

ÖKOBILANZ VON BIOETHANOL

EINE LITERATURSTUDIE

Dörte Bernhardt



Zusammenfassung

Die Studie „Ökobilanz von Bioethanol“ gibt einen Überblick über vorhandene Ökobilanzstudien zu Ethanol und fasst die wesentlichen Erkenntnisse zusammen. Die Literaturlauswertung erfolgte im Rahmen des Dialogprojektes von Germanwatch zum Thema „Süßer Sprengstoff für die entwicklungspolitische und ökologische Debatte“. Die Studie kommt zu den Ergebnissen, dass Biokraftstoffe und auch Ethanol einen Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen leisten können, aber der nachhaltige Anbau durch z.B. großen Flächenverbrauch problematisch bleibt. Zur Beurteilung verschiedener wirtschaftlich interessanter Ökobilanzoptionen sind jedoch noch ergänzende Analysen notwendig. Die Ethanolnutzung eröffnet die Möglichkeit zur Verringerung der Abhängigkeit von Öl und Devisen in Nord und Süd.

Impressum

Autorin:

Dörte Bernhardt

Herausgeber:

Germanwatch e.V.

Büro Bonn

Dr. Werner-Schuster-Haus

Kaiserstr. 201

D-53113 Bonn

Telefon 0228/60492-0, Fax -19

Büro Berlin

Voßstr. 1

D-10117 Berlin

Telefon 030/288 8356-0, Fax -1

Internet: <http://www.germanwatch.org>

E-mail: info@germanwatch.org

September 2006

Bestellnr.: 06-1-12

ISBN 3-939846-02-3

Diese Publikation kann im Internet abgerufen werden unter:

<http://www.germanwatch.org/handel/eth06.htm>

Dieses Projekt wird finanziell von der Nordrhein-Westfälischen Stiftung für Umwelt und Entwicklung gefördert. Die Förderer übernehmen keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen der Förderer übereinstimmen.

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Biokraftstoffe - Grundlagen	5
2.1	Biokraftstoffe.....	5
2.2	Ethanol und Ethyl-Tertiär-Butylether (ETBE)	5
2.3	Kurzbeschreibung weiterer Biokraftstoffe (Biodiesel, Pflanzenöl, BtL, Biogas, Wasserstoff).....	7
2.4	Produktionsmengen	8
2.5	Politische Rahmenbedingungen	10
3	Ökobilanzen	12
3.1	Einleitung	12
3.2	CO ₂ -Studie, FVV.....	12
3.3	Innovationen bei der Bioethanolerzeugung und ihre Auswirkungen auf Energie- und Treibhausgasbilanzen, Schmitz.....	21
3.4	Well-to-Wheels-Report, CONCAWE/EUCAR/JRC.....	23
3.5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	26
4	Literaturliste	30
5	Anhang	33
5.1	A 1: Literaturverzeichnis CO ₂ -Studie.....	33
5.2	A 2: Publikationen, die in der CO ₂ -Studie nicht analysiert werden, weil.....	37
5.2.1	keine Primärdaten aufgeführt werden.....	37
5.2.2	aktuellere Publikationen der gleichen Autoren vorliegen	38
5.2.3	keine Primärdaten, sondern ausschließlich Daten anderer Autoren betrachtet werden.....	38
5.2.4	sie nicht mehr auf dem aktuellen Stand sind (1995 und älter)	39
5.2.5	sonstige Begründungen vorliegen	40
5.3	A 3: Literaturlisten „Innovationen bei der Bioethanolerzeugung und ihre Auswirkungen auf Energie- und Treibhausgasbilanzen“	42
5.3.1	12 Studien, die genauer analysiert wurden	42
5.3.2	Überblick über ausgeschlossene Studien.....	43
5.4	A 4: Executive Summary Well-to-Wheels-Report (Auszug)	44
6	Abkürzungsverzeichnis	47

1 Einleitung

Die vorliegende Literaturexpertise „Ökobilanz von Bioethanol“ entstand im Rahmen eines Dialogprojektes von Germanwatch zum Thema „Süßer Sprengstoff für die entwicklungspolitische und ökologische Debatte“, das von März 2005 bis Oktober 2006 durchgeführt wird. Vor dem Hintergrund der anstehenden gravierenden Veränderungen in der europäischen Zuckerwirtschaft, die hochrelevant für die Bauern hier und im Süden, für die Zuckerindustrie und für die Umwelt sind, untersucht die Nord-Süd-Initiative Germanwatch am Beispiel von Nordrhein-Westfalen die mit der Reform der Zuckermarktordnung der Europäischen Union (ZMO) einhergehenden ökologisch-sozialen Auswirkungen in Deutschland, aber auch die Auswirkungen der Überproduktion von Zucker auf Entwicklungsländer. Gemeinsam mit den Betroffenen (Stakeholder) werden geeignete Lösungsmöglichkeiten erörtert.

