

Rheinisch-Westfälisches Institut
für Wirtschaftsforschung

Biodiesel: eine nachhaltige Alternative?

Endbericht



RWI : Projektberichte

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung

Vorstand:

Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Ph.D. (Präsident),

Prof. Dr. Thomas K. Bauer

Prof. Dr. Wim Kösters

Verwaltungsrat:

Dr. Eberhard Heinke (Vorsitzender);

Dr. Dietmar Kuhnt, Dr. Henning Osthues-Albrecht, Reinhold Schulte
(stellv. Vorsitzende);

Prof. Dr.-Ing. Dieter Ameling, Manfred Breuer, Christoph Dänzer-Vanotti,

Dr. Hans Georg Fabritius, Prof. Dr. Harald B. Giesel, Karl-Heinz Herlitschke,

Dr. Thomas Köster, Tillmann Neinhaus, Dr. Günter Sandermann,

Dr. Gerd Willamowski

Forschungsbeirat:

Prof. David Card, Ph.D., Prof. Dr. Clemens Fuest, Prof. Dr. Walter Krämer,

Prof. Dr. Michael Lechner, Prof. Dr. Till Requate, Prof. Nina Smith, Ph.D.,

Prof. Dr. Harald Uhlig, Prof. Dr. Josef Zweimüller

Ehrenmitglieder des RWI Essen

Heinrich Frommknecht, Prof. Dr. Paul Klemmer †

RWI : Projektberichte

Herausgeber: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung,
Hohenzollernstraße 1/3, 45128 Essen

Tel. 0201/81 49-0, Fax 0201/81 49-200, e-mail: rwi@rwi-essen.de

Alle Rechte vorbehalten. Essen 2006

Schriftleitung: Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Ph.D.

Biodiesel: eine nachhaltige Alternative?

Endbericht – Januar 2006

Projektteam: Dr. Manuel Frondel (Projektleiter) und Jörg Peters

Rheinisch-Westfälisches Institut
für Wirtschaftsforschung

Biodiesel: eine nachhaltige Alternative?

Endbericht – Januar 2006

Projektteam: Dr. Manuel Frondel (Projektleiter) und Jörg Peters

Wir danken Birte Pohl und Nolan Ritter für ihre Unterstützung bei diesem Projekt. Besonderer Dank gilt Prof. Dr. Christoph M. Schmidt und Joachim Schmidt für wertvolle Kommentare und Anregungen.

Die Förderung des Projekts durch die International Margarine Association of the Countries of Europe (IMACE) wird dankbar anerkannt.



Biodiesel: Eine nachhaltige Alternative?

Zusammenfassung. Entsprechend der Richtlinie 2003/30/EC soll der Anteil von Biokraftstoffen am Treibstoffverbrauch der EU bis 2010 auf 5,75 % erhöht werden. Diese Richtlinie wird mit Umwelteffekten begründet, vor allem der Vermeidung von Treibhausgasen, aber auch positiven Beschäftigungseffekten in der Landwirtschaft. Diese Studie untersucht die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der Substitution von fossilem Diesel durch aus Rapsöl gewonnenem Biodiesel. Unsere Auswertung einer Reihe von Lebenszyklusanalysen über Biodiesel ergibt zwar eindeutig positive Energie- und Treibhausgasbilanzen. Allerdings stellt der Einsatz von Biodiesel gegenwärtig keine kosteneffiziente Möglichkeit zur Treibhausgasvermeidung dar. Unter Berücksichtigung aller ökologischen wie auch der ökonomischen Auswirkungen kommen wir zu dem Schluss, dass Biodiesel keine nachhaltige Lösung ist und schlagen schließlich effizientere Alternativen zur Klimagasvermeidung vor, zu denen in der Zukunft auch synthetisch gewonnene Biotreibstoffe gehören können.

Korrespondenz: Dr. Manuel Frondel, Leiter des Kompetenzbereichs „Umwelt und Ressourcen“, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI Essen), Hohenzollernstr. 1-3, 45128 Essen. Email: frondel@rwi-essen.de.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	5
2.	Biodieselproduktion und Flächenbedarf in der EU25.....	6
3.	Ökologische Auswirkungen der Biodieselnutzung	10
3.1	Die Nettoenergiebilanz	10
3.2	Die Nettotreibhausgasbilanz	11
3.3	Weitere Umweltwirkungen	13
4.	Ökonomische Auswirkungen der Biodieselförderung.....	14
5.	Alternative Möglichkeiten	16
6.	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	20
	Literaturverzeichnis.....	22

1. Einleitung

Die Mineralölsteuerbefreiung von Biotreibstoffen löste in Deutschland in den vergangenen Jahren einen starken Anstieg der Nachfrage nach Biodiesel aus. Der Biodieselsatz verdoppelte sich praktisch innerhalb eines Jahres und erreichte 2005 knapp 2 Mill. t (VDB 2005). Auch in anderen europäischen Staaten, vor allem Frankreich und Italien, wird die Biodieselproduktion durch Steuervergünstigungen gefördert. Diese drei Länder dominieren gegenwärtig den europäischen Biodieselmkt, wobei Deutschland mehr als die Hälfte zur Gesamtproduktion beisteuert (EBB 2005).

Steuervergünstigungen und -befreiungen für Biotreibstoffe sind Teil einer europäischen Umweltpolitik, die insbesondere die Förderung Erneuerbarer Energien anstrebt. Ziel der finanzpolitischen Maßnahmen zur Förderung von Biokraftstoffen ist, die Vorgaben der EU-Richtlinie 2003/30/EC zu erreichen. Demnach soll der Anteil der Biotreibstoffe am gesamten Treibstoffverbrauch der EU25 bis 2005 bei 2 % und bis 2010 bei 5,75 % liegen – jeweils gemessen am Energiegehalt der Treibstoffe.

Die Richtlinie 2003/30/EC rechtfertigt diese Ziele mit

- der Reduzierung des Ausstoßes von Treibhausgasen (THG);
- der höheren Energieversorgungssicherheit;
- der Schonung fossiler Ressourcen;
- möglichen positiven Beschäftigungseffekten in der Landwirtschaft.

Aus Zuckerrüben, Weizen oder Mais hergestelltes Bioethanol sowie auf Raps basierender Biodiesel stellen gegenwärtig die wichtigsten Biotreibstoffe dar (JRC 2004: 1). Bioethanol ist aktuell der einzige Biotreibstoff, der in nennenswerter Weise fossiles Benzin ersetzen kann. Biodiesel aus Raps, auch Rapsmethylester (RME) genannt, bildet das wichtigste Substitut zu fossilem Diesel (Henke et al. 2005: 2618).

Um die EU-Ziele, die für die Mitgliedstaaten allerdings nicht verbindlich sind, zu erreichen, wird wesentlich mehr Ackerland als heute für den Anbau von Raps, Weizen oder Zuckerrüben benötigt werden. Infolgedessen kann es zu einem zunehmenden Wettbewerb um Ackerboden kommen, bei dem die Pflanzenproduktion für Biotreibstoffe mit herkömmlichen Nutzungsarten konkurriert, etwa mit der Nahrungsmittelerzeugung. Verschärfend

kommt die durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz forcierte Elektrizitäts-erzeugung aus Biomasse hinzu. Folglich wird die Verfügbarkeit von Ackerland als eine zentrale Restriktion bei der Biotreibstoffherzeugung angesehen (JRC 2004: 1). Konsequenz des möglicherweise zunehmenden Wettbewerbs um Ackerland könnte ein Anstieg der Preise für landwirtschaftlich erzeugte Nahrungsmittel sein. Neben Umwelteffekten werden deshalb massive ökonomische Auswirkungen einer zunehmenden Biotreibstoffproduktion erwartet.

