu erhöhen. Gemäß Förderrichtlinie ist der Anteil an Biokraftstoffen, beginnend ab dem Jahr 2005 bis zum Jahr 2010, schrittweise von 2 % auf 5,75 % zu steigern. Allerdings sieht die Förderrichtlinie keine verbindlichen, sondern so genannte indikative Mengenziele vor. Die Kommission hat sich jedoch vorbehalten, sollte ein Mitgliedsstaat keine Initiativen entwickeln, den Biokraftstoffanteil zu steigern, diese als obligatorische Ziele vorzugeben. Wichtig für die gesamte Biokraftstoffbranche ist die mit der Umsetzung der Förderrichtlinie verbundene Einrichtung von Monitoringsystemen auf nationaler Ebene. Beginnend über die Rohstoffproduktion bis hin zur Verarbeitung und Endverwendung ist eine umfangreiche Berichterstattung vorgesehen. Das Ergebnis soll ein Ökoeffizienzvergleich sein, der, so die Förderrichtlinie, die Mitgliedsstaaten ermächtigt die verschiedenen Biokraftstoffe entsprechend angemessen steuerpolitisch zu fördern. Nicht zuletzt aus diesem Grunde hatte die UFOP kürzlich das ifeu-Institut, Heidelberg, beauftragt die Ökobilanz für RME zu aktualisieren.

Ohnehin ist zu beachten, dass national 2002 das Energiestatistikgesetz dahingehend geändert und erweitert wurde, dass ab 2004 erstmals für das Jahr 2003 für alle Biokraftstoffhersteller Berichtspflicht besteht die jeweiligen Produktionsmengen, differenziert nach Rohstoffen, Anlagenkapazität und Vermarktung nach Bundesländern bzw. den Export anzugeben. Der Biokraftstoffsektor wird damit ein zunehmend transparenter Wirtschaftsbereich, der auf allen Stufen einer intensiven Zusammenarbeit bedarf, um nicht nur die Mengenziele zu erreichen, sondern, beginnend bei

der Produktionstechnik bis hin zur Rohstoffverarbeitung und Kraftstoffgewinnung, die Ökobilanz zu optimieren.

Umsetzung in nationales Recht

Für die Umsetzung der Förderrichtlinie haben die Mitgliedsstaaten 18 Monate Zeit. Insofern wird in den kommenden Monaten die Diskussion über die strategische Ausrichtung zur Erfüllung der Mengenvorgaben die Absatzperspektive für Biodiesel und andere Biokraftstoffe erheblich beeinflussen.

Auf nationaler Ebene ist entscheidend, dass sich die Bundesregierung im Rahmen der inzwischen nochmals erforderlichen Änderung des Mineralölsteuergesetzes entschlossen hat, die Mineralölsteuerbefreiung für Biokraftstoffe und hier insbesondere für Biodiesel beizubehalten. Allerdings steht das In-Kraft-Treten nach wie vor unter dem Vorbehalt einer beihilferechtlichen Prüfung durch die EU-Kommission. Dies bedeutet, dass das geänderte Mineralölsteuergesetz wie auch die notwendige Durchführungsverordnung zur Umsetzung des Gesetzes nach wie vor erst dann in Kraft treten kann, wenn die EU-Kommission zugestimmt hat. Dies bedeutet, dass eine Zumischung von Biodiesel in Höhe von max. 5% der Dieselkraftstoffnorm auch erst ab In-Kraft-Treten des Mineralölsteueränderungsgesetzes möglich ist.

Herausforderungen / F&E-Bedarf

Die junge Biodieselbranche kann insgesamt auf eine positive Entwicklung in den vergangenen Jahren zurückblicken, jedoch muss sie sich ebenso flexibel den technischen Herausforderungen stellen, die vor allem durch die europäische Gesetzgebung zur Verschärfung bzw. Erfüllung

der abgasrechtlichen Anforderungen als Voraussetzung für die Typenzulassung entsprechender Motoren vorgegeben werden. Schließlich beruht die Erfolgsstory des Biodiesels letztendlich darauf, dass bisher allen voran die Volkswagen AG und andere Fahrzeughersteller entweder die Fahrzeuge serienmäßig oder gegen Aufpreis für den Betrieb mit Biodiesel freigegeben haben. Schätzungsweise 2,5 - 3 Mio. Fahrzeuge trägt heute das "Kundenpotenzial" bei PKW in Deutschland.

Ab dem Jahr 2005 bzw. 2008 müssen PKW und LKW die abgasrechtlichen Anforderungen nach Euro IV bzw. Euro V erfüllen. Die zurzeit gültigen Grenzwerte konnten bisher mit Biodiesel ohne technische Maßnahmen erreicht werden. Mit Einführung von Motoren, die die Abgasstufe Euro IV erfüllen, wird zur Lösung des so genannten "Trade-off-Problems" der Einsatz eines Sensors für die Signalgebung an das Motormanagement zur Optimierung der Einspritzmenge, -zeitpunkt und -verlauf notwendig. Dieses technische Konzept ist Voraussetzung für die zukünftige Erteilung von Freigaben für den Betrieb mit Biodiesel. Die Volkswagen AG hat angekündigt, im Wege eines Zusatzpaketes für RME-Betrieb die beschriebene Technik allerdings gegen Aufpreis anzubieten. Die serienmäßige Freigabenerteilung läuft damit aus. Hiermit einhergehend wird eine schrittweise Verringerung des Kundenpotenzials die Folge sein.

