

Ökologische und ökonomische Bewertung nachwachsender Energieträger

KTBL-Tagung vom
8. bis 9. September 2008
in Aschaffenburg



Konzeption

Dr. Sebastian Wulf, Dr. Ute Schultheiß, Helmut Döhler
Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt

Programmkommission

Prof. Dr. Dr. Josef Boxberger, Universität für Bodenkultur, Wien
Prof. Dr. Gerhard Breitschuh, Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz u. Umwelt, Erfurt
Prof. Dr. Bärbel Gerowitt, Universität Rostock
Prof. Dr. Alois Heißenhuber, Technische Universität München, Freising
Prof. Dr. Kurt-Jürgen Hülsbergen, Technische Universität München, Freising
Prof. Dr. Thomas Jungbluth, Universität Hohenheim, Stuttgart
Ulrich Keymer, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft und Verbraucherschutz, München
Dr. Ludwig Leible, Forschungszentrum Karlsruhe
Prof. Dr. Rainer Marggraf, Universität Göttingen
Wolfgang Reimer, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn
Dr. Bernd Uwe Schneider, Brandenburgische Technische Universität Cottbus
Dr.-Ing. Andreas Schütte, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow
Prof. Dr. Ir. Hermann Van den Weghe, Universität Göttingen, Vechta
Prof. Dr. Christina von Haaren, Universität Hannover

Projektbetreuung

Dr. Sebastian Wulf | KTBL

Finanzielle Förderung

Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) | Bonn
Projektträger: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) | Gülzow

© 2008

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt
Telefon (06151) 7001-0 | Fax (06151) 7001-123
E-Mail: ktbl@ktbl.de | www.ktbl.de

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des KTBL urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) | Bonn

Redaktion

Dr. Ute Schultheiß, Dr. Sebastian Wulf | KTBL

Lektorat

Monika Pikart-Müller | KTBL

Titelfoto

© agrarfoto.com

Vertrieb

KTBL | Darmstadt

Druck

Druckerei Lokay | Reinheim

Printed in Germany

ISBN 978-3-939371-68-7

Vorwort

Der Klimaschutz und somit die Minderung der nationalen Treibhausgasemissionen ist in den letzten Jahren zu einem zentralen Anliegen der nationalen und internationalen Politik geworden. Daher will die Bundesregierung bis 2020 einen Anteil von 14 % bei der Erzeugung von Wärme, von 17 % bei Kraftstoffen und von 27 % bei Strom durch Erneuerbare Energien decken. Neben der Windkraft kommt hierfür der Energieerzeugung aus nachwachsenden Energieträgern eine zentrale Rolle zu. Durch den Ersatz von fossilen Brenn- und Kraftstoffen wird mit einer signifikanten Abnahme der Klimagasemissionen gerechnet.

Die ökologischen Vorteile der Bioenergieträger sind allerdings nicht unumstritten. Bereits Anfang der 90er Jahre wurde die klimaneutrale Wirkung von Biodiesel auf Basis von heimisch erzeugtem Rapsöl angezweifelt und dessen Nutzung in einer sehr kontrovers geführten Diskussion kritisiert. Neuerdings steht auch die Umweltverträglichkeit der Biogasanlagen auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen in der Kritik, weil durch die Biogaserzeugung Methan- und Lachgasemissionen gefördert würden. Zusätzlichen Zündstoff bringt die sehr einseitige und unsachliche Teller- oder Tank-Debatte, in der Bioenergiegegner den Hunger in der Welt auf die zunehmende Produktion von nachwachsenden Rohstoffen zurückführen.

Mit der Durchführung der Tagung „Ökologische und ökonomische Bewertung von nachwachsenden Energieträgern“ am 8. und 9. September 2008 haben wir, das Kuratorium für Technik und Bauwesen der Landwirtschaft (KTBL) und die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) es uns zur Aufgabe gemacht, zur Versachlichung der Diskussion um die Nachhaltigkeitsaspekte der Bioenergieerzeugung beizutragen. Es ist uns gelungen, die nationalen Experten für die Bewertung ökonomischer, ökologischer und sozialer Kriterien zusammen zu bringen und die methodischen Aspekte der Bioenergieträger-Analyse transparent darzustellen. Nicht nur die dort beantworteten Fragen, auch die identifizierten Wissenslücken werden uns ein gutes Stück weiter auf den Weg zu einer nachhaltigen Nutzung von Bioenergieträgern bringen.