Diese Studie untersucht sowohl ökologische als auch ökonomische Aspekte der Substituierung von fossilem durch aus Raps gewonnenem Diesel. Anstelle einer vollständigen Kosten-Nutzen-Analyse, welche wegen fehlenden empirischen Datenmaterials nicht durchführbar ist, steht das laut Henke et al. (2005: 2621) am häufigsten genannte Argument für die Biodieselförderung im Fokus: Die Reduzierung der Treibhausgasemissionen. Im folgenden Abschnitt beschreiben wir die derzeitige Biodieselproduktion in der EU25 und ermitteln die Mengen an Raps, Biodiesel und Ackerland, die zur Erreichung der 5,75 %-Vorgabe bereitgestellt werden müssten. Anhand verschiedener empirischer Studien untersuchen wir in Abschnitt 3 sowohl die Energie- als auch die Treibhausgasbilanz der Substitution von konventionellem Diesel durch Biodiesel. Anschließend werden die ökologischen Auswirkungen der Biodieselnutzung diskutiert. Dazu gehören neben der Klimawirkung die Bodenverschmutzung und die Zerstörung der Ozonschicht.

Abschnitt 4 skizziert mögliche ökonomische Konsequenzen einer zusätzlichen Nachfrage nach Raps. In Abschnitt 5 stellen wir Kostenschätzungen für die Vermeidung von Treibhausgasen (THG) dar, die die Effizienz der Biodieselpolitik als Klimaschutzmaßnahme in Frage stellen. Schließlich schlagen wir verschiedene Alternativen zu Biotreibstoffen vor, mit denen das Ziel der THG-Vermeidung mit wesentlich niedrigeren Kosten erreicht werden kann. Neben Erneuerbaren-Energie-Technologien zählt dazu auch die Verbesserung der Wirkungsgrade konventioneller Kraftwerke.

2. Biodieselproduktion und Flächenbedarf in der EU25

Infolge der Steuervergünstigungen, die die meisten Länder gegenwärtig gewähren, stieg die Biodieselproduktion massiv an und hat sich in Europa zwischen 2002 und 2004 beinahe verdoppelt (Tabelle 1). Die europäische Produktion erreichte 2004 fast 2 Mill. t, von denen Deutschland mehr als die Hälfte herstellte. 2005 wurden alleine in Deutschland knapp 2 Mill. t abgesetzt, von denen etwa drei Viertel aus inländischer Produktion stammten (VDB 2005: 5). Damit betrug der Anteil am gesamten Dieserverbrauch in Deutschland bereits rund 5,7 %. Dies ergibt sich, indem man den vom Mi-

neralölwirtschaftsverband (MWV 2005a) dokumentierten Verbrauch von 28,8 Mill. t im Jahr 2005 heranzieht. Legt man einen Energiegehalt von 42,6 GJ/t für fossilen Diesel und 37,3 GJ/t für Biodiesel zugrunde (JRC 2004: 23), ergibt sich insgesamt ein Dieserverbrauch von 1,30 Mrd. GJ, davon 73,7 Mill. GJ Biodiesel.

Tabelle 1:

Biodieselproduktion in der EU25 in 1000 t

Land	2002	2003	2004
Deutschland	450	715	1 035
Frankreich	366	357	348
Italien	210	273	320
Österreich	25	32	57
Dänemark	10	41	70
UK	3	9	9
Tschechien	-	-	60
Andere	1	7	29
Gesamt	1 065	1 434	1 933

Quelle: EBB 2005

Im Folgenden wird der Frage nachgegangen, welche Mengen an Ackerland für die Erreichung des 5,75 % Ziels in Europa benötigt werden. Um den Flächenbedarf zu bestimmen, beziehen wir uns auf Vorhersagen des Joint Research Centers der Europäischen Kommission, JRC (2004: 23). Demnach steigt der Dieselbedarf in der EU25 bis 2005 auf 159,9 Mill. t und bis 2010 auf 177,8 Mill. t (Tabelle 2). Wir nehmen an, dass das 2 %- respektive das 5,75 %-Ziel sowohl für Bioethanol als Substitut für fossiles Benzin als auch für Biodiesel als Substitut für fossilen Diesel erfüllt wird.

Zur Berechnung der notwendigen Biodieselmengen müssen die unterschiedlichen Heizwerte von fossilem Diesel und Biodiesel berücksichtigt werden, da sich die EU-Quoten auf den Energiegehalt der Treibstoffe beziehen. Die Energieäquivalente der JRC-Vorhersagen für den Dieselbedarf in den Jahren 2005 und 2010 betragen unter Berücksichtigung der obigen Heizwerte 6,81 bzw. 7,56 Mrd. GJ. Das 2 %-Ziel verlangt folglich ein Biodieselenergieäquivalent von 136,2 Mill. GJ bzw. eine Biodieselproduktion von rund 3,7 Mill. t bis 2005. Das 5,75 %-Ziel für 2010 würde etwa 11,7 Mill. t erfordern.

Geht man, wie das JRC (2004: 24), von einem Flächenertrag für Biodiesel von 45,6 GJ/ha aus, würde die Biodieselproduktion von 136,2 Mill. GJ im Jahr 2005 rund 3 Mill. ha Ackerland beanspruchen (Tabelle 2). Diese Fläche wurde 2004 alleine zur Rapsproduktion für die Nahrungsmittelindustrie benötigt.

Tabelle 2:

Flächenbedarf zur Erfüllung der EU-Ziele für Biodiesel (EU25).

	2005	2010
EU-Ziele	2 %	5,75 %
Geschätzter Dieserverbrauch	159,9 Mill. t	177,8 Mill. t
Energieäquivalent des Verbrauchs	6 812 Mill. GJ	7 574 Mill. GJ
Erforderlicher Biodieselanteil	136,2 Mill. GJ	435,5 Mill. GJ
Biodieselbedarf	3,7 Mill. t	11,7 Mill. t
Flächenbedarf	3,0 Mill. ha	9,0 Mill. Ha

Quellen: JRC 2004 und eigene Berechnungen

Die zu Grunde gelegten Flächenerträge stellen einen Durchschnittswert für die EU15 dar. Für die EU25 sind diese Werte sicherlich deutlich niedriger, so dass die von uns ermittelte Flächenbeanspruchung eher die Untergrenze darstellen dürfte. Eine ebenso konservative Schätzung für den Bedarf an Ackerland im Jahr 2010 ergibt etwa 9 Mill. ha. Diese Zahl beruht auf der Annahme des JRC (2004: 24), dass bis 2010 der Hektarertrag auf 48,3 GJ/ha ansteigen wird.

Tabelle 3 zeigt den entsprechenden Flächenbedarf für die erforderlichen Mengen an Bioethanol. Die Werte wurden auf Basis des Energiegehalts von Bioethanol (26,6 GJ/t) und Benzin (41,9 GJ/t) und den vom JRC (2004: 24) dokumentierten Flächenerträgen errechnet. 2005 entsprechen die Hektarerträge für Bioethanol aus Weizen 46 GJ/ha, aus Zuckerrüben 139,9 GJ/ha. Das JRC (2004: 24) erwartet bis 2010 eine Ertragssteigerung auf 47,5 GJ/ha bzw. 150,5 GJ/ha. Bei unseren Berechnungen gehen wir davon aus, dass Bioethanol zu 50 % auf Basis von Zuckerrüben und zu 50 % auf Basis von Weizen hergestellt wird. Die Flächenbeanspruchung würde sich stark reduzieren, wenn ausschließlich Zuckerrüben herangezogen würden: 2005 würden lediglich 0,8 Mill., 2010 nur 2,2 Mill. ha benötigt.

Tabelle 3:
Flächenbedarf zur Erfüllung der EU-Ziele für Bioethanol (EU25).

	2005	2010
EU-Ziele	2 %	5,75 %
Geschätzter Benzinverbrauch	133 Mill. t	139,1 Mill. t
Energieäquivalent des Verbrauchs	5.573 Mill. GJ	5.828 Mill. GJ
Erforderlicher Bioethanolanteil	111,5 Mill. GJ	335,1 Mill. GJ
Bioethanolbedarf	4,2 Mill. t	12,6 Mill. t
Flächenbedarf	1,6 Mill. ha	4,6 Mill. Ha

Quellen: JRC 2004 und eigene Berechnungen

Insgesamt wird deutlich, dass durch die Förderung dieser Biotreibstoffe große Mengen an Ackerland beansprucht werden, welches auch für traditionelle Zwecke gebraucht wird. Um das EU-Ziel für 2010 zu erfüllen, werden nach unseren Schätzungen 13,6 Mill. ha benötigt. Das entspricht 16,5 % des vom JRC (2004: 24) auf 82,4 Mio. ha geschätzten Ackerlandes der EU25. Unsere Schätzung erscheint dabei eher niedrig: Die Internationale Energieagentur (IEA) ermittelt, dass 2020 in der EU15 38 % des verfügbaren Ackerlandes zur Erzeugung von Biotreibstoffen benötigt werden, falls dadurch 10 % der fossilen Treibstoffe ersetzt würden (IEA 2004: 132).