Grundsätzlich wird im Rahmen der Markteinführung von Euro IV-Motoren für Freigabenerteilungen auch die Typenzulassung mit Biodiesel für diese Fahrzeuge notwendig werden. Die Entwicklung eines Biodiesel-Referenzkraftstoffes ist hierfür die Voraussetzung. Ein entsprechendes Entwicklungsvorhaben befindet sich bei der Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement e.V. in der Durchführung. In Zusammenhang mit der Entwicklung der Euro IV-

Motoren ist der Einsatz von Abgasnachbehandlungssystemen ab einer bestimmten Gewichtsklasse offensichtlich unumgänglich. Zudem bestimmt zunehmend die politische Diskussion, besonders im PKW-Bereich, den "Zwang" Partikelfiltersysteme anbieten zu müssen. In Bezug auf die Verwendung von Biodiesel besteht hier Handlungsbedarf bezüglich systematischer Untersuchungen bei den verschiedenen Filter- und Katalysatorenssystemen, die sich heute in der Diskussion bzw. in der Praxiserprobung befinden (Partikelfilter, SCR-Katalysatoren, De-NO_x-Katalysatoren). Insbesondere im Nutzfahrzeugsbereich besteht angesichts der Bedeutung dieses Absatzmarktes ein dringender Handlungsbedarf. Die Kooperationsbemühungen zwischen der Fahrzeugindustrie und der Biodieselswirtschaft müssen daher an dieser Stelle weiter intensiviert werden. Allerdings sind "Schrotschussversuche" für die Biodieselsbranche kaum finanzierbar. Von Seiten der Fahrzeugindustrie müsste hinsichtlich der zukünftig einzusetzenden Abgasnachbehandlungssysteme daher eine verbindliche Entscheidung getroffen werden.

Synthetische Kraftstoffe und Biodiesel

Im Rahmen der strategischen Ausrichtung bei der Entwicklung von Kraftstoffen zur Erfüllung der abgasrechtlichen Anforderungen, insbesondere Euro V ab dem Jahr 2008, engagieren sich die Volkswagen AG und die DaimlerChrysler AG bei der Entwicklung und Herstellung von synthetischen Kraftstoffen zunächst auf Basis von Erdgas bzw. Erdölbelegitgas und in der mittelfristigen Strategie aus Biomasse. Ziel ist es, kurz gesagt, über die Absenkung des innermotorischen Kompressionsdruckes bei gleichzeitiger Verkürzung der Kettenlänge des Kraftstoffes, die Eigenschaften des Diesel- und Benzinmotors in ein Motorenkonzept zu integrieren, so dass im Ergebnis möglichst ohne Abgasnach-

behandlungssystem die strengen Abgasanforderungen erfüllt werden können. Durch die hiermit verbundene Anforderung an den Kraftstoff, bei geringerem Kompressionsdruck sich selbst zu entzünden, hat die Verfolgung dieses Motorenentwicklungskonzeptes zur Konsequenz, dass Biodiesel aufgrund seines Siedeverlaufes unter diesen Bedingungen als Reinkraftstoff nicht mehr geeignet ist. Mit der Euro V-Motoren generation läuft die pure Verwendung von Biodiesel, zumindest im PKW-Bereich, praktisch aus.

Dennoch ergeben sich 2 Ansatzpunkte für den Marktverbleib von Biodiesel im Rahmen der Markterschließung von synthetischen Kraftstoffen:

1. Verwendung von Biodiesel als Zumischkomponente zur Verbesserung der Schmierfähigkeit in synthetischen Kraftstoffen aus fossilen Rohstoffen.
2. Der Einsatz von synthetischem Kraftstoff aus Biomasse in Biodiesel zur Verbesserung der Verbrennungseigenschaften des Biodiesels selbst.
Entsprechende Untersuchungen sind jedenfalls der UFOP bisher nicht bekannt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass neben den steuerpolitischen Rahmenbedingungen insbesondere die motor- und abgastechnischen Anforderungen die weitere Entwicklungsperspektive von Biodiesel bestimmen. Aus der Sicht der UFOP besteht insbesondere Handlungsbedarf zur Untersuchung der Wechselwirkung von Biodiesel mit den in Zukunft in PKW und Nutzfahrzeugen eingesetzten Abgasnachbehandlungssystemen. Mit Blick auf die mittelfristige Perspektive bedarf es begleitende Untersuchungen hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten von Biodiesel in synthetischen Kraftstoffen. Durch die Zumischung von synthetischen Kraftstoffen aus Biomasse bleibt der

“Biokraftstoffcharakter“ erhalten und zugleich wird für die nächste Generation von Biokraftstoffen ein Beitrag zum Markteintritt geleistet.

Biodiesel hat praktisch die Vorreiterrolle in Bezug auf die erstmalige flächendeckende Markteinführung eines Biokraftstoffes übernommen. Die Entwicklungs- und damit Vermarktungsperspektive wird aber vorrangig durch verlässliche steuer- und ordnungspolitische Rahmenbedingungen bestimmt werden. Was fehlt, ist eine zwischen Politik und Wirtschaft abgestimmte Strategie im Hinblick auf die notwendige künftige Ausrichtung der politischen und auch förderpolitischen Rahmenbedingungen für die Entwicklung einer nachhaltigen Kraftstoffversorgung unter besonderer Berücksichtigung der Biokraftstoffe als ein weiteres Element der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie.

Die Produktion von Bioethanol als Treibstoff unter dem Aspekt der Energie-, Kosten- und Ökobilanz

Zusammenfassung

Die Produktion von Bioethanol zur Verwendung als Energieträger aus nachwachsenden Rohstoffen wird nach wie vor sehr kritisch gesehen. Es kann jedoch anhand einer amerikanischen Studie gezeigt werden, dass auch die großtechnische Alkoholproduktion nach dem derzeitigen Stand der Technik neben einer positiven Energiebilanz auch eine positive Ökobilanz aufweist. Betrachtet man das System einer nachhaltigen Ethanolproduktion in dezentralen Anlagen, kann gezeigt werden, dass dies, unter Einbeziehung der Produktion von Biogas in diesen Anlagen, zu einer deutlich verbesserten Energiebilanz, einer positiven Ökobilanz und wirtschaftlichen Preisen für das erzeugte Bioethanol führt.