Sowohl die Programmkommission als auch die Referenten haben mit der Gestaltung der Tagung und mit ihren Vorträgen sowie den schriftlichen Beiträgen zum Gelingen der Tagung besonders beigetragen. Dafür gebührt ihnen und allen beteiligten Mitarbeitern in der KTBL-Geschäftsstelle unser herzlicher Dank.

Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

DR. HEINRICH DE BAËY-ERNSTEN
Hauptgeschäftsführer

Inhalt

Energie- und klimapolitische Bewertung von Bioenergieoptionen – Kernergebnisse des Wissenschaftlichen Beirats YELTO ZIMMER.....	7
Globale Nutzungskonflikte und Auswirkungen auf die Agrarmärkte JÜRGEN ZEDDIES	12
Bedeutung der Bioenergie für die Landwirtschaft und den ländlichen Raum THOMAS BREUER	29
Relative Vorzüglichkeit der Bioenergie LUDWIG LEIBLE, STEFAN KÄLBER UND GUNNAR KAPPLER	45
Vergleichende Bewertung von Studien zur Abschätzung von Flächenpotenzialen für die Bioenergieerzeugung KATHRIN B. GREIFF, KORBINIAN SCHERM, GABRIELE WEBER-BLASCHKE, WOLFGANG A. MAYER, MARTIN FAULSTICH	56
Zertifizierung von Biomasse und Biokraftstoffen NORBERT SCHMITZ.....	69
Ökobilanzen zu Bioenergiesystemen: Vorgehen, Beispiele, Aussagekraft GUIDO A. REINHARDT, SUSANNE KÖPPEN	78
Integration von Modellen zu N- und P-Austrägen und Bodenqualität in Ökobilanzen am Beispiel von SALCA RUTH FREIERMUTH KNUCHEL, GÉRARD GAILLARD, HANS-RUDOLF OBERHOLZER, WALTER RICHNER, VOLKER PRASUHN.....	90
Einfluss einer erhöhten Biomasseproduktion auf die Nachhaltigkeits- parameter landwirtschaftlicher Betriebe GERHARD BREITSCHUH, THORSTEN BREITSCHUH, HANS ECKERT	104
Verfahren zur ökonomischen Bewertung der Bioenergieerzeugung ALOIS HEISSENHUBER, STEFAN BERENZ.....	117

Energetische Bilanz der Bioenergieerzeugung	
KIRSTEN WIEGMANN, UWE R. FRITSCHÉ.....	126
Auswirkungen des Anbaus von Energiepflanzen auf die Biodiversität: Bewertungsmethodik und Einfluss des Anbauverfahrens	
MICHAEL GLEMNITZ, RALPH PLATEN, CHRISTOPH SAURE.....	136
Humusbilanzen und C-Kreisläufe in Betriebssystemen mit Bioenergieerzeugung	
KURT-JÜRGEN HÜLSBERGEN, HARALD SCHMID	151
Klimarelevante Emissionen der deutschen Landwirtschaft unter Berücksichtigung des Bioenergieträgers Biogas	
HELMUT DÖHLER, ULRICH DÄMMGEN, BRIGITTE EURICH-MENDEN, HANS-DIETER HAENEL, MANFRED LÜTTICH.....	172
Einfluss des Gülleanteils, der Wärmeauskopplung und der Gärrest- lagerabdeckung auf die Treibhausgasbilanz von Biogasanlagen	
STEFAN MAJER, JAQUELINE DANIEL	184
Klimabilanz von Praxis-Biogasanlagen	
HANS BACHMAIER, MATHIAS EFFENBERGER, ANITA LEHNER, ANDREAS GRONAUER	194
Energie- und Treibhausgasbilanzen sowie Ableitung der CO ₂ -Äquivalent- Vermeidungskosten für die Biogaserzeugung aus Biomasse	
STEFAN BERENZ	201
Emissionen von N ₂ O und anderen umweltrelevanten Spurengasen (VOC, NO _x) beim Anbau von Biomasse	
KLAUS BUTTERBACH-BAHL, RALF KIESE	211
Anschriften der Autoren.....	224
KTBL-Veröffentlichungen	227