Bedenken hinsichtlich möglicher Engpässe bei der verfügbaren Ackerfläche werden häufig mit dem Hinweis zu entkräften versucht, dass Stilllegungsflächen für die Produktion von Energiepflanzen genutzt werden könnten. Diese Stilllegungsflächen resultieren aus einer Vorgabe der Europäischen Kommission, gemäß der 10 % der landwirtschaftlich nutzbaren Fläche brach liegen oder zumindest nicht zur Nahrungsmittelproduktion genutzt werden sollen (JRC 2003: 45). Allerdings lässt die Qualität der Stilllegungsflächen nicht in allen Fällen den Anbau von Raps zu. Überdies übersteigt der von uns ermittelte Flächenanteil von 16,5 % für die Biotreibstoffproduktion im Jahr 2010 den obligatorischen Anteil an Stilllegungsflächen deutlich.

Auch das JRC (2003: 49) kommt zu dem Schluss, dass Biodieselhersteller gezwungen sind, Raps zu kaufen, der nicht auf Stilllegungsflächen angebaut wurde. In Deutschland benötigte die Biodieselproduktion 2005 insgesamt 680 000 ha, wobei lediglich 317 000 ha Stilllegungsfläche dafür genutzt wur-

den (UFOP 2005b: 4). Ungefähr die Hälfte des für die Biodieselproduktion verwendeten Raps wird somit abseits der Stilllegungsflächen angebaut. Konsequenz dessen ist eine wachsende Konkurrenz um Ackerland.

Aus der Begrenztheit an Flächen kann eine Obergrenze für die herstellbare Biodieselmenge berechnet werden. Dabei ist die drei- bis siebenjährige Fruchtfolge bei der Kultivierung der Rapspflanze zu berücksichtigen (IPT5 2003). Selbst wenn 100 % des Ackerlandes zum Rapsanbau herangezogen würden, wäre bei einer – eher optimistisch zu bezeichnenden – vierjährigen Fruchtfolge lediglich ein Viertel der Gesamtfläche verfügbar. Das gesamte Ackerland in der EU25 umfasst 82,4 Mill. ha, so dass unter dieser Annahme 20,6 Mill. ha zur Biodieselproduktion genutzt werden könnten. Bei einem Flächenertrag von 48,3 GJ/ha könnte darauf ein Energieäquivalent von 995 Mill. GJ Biodiesel produziert werden. Berücksichtigt man die Prognose des JRC (2004: 23) bezüglich des Bedarfs an fossilem Diesel im Jahr 2010 in Höhe von 7 574 Mill. GJ (Tabelle 2), würden diese 995 Mill. GJ eine Obergrenze für den Biodieselanteil von 13 % darstellen.

3. Ökologische Auswirkungen der Biodieselnutzung

Neben der Sicherung der Energieversorgung wird die Biodieselförderung vor allem mit der Schonung endlicher Ressourcen, vor allem fossiler Treibstoffe, begründet (Henke et al. 2005: 2618). Die Hoffnung, wertvolle fossile Treibstoffe durch die Verwendung von Biodiesel einzusparen, basiert darauf, dass das Pflanzenöl, aus dem Biodiesel gewonnen wird, durch Ausnutzung von Sonnenenergie entstanden ist (IFEU 2004: 15). Der folgende Abschnitt zeigt indessen, dass ein Liter Biodiesel nicht genau einen Liter konventionellen Diesel ersetzen kann.

3.1 Die Nettoenergiebilanz

Tatsächlich kann durch Biodiesel wesentlich weniger als 100 % des Energiegehalts von Diesel eingespart werden. Für dieses Ergebnis gibt es mehrere Gründe: Erstens weist Biodiesel mit 32,8 MJ pro Liter einen geringeren Energiegehalt auf als fossiler Diesel mit 35,7 MJ pro Liter (IEA 1999: 20). Ein Liter Biodiesel liefert somit die gleiche Energiemenge wie 0,92 Liter konventionellen Diesels. Anders ausgedrückt steigt der Treibstoffverbrauch um etwa 10 %, wenn anstelle des fossilen Diesels Biodiesel getankt wird. Für die folgenden Betrachtungen definieren wir entsprechend das Dieseläquivalent eines Liters Biodiesel als 0,92 Liter fossilen Diesels mit einem Energiegehalt von 32,8 MJ.

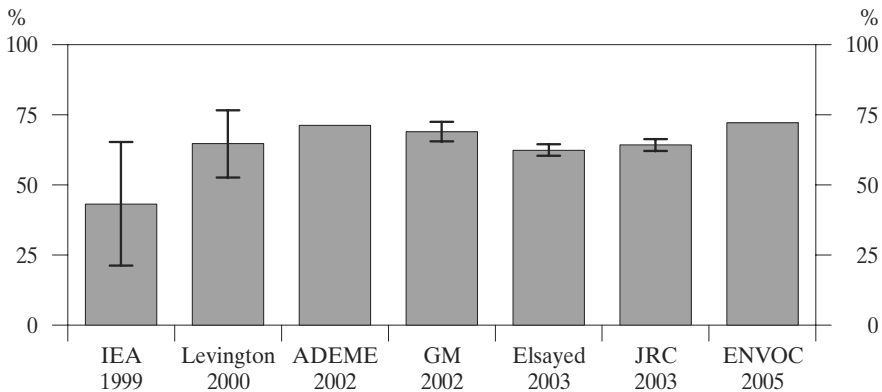
Zweitens benötigt man für die Raffinierung fossilen Rohöls zu Diesel weniger Energie als für die Verarbeitung von Raps zu Biodiesel, welche die

Pressung des Rapsöls und die Veresterung des Öls zu Rapsmethylester (RME) erfordert (IEA 1999, Levington 2000, ENVOC 2005). Drittens werden landwirtschaftliche Maschinen eingesetzt, um Raps anzubauen und zu ernten. Diese Maschinen werden gewöhnlich mit fossilem Treibstoff betrieben. Zweifellos muss in der Energiebilanz darüber hinaus die zur Herstellung der Düngemittel und Pestizide aufgewendete Energie berücksichtigt werden.

Unsere Untersuchung beruht auf zahlreichen Studien, die in den letzten Jahren zu Biodiesel durchgeführt wurden, unter anderem vom Joint Research Center der Europäischen Kommission (JRC 2003) und der Internationalen Energieagentur (IEA 2004). Die große Spannweite der in Abbildung 1 dargestellten Ergebnisse ist auf unterschiedliche Annahmen zurückzuführen, die in den Studien getroffen werden. Punktschätzer werden in Abbildung 1 durch Balken dargestellt, während die mit Hilfe dünner Linien gekennzeichneten Intervalle Minimum bzw. Maximum der jeweiligen Schätzung anzeigen. Alle Werte sind entweder direkt in den Studien genannt oder mit Hilfe des dort genannten Datenmaterials errechnet.

Abbildung 1:

Fossile Energieersparnis durch den Einsatz von Biodiesel.



Quellen: Siehe Literaturverzeichnis

Die Schätzwerte hängen stark davon ab, in welcher Weise die bei der Produktion von Biodiesel anfallenden Nebenprodukte wie Rapspresskuchen oder Glycerin durch Energiegutschriften berücksichtigt werden. Rapspresskuchen wird beispielsweise als Futtermittel verwendet. Glycerin fällt bei der Veresterung des Rapsöls an und kann petrochemisch erzeugtes Glycerin ersetzen. Neben Gutschriften für Nebenprodukte begründen unterschiedliche Annahmen über Flächenerträge, Produktionsverfahren sowie den Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden die große Schwankung bei den Ergebnissen.