Es stellt sich u.a. die Frage, ob die Verwendung von Ethanol aus Zuckerrüben/-rohr eine ökologisch und sozial wünschenswerte Alternative für die Zuckerbauern im Süden und in Deutschland ist? Die hohen Ölpreise, die absehbaren Konflikte um Öl und den Druck, mehr für den Klimaschutz zu tun, haben weltweit massiv die Alternative Ethanol auf der Basis von Zuckerrohr bzw. -rüben, Mais etc. als Ersatz für Öl, aber auch in der Elektrizitätserzeugung forciert. Der Preis für Ethanol ist sprunghaft gestiegen und viele erwarten einen weiteren Anstieg. Die Vereinten Nationen, die G8 und die Europäische Union setzen politische Programme zum vermehrten Einsatz von Bio-Sprit (u.a. Ethanol) um. Das Beispiel Brasilien zeigt, dass die Produktion von Bioethanol in den Ländern des Südens zum Wirtschaftsfaktor werden kann und zudem hilft, die Abhängigkeit von Erdölimporten zu reduzieren.

Sinnvoll ist die Produktion von Bioethanol allerdings nur, wenn die Ökobilanz stimmt und weder ökonomische noch soziale Kriterien dagegen sprechen. Die vorliegende Literaturexpertise gibt einen Überblick über vorhandene Ökobilanzstudien zu Ethanol. Da diese sehr zahlreich sind, sind vor allem Studien identifiziert worden, die einen guten Überblick geben und zudem neueren Datums sind. In Kapitel 3 werden sie im Einzelnen vorgestellt. Am Ende des Kapitels findet sich eine Zusammenfassung der Ergebnisse und es wird den Fragen nachgegangen, welche Chancen die Bioethanol-Produktion in Nordrhein-Westfalen, Deutschland bzw. der Europäischen Union hat und wie Entwicklungsländer von der Bioethanol-Produktion profitieren können. Kapitel 2 enthält grundlegende Erkenntnisse über die Produktion von Bioethanol und anderen handelsüblichen Biokraftstoffen. Informationen über Produktionsmengen und -Standorte sowie ein Überblick über die wichtigsten politischen Rahmenbedingungen der Ethanol-/Biokraftstoffproduktion finden sich am Ende von Kapitel 2.

2 Biokraftstoffe - Grundlagen

2.1 Biokraftstoffe

Von allen regenerativen Kraftstoffen weist Bioethanol¹ weltweit die größte Verbreitung auf. Bioethanol kann Ottokraftstoffe, also Benzin und Superkraftstoffe, ersetzen, während Pflanzenöl und Biodiesel für Dieselmotoren geeignet sind. Bioethanol kommt vor allem in unterschiedlichen Mischungsanteilen mit Ottokraftstoff zum Einsatz. Zu den Biokraftstoffen zählt man auch Methan aus Biogas oder die in der Entwicklung befindlichen Synthese- oder BTL-Kraftstoffe (vom Englischen: **biomass-to-liquid**).

Biokraftstoffe kommen der Automobil- und Mineralölindustrie sehr entgegen, da sie Benzin und Diesel in vielen Parametern ähneln und in hochentwickelten Verbrennungsmotoren mit verhältnismäßig einfachen Anpassungsmaßnahmen eingesetzt werden können. Abgesehen von Biomethan, das dieselbe chemische Zusammensetzung wie Erdgas hat, sind Biokraftstoffe flüssig und damit leicht zu speichern und über das bestehende Tankstellennetz verteilbar. Sie verfügen über eine ähnlich hohe Energiedichte wie konventionelle Kraftstoffe und engen die Reichweite der Fahrzeuge demzufolge nicht ein.

Bei der Verbrennung von biogenen Kraftstoffen wird CO₂ frei - dies jedoch nur in der Menge, in der es die pflanzlichen Rohstoffe zuvor im Wachstum aus der Atmosphäre gebunden haben. Die CO₂-Bilanz ist damit weitgehend neutral. Obwohl zur Herstellung des Bio-Kraftstoffs Energie aufgewendet wird, die in der Regel aus fossilen Quellen stammt, können im Vergleich zur Verbrennung von Diesel- und Ottokraftstoffen große Mengen CO₂ eingespart werden. Biogene Kraftstoffe leisten so einen entscheidenden Beitrag zum Klimaschutz. Ihr langfristiger Einsatz kann jedoch nur als ökologisch bezeichnet werden, wenn im Verkehrssektor sowohl die Energieeinspar- als auch die Energieeffizienzpotenziale genutzt werden und auch die Ökobilanz positiv ausfällt.