Ökobilanzen zu Bioenergiesystemen: Vorgehen, Beispiele, Aussagekraft

GUIDO A. REINHARDT, SUSANNE KÖPPEN

1 Einleitung

Bioenergie, beispielsweise der Biokraftstoff Rapsölmethylester (RME), der durch Umesterung von Rapsöl gewonnen wird, gilt allgemein als besonders umweltfreundlich. Sie ist – zumindest auf den ersten Blick – CO₂-neutral und bioabbaubar, spart fossile Rohstoffe ein, verursacht 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 CO₂ freigesetzt wird, die zuvor beim Anbau der Energie liefernden Pflanzen der Atmosphäre entzogen wurde. Betrachtet man aber den gesamten Lebensweg von Bioenergieträgern von der Produktion der Biomasse über die Konversion bis hin zu ihrer energetischen Verwertung, so sind die genannten Vorteile nicht unbedingt gegeben. Der Grund ist, dass bereits bei der Produktion des Rapses beträchtliche Klimagasemissionen durch die Verwendung von Traktortreibstoff oder auch durch die Produktion und Verwendung von Düngemitteln auftreten. Auch das Roden von tropischem Regenwald beispielsweise für Ölpalmpflanzungen sorgt für hohe Klimagasemissionen. Die dabei freigesetzten CO₂-Emissionen können sogar höher ausfallen, als durch die Bioenergie eingespart werden. Solche Beispiele zeigen, dass es unumgänglich ist, vollständige Lebenswege zu vergleichen. Das geeignete Instrument hierfür ist die Ökobilanz.

In den letzten knapp 20 Jahren wurden zahlreiche Ökobilanzen von Bioenergieträgern im Vergleich zu ihren konventionellen Pendanten erstellt. In den folgenden Kapiteln werden nach der Erläuterung der grundsätzlichen Vorgehensweise bei der Bilanzierung aus der Vielfalt der Publikationen einige Bilanzen ausgewählt, um exemplarisch Ergebnisse, Aussagen und Interpretationen darzustellen. Eine abschließende Diskussion beschäftigt sich mit der Aussagekraft von Ökobilanzen.

2 Vorgehensweise

Die ökologischen Vor- oder Nachteile von Bioenergieträgern können nicht auf Anhieb aufgelistet und bewertet werden. Sie können nur unter Einbeziehung des gesamten Systems – und nicht nur bestimmter Ausschnitte – exakt quantifiziert werden. Dies kann

sachgerecht mit so genannten Ökobilanzen durchgeführt werden. Diese folgen mittlerweile einer international anerkannten Norm (ISO 14040 und 14044) und betrachten – zumindest vom theoretischen Ansatz her – die gesamte Bandbreite der Umweltauswirkungen.

Das zentrale Element von Ökobilanzen ist die Zieldefinition, bei der eine Reihe an Festlegungen getroffen werden muss. Zu diesen Festlegungen gehört unter anderem die exakte Ausformulierung der Fragestellung. Zum Thema Bioenergieträger gibt es Fragestellungen, die unterschiedliche Schwerpunkte betreffen. Beispiele sind:

- Vergleich von biogenen mit fossilen Bioenergieträgern
- Vergleich unterschiedlicher Biokraftstoffe (z.B. Bioethanol vs. Biodiesel)
- Vergleich verschiedener Bioenergieträger (z.B. Ethanol aus Zuckerrübe vs. Ethanol aus Weizen)
- Vergleich verschiedener Nutzungspfade von Bioenergieträgern (z.B. mobile vs. stationäre Nutzung)
- Einfluss von Landnutzungsänderungen bzw. der Vornutzung auf die Bioenergieträger-Bilanzen