T. Senn
Universität Hohenheim,
Institut für
Lebensmitteltechnologie,
sennthom@uni-hohen-
heim.de

Einleitung

Die Einhaltung der von der Bundesregierung übernommenen Verpflichtungen zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes wird im gegebenen Zeitrahmen wohl kaum realisierbar sein ohne auch im Verkehrssektor wirksame Maßnahmen für eine deutliche Reduktion der Emissionen zu ergreifen. Dazu ist ein flüssiger Energieträger für den Einsatz in den vorhandenen Verbrennungsmotoren erforderlich. Neben Biodiesel kommt hierfür auch Ethanol als Beimischungskomponente zu Benzin in Frage.

Die Herstellung von Ethanol zu Beimischungszwecken in großtechnischen Erzeugungsanlagen wird jedoch nach wie vor eher kritisch gesehen, da bisherige Studien jeweils nur eine knappe positive Energiebilanz aufzeigen. In der politischen Diskussion wird also davon ausgegangen, dass für die Herstellung einer Energiemenge von 1 MJ in Form von Ethanol nahezu auch 1 MJ an fossiler Energie verbraucht wird. Hinzu kommt, dass der erzielbaren Reduktion der Emission von Treibhausgasen (CO₂-Äquivalenten) eine Erhöhung der Emissionen von Gasen mit Versauerungspotential (SO₂-Äquivalenten) entgegensteht [4]. Dies soll anhand einer Energiebilanz der großtechnischen Alkoholproduktion aus Weizen, unter Berücksichtigung des Hohenheimer Dispergier-Maisch-Verfahrens (DMV), mit der erforderlichen Schlemmetrocknung aufgezeigt werden:

*Tabelle 1:
Energiebilanz der
großtechnischen
Alkoholproduktion*

Verfahrensschritt	[MJ/t Getreide]
Getreideproduktion	-1.367
Getreidelagerung	-150
Ethanolproduktion großtechnisch	-2.500
Schlemmetrocknung	-2.400
Summe Ethanolproduktion	-6.417
Energiegehalt Ethanol (400 lA/t Getreide)	8.480
Energie-Ertrag /t Getreide	2.063
Verhältnis Energie-Gewinn / Energie-Eintrag	1,32

Diese Bilanz zeigt, dass bei der großtechnischen Alkoholproduktion unter Einsatz von 1 MJ in Form fossiler Energie 1,3 MJ in Form von Ethanol gewonnen werden können. In Verbindung mit den auch vorhandenen negativen Auswirkungen auf das Versauerungspotential scheint die Kritik an der großtechnischen Treibstoffalkoholproduktion aus diesem Blickwinkel berechtigt zu sein. Unter Einsatz

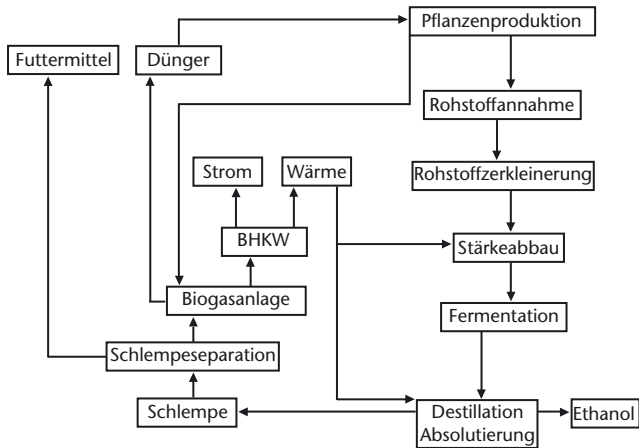
modernster Destillations- und Trocknungstechnik sollte es jedoch möglich sein, dieses Output: Input-Verhältnis auf bis zu 1,6:1 zu steigern. Dies entspräche bereits einem Energie-Gewinn von 60%, der nicht mehr vernachlässigbar ist. Diese Technologie ist jedoch nur in Anlagen umsetzbar, die täglich mindestens 100.000 IA erzeugen! Es stellt sich jedoch die Frage, ob Ethanol auf diese Art und Weise hergestellt werden muss oder ob es nicht Alternativen gibt?

Konzept der nachhaltigen Bioethanolproduktion

Aufgrund solcher Überlegungen wurde vom Bundesverband der landwirtschaftliche Rohstoffe verarbeitenden Brennereien unter Vorsitz von Herrn Spradau eine Studie zur Bilanzierung der Ethanolproduktion in mittelständischer Größenordnung und unter Einbeziehung einer Biogasproduktion beim Fachgebiet Gärungstechnologie des Instituts für Lebensmitteltechnologie an der Universität Hohenheim und der VLSF in Berlin (Bewertung des Einsatzes von ETBE) in Auftrag gegeben.

Ein solches System der Alkoholproduktion lässt sich vereinfacht wie folgt schematisch darstellen:

Abbildung 1:
Vereinfachtes Schema
der Produktion von
Bioethanol in der
Landwirtschaft



Im ethanolerzeugenden landwirtschaftlichen Betrieb wird die erforderliche Getreidemenge produziert. Zusätzlich erfolgt auf einem Drittel der Fläche die Produktion einer Blattfrucht (Fruchtfolge) als Co-Substrat für die Biogasproduktion. Das Getreide wird in der Brennerei zu Ethanol verarbeitet, wobei je Liter Ethanol etwa 10 Liter Schlempe anfallen. Diese Schlempe wird von den Feststoffanteilen befreit, welche als Futtermittel dienen. Die Dünnschlempe wird zusammen mit dem Co-Substrat in die Biogasanlage gegeben. Das entstehende Biogas wird genutzt, um mittels eines Dampferzeugers die Brennerei mit Energie zu versorgen. Überschüssiges Biogas wird in einem BHKW verstromt, wobei wiederum zumindest teilweise nutzbare Wärme entsteht. Das ausgefaulte Material dient als Dünger für die genutzten landwirtschaftlichen Flächen. So wird neben dem Kohlenstoff-Kreislauf auch der Stickstoff-Kreislauf zu mindestens 60 % geschlossen.

Der Prozessablauf in der Brennerei kann wie folgt beschrieben werden:

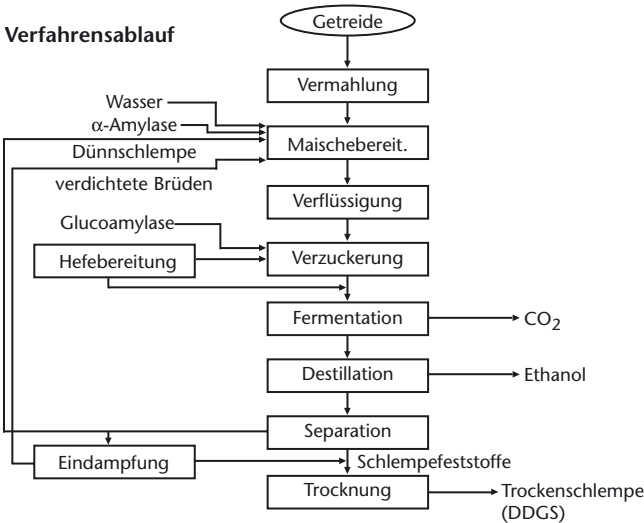


Abbildung 2:
 Prozess-Fließbild der
 Ethanolproduktion mit
 Schlempetrocknung

Dieses Schema zeigt den Verfahrensablauf einschließlich einer Schlempetrocknung, wie es obiger Energiebilanz bei großtechnischer Verarbeitung entspricht. Auch im Brennereibetrieb selbst erfolgt eine weitgehende Wärmerückgewinnung, um den Energiebedarf des Verfahrens so weit wie möglich zu senken.

Bilanzierung

Es wurde also ein nachhaltiges System zur Produktion von Bioethanol bilanziert, das die Produktion von Getreide, die Konversion zu Ethanol, die Produktion von Biogas aus der anfallenden Schlempe, die Rückführung dieser ausgefaulten Schlempe auf die landwirtschaftlichen Flächen und die Verwertung des Biogases zur Dampferzeugung und/oder

Stromerzeugung in einem Block-Heizkraftwerk (BHKW) vorsieht. Zur Sicherung der nachhaltigen Ethanolproduktion auf den gleichen Flächen ist auf einem Drittel der Fläche zur Sicherung der Fruchtfolge die Produktion von Silomais, Raps oder anderen Rohstoffen für die Biogasgewinnung vorgesehen. Daraus ergibt sich die im Folgenden dargestellte Massenbilanz für die landwirtschaftliche Bioethanolproduktion:

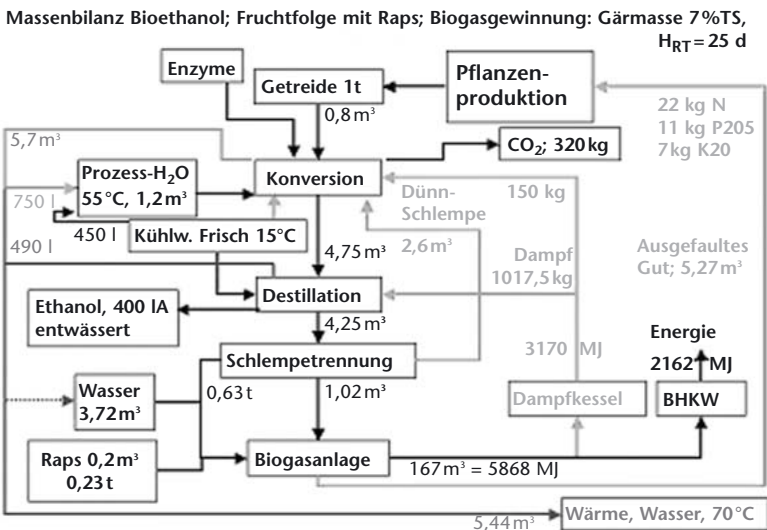


Abbildung 3: Massenbilanz der dezentralen nachhaltigen Ethanolproduktion

Wie bereits festgestellt, muss auf der für die Fruchtfolge genutzten Fläche nicht unbedingt Raps angebaut werden. Als Alternative hierzu wäre neben Silomais auch die Produktion etwa von Gras und Grassilage gegeben. Auf der Basis dieses nachhaltigen Konzeptes ergibt sich dann folgende Energiebilanz für die Alkoholproduktion:

Verfahrensschritt	[MJ/t Getreide]
Getreideproduktion	-1.367
Getreidelagerung	-150
Rapsproduktion	-587
Rapslagerung	-98
Ethanolkonversion	-2.564
Summe Ethanolproduktion	-4.766
Energiegehalt Ethanol (400 IA/t Getreide)	8.480
Energieproduktion über Biogas	-992
Energie aus Biogas	4.987
Energiegutschrift für Dünge-N der Schlempe	990
Summe Energiegehalt der Energie-Produkte	14.457
Energie-Ertrag je t Getreide	8.699
Verhältnis Energie-Gewinn / Energie-Eintrag	2,51

*Tabelle 2:
Energiebilanz der
dezentralen nachhaltigen
Ethanolproduktion*

Damit können bei nachhaltiger Ethanolproduktion mit 1 MJ fossiler Energie 2,5 MJ an Energie in Form von Ethanol, Strom und Wärme bereitgestellt werden. Darüber hinaus muss festgehalten werden, dass je t geernteten Getreides zusätzlich 1 t Stroh anfällt. Geht man realistischer Weise davon aus, dass zwei Drittel der anfallenden Strohmenge (17,3 MJ/kg Stroh) geborgen und energetisch genutzt werden können, so fallen je t Getreide zusätzlich 11.418 MJ an. Für die Strohbergung werden bezogen auf 1 t Getreide jedoch nur 250 MJ benötigt. Damit ließe sich der Energie-Ertrag je produzierte 1 t Getreide auf ca. 20.000 MJ steigern. Dieser entspräche dann einem Verhältnis von Energie-Gewinn/Energie-Eintrag von 1 : 3,47. Jedoch ist auch die Strohbergung nur in einer mittelständischen Struktur der Alkoholerzeugung logistisch zu bewältigen. Die nachhaltige und energetisch überaus sinnvolle Produktion von Treibstoffalkohol ist demnach vor allem in Anlagen mit einer maximalen Jahreskapazität vom 10 Mio. IA realisierbar.