2.2 Ethanol und Ethyl-Tertiär-Butylether (ETBE)

Bioethanol

Bioethanol ist ein Alkohol und kann aus Zuckerrüben, Zuckerrohr, Getreide, Kartoffeln und anderen organischen Grundstoffen wie Holz oder Stroh gewonnen werden. Der Energiegehalt von Ethanol beträgt nur etwa zwei Drittel des Energiegehalts von Ottokraftstoff². Das führt besonders bei modernen Fahrzeugen mit komplexer Regelungstechnik zu entsprechenden Mehrverbräuchen. Auf der anderen Seite hat Ethanol bessere Verbrennungseigenschaften. Es erhöht die Oktanzahl und führt über eine höhere Kompression des Motors zu einer Wirkungsgradverbesserung.

In Brasilien wird Ethanol vor allem aus Zuckerrohr und in den USA aus Mais produziert. In Europa sind dagegen Weizen und Zuckerrüben die wichtigsten Rohstoffe. In Deutschland hat traditionell auch die Kartoffel eine große Bedeutung für die Ethanolherzeugung. Die Hälfte des von der Bundesmonopolverwaltung für Branntwein übernommenen Ethanols kommt aus kleinen landwirtschaftlichen Brennereien, die auf Kartoffelbasis arbeiten. Die großen modernen Ethanolanlagen verarbeiten überwiegend Getreide. Große Hoff-

¹ Als Bioethanol bezeichnet man Ethanol, das ausschließlich aus regenerativer Biomasse hergestellt wurde. Chemisch gesehen gibt es keinen Unterschied zwischen Bioethanol und anders hergestelltem Ethanol.

² Die unteren Heizwerte betragen 21,06 MJ/l bzw. 35,7 MJ/l.

nungen werden auf die Bioethanolgewinnung aus Lignozellulose gesetzt, die gegenwärtig noch nicht großtechnisch erprobt ist. Gegenstand intensiver Forschungsbemühungen sind die Erhöhung der Ethanolausbeute aus Getreideganzpflanzen, die Optimierung der Fruchtfolge sowie der Einsatz von mehrjährigen Energiepflanzen zur Kraftstoffherzeugung.

Aus chemischer Sicht gibt es hinsichtlich der Beimischung von Bioethanol zu Benzin keine Beschränkung. In Deutschland ist gemäß der DIN EN 228 eine 5-prozentige Beimischung zu Ottokraftstoffen durch die Mineralölhersteller zulässig (E05). Normale Benzinmotoren können ohne Modifikation mit E10, d.h. 10 % Ethanol betrieben werden, das in den USA größtenteils eingesetzt wird. In Brasilien ist die Beimischung von 25 % Ethanol ins Normalbenzin bereits Pflicht. Nach kostengünstiger Umrüstung können auch gewöhnliche Fahrzeuge mit E25 fahren. Weltweit bedeutender ist die Zumischung von 85 % Bioethanol. Das sogenannte E85 kann nicht in gewöhnlichen Motoren eingesetzt werden. Dazu sind speziell entwickelte Motoren notwendig, die in der Lage sind, zwischen verschiedenen Mischungsverhältnissen umzuschalten (Flexible-Fuel-Vehicles). Diese Motorentechnik ist ebenso wie reine Ethanolmotoren bereits technischer Standard in Schweden und Brasilien. Flexible-Fuel-Vehicles (FFV) sind zuerst für den brasilianischen und den US-amerikanischen Markt entwickelt worden. In Europa fahren lediglich in Schweden eine nennenswerte Menge von Autos mit Bioethanol. FORD hat im vergangenen Jahr als erster Hersteller zwei FFV-Modelle in den deutschen Markt eingeführt (Schneider 2005, 10). Die Markteinführung von Bioethanol erfolgte hierzulande nur langsam. In jüngster Zeit kann eine dynamischere Entwicklung beobachtet werden. Beispielsweise ist die Zahl der Ethanoltankstellen in Deutschland von einigen wenigen im Jahr 2005 auf ca. 40 Mitte 2006 angewachsen (s. www.e85.biz). Die von der Bundesregierung geplante Beimischungspflicht zum Ottokraftstoff kann diesen Prozess beschleunigen.

Das wesentlichste Hemmnis für die Verbreitung von Bioethanol als Kraftstoff ist der Dampfdruck. In Beimischungen von unter 5 % führt eine Ethanolbeimischung zu einer geringfügigen Erhöhung des Dampfdruckes des Benzin-Ethanolgemisches. Vor allem bei hohen sommerlichen Temperaturen könnte dies dazu führen, dass die Vorgaben der 10. BImSchV nicht eingehalten würden. Technisch ließe sich dieses Problem lösen durch eine konstante Beimischung durch die Mitglieder des Tauschkreises deutscher Raffinerien oder die Entfernung von Komponenten mit hohem Dampfdruck bereits beim Raffinationsprozess, d.h. vor der Beimischung von Ethanol. Die damit verbundenen höheren Kosten scheuen die Raffinerien jedoch. Auch eine rechtliche Lösung wäre denkbar.

Ethyl-Tertiär-Butylether (ETBE)

Ethanol lässt sich mittels einer chemischen Synthese in Ethyl-Tertiär-Butylether (ETBE) umwandeln. ETBE besteht zu 47 % aus Ethanol und zu 53 % aus dem fossil gewonnenen Isobuten. Es darf nach DIN EN 228 als Oktanzahlverbesserer Ottokraftstoffen bis zu 15 % beigemischt werden und kann das bisher verwendete und aus Methanol hergestellte fossile Antiklopfmittel Methyl-Tertiär-Butylether (MTBE) ersetzen. Bisher machen vor allem Frankreich und Spanien, aber in jüngster Zeit auch Deutschland davon Gebrauch (Observ'ER 2004, 46). Bestehende MTBE-Anlagen können ohne großen Aufwand als ETBE-Anlagen genutzt werden, da lediglich von der Herstellung eines Ethers auf ein anderes Ether umgestellt werden muss. Im Gegensatz zur Ethanolbeimischung bestehen hier keine grundsätzlichen technischen Probleme, denn Ether sind als sauerstoffhaltige Kraftstoffkomponenten gut mit Kohlenwasserstoffen mischbar, weisen keine Dampf-

druckanomalie wie Ethanol auf und sind wenig wasseranziehend. (Schmitz u.a. 2003, 156ff)

2.3 Kurzbeschreibung weiterer Biokraftstoffe (Biodiesel, Pflanzenöl, BtL, Biogas, Wasserstoff)

Neben Ethanol und Ethyl-Tertiär-Butylether gehören auch Biodiesel und Pflanzenöle zu den derzeit im Einsatz befindlichen Biokraftstoffen. Im Folgenden werden sie kurz beschrieben. Auf einige heute noch nicht großtechnisch hergestellte Biokraftstoffe mit großem Entwicklungspotenzial wie Biogas, Biomass-to-Liquid (BtL) oder Wasserstoff wird am Ende des Kapitels kurz eingegangen.

Biodiesel

Biodiesel (FAME - Fatty Acid Methyl ester) ist seit Jahren ein marktgängiger Treibstoff, der überwiegend durch Umesterung mittels Methanol von Pflanzenölen, aber auch aus sekundären Rohstoffen, wie recycelten Ölen oder Fetten, hergestellt wird. In Europa, das den größten Markt darstellt, wird Biodiesel überwiegend aus Raps (RME - Rapsölmethyl ester) und in deutlich geringerem Umfang auch aus Sonnenblumen, recyceltem Pflanzenöl sowie Tierfett bzw. Altspisefetten und -ölen hergestellt. In Nordamerika sind die Ausgangsstoffe vor allem Sojabohnen und in kleineren Mengen Canola. In Südostasien wird Biodiesel aus Palmöl und in geringem Umfang auch aus Kokosnussöl produziert.

Biodiesel lässt sich in reiner oder beigemischter Form in Dieselfahrzeugen verwenden. Laut Dieselmotornorm DIN EN 590, die 2004 in Kraft trat, dürfen fossilem Diesel bis zu 5 % Biodiesel beigemischt werden. Etwa 1900 Tankstellen bieten in Deutschland Biodiesel an (BMU 2006a, 11).

Reines Pflanzenöl

Reines Pflanzenöl wird derzeit nur in geringen Mengen als Kraftstoff genutzt. In den USA wird überwiegend Sojaöl eingesetzt, während in Deutschland vor allem dezentral gepresstes Rapsöl Verwendung findet. Grundsätzlich können auch andere Pflanzenöle als Kraftstoff genutzt werden. Probleme bereitet manchmal die Sicherung einer gleichbleibend hohen Kraftstoffqualität. Sie ist jedoch eine wesentliche Nutzungsvoraussetzung. Da das Öl nur einen kleineren Anteil der Öl-Pflanzen ausmacht, ist die Nutzung der übrigen Pflanzenteile ebenfalls von großer Bedeutung. Beispielsweise wird der nach dem Herauspressen der Ölanteile verbleibende sogenannte Presskuchen als hochwertiges Viehfutter verwendet.

Biomass-to-Liquid (BtL)

BtL-Kraftstoffe (Biomass-to-Liquid, deutsch: *Biomasse zu Flüssigkeit*) bezeichnet flüssige Kraftstoffe, die aus Biomasse synthetisiert werden. Sie werden vor allem aus lignozellulosehaltigen festen Materialien wie Stroh und Holz hergestellt. Es können aber auch andere Biomasserohstoffe vergast werden. Da die gesamte Biomasse genutzt wird, ist der Hektar-Ertrag bedeutend höher als bei der 1. Generation von Biotreibstoffen (Bioethanol und Biodiesel), die aus Feldfrüchten gewonnen werden. BtL-Kraftstoff wird auch Synfuel oder Sunfuel® genannt.

Zunächst werden die biogenen Ausgangsstoffe zu einem Synthesegas umgewandelt, aus dem sich dann verschiedene Kraftstoffsorten erzeugen lassen (Designerkraftstoffe). Diese sind zu 100 % und ohne Umstellung in herkömmlichen Motoren einsetzbar, können aber auch vollkommen neu entwickelt und auf moderne Motoren abgestimmt werden. Da BtL-Kraftstoffe keine zusätzliche Infrastruktur benötigen, fördert die Mineralöl- und Auto-

mobilitätsindustrie ihre Entwicklung. Derzeit liegt der Schwerpunkt der BtL-Entwicklung bei der Entwicklung und Herstellung von Dieselmotoren, die unter den Handelsnamen SunDiesel oder Eco-Par vertrieben werden.

Biogas

Biogas besteht hauptsächlich aus Methan und Kohlenstoffdioxid. Der wertgebende, energetisch genutzte Anteil ist das Methan. Biogas wird überwiegend aus Gülle mit Hilfe von Kofermenen biogenen Ursprungs durch anaerobe Vergärung gewonnen. Hauptsächlich wird Biogas in Blockheizkraftwerken (BHKW) zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt. Die Steuerermäßigung auf Erdgas behindert derzeit die Nutzung von Biogas als Kraftstoff, da der finanzielle Anreiz durch die Steuerbefreiung für Biogas im Vergleich zum fossilen Pendant gering ausfällt. Auf die Qualität von Erdgas aufbereitetes Biogas kann durch das Erdgasnetz durchgeleitet oder direkt in Gasautos als Kraftstoff verwendet werden. Dies gilt auch für zu Flüssiggas (Propan, Butan) weiterverarbeitetes Biogas.

Wasserstoff

Wasserstoff bietet zahlreiche Vorteile gegenüber konventionellen Kraftstoffen. Er könnte beispielsweise in einer Brennstoffzelle mit vergleichsweise hohem Wirkungsgrad eingesetzt werden. Das Ausgangsprodukt Wasser ist bei dem einfachsten Verfahren der Wasserstoffherzeugung, der Elektrolyse, in ausreichendem Maße vorhanden, bei der Verbrennung von Wasserstoff bilden sich nur wenig Schadstoffe, und bei seiner Erzeugung aus erneuerbaren Energiequellen entstehen keine Treibhausgasemissionen; die natürlichen Erdöl-Ressourcen bleiben erhalten. Auf der anderen Seite gibt es aber auch Probleme. Wasserstoff und Sauerstoff sind unter bestimmten Voraussetzungen leicht brennbar, eine effiziente und umweltschonende Erzeugung von Wasserstoff ist bisher nicht sicher gestellt und darüber hinaus ist die notwendige Infrastruktur noch nicht vorhanden. Die Wirkungsgrade von Fahrzeugen mit wasserstoffbetriebenen Verbrennungsmotoren liegen derzeit für Neufahrzeug bei 26 %. Brennstoffzellenprototypfahrzeuge erreichen schon heute Fahrzeugwirkungsgrade von über 37 % (Bundesregierung 2004, 22). Für eine bedeutsame Markteinführung bedarf es jedoch einer weiteren Kostenreduktion.

Das üblichste Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff aus Biomasse ist die Biomassevergasung. Sie kann bei geringeren Temperaturen als Kohlevergasung stattfinden und führt zu einem wasserstoffreichen Synthesegas. Verschiedene Vergasertypen und -verfahren stehen für die Wasserstoffproduktion bereit. Die Vergasung von Biomasse ist eine der energieeffizientesten Erzeugungspfade für Wasserstoff und kommt als Brückentechnologie für die Einführung einer Wasserstofftechnologie in Frage. Weitere Möglichkeiten der Herstellung von Wasserstoff aus Biomasse ist die Vergärung (Biogas), die Fermentation von wasserstoffhaltigen Zwischenprodukten, die Pyrolyse sowie die Wasserstoffgewinnung aus Algen.

2.4 Produktionsmengen

Bioethanol macht mit 90 % den Hauptanteil der weltweiten Biokraftstoffherzeugung aus, die übrigen 10 % entfallen auf Biodiesel (BMU, Worldwatch Institute, GTZ 2006, 4). Bei den Biokraftstoffen ließ sich in den vergangenen Jahren eine dynamische Entwicklung beobachten. Noch in den 90er Jahren beispielsweise betrug die Ethanolproduktion 15-20 Mrd. Liter, um sich bis zum Jahr 2005 auf 36 Mrd. Liter in etwa zu verdoppeln (Flavin 2006, 4). Die bedeutendsten Produktions- und auch Exportländer sind Brasilien und die USA. Sie vereinen 59 % bzw. 36 % der Bioethanol-Produktion auf sich (WI 2005, 13).

Die größten Importeure sind Japan und die Europäische Union (BMU, Worldwatch Institute, GTZ 2006, 5). Im Gegensatz zum Biodieselmärkte, der zu 95 % von Europa - und namentlich Deutschland - dominiert wird, spielt die Europäische Union im Bioethanolmarkt nur eine untergeordnete Rolle (WI 2005, 11ff). Im Jahr 2004 betrug die Produktionsmenge in der EU-25 weniger als 500.000 Tonnen Bioethanol. Davon entfielen auf Spanien 40 %, Frankreich 21 %, Schweden 11 % und auf Polen 7 % (Observ'ER 2004, 46). Es ist jedoch zu erwarten, dass durch die Reform der Zuckermarktordnung, die jüngsten Aktivitäten der Europäischen Union zur Förderung des Biokraftstoffsektors, die WTO- sowie Mercosur-Verhandlungen eine erhebliche Umstrukturierung des Bioethanolmarktes erfolgen wird.

Auch in Deutschland verzeichneten die Biokraftstoffe ein deutliches Wachstum. Der Absatz stieg von 1,1 Mio. Tonnen im Jahr 2004 auf 2,2 Mio. Tonnen im Jahr 2005. Hier dominiert nach wie vor der Absatz von Biodiesel (2005: 1,8 Mio. t). 2005 sind jedoch erstmals auch nennenswerte Mengen an Bioethanol (0,22 Mio. t) und Pflanzenöl (0,19 Mio. t) zu verbuchen gewesen (s. Abbildung 1, BMU 2006a, 11). Die Produktionskapazitäten für Bioethanol betragen nach Fertigstellung dreier im Bau befindlichen Anlagen sowie einer Erweiterung über 800.000 Tonnen pro Jahr (FNR 2006b). Unsichere Rahmenbedingungen sowie hohe Lager- und Logistikkosten werden dafür verantwortlich gemacht, dass keine der neuen Bioethanolanlagen Zuckerrüben als Rohstoffbasis verwendet (Schmitz in Germanwatch / Lanje, Bernhardt, Zenker 2005: 33). Der Anteil der Biokraftstoffe am Endenergieverbrauch – bezogen auf den gesamten Straßenverkehr – stieg von 2000 bis 2005 von 0,4 % auf 3,6 % (BMU 2006a, 7). Im Jahr 2005 entsprach dies einer Minderung von 7,5 Mio. Tonnen CO₂. Im Vergleich dazu betragen die vermiedenen Emissionen durch die Nutzung erneuerbarer Energien bei der Stromerzeugung 58 Mio. Tonnen bzw. bei der Wärmebereitstellung 18,4 Mio. Tonnen (BMU 2006b, 22).

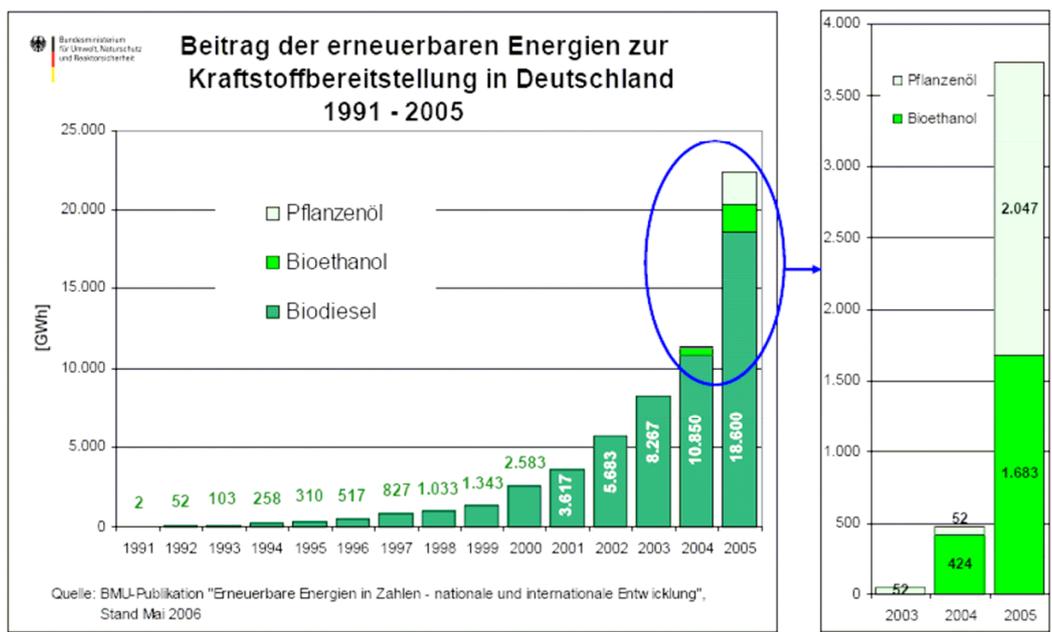


Abbildung 1: Entwicklung der Energiebereitstellung biogener Kraftstoffe in Deutschland (BMU 2006b, 18)

2.5 Politische Rahmenbedingungen

In diesem Kapitel wird kurz auf die wichtigsten politischen Rahmenbedingungen eingegangen, die zum Verständnis des Biokraftstoffmarktes in Deutschland und Europa von Bedeutung sind.

Bereits in ihrem Weißbuch für Erneuerbare Energien aus dem Jahr 1997 hat sich die Europäische Kommission zum Ziel gesetzt, den Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Bruttoinlandsverbrauch (Primärenergieverbrauch) bis 2010 auf 12 % zu steigern (KOM 1997, 11). Die Europäische Kommission hat in diesem Zusammenhang auch Ziele für die einzelnen erneuerbaren Energieträger formuliert. Das Ziel für Biomasse für das Jahr 2010 beträgt 135 Mio. t Rohöläquivalent/a (5628 PJ/a) (KOM 1997, 58). Eine Differenzierung nach biogenen Festbrennstoffen, Biokraftstoffen und Biogas erfolgte nicht. Diese Ziele bilden bis heute die Grundlage für die Maßnahmen der Europäischen Kommission zur Erhöhung des Anteils der Biokraftstoffnutzung.

Die am 8.10.2003 beschlossene „Richtlinie zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor“ (Biokraftstoff-Richtlinie, 2003/30/EG) sieht eine sukzessive Steigerung des Mindestanteils von Biokraftstoffen an allen verkauften Kraftstoffen von 2 % im Jahr 2005 auf 5,75 % im Jahr 2010 vor. Die Mitgliedsstaaten sind verpflichtet, der Kommission jährlich Fördermaßnahmen und Biokraftstoffabsatz zu melden. Sollten sie die Ziele verfehlen, kann die EU einzelstaatliche Ziele verbindlich vorschreiben. „Nicht durchsetzbar war die Vorgabe verpflichtender Mengenziele sowie die Zwangsbeimischung von Biokraftstoffen zu herkömmlichen Kraftstoffen.“ (IE 2005, 4). Deutschland plant im Rahmen eines „Biokraftstoffquotengesetzes“ zum 01.01.2007 eine Zumischungspflicht für Bioethanol einzuführen.

Zur Erreichung dieser Ziele sind flankierende Maßnahmen notwendig. Deshalb hat die EU am 27.10.2003 die „Richtlinie zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischen Strom“ (Energiesteuer-Richtlinie, 2003/96/EG) beschlossen. Sie erlaubt den Mitgliedsstaaten, unter bestimmten Bedingungen alle Biokraftstoffe von der Mineralölsteuer zu befreien. Diese Regelung gilt sowohl für Reinkraftstoffe als auch anteilig für die Zumischung biogener Komponenten zu fossilen Kraftstoffen. Dabei darf es jedoch nicht zu einer Überkompensation kommen. In Deutschland sind biogene Reinkraftstoffe bereits seit den 1990er Jahren von der Mineralölsteuer befreit. Zum 1.1.2004 trat mit der Änderung des Mineralölsteuergesetzes auch die Steuerbefreiung von Beimischungen bis 2009 in Kraft. Um eine „Überförderung“ zu verhindern, hat die Bundesregierung in diesem Jahr im Rahmen des Energiesteuergesetzes, das das Mineralölsteuergesetz ablöst, für Biodiesel und Pflanzenöle eine Besteuerung eingeführt.

Die „Richtlinie über die Qualität von Otto- und Dieselmotorkraftstoffen“ vom 13.10.1998 (98/70/EG) sowie die jeweils gültigen Kraftstoffnormen (z.B. DIN EN 228) begrenzen die Höhe der Beimischung (s. Kap. 2.2. und 2.3). Da diese Grenzwerte der breiteren Verwendung von Biokraftstoffen im Wege stehen, plant die Europäische Kommission z.B. die Grenzwerte für den Ethanolgehalt noch in diesem Jahr aufzuheben (KOM 2006c). Diese und weitere Maßnahmen zur Förderung der Biomasse-Nutzung und insbesondere von Biotreibstoffen, wie z.B. die Einführung eines Zertifizierungssystems für die Bereitstellung der Rohstoffe oder die Bevorzugung der Biokraftstoffe der 2. Generation

(z.B. synthetische Biotreibstoffe)³, sind Gegenstand des „Aktionsplan für Biomasse“ vom Dezember 2005 (KOM 2005) sowie der „EU-Strategie für Biokraftstoffe“ vom Februar 2006 (KOM 2006b).