Alle diese Energiebilanzen zeigen, dass Biodiesel alles andere als ein perfektes Substitut für fossilen Diesel ist. Bestenfalls werden ungefähr 60 % des konventionellen Treibstoffs eingespart, wenn Biodiesel an Stelle fossilen Diesels eingesetzt wird. Bei der Berechnung dieser Werte wurden sowohl die unterschiedlichen Heizwerte von Biodiesel und fossilem Diesel als auch der für Transport und Weiterverarbeitung von fossilem Diesel benötigte Energieaufwand berücksichtigt.

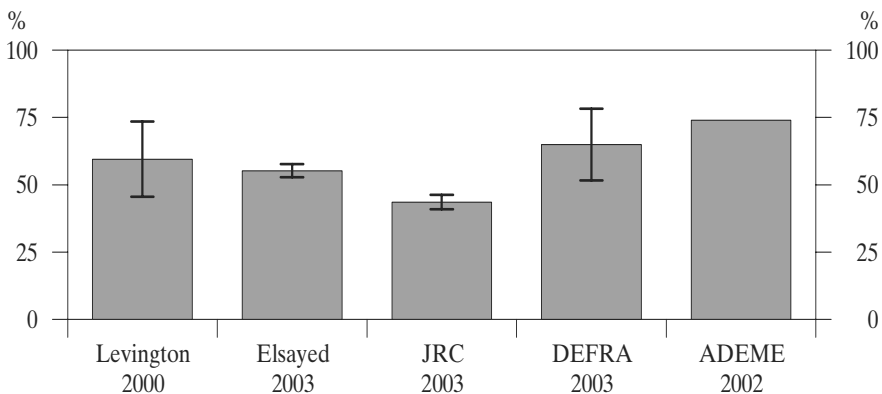
3.2 Die Nettotreibhausgasbilanz

Potenziell positive Umwelteffekte stellen das wichtigste Argument für die Biodieselförderung dar. In erster Linie soll der Ersatz fossiler Treibstoffe durch Biodiesel einen Beitrag zur Reduktion der THG-Emissionen, vor allem von Kohlendioxid (CO₂), leisten. Dieser positive ökologische Effekt basiert auf der Annahme der CO₂-Neutralität der Biotreibstoffe, deren Legitimität hier nicht in Frage gestellt wird. Beim Verbrennen dieser Kraftstoffe wird zwar CO₂ ausgestoßen. Dies geschieht jedoch im selben Maße, in dem das Klimagas während des Pflanzenwachstums gebunden wird.

Abbildung 2 präsentiert die Schätzungen verschiedener empirischer Studien zur Einsparung an THG-Emissionen. Dabei werden die sechs im Kioto-Protokoll genannten Klimagase betrachtet. Neben CO₂ sind dies zum Beispiel Methan und Lachgas (N₂O). Jedes der Gase wird seinem Klimaerwärmungspotenzial entsprechend berücksichtigt. Lachgas weist beispielsweise eine Klimawirksamkeit auf, die 310 Mal höher ist als die von Kohlendioxid (IEA 2001: III.3).

Abbildung 2:

Eingesparte Treibhausgasemissionen durch die Biodieselnutzung.



Quellen: Siehe Literaturverzeichnis

Die THG-Bilanzen hängen stark mit den oben dargestellten Energiebilanzen zusammen. Wiederum ist die beträchtliche Spannweite der Ergebnisse auf die unterschiedlichen Annahmen der Studien zurückzuführen. Besonders die Berücksichtigung von Nebenprodukten ist von entscheidender Bedeutung. Selbst bei Berücksichtigung von THG-Gutschriften für Nebenprodukte können durch den Einsatz von Biodiesel jedoch nicht 100 % der THG-Emissionen vermieden werden, sondern lediglich zwischen 41 % und 78 % der Emissionen, die bei der Verbrennung und Bereitstellung fossilen Diesels anfallen. Im Mittel beträgt die Reduktion rund 60 %.

Weitere Umweltwirkungen

Neben der Einsparung an THG-Emissionen müssen weitere ökologische Aspekte berücksichtigt werden. Dazu gehören vor allem die Folgen des Einsatzes von Düngemitteln und Pestiziden, auf welche beim Anbau der empfindlichen Rapspflanze kaum verzichtet werden kann. Die wohl wichtigste Rolle spielen dabei die Emissionen von Lachgas (Distickstoffmonoxid, N₂O), die auf den Einsatz von stickstoffhaltigen Düngemitteln zurückzuführen sind (Reinhardt, Jungk 2001: 4).

Lachgas trägt nicht nur zur Klimaerwärmung, sondern auch zur Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht bei. Darüber hinaus stören Düngemittel das Säuregleichgewicht des Erdbodens. Dieses Problem geht vor allem auf Schwefeldioxid (S₂O) und Stickoxide (NO_x) zurück (IFEU 2003: 5). Überdies führt der Düngemiteleintrag zur Eutrophierung, dem überhöhten Nährstoffeintrag in Oberflächengewässer, der beispielsweise verstärktes Algenwachstum auslösen kann. Der Einsatz von Pestiziden kann schließlich toxische Wasserverschmutzung hervorrufen (IFEU 2003: 5).

Man könnte einwenden, dass auch der Anbau anderer landwirtschaftlicher Produkte wie Weizen Düngemittel und Pestizide erfordert (EC 2004b) – wengleich weniger als Raps (IVA 2004). Dieser Einwand verliert jedoch an Bedeutung, wenn der Raps auf Stilllegungsflächen angebaut wird oder wenn die Alternative zu Raps andernorts angebaut werden muss, um den Nahrungsmittelbedarf zu decken. Tabelle 4 fasst die wesentlichen quantifizierbaren ökologischen Auswirkungen des Biodieseleinsatzes zusammen.

Ob Biodiesel die Ozonkonzentration in Bodennähe reduzieren kann, ist unklar (IFEU 2004: 27). Erhöhte Ozonkonzentrationen sind als Sommermog bekannt. Schließlich ist anzumerken, dass Biodiesel zwar zu weniger Schwefeldioxid- und Partikelemissionen führt, diese aber nicht entscheidend reduziert und damit keine bedeutend bessere Alternative zu Dieselfiltern darstellt. Im Übrigen ist die Nutzung von reinem Biodiesel in Fahrzeugen mit Dieselfilter nicht möglich (Köpke 2005: 4).

Tabelle 4:
Umweltwirkungen von Biodiesel

Umweltwirkung	Vorteile von Biodiesel	Nachteile von Biodiesel
Ressourcenverbrauch	Einsparung fossiler Energie	Verbrauch mineralischer Rohstoffe (v.a. durch Düngemittelnutzung)
Klimaerwärmung	Geringere THG-Emissionen	
Versauerung		Stärkere Versauerung
Abbau der Ozonschicht		Höhere N ₂ O-Emissionen
Eutrophierung		Höhere NO _x -Emissionen
Human- und Ökotoxizität	Geringere Partikelemissionen, geringere SO ₂ -Emissionen	Wasserverschmutzung durch Pestizide

Quelle: Reinhardt, Jungk 2001

Summa summarum spricht nur die Schonung endlicher Ressourcen und die Einsparung von Klimagasen klar für Biodiesel. Der positive Eindruck, den politische Entscheidungsträger häufig von Biodiesel haben, resultiert vor allem aus der Reduzierung von Klimagasen und der bedeutenden Rolle, die dem Klimaschutz in der heutigen Umweltpolitik beigemessen wird. Eine umfassende Betrachtung aller ökologischen Folgen liefert jedoch alles andere als ein eindeutig positives Ergebnis: „Eine objektive Entscheidung für oder gegen Rapskraftstoff kann daher nicht getroffen werden“ (Reinhardt 2005: 78). Dies liegt vor allem an den Emissionen von Lachgas (N₂O), die zur Zerstörung der Ozonschicht beitragen.

4. Ökonomische Auswirkungen der Biodieselförderung

In diesem Abschnitt untersuchen wir einige ökonomische Konsequenzen einer verstärkten Biodieselproduktion. Dazu gehören in erster Linie die Steuerausfälle, die sich bei Erfüllung des EU-Ziels für 2010 durch die Steuerergünstigungen für Biodiesel in den unterschiedlichen Ländern ergeben würden, aber ebenso Nebeneffekte wie steigende Nahrungsmittelpreise durch stärkeren Wettbewerb um Ackerland.