Ausgehend von der Zieldefinition werden die Systemgrenzen definiert bzw. festgelegt. Zu diesen Systemgrenzen zählt insbesondere auch die Definition der Lebenswege. Abbildung 1 zeigt beispielhaft einen solchen schematischen Lebenswegvergleich zwischen Biodiesel aus Rapsöl und herkömmlichem Dieselmotorkraftstoff. Grundsätzlich werden in der Bilanzierung auch alle Zusatzstoffe und Nebenprodukte berücksichtigt. Letztere werden üblicherweise den Bioenergieträgern als Gutschriften über die Bilanzierung so genannter Äquivalenzprozesse angerechnet. Bei dieser Substitutionsmethode ersetzen (substituieren) die bei der Produktion von Bioenergie anfallenden Nebenprodukte die konventionell hergestellten Pendanten. Im Extremfall, z.B. wenn die Bereitstellung der konventionellen Pendanten mit extrem hohem Produktionsaufwand verbunden ist, kann die erhaltene Gutschrift den gesamten Produktionsaufwand des Hauptprodukts kompensieren oder sogar überkompensieren. Die Ergebnisse können somit ein positives oder auch negatives Vorzeichen haben, je nachdem, wie aufwändig die substituierten Äquivalenzprodukte hergestellt werden. Eine andere Methode der Nebenproduktberücksichtigung ist das Allokationsverfahren, bei dem alle anfallenden Emissionen auf die verschiedenen (Haupt- und Neben-) Produkte angerechnet (alloziert) werden. Da es sich um ein Aufteilungsverfahren handelt, können nur positive Werte erhalten werden. Damit wird deutlich, dass die Nebenprodukte bzw. die Wahl der Methode zu deren Berücksichtigung einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse ausüben können. Generell können in den Ökobilanzen beide Verfahren angewandt werden, wobei in den letzten 15 Jahren vor allem auf das Substitutionsverfahren zurückgegriffen wurde. In der letzten Zeit kam jedoch auch das Allokationsverfahren verstärkt zum Einsatz. So ist es Teil sowohl der deutschen Biomasse-

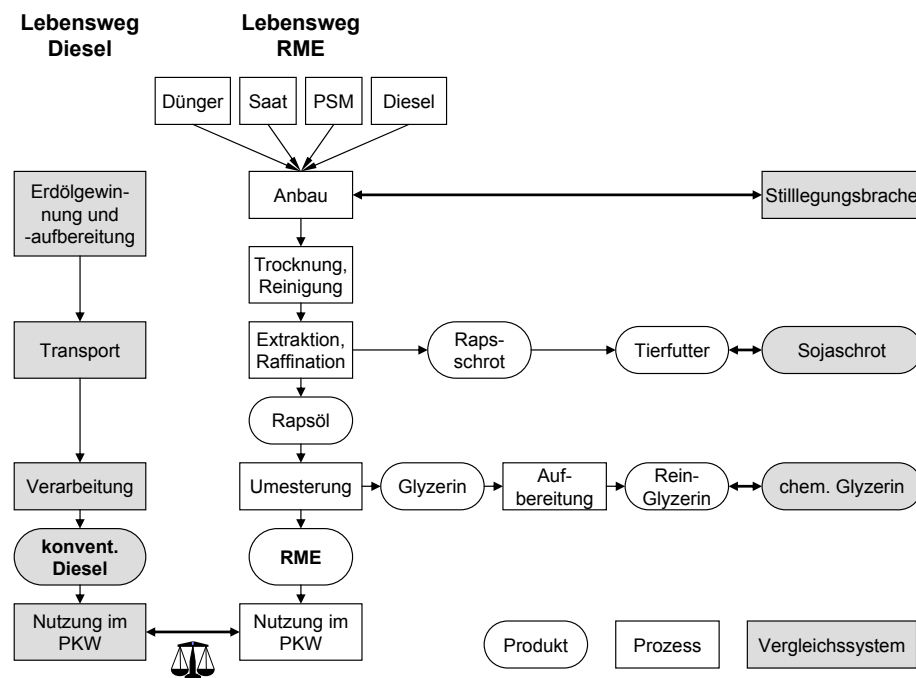


Abb. 1: Schematischer Lebenswegvergleich von Biodiesel aus Rapsöl und Dieselmotorkraftstoff (nach GÄRTNER und REINHARDT 2003)

senachhaltigkeitsverordnung (DEUTSCHE BUNDESREGIERUNG 2007) als auch auf europäischer Ebene der Renewable Energy Sources Direktive (RES) (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2008). Über die Nebenprodukte hinaus werden auch landwirtschaftliche Referenzsysteme miteinbezogen. Wichtige Details der Festlegungen, Systemgrenzen und bei Bioenergieträgern angewandte methodische Vorgehensweise finden sich z.B. in BORKEN et al. (1999) und KALTSCHMITT und REINHARDT (1997).