Es stellt sich nun die Frage, ob eine solche Bioethanolproduktion wirtschaftlich sein kann. Hierzu wurden die Produktionskosten in derartigen Anlagen unter den gegebenen landwirtschaftspolitischen Voraussetzungen und unter der Annahme einer kompletten Neu-Errichtung dieser Anlagen einschließlich einer Absolutierung des Ethanol kalkultiert. Auch die Biogasanlage einschließlich BHKW wird als neu zu errichten betrachtet. Ebenso sind alle Kosten der Getreideproduktion wie auch die der Ausbringung der ausgefaulten Schlempe und sämtliche Lager-, Gebäude-, Fahrwege- und Arbeitskosten erfasst worden. Daraus ergeben sich folgende Produktionskosten in Abhängigkeit von der Anlagengröße (Die Kosten für die Bioethanolproduktion wurden von L. Gekle, Universität Hohenheim -410-, berechnet):

*Tabelle 3:
Kosten der dezentralen nachhaltigen Ethanolproduktion in Abhängigkeit von der Anlagengröße*

Größe der Brennereianlage	9.000.000 l A	5.000.000 l A	2.000.000 l A
Blattfrucht	Raps	Raps	Raps
Trockensubstanzgehalt im Fermenter	7%	7%	7%
Werte beziehen sich auf 1.000 l A		Verweildauer $H_{RT} = 25$ d	
Summe Kapitalbedarf	1.806	2.072	2.634
Kapitalkosten	€ 248	281	342
laufende Kosten	€ 389	397	411
Arbeitskosten	€ 92	108	147
Betriebsleitung	€ 24	36	72
Summe Kosten	€ 753	822	972
Subventionen	€ 201	201	201
Energieerträge	€ 112	112	112
Summe Leistungen	€ 313	313	313
Produktionskosten für Alkohol	€ 441	510	659
Nicht bewertete nutzbare Wärme kWh	557	557	557

Bei der größten der kalkulierten Anlagen liegen die Produktionskosten von Ethanol im nachhaltigen System demnach unter 45 € ct/l Ethanol. Werden jedoch für kleinere Anlagengrößen bereits vorhandene Anlagen der aus dem Monopol ausgeschiedenen gewerblichen Brennereien genutzt, so lassen sich auf diesem Wege die Investitionskosten deutlich senken, so dass auch für solche Anlagen die Herstellungskosten auf etwa 50 € ct gedrückt werden können. Für die Produktion von Silomais im Rahmen einer Fruchtfolge ergeben sich folgende Produktionskosten für Ethanol:

*Tabelle 4:
Kosten der dezentralen nachhaltigen Ethanolproduktion in Abhängigkeit der TS in der Biogasanlage*

Größe der Brennereianlage	9.000.000 l A	9.000.000 l A
Blattfrucht	Silomais	Silomais
Trockensubstanzgehalt im Fermenter	7%	12%
Werte beziehen sich auf 1.000 l A	Verweildauer $H_{RT} = 25$ d	
Summe Kapitalbedarf	2.771	2.451
Kapitalkosten	€ 390	354
laufende Kosten	€ 469	434
Arbeitskosten	€ 134	124
Betriebsleitung	€ 24	24
Summe Kosten	€ 1.017	937
Subventionen	€ 201	201
Energieerträge	€ 299	299
Summe Leistungen	€ 500	500
Produktionskosten für Alkohol	€ 517	437
Nicht bewertete nutzbare Wärme kWh	2.881	2.881

Bei der Produktion und Cofermentation von Maissilage in der Biogasanlage ergeben sich etwas höhere Produktionskosten als bei der Alternative Raps. Jedoch wird hier deutlich, dass die Kosten ebenfalls unter 45 € ct je IA liegen, wenn ein heute durchaus realisierbarer Trockensubstanzgehalt von 12% in der Biogasanlage gefahren wird, wodurch diese deutlich kleiner ausfallen kann.

Wird in diesem System der Alkoholproduktion zusätzlich das anfallende Stroh genutzt, kann davon ausgegangen werden, dass die Produktionskosten durch diese Maßnahme weiter gesenkt werden können.

	Reduzierung der Treibhaus-Gas-Emissionen in % bezogen auf reines Benzin
Trockenvermahlung, heutige Technik	1,5%
Trockenvermahlung, nahe Zukunft	2,0%
Nassvermahlung, heutige Technik	1,0%
Nassvermahlung, nahe Zukunft	2,0%
Lignocellulosehaltige Biomasse, nahe Zukunft	10,0%

*Tabelle 5:
Einfluß des Ethanol-Blends E10 auf die Treibhaus-Gas-Emissionen [5]*

Bei all diesen Betrachtungen darf aber auch die ökologische Bilanz einer solchen Vorgehensweise nicht außer acht gelassen werden. So haben bereits Stelzer und Kaltschmitt [4] in ihren Arbeiten gezeigt, dass die ökologisch eher negative Bilanz einer großtechnischen Alkoholproduktion im Annex zu einer Zuckerfabrik durch die Einbindung einer Biogasproduktion positiv gestaltet werden kann. Im Jahre 2002 konnte dann aber im Rahmen eines Life-Cycle-Assessments von Wang [5] gezeigt werden, dass auch die Ethanolproduktion auf dem gegenwärtigen Stand der

Technik bei der ökologischen Bilanzierung durchaus positiv ausfällt. Diese Studie führte zu folgenden Ergebnissen: Es ist in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, dass diese Bilanzen keine Biogasproduktion aus der Schlempe oder sonstigen Substraten vorsehen. Darüber hinaus macht ein Blick auf die obigen Energiebilanzen zudem deutlich, dass eine energieautarke Ethanolproduktion durchaus möglich ist. Durch den völligen Verzicht auf den Einsatz von fossilen Energieträgern in der Bioethanolproduktion aber werden die ökologischen Bilanzen noch weiter positiv beeinflusst.

Damit kann aus volkswirtschaftlicher Sicht folgender Schluss gezogen werden: Die Energiemenge von 1 MJ in Form fossiler Energie (Erdöl) kann entweder dazu genutzt werden, um Benzin herzustellen, wodurch 0,8MJ in Form von Benzin bereitgestellt werden können. Wird dieses eine MJ aber genutzt, um in der landwirtschaftlichen Produktion Ethanol herzustellen, können 2,5MJ, bei der Nutzung von Stroh etwa 3,5MJ, in Form von Ethanol, Strom und Wärme gewonnen werden. Damit wäre aus volkswirtschaftlicher Sicht die nachhaltige Ethanolproduktion bereits heute sinnvoll und wirtschaftlich.

Literatur

- [1] Rosenberger, A, Kaul, H.-P., Senn, T., Aufhammer, W. (2001): Improving the energy balance of bioethanol production from winter cereals: the effect of crop production intensity. *Applied Energy*, 68, 51-67
- [2] Rosenberger, A (2001): Optimierung und Bewertung der Produktion von Getreidekorngut als Rohstoff für die Bioethanolerzeugung: Dissertation, Universität Hohenheim
- [3] Senn, T., Pieper, H.J. (2001): Ethanol Classical Methods. In: Roehr, M., Editor; *The Biotechnology of Ethanol*, Wiley-VCH, Weinheim
- [4] Stelzer, T. (1999): Biokraftstoffe im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen – Lebensweganalysen von Umweltwirkungen. Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Forschungsbericht, Band 57
- [5] Wang, M.: A life-cycle-assessment of the impact of fuel ethanol on energy and greenhouse gas emissions; *World Biofuels* 2002, 23.-24. April 2002, Sevilla, Spain

Biogas as transportation fuel

Summary

Biogas is used as transportation fuel in a number of countries, but in Europe it has only reached a major breakthrough in Sweden. All of the biogas plants in Sweden that are in the planning or construction phase will be equipped with possibilities to deliver a biogas that is upgraded to natural gas quality, either for direct use as vehicle fuel or for injection into the natural gas grid.

The development of biogas as vehicle fuel in Sweden is a result of a combination of a surplus of gas from biogas plants, primarily at the sewage treatment plants, and a low electricity price that forces the biogas into markets other than electricity production.

Introduction

The supply of petroleum fuels will gradually decrease and these will have to be replaced by sustainable fuels. This has been addressed by the European Commission in the directive 2003/30/EG where the following targets are set:

- 2% biofuels by the end of 2005
- 5,75% biofuels by the end of 2010

In the short term this means that biofuels that already are present on the market where suitable vehicle technology is available (biogas, ethanol, biodiesel) must be used and development activities in order to develop long term alternatives (e.g. hydrogen) must be intensified.

Biogas is a biofuel that in Europe in general has mainly been regarded as a fuel suitable for electricity generation

O. Jönsson,
M. Persson
Swedish Gas Centre,
owe.jonsson@sgc.se
margareta.persson@sgc.se



Picture 1:
Biogas hybrid bus in
Uppsala - Sweden

in gas engines. Biogas can just be used in vehicle engines as well, and there are more than 4.000 vehicles in Sweden running on biogas and natural gas today.

Sources of biogas

Biogas comes from four main sources:

- Sewage treatment plants: Many sewage treatment plants produce methane rich gases in the sludge fermentation stage. Utilisation of methane from sewage plants is used on a large scale in many countries. Optimised process conditions can enhance the production and collection of these gases.
- Landfills: All landfills produce methane rich gases. Collection and utilisation of the gases is applied quite widely. Improved collection, processing and utilisation of landfill gases will be an important tool to increase the importance of landfill gas.
- Cleaning of organic industrial waste streams: Anaerobic digestion processes are often successfully applied to clean the waste streams of agricultural processing industry.

The methane rich gases are mainly utilised to produce electricity and heat in local co-generation plants.

- Mesophilic and thermophilic digestion of organic waste: Compact installations convert organic waste to methane rich gases at higher temperatures. The main difference between the two methods is the digestion temperature (35°C in the mesophilic process and 55°C in the thermophilic process).

Potential for biogas production in Europe

There are more than 3.000 biogas plants in Europe today and biogas is also used from a large number of landfill sites. The two countries that account for the largest biogas production in Europe are Germany and England. The total European biogas production was in 2002 estimated to 92 PJ/year and the total European potential is estimated to 770 PJ/year in 2020. The countries with the highest biogas production per capita are the UK, Sweden, Denmark, Switzerland and the Netherlands. In the short term the main potential for biogas production is the treatment of



*Picture 2:
Mesophilic digesters in
the city of Helsingborg
for co-digestion of
manure and animal
waste*



Picture 3:
Sulfatreat® H₂S-removal

wet wastes like sewage water sludge, manure and waste from different kinds of food industries. In the long-term perspective the main source for biogas will be different kinds of agricultural products.

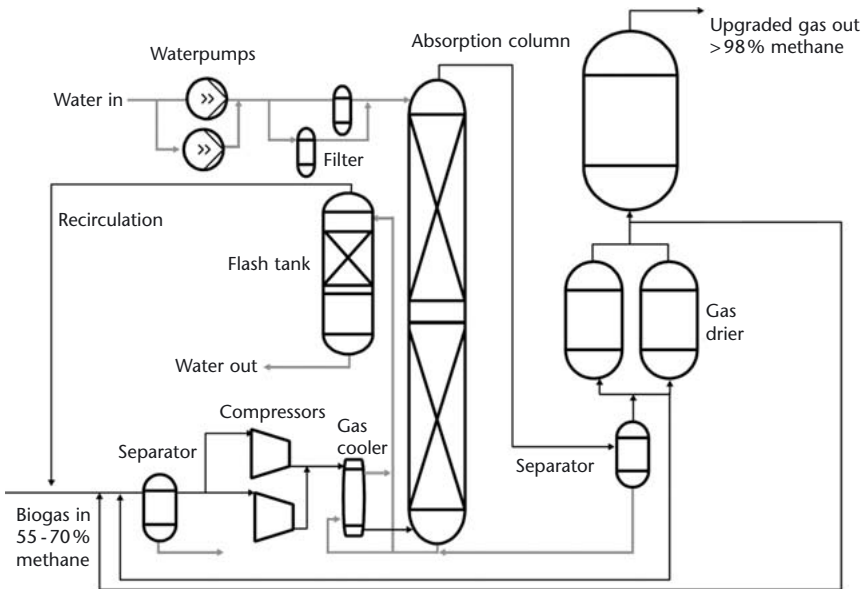
Upgrading of biogas to natural gas quality

Biogas has to be upgraded to natural gas quality in order to be used in normal vehicles designed to use natural gas. The most common technologies are the water scrubber technology and the PSA-technology. Gas upgrading is normally performed in two steps where the main step is the process that removes the CO₂ from the gas. Minor contaminants are normally removed before the CO₂-removal and the water dew point can be adjusted before or after the upgrading (depending on the process).

Water scrubber technology

Two types of water absorption processes are commonly used for upgrading of gas from anaerobic digestion, single pass absorption and regenerative absorption. The major difference between the two processes is that the water in the single pass process is used only once. A typical installation is at a sewage water treatment plant. Water can also be recycled and in this case a stripper column has to be integrated in the process (regenerative absorption). The single pass process is described below.

Cleaned sewage water has a sufficient quality for use in the absorption column. After the flash tank the water is depressurised by a regulator valve and returned to the sewage water treatment system.



PSA (Pressure Swing Adsorption) technology

Pressure Swing Adsorption, or PSA, is a method for the separation of carbon dioxide from methane by adsorption/desorption of carbon dioxide on zeolites or activated carbon at different pressure levels. The adsorption material adsorbs hydrogen sulphide irreversibly and thus is poisoned by hydrogen sulphide. For this reason a hydrogen sulphide removing step is often included in the PSA process.

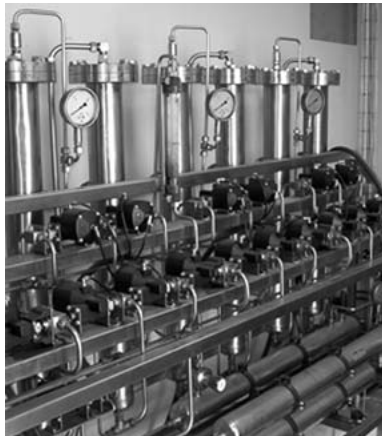
*Figure 1:
Removal of carbon dioxide using water wash without regeneration*

The upgrading system consists of four adsorber vessels filled with adsorption material. During normal operation each adsorber operates in an alternating cycle of adsorption, regeneration and pressure build-up. During the adsorption phase biogas enters from the bottom into one of the adsorbers. When passing the adsorber vessel, carbon dioxide, oxygen and nitrogen are adsorbed on the adsorbent material surface. The gas leaving the top of the adsorber vessel contains >97% methane.

Before the adsorbent material is completely saturated with the adsorbed feed gas components, the adsorption phase is stopped and another adsorber vessel that has been regenerated is switched into adsorption mode to achieve continuous operation.

Regeneration of the saturated adsorbent material is performed by a stepwise depressurisation of the adsorber vessel to atmospheric pressure and finally to near vacuum conditions. Initially the pressure is reduced by a pressure balance with an already regenerated adsorber vessel.

*Picture 4:
Biogas upgrading with
PSA technology – pilot
system*



This is followed by a second depressurisation step to almost atmospheric pressure. The gas leaving the vessel during this step contains significant amounts of methane and is recycled to the gas inlet.

Before the adsorption phase starts again, the adsorber vessel is repressurised stepwise to the final adsorption pressure. After a pressure balance with an adsorber that has been in adsorption mode before, the final pressure build-up is achieved with feed gas.

Other technologies

In some cases membrane technologies have been used for gas upgrading. The membrane technology has a potential to be energy efficient but for the moment there is very limited experience in Sweden of this technology.

Chemical adsorption technologies seem to be an attractive solution due to low methane losses and high selectivity. The process requires a rather high input of thermal energy for the regeneration of the chemical but can on the other hand be operated at low pressure that reduces the electrical energy demand of the process.