Tabelle 5 dokumentiert die Steuerausfälle der für die Biodieselproduktion bedeutendsten EU-Länder. 2004 betrug diese ungefähr 737 Mill. €, wobei Deutschland mit 508 Mill. € die größten Ausfälle zu verzeichnen hatte. Oh-

ne steuerliche Subventionen könnte sich Biodiesel gegen die fossilen Alternativen nicht durchsetzen: Die Produktionskosten belaufen sich auf 0,61 €/l Dieseläquivalent, während die Produktion konventionellen Diesels 0,24 €/l kostet (UFOP 2005a: 1).

Bis 2010 werden die Steuerausfälle noch deutlich ansteigen, sollte das EU-Ziel von 5,75 % wirklich erreicht werden. Zur Berechnung der zukünftigen Steuerausfälle unterstellen wir die aktuell gültigen Steuervergünstigungen der bedeutendsten Produzentenländer in der EU und deren Anteile an der Biodieselproduktion aus Tabelle 1. Auf dieser Basis ergibt sich ein gewogenes Mittel für die Steuerbefreiung von 0,41 €/l. Legt man den in Tabelle 2 dargestellten Biodieselbedarf in Höhe von 11,7 Mill. t bzw. 13,3 Mrd. l für 2010 zugrunde, ergibt sich ein Steuerausfall in der EU25 von rund 5 Mrd. €. Dieses Ergebnis ergibt sich durch Multiplikation der gemittelten Steuerbefreiung von 0,41 €/l mit dem Dieseläquivalent der 13,3 Mrd. l Biodiesel, das sich auf 12,2 Mrd. l fossilen Diesels beläuft.

Tabelle 5:

Steuervergünstigungen und geschätzte Steuerausfälle im Jahr 2004.

Land	Steuer- vergünstigung in €/l	Biodiesel, Mill. l	Ersetzter Diesel, Mill. l	Steuerausfall, Mill. €
Deutschland	0,47 €	1 176	1 080	507,6
Frankreich	0,33 €	395	363	119,8
Italien	0,29 €	364	334	96,9
Tschechien	0,10 €	68	62	6,2
Spanien	0,29 €	15	14	4,1
UK	0,28 €	10	9	2,5

Quellen: Europäische Kommission, EC (2004), European Biodiesel Board, EBB (2005), Economist (2005).

Für Deutschland ist davon auszugehen, dass 2010 die Subventionen 1 Mrd. € übersteigen werden. Dabei greifen wir auf die vom MWV (2005b: 6) erstellte Prognose für den Dieserverbrauch von 37,5 Mrd. l für 2010 zurück. Die 5,75 %-Vorgabe verlangt, dass 2,2 Mrd. l an fossilem Diesel ersetzt werden. Multipliziert man die zu ersetzende Menge fossilen Diesels mit der Mineralölsteuer auf Diesel von 0,47 €/l, erhält man einen Steuerausfall von ca. 1 Mrd. €. Dieser Betrag würde sich mehr als verdoppeln, wenn auch für

Bioethanol das 5,75 %-Ziel erreicht würde, da die Mineralölsteuer für Benzin wesentlich höher ist als für Diesel.

Darüber hinaus sind weitere Folgen der Biodieselförderung denkbar: Die Preise für Raps und darauf basierender Produkte könnten sich durch die steigende Nachfrage nach diesem Rohmaterial erhöhen (IEA 2004: 94). Während dies positive Auswirkungen auf den landwirtschaftlichen Sektor hätte und damit der Richtlinie 2003/30/EC entspräche, ist der Nettoeffekt auf die gesamte Volkswirtschaft unklar (IEA 2004: 177). So bedeuten steigende Pflanzen- und Nahrungsmittelpreise einen Wohlfahrtsverlust für die Konsumenten (IEA 2004: 21). Außerdem steigt durch die wachsende Biodieselproduktion die Menge der dabei anfallenden Nebenprodukte wie Rapspresskuchen. Da dieser als Futtermittel verwendet wird, sinken wegen des zusätzlichen Angebots deren Preise (IEA 2004: 95).

Es ist überdies möglich, dass nicht nur Preise für Raps und verwandte Produkte steigen, sondern für landwirtschaftliche Produkte insgesamt. Walsh et al. (2002) zeigen für den US-Agrarsektor, dass die steigende Nachfrage nach bestimmten landwirtschaftlichen Produkten wie Raps nicht nur deren Preis in die Höhe treibt, sondern auch die Preise anderer Pflanzen ansteigen lässt, wenn diese um dasselbe, knappe Ackerland konkurrieren (IEA 2004: 95). Derartige Preiseffekte sind sehr wahrscheinlich, da Raps nicht ausschließlich auf Stilllegungsflächen angebaut werden kann, wie in Abschnitt 2 gezeigt wurde. Diese Flächen würden nicht ausreichen, sollten die EU-Ziele bis 2010 tatsächlich verwirklicht werden.

5. Alternative Möglichkeiten

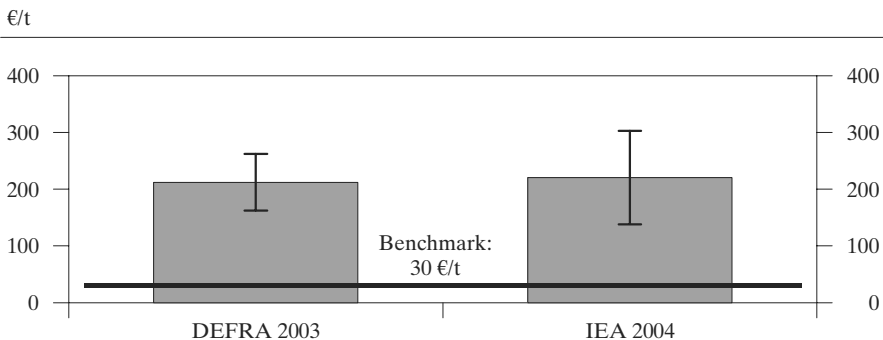
In diesem Abschnitt zeigen wir, dass Biodiesel keine kosteneffiziente Strategie zur Emissionsvermeidung darstellt und präsentieren wesentlich effizientere Alternativen zur Reduktion klimawirksamer Gase. Anreize zur Umsetzung kostengünstigerer Emissionsvermeidungsstrategien zu setzen, ist die wesentliche Aufgabe des seit 2005 bestehenden EU-weiten Emissionshandelssystems (ETS). Es wird als das wichtigste Instrument zur Erfüllung der europäischen Verpflichtungen im Rahmen des Kioto-Protokolls angesehen. Unter Ökonomen ist unumstritten, dass mit Hilfe des Handels mit Zertifikaten Emissionen zu den geringsten Kosten vermieden werden können (Böhringer and Löschel 2002).

Die Preise für Emissionshandelszertifikate stellen eine perfekte Messlatte dar, um Strategien zum Klimaschutz ökonomisch zu bewerten. Es werden im Rahmen des Emissionshandels nur solche Vermeidungsstrategien durchgeführt, deren Kosten unter dieser Messlatte liegen. Böhringer/Löschel (2002) bzw. Klepper/Peterson (2004) prognostizieren mittelfristig einen

Zertifikatspreis von 30 €/t, den wir im Folgenden als Messlatte zur Bewertung der Kosteneffizienz von Klimaschutzmaßnahmen wie die Biodieselförderung heranziehen.

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, übersteigen die Kosten der CO₂-Vermeidung durch den Biodieseleinsatz diese Messlatte deutlich.¹ Selbst die optimistischste Schätzung, die durch die Untergrenze des von der IEA (2004) errechneten Intervalls gegeben ist, liegt ungefähr 100 €/t über der mittelfristigen Benchmark von 30 €/t. Die Steuervergünstigungen, die Biodiesel in vielen europäischen Ländern genießt, sind somit auch unter den mit dem Emissionshandel geschaffenen Marktbedingungen unerlässlich. Auf absehbare Zeit ist Biodiesel weit davon entfernt, eine kosteneffiziente Klimaschutzstrategie zu sein. Dänemark lehnt daher mit Verweis auf die Ineffizienz von Biotreibstoffen die empfohlene Förderung durch eine Mineralölsteuerbefreiung ab (EC 2004c: 3).

Abbildung 3:
THG-Vermeidungskosten für Biodiesel.



Quellen: Siehe Literaturverzeichnis.

Es gibt zahlreiche wirtschaftlichere Möglichkeiten, den Ausstoß klimawirksamer Gase zu reduzieren. Dazu gehören bestimmte Erneuerbare Energien ebenso wie Effizienz steigernde Maßnahmen für konventionelle Kraftwerke und andere Biokraftstoffe. Bioethanol, das in Brasilien aus Zuckerrohr hergestellt wird, ist unter Umständen sogar billiger als Benzin (IEA 2004: 77). Dadurch könnten sich die CO₂-Vermeidungskosten für brasilianisches Bioethanol sogar als „negativ“ erweisen. In Europa hingegen wird Bioethanol vor allem aus Zuckerrüben und Weizen hergestellt und ist Biodiesel in Bezug auf CO₂-Vermeidungskosten unterlegen (Abbildung 4).

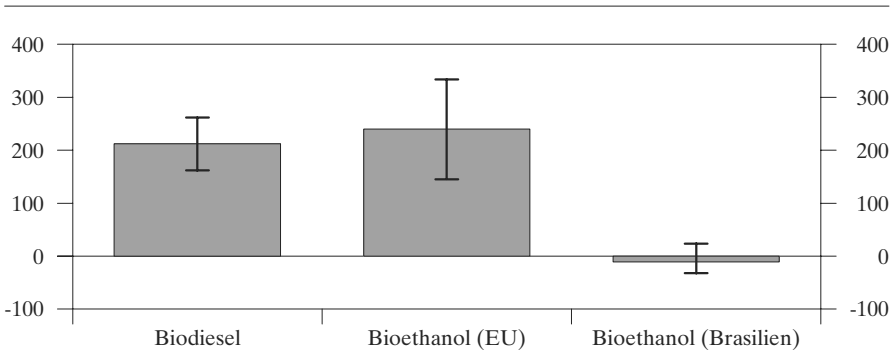
¹ Der Einsatz von Rapsöl an Stelle von Biodiesel (RME) wäre wegen geringerer Produktionskosten zwar billiger, ist jedoch praktisch nicht realisierbar: Die Umrüstungskosten für Motoren und Infrastruktur sind prohibitiv hoch (IPTs 2003).

Neben anderen Biokraftstoffen gibt es weitere Alternativen zur CO₂-Vermeidung, die ebenfalls auf Biomasse basieren, aber Biodiesel potenziell überlegen sind: Gemäß Daten von Hartmann/Kaltschnitt (2002) wäre der Einsatz von Biomasse wie Schilf (*Miscanthus*), Pappeln oder Restholz zur Stromerzeugung mit Blick auf THG-Vermeidung wesentlich günstiger als die Biodieselstrategie (Abbildung 5).

Abbildung 4:

THG-Vermeidungskosten ausgewählter Biokraftstoffe.

€/t

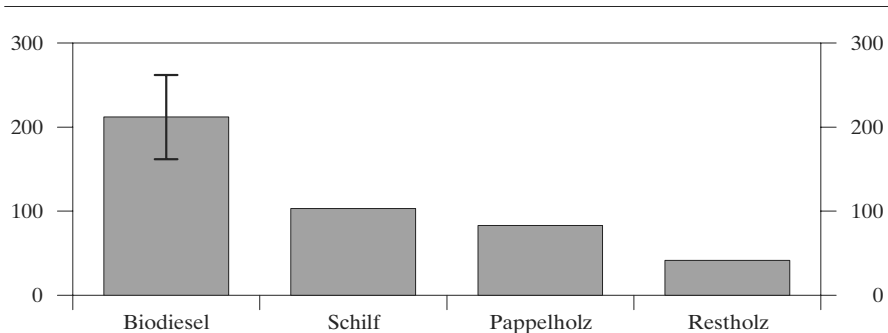


Quelle: Biodiesel, DEFRA 2003; Bioethanol EU, Schmitz 2005; Bioethanol Brasilien, IEA 2004: 93 und eigene Berechnungen.

Abbildung 5:

THG-Vermeidungskosten von Biodiesel gegenüber alternativen Biomasseoptionen zur Stromerzeugung.

€/t



Quelle: Biodiesel, DEFRA 2003; Schilf, Pappel- und Restholz, Hartmann, Kaltschnitt 2002.

Derartige Biomasseoptionen werden in Europa nicht in großem Rahmen angewendet und kommen auch im Rahmen des Emissionshandels wegen zu

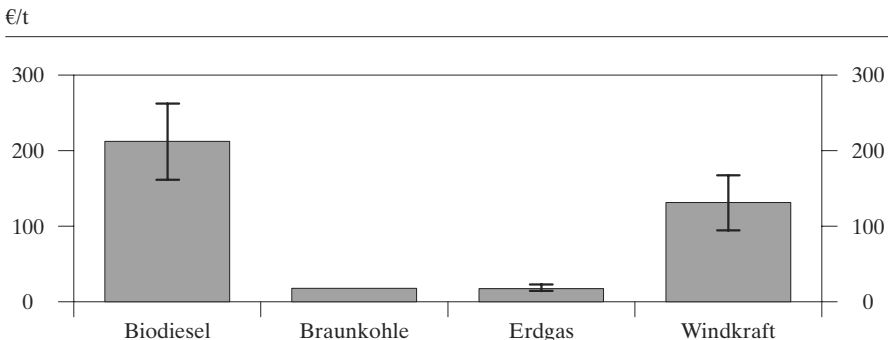
hoher Vermeidungskosten nicht zum Zuge. Sie benötigen deshalb Fördermaßnahmen wie beispielsweise Einspeisevergütungen.

Effizienzsteigerungen konventioneller Kraftwerke sind hingegen Vermeidungsmaßnahmen, die sehr wahrscheinlich durch den Emissionshandel ausgelöst werden. Darauf deuten zumindest die Ankündigungen von Kraftwerksbetreibern hin, neue Kraftwerke zu bauen und Modernisierungsmaßnahmen an bestehenden durchzuführen.

Wie Abbildung 6 zeigt, ist es günstiger, CO₂-Emissionen zu reduzieren, indem der Wirkungsgrad eines Braunkohle- oder Gaskraftwerks erhöht wird, als durch Biodiesel (Markewitz, Vögele 2004: 601). Selbst die Windenergie, die finanzielle Unterstützung durch Einspeisevergütungen genießt, weist geringere Vermeidungskosten auf (dena 2005).

Abbildung 6:

THG-Vermeidungskosten von Biodiesel gegenüber Windenergie und Effizienzsteigerung konventioneller Kraftwerke.



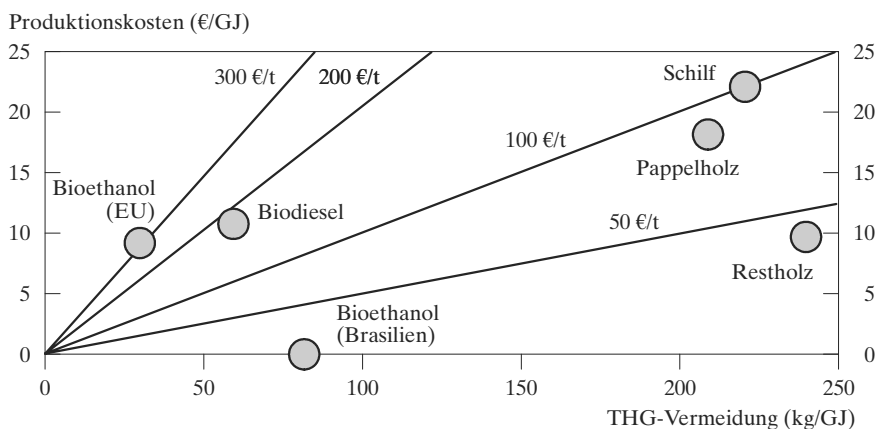
Quelle: Dena 2005; Markewitz, Vögele 2004; DEFRA 2003.

Für die Zukunft wird häufig große Hoffnung in Biokraftstoffe gesetzt, die synthetisch aus Energiepflanzen gewonnen werden. Dazu gehören Biodiesel, der durch Fischer-Tropsch Synthese aus Biomasse – häufig auch Biomass-to-Liquid (BtL) genannt – erzeugt wird sowie Bioethanol, das auf Basis zellulosehaltiger Biomasse hergestellt wird. Die IEA (2004: 94) kommt zu dem Schluss, dass die synthetischen Verfahren ein viel versprechendes Kostensenkungspotenzial bieten. Darüber hinaus könnten die höheren Flächenerträge das Problem des knappen Ackerlandes mildern (DfT 2003: 60). Dies ist damit zu begründen, dass diese Verfahren die ganze Pflanze zur Treibstoffgewinnung nutzen, während für Biodiesel lediglich die ölhaltigen Teile von Raps verwendet werden. Die Methoden finden jedoch bislang keine breite Anwendung, und verlässliche Vorhersagen für zukünftige THG-Vermeidungskosten liegen nicht vor.

Aus all dem dürfte deutlich geworden sein, dass in Hinblick auf THG-Vermeidung wesentlich effizientere Alternativen zu Biodiesel existieren (Abbildung 7). Effizienzsteigerungen konventioneller Kraftwerke stellen dabei bezüglich der THG-Vermeidungskosten die günstigste Alternative dar. Diese Maßnahmen werden bereits im Rahmen des Emissionshandels umgesetzt. Brasilianisches Bioethanol könnte eine weitere Erfolg versprechende Option für den europäischen Markt sein, wenn dessen Import nicht durch einen Zoll in Höhe von 19,2 ct/l belastet würde (Henke et al. 2005: 2620).

Abbildung 7:

Zusammenhang zwischen Produktionskosten und THG-Vermeidung



6. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Um die von der EU-Direktive 2003/30/EC für die Jahre 2005 und 2010 vorgesehenen Biokraftstoffanteile von 2 % bzw. 5,75 % zu erreichen, setzen die europäischen Länder neben Bioethanol als Ersatz für Benzin gegenwärtig vor allem auf die Verwendung von Biodiesel anstelle fossilen Diesels. Die keineswegs verbindlichen EU-Ziele werden mit potenziell positiven Umwelteffekten, vor allem der Vermeidung von Treibhausgasen (THG), der Verbesserung der Energieversorgungssicherheit und positiven wirtschaftlichen Auswirkungen auf den landwirtschaftlichen Sektor begründet. Allerdings sind in Europa gegenwärtig weder Bioethanol noch Biodiesel wettbewerbsfähig. Diesen Biotreibstoffen werden daher in zahlreichen europäischen Ländern Steuervergünstigungen gewährt.

In dieser Studie haben wir die ökologischen und ökonomischen Aspekte untersucht, die mit dem verstärkten Einsatz von aus Raps gewonnenem Biodiesel einhergehen. Unsere Untersuchung einer Reihe von Lebenszyklusanalysen ergibt, dass derart produzierter Biodiesel nicht 100 % der im ersetzten Diesel enthaltenen Energie einspart, sondern lediglich rund 60 %. Darüber hinaus zeigen die bislang erstellten THG-Bilanzen, dass die Emissionen nur um etwa 60 % reduziert werden können. Dieses Potenzial und die Fokussierung der Umweltpolitik auf den Klimawandel begründen auch das positive Licht, in dem zahlreiche politische Entscheidungsträger Biodiesel sehen. Die Ökobilanz, in der zusätzlich zu den THG-Emissionen auch andere Umweltwirkungen Berücksichtigung finden, ist jedoch keinesfalls eindeutig positiv. Dies ist vor allem auf Lachgasemissionen zurückzuführen, die zum Abbau der Ozonschicht beitragen.

Der umweltpolitischen Schwerpunktsetzung Rechnung tragend, haben wir aber vor allem die Klimaschutzaspekte betrachtet, anstatt eine umfassende Kosten-Nutzen-Analyse durchzuführen. Da die Quantifizierung sämtlicher ökonomischer und ökologischer Auswirkungen sehr schwierig ist, bleibt dies eine wichtige Herausforderung für zukünftige Forschungstätigkeiten auf diesem Gebiet.

Zentrales Ergebnis ist: Biodiesel ist keine kosteneffiziente Strategie zur THG-Emissionsvermeidung, denn die Vermeidungskosten liegen bei etwa 200 €/t und damit weit über der Schwelle, bei der der Biodieseleinsatz durch das EU-weite Emissionshandelssystem forciert wird. Vielmehr benötigt Biodiesel weiterhin Fördermaßnahmen wie die in der EU-Direktive 2003/96/EC empfohlenen Steuervergünstigungen. Die dadurch in der EU25 verursachten Steuerausfälle lassen sich für 2004 auf 736 Mill. € veranschlagen, wovon Deutschland ungefähr 500 Mill. € trägt. Bis 2010 könnten diese Steuerausfälle EU-weit auf bis zu 5 Mrd. € pro Jahr ansteigen.

Darüber hinaus haben wir gezeigt, dass die Flächen, die für den Anbau der Rohstoffe der Biokraftstoffproduktion benötigt werden, die verfügbaren Stilllegungsflächen der EU25 deutlich übersteigen. Dies kann zu verstärktem Wettbewerb um Ackerboden führen. Insbesondere wird die landwirtschaftliche Nahrungsmittelerzeugung mit der Pflanzenproduktion für Biotreibstoffe konkurrieren. Infolgedessen könnten die Preise für Rapsöl und der darauf basierenden Produkte steigen.

Abschließend haben wir effizientere Alternativen zur Vermeidung von THG-Emissionen sowohl auf Basis konventioneller als auch Erneuerbarer-Energie-Technologien vorgeschlagen. Die Erzeugung von Strom auf Basis schnell wachsender Pflanzen wie Schilf oder Pappeln ist zwar verglichen mit konventionellen Methoden ebenfalls nicht wettbewerbsfähig. Dennoch könnte dies eine im Vergleich zu Biodiesel kostengünstigere Alternative zur

Emissionsvermeidung darstellen, die darüber hinaus die politisch gewünschten neuen Einnahmequellen für den landwirtschaftlichen Sektor schaffen und Arbeitsplätze erhalten könnten. Würde der Anbau dieser Pflanzen auf die EU-Stilllegungsflächen beschränkt bleiben, bliebe auch der Wettbewerb um Ackerland aus. Zugleich könnte damit ein Beitrag zur Erreichung des 22 %-Ziels der EU-Kommission für den Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung bis 2020 geleistet werden. Die gegenwärtige Politik in der Bundesrepublik, die zum einen mittels Einspeisevergütungen die Stromerzeugung aus Biomasse unterstützt und zum anderen durch Steuerbefreiungen die Biokraftstoffproduktion, führt indessen zu Konkurrenz um knappes Ackerland, da Stromerzeugung und Biotreibstoffe um die gleiche Biomasse konkurrieren (VIEWLS 2005: 1).

Anstatt Steuerausfälle von bis zu 5 Mrd. € für die Biotreibstoffförderung im Jahr 2010 in Kauf zu nehmen, wäre es eher angemessen, mit einem Teil dieses Geldes die Ausgaben für Forschung und Entwicklung (F&E) im Bereich neuer, synthetischer Biotreibstoffe zu erhöhen. Technologien wie die Biodiesलगewinnung mittels Fischer-Tropsch Synthese ermöglichen die Nutzung einer größeren Anzahl von Rohstoffen. Letztlich könnten diese F&E-Bemühungen in Kombination mit hohen Rohölpreisen die neuen Biotreibstofftechnologien zu einer wettbewerbsfähigen Alternative machen. Da derartige Biotreibstoffe laut VIEWLS (2005: 3) die Emissionen im Vergleich zu fossilen Treibstoffen um bis zu 90 % reduzieren können, würde zugleich auch ein höherer Beitrag zum Klimaschutz gewährleistet.

Literaturverzeichnis

2003/30/EC Directive of the European Parliament and of the Council on the Promotion of the Use of Biofuels or other Renewable Fuels for Transport, Europäische Kommission, Brüssel.

europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2003/l_123/l_12320030517en00420046.pdf

2003/96/EC Council Directive restructuring the Community framework for the taxation of energy products and electricity, Europäische Kommission, Brüssel.

europa.eu.int/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&type_doc=Directive&an_doc=2003&nu_doc=0096&lg=EN

ADEME (2002) Energy and Greenhouse Gas Balances of Biofuels Production Chains in France. Direction of Agriculture and Bioenergies of the French Environment and Energy Management Agency (ADEME) and the French Direction of the Energy and Mineral Resources (DIREM), Paris.

www.ademe.fr/partenaires/agrice/publications/documents_anglais/synthesis_energy_and_greenhouse_english.pdf

Böhringer, C. and A. Löschel (2002) Assessing the Costs of Compliance: The Kyoto Protocol, *European Environment* 12, 1-16.

DEFRA (2003) Liquid Biofuels – Industry Support, Cost of Carbon Davings and Agricultural Implications. Prepared for the Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA).

www.defra.gov.uk/farm/acu/research/reports/biofuels_industry.pdf

dena (2005) Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020. Deutsche Energie Agentur, Berlin.

DLR (2000) Globale Umweltvorteile bei Nutzung von Elektroantrieben mit Brennstoffzellen und/oder Batterien im Vergleich zu Antrieben mit Verbrennungsmotor. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Stuttgart 2000.

DfT (2003) Liquid Biofuels and Hydrogen from Renewable Resources in the UK to 2050: A Technical Analysis. An Assessment of the Implications of Achieving Ultra-low Carbon Road Transport. Carried out for the UK Department for Transport (DfT) by E4Tech UK Ltd, December 2003.

EBB (2005) European Biodiesel Board – Statistics, www.ebb-eu.org/stats.php.

Economist (2005) Stirrings in the Corn Fields – Special Report Biofuels, *The Economist*, May 14th 2005, 67- 69.

EC (2001a) Green Paper – Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply, Europäische Kommission, Brüssel.

europa.eu.int/comm/energy_transport/doc-principal/pubfinal_en.pdf

EC (2001b) Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on Alternative Fuels for Road Transportation and on a Set of Measures to Promote the Use of Biofuels. COM/2001/547. Europäische Kommission, Brüssel.

EC (2004a), Member States Reports in the frame of Directive 2003/30/EC, Europäische Kommission, Brüssel.

europa.eu.int/comm/energy/res/legislation/biofuels_members_states_en.htm.

EC (2004b) Statement on the implementation of the EU Biofuels Directive. Denmark report for the European Commission on the implementation of European Parliament and Council Directive 2003/30/EC, Europäische Kommission, Brüssel.

europa.eu.int/comm/energy/res/legislation/doc/biofuels/member_states/2003_30_da_report_en.pdf

Elsayed, M.A., R. Matthews, N.D. Mortimer (2003): Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuels Options.
www.dti.gov.uk/renewables/publications/pdfs/bb600784.pdf

ENVOG (2005) Energy-Based Efficiency and Renewability Assessment of Biofuel Production. *Environmental Science & Technology* 39 (10), 3878-3882.

Faaij, A.P.C. (2005) Bio-energy in Europe: Changing Technology Choices. *Energy Policy*, forthcoming.

GM (2002), GM Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems – A European Study, General Motors, Ottobrunn.
www.lbst.de/gm-wtw

Hartmann, H. and M. Kaltschmitt (2002) Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Landwirtschaftsverlag, Münster.

Henke, J.M., G. Klepper, and N. Schmitz (2005) Tax Exemption for Biofuels in Germany: Is bio-ethanol Really an Option for Climate Policy. *Energy* 30, 2617-2635.

IEA (1999) Automotive Fuels for the Future – The Search for Alternatives. International Energy Agency, Paris.

IEA (2001), CO₂-Emissions from Fuel Combustion, 1971-1999. International Energy Agency, OECD, Paris.

IEA (2004) Biofuels for Transport. International Energy Agency, Paris.

IFEU (2003) Erweiterung der Ökobilanz für RME. Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg (IFEU).
www.ifeu.de/englisch/agri/download/rme-2003.pdf

IFEU (2004) CO₂ Mitigation through Biofuels in the Transport Sector – Status and Perspectives. Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg (IFEU).
www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/20040801_gen-351.pdf

IPTS (2003) Unmodified Vegetable Oil as an Automotive Fuel. IPTS Report, Volume 74, May 2003.
www.jrc.es/home/report/english/articles/vol74/TRAI1E746.htm

IVA (2004) Wichtige Zahlen – Düngemittel – Produktion, Markt, Landwirtschaft, 2003-2004. Industrieverband Agrar, 2004, Frankfurt.

www.iva.de/pdf/wiza0304.pdf

JRC (2003) Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context. Well-to-Tank Report, Version 1. EU-CAR, CONCAWE, Joint Research Centre.

ies.jrc.cec.eu.int/Download/eh

JRC (2004) Biofuel Potentials in the EU. Institute for Prospective Technological Studies, Joint Research Center.

[www.europarl.eu.int/stoa/ta/renewable_energies/biomass/biofuel2\(ipts\).pdf](http://www.europarl.eu.int/stoa/ta/renewable_energies/biomass/biofuel2(ipts).pdf)

Klepper, G and S. Peterson (2004), The EU Emission Trading Scheme: Allowance Prices, Trade Flows, Competitiveness Effects. Kiel Working Paper No. 1195.

www.uni-kiel.de/ifw/pub/kap/2004/kap1195.htm

Köpke, R. (2005) Mehr Flower-Power im Tank, Energie & Management, 15. Mai 2005, 4.

Levington (2000) Energy Balances in the Growth of Oilseed Rape for Biodiesel and of Wheat for Bioethanol. Levington Agriculture Report for the British Association for Bio Fuels and Oils.

www.senternovem.nl/mmfiles/27781_tcm24-124189.pdf

Markewitz, P. and S. Vögele (2004) Technikspezifische CO₂ – Vermeidungskosten. Eine geeignete Bewertungsgröße für Treibhausgasminierungs-Maßnahmen, Energiewirtschaftliche Tagesfragen 54 (9), 601-605.

MWV (2005a) Mineralölabsatzzahlen, Mineralölwirtschaftsverband, Hamburg, Dezember 2005.

<http://www.mwv.de/Statistik.html>

MWV (2005b) MWV Prognose 2020 für die Bundesrepublik Deutschland, Mineralölwirtschaftsverband, Hamburg, Mai 2005.

www.mwv.de/Download%5CPrognose.pdf

Pimentel, D. und T.W. Patzek (2005): Ethanol Production Using Corn, Switchgrass and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. Natural Resources Research, 14 (1), 65-75.

Reinhardt, G. (2005): Ökobilanz: Rapsöl in den Tank? Erneuerbare Energien, 12/2005, 76-78.

Reinhardt, G. and N. Jungk (2001) Pros and Cons of RME compared to conventional Diesel Fuel. Institut für Energie und Umweltforschung Hei-

delberg (IFEU).

[biodiesel.pl/uploads/media/Pros and cons of RME compared to conventional diesel fuel.pdf](http://biodiesel.pl/uploads/media/Pros_and_cons_of_RME_compared_to_conventional_diesel_fuel.pdf)

Schmitz, N. (2005) Innovationen bei der Bioethanolerzeugung, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 26, Landwirtschaftsverlag, Münster.

UFOP (2005a) Marktinformation Ölsaaten und Biokraftstoffe, Union for the Promotion of Oil and Protein Plants, April 2005.

www.ufop.de/download/MI_04_05.pdf

UFOP (2005b) Marktinformation Ölsaaten und Biokraftstoffe, Union for the Promotion of Oil and Protein Plants, May 2005.

www.ufop.de/download/MI_05_05.pdf

VDB (2005) Biodiesel – Unverzichtbar für eine nachhaltige Mobilität, Verband der deutschen Biokraftstoffindustrie, Berlin.

<http://www2.biodieserverband.de/downloads/372/filename>

VIEWLS (2005), Biofuel and Bio-energy implementation scenarios. Final report of VIEWLS WP5, modelling studies. Published within the framework of the European Commission-supported project “Clear Views on Clean Fuels” (NNE-2001-00619).

www.nobio.no/fileupl/VIEWLS%20WP5%20final%20report%2020053107.doc

Walsh, M.E. et al. (2002) The Economic Impacts of Bioenergy Crop Production on U.S. Agriculture. Report prepared for the U.S. Department of Energy and the U.S. Department of Agriculture.

bioenergy.ornl.gov/papers/misc/eco_impacts.html