Nach Festschreibung der Zieldefinition und der damit zusammenhängenden Festlegungen werden in der so genannten Sachbilanz zunächst alle Umweltauswirkungen auf der Basis einzelner Parameter (z.B. CO_2 -Emissionen) ermittelt. Bei der anschließenden Wirkungsabschätzung wird die Vielzahl der einzelnen untersuchten Parameter in Umweltwirkungskategorien wie u. a. „Ressourcenverbrauch“, „Treibhauseffekt“, „Versauerung“, „Eutrophierung“ oder auch „Fotosmog“ weiterverarbeitet (BORKEN et al. 1999; CML et al. 1992; IPCC 2001/2007). Beispielsweise werden hierbei alle klimarelevanten Gase wie CO_2 , Methan, Lachgas und die FCKW zu einem Gesamtklimagaspotenzial zusammengefasst und in CO_2 -Äquivalenten ausgedrückt. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung beispielhaft für Biodiesel aus Rapsöl im Vergleich zu Dieselmotorkraftstoff. Aufgeführt sind die beiden oben erwähnten unterschied-

lichen Optionen der Berücksichtigung von Nebenprodukten (Allokationsmethode und Substitutionsmethode). Tabelle 2 zeigt die Äquivalenzfaktoren für den Umrechnungsschritt in der Wirkungsabschätzung beispielhaft für ausgewählte Parameter und ausgewählte Umweltwirkungen (Treibhausgase, Versauerung und Fotosmog).

Tab. 1: Ergebnisse von ausgewählten Sachbilanz- und Wirkungsabschätzungs-Parameter der Ökobilanz von Biodiesel aus Rapsöl im Vergleich zu herkömmlichem Dieselmotorkraftstoff (REINHARDT et al. 2008)

Sachbilanz Parameter	Einheit je ha • a ¹⁾	RME vs. Dieselmotorkraftstoff		Wirkungskategorie Parameter	Einheit je ha • a ¹⁾	RME vs. Dieselmotorkraftstoff	
		Substitution	Allokation			Substitution	Allokation
Erdöl	MJ	-51.519	-46.372	Energiebedarf ²⁾			
Erdgas	MJ	6.232	7.840	(CED)	GJ	-48	-37
Steinkohle	MJ	-628	792				
Braunkohle	MJ	-361	470	Treibhauseffekt			
Uranerz	MJ	-2.193	644	(CO_2 -äq)	kg	-2.936	-2.190
Wasser	MJ	-368	52				
Kalk	kg	133	79	Versauerung			
Rohphosphat	kg	235	153	(SO_2 -äq)	kg	12	10
Schwefel	kg	16	11				
Kalium	kg	249	215	Eutrophierung			
Natriumchlorid	kg	5	4	(PO_4 -äq)	kg	3	2
Tonminerale	kg	10	10				
CO_2 (fossil)	kg	-3.604	-2.922	Fotosmog			
CH_4	kg	1	1	(C_2H_4 -äq)	g	-149	132
SO_2	kg	-3	-1				
NO_x	kg	1	2				
HCl	g	-1	13				
NH_3	kg	8	5				
CO	kg	451	532				
NMHC	g	-372	298				
Diesel Rußpartikel	g	-125	26				
Staub	g	456	271				
Formaldehyd	g	3	11				
Benzen	g	-1	1				
Benzo(a)pyrene	mg	60	214				
TCDDäq	ng	-20.369	39				
N_2O	kg	2	2				

¹⁾ Die Einheit „ha • a“ zeigt an, wie viel Energie und Emissionen eingespart oder zusätzlich verbraucht/emittiert wird/ werden, wenn der je Hektar und Jahr produzierte Biodiesel herkömmlichen Dieselmotorkraftstoff in einem Fahrzeugmotor ersetzt; positive Zahlen bedeuten ein günstiges Ergebnis für den fossilen Kraftstoff, negative Zahlen ein günstiges Ergebnis für Biodiesel.

²⁾ Rohöl, Erdgas, Uranerz, Steinkohle und Braunkohle.

TCDD = Tetrachlordibenzodioxine; NMHC = Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe