

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.

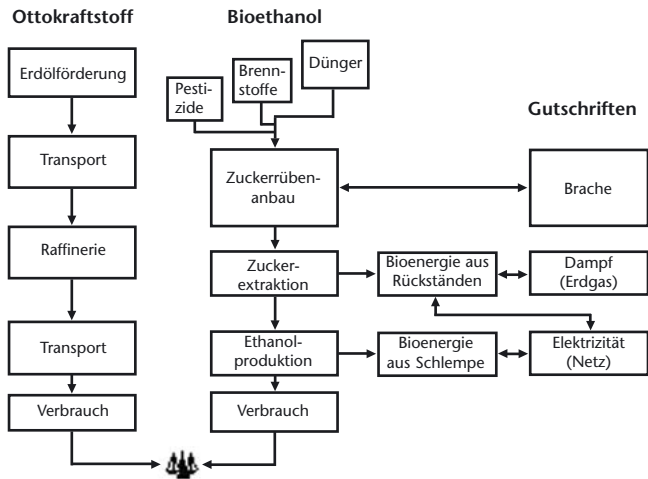
2. Vorgehensweise und Zwischenergebnisse

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:

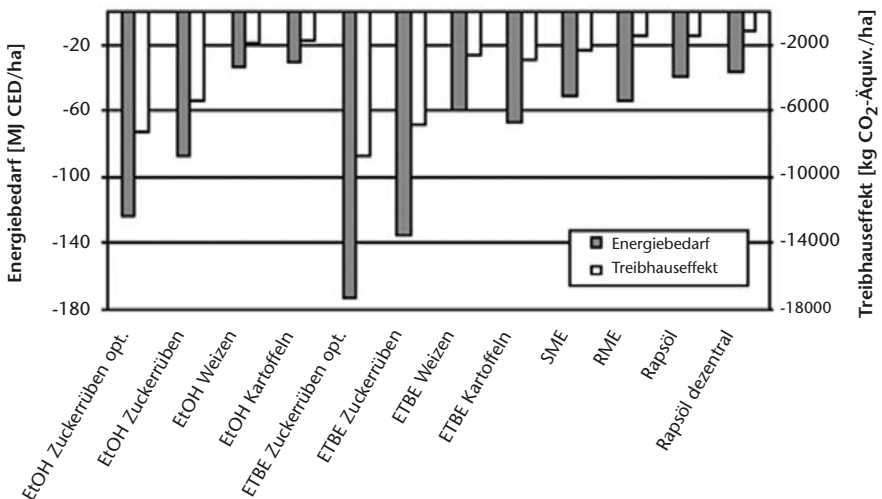
Ergebnisse der Ökobilanz für Ethanol aus Zuckerrüben verglichen mit Ottokraftstoff bezüglich der betrachteten Sachbilanz- und Wirkungsabschätzungs-Parameter (Quelle: [10], dieser Artikel)

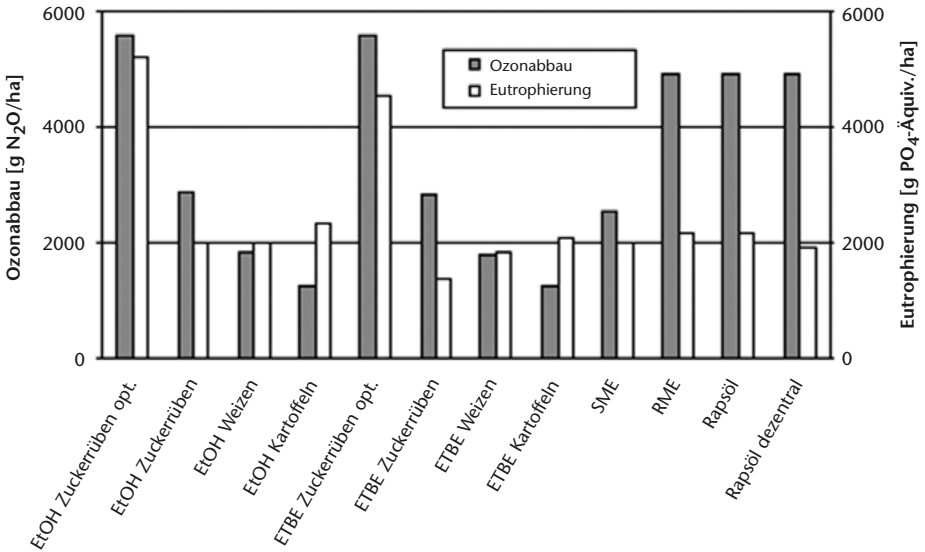
3.1 Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse

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.

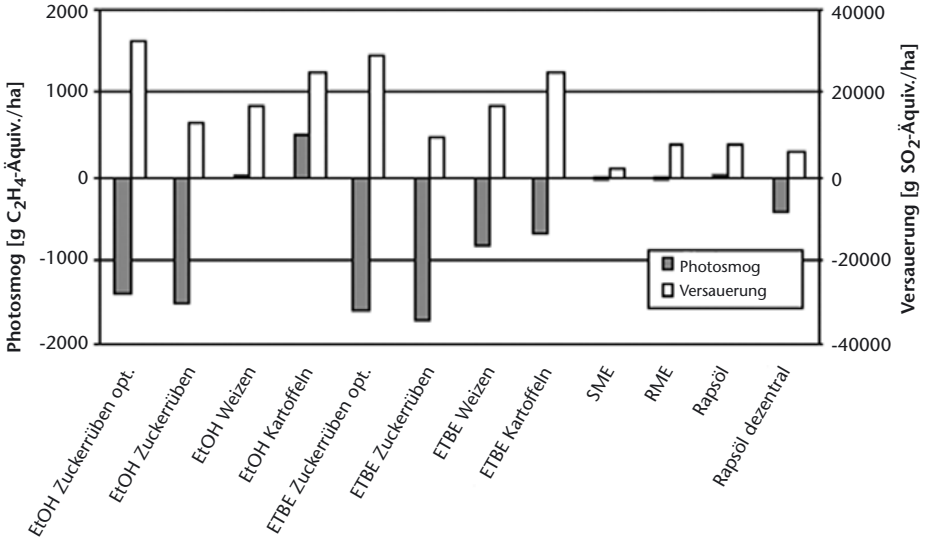


Abbildung 4:
 Ökologische Vor- und Nachteile aller betrachteten Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse verglichen mit den entsprechenden fossilen Kraftstoffen für die Parameter Photosmog (g C₂H₄-Äquivalente/ha) und Versauerung (g SO₂-Äquivalente/ha). Negative Werte bedeuten Vorteile für die Biokraftstoffe.

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.

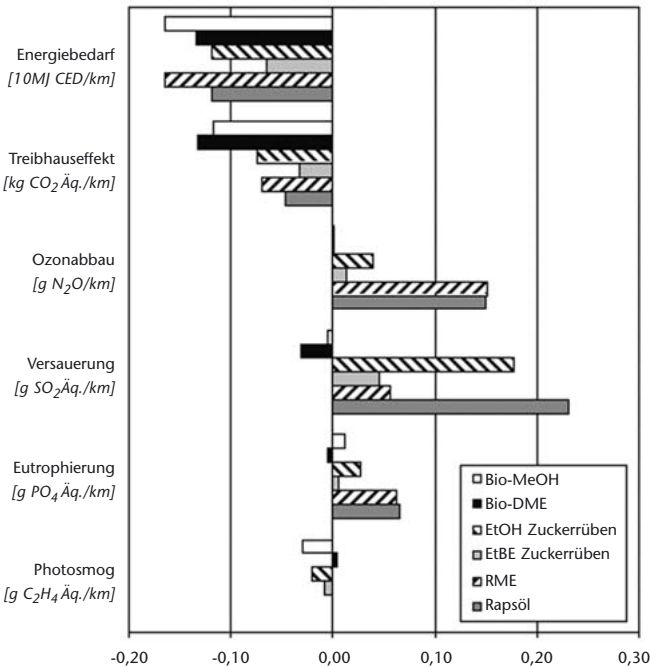


Abbildung 5: Ökologische Vor- und Nachteile aller betrachteten Biokraftstoffe aus Rückständen und für einige Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse verglichen mit fossilen Kraftstoffen. Negative Werte bedeuten Vorteile für die Biokraftstoffe.

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