Economic and technical experience of gas upgrading

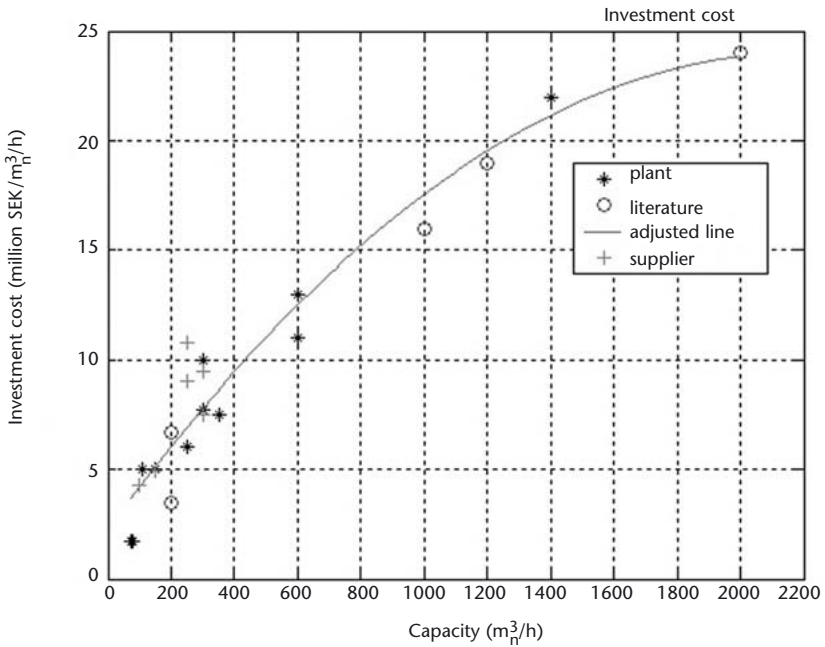
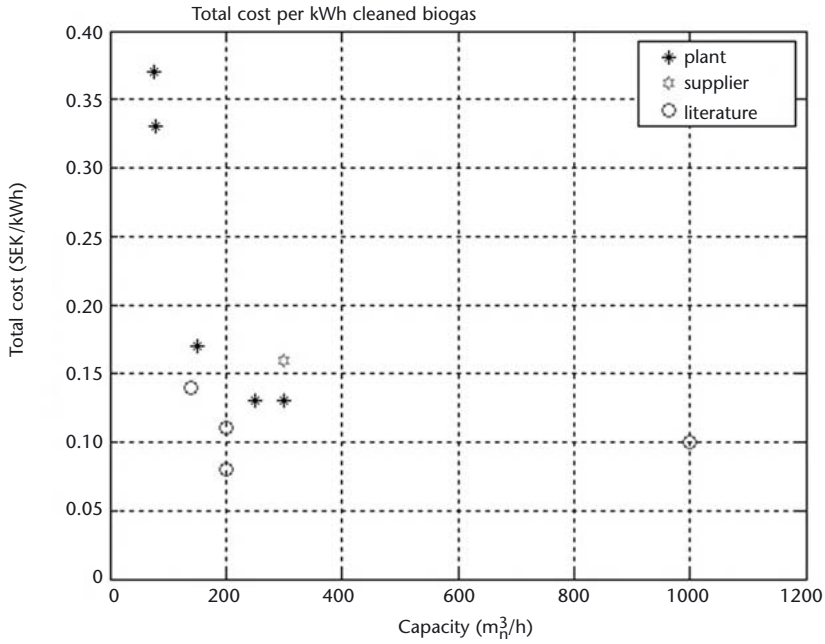
The economical and technical performance of the Swedish upgrading plants has been studied during 2003. 11 of the Swedish upgrading plants with longest operation experience have participated in the study. Some of the main conclusions from this study are:



Picture 5:
Trailer for transport of
biogas to filling stations
in Stockholm

- The upgrading cost depends very much on the plant size. Small plants for $< 100 \text{ m}^3/\text{h}_{\text{raw gas}}$ have upgrading costs between 3 and 4 € ct/kWh_{upgraded gas} whereas upgrading plants in the range 200 - 300 $\text{m}^3/\text{h}_{\text{raw gas}}$ have upgrading costs around 1-1,5 € ct/kWh_{upgraded gas}
- The electricity demand for upgrading corresponds to 3-6% of the energy content in the upgraded gas.
- The function of the upgrading plant is generally acceptable after the commissioning period. Common problems at the plants are malfunctions in valves (PSA-plants) and deteriorating adsorption rates due to clogging (water adsorption systems).

Investment costs and total upgrading costs for a selected number of upgrading plants are shown in the diagrams below.



Biogas vehicles

Biogas can be used in both heavy duty and light duty vehicles. Light duty vehicles can normally run both on natural gas and biogas without any modifications, whereas heavy duty vehicles without closed loop control may have to be adjusted, if they run alternately on biogas and natural gas.

Sweden is the only country in the world with a national standard for biogas as vehicle fuel today. This standard essentially states that the methane content must be higher than 95% and also sets limits for dew point, sulphur content and some other minor constituents.

Today there are more than 4.000 vehicles in Sweden running on natural gas and biogas and several local fleets (e.g. Linköping, Uppsala, Kristianstad) where the major part of the urban public transports are operated on biogas.

Biogas the pathway to hydrogen

Biogas can be regarded as one possible way to gradually change over to hydrogen as energy carrier. There are many similarities:

- Hydrogen (if produced from sustainable sources) and biogas are both renewable fuels.
- Hydrogen and biogas can both be distributed on the natural gas grid.
- Hydrogen and biogas can be used in natural gas vehicles. The first European tests with hydrogen/natural gas mixtures in buses are now carried out in Malmö, Sweden.



Picture 8:
Hydrogen car and natural gas bus at hydrogen filling station in Malmö

The introduction of biogas as a vehicle fuel in Sweden has been based on a solid co-operation between the natural gas utilities and the biogas producers. This has resulted in an understanding for gas quality aspects and other technical issues that have to be dealt with when introducing both biogas and hydrogen as vehicle fuels.

Conclusions

Natural gas is a fossil fuel that has many advantages (high security of supply, low emissions, established distribution grid etc.) compared to liquid fuels like diesel and gasoline and has also been pointed out as a major alternative in the changeover to sustainable fuels. Upgraded biogas has the same advantages as natural gas, but additionally is a sustainable fuel that can be manufactured from local waste streams thereby also solving local waste problems.

Production of biogas is a mature technology that is well established in many European countries and the biogas potential is considerable, especially when taking into account the possibilities to use set aside land for production of crops for biogas.



Upgrading of biogas is a relatively new technology but experience from Sweden and other countries shows that it is possible now to upgrade biogas with high reliability and at reasonable costs.

The Swedish experience shows that biogas can be an economical sustainable fuel with a potential to drastically reduce emissions in urban transport.

Literature

- [1] Holm J. B., The future of biogas in Europe, a general overview
- [2] Biogas Upgrading and Utilisation, IEA Bioenergy, Task 24, 2001
- [3] Hagen et al, Adding gas from biomass to the gas grid, SGC report 118, 2001
- [4] O. Jönsson, The Swedish Case for Methane Gas ENGVA Annual Meeting 2001, Malmö, Sweden
- [5] Jönsson et al, Sustainable gas enters the European gasdistribution system, World Gas Conference, Tokyo 2003
- [6] From Biogas to Energy, an European Overwiev, Solagro, 2001
- [7] M. Persson, Evaluation of Swedish plants for upgrading of biogas, SGC-report to be published, 2003