Ziel des „Gesetzes für den Vorrang Erneuerbarer Energien“ vom 29.03.2000 (EEG - Erneuerbare-Energien-Gesetz) ist die Förderung des Ausbaus der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung und die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien an der Stromversorgung in Deutschland (bis 2010 12,5% und bis 2020 20%). Gemeinsam mit der „Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse“ vom 21.06.2001 (BiomasseV - Biomasse-Verordnung) wurden damit die Grundlagen für einen verstärkten Ausbau der Stromerzeugung bzw. der gekoppelten Strom- und Wärmebereitstellung auf Biomassebasis geschaffen. Mit der jüngsten Novellierung des EEG im August 2004 erhält die Stromerzeugung aus Biomasse zusätzliche Anreize zum Einsatz insbesondere naturbelassener Biomassen, innovativer Technologien und der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Der Einsatz von KWK ist in landwirtschaftlichen Brennereien aufgrund der relativ kleinen Kapazitäten bereits heute mit bewährter Technik möglich. „Bei Bioethanolanlagen im industriellen Maßstab ist dies mit herkömmlicher Technik bislang nicht möglich und erfordert innovative Verfahren“ (Schmitz in Germanwatch / Lanje, Bernhardt, Zenker 2005, 31). Im Wärmebereich fördert das „Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien“ der Bundesregierung Investitionen in die Errichtung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien.

Der europäische Rat beschloss am 20.02.2006 u.a. die „Verordnung über die gemeinsame Marktorganisation für Zucker“ (318/2006). Kernpunkte der Zuckermarktreform sind eine Kürzung des garantierten Mindestpreises für Zucker um 36 %, großzügige Ausgleichszahlungen an die Landwirte sowie ein Umstrukturierungsfonds als Anreiz für wettbewerbschwächere Zuckerhersteller, aus der Produktion auszuscheiden. Für den Anbau von Zuckerrüben zur Erzeugung von Bioethanol gelten auch künftig keine Quoten. „Die Kommission wird ihren Vorschlag wiederholen, auf den Anbau von Zuckerrüben zur Bioethanolproduktion sowohl die Regelung für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen (Non-Food-Erzeugnisse) auf stillgelegten Flächen als auch die Energiepflanzenprämie anzuwenden.“ (KOM 2006c, 6)

³ Bei der Herstellung von Biokraftstoffen der 2. Generation werden nicht nur Pflanzenteile, sondern die ganzen Pflanzen genutzt. Sie verfügen über eine wesentlich bessere CO₂-Effizienz als Biokraftstoffe der 1. Generation.

3 Ökobilanzen

3.1 Einleitung

Einen guten Überblick über die zahlreichen Studien, die die Umweltwirkungen von Biokraftstoffen untersucht und Abschätzungen zu den Kosten- und Mengenpotenzialen vorgenommen haben, gibt die Studie „CO₂-neutrale Wege zukünftiger Mobilität durch Biokraftstoffe“ (FVV 2004). Sie wurde 2004 vom IFEU-Institut im Auftrag der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (FVV) erstellt und berücksichtigt alle internationalen, öffentlich zugänglichen Publikationen. In Kapitel 3.2 sind die wichtigsten Ergebnisse für Ethanol dargestellt. Im Anhang befindet sich eine Liste der in diese Untersuchung einbezogenen Studien (s. A 1), aber auch eine Liste von Studien, die aus unterschiedlichen Gründen (z.B. keine Primärdaten, ältere Publikationen der gleichen Autor/-innen) vom IFEU-Institut nicht berücksichtigt wurden (s. A 2).

Ergänzend sind in Kapitel 3.3 die Ergebnisse einer neueren Untersuchung aus dem Jahr 2005 zu Bioethanol dargestellt. Ziel der von einer Arbeitsgruppe unter der Leitung von Norbert Schmitz vom meó Consulting Team erstellten und vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) geförderten Untersuchung „Innovationen bei der Bioethanolerzeugung und ihre Auswirkungen auf Energie- und Treibhausgasbilanzen“ war die Aufstellung und Bewertung von Energie- und Treibhausgasbilanzen für die Bioethanolerzeugung mit neuen Verfahren und Technologien. Die Primärerhebung erfolgte auf der Basis einer systematischen Analyse vorliegender Studien zu Energie- und Treibhausgasbilanzen. Im Anhang sind die in die Untersuchung einbezogenen sowie die zwölf für die Fragestellung als besonders relevant ausgewählten Studien dokumentiert (s. A 3).

Im politischen Kontext ist auch eine Well-to-Wheel-Untersuchung des europäischen Umweltverbandes der Mineralölwirtschaft (CONCAWE), des europäischen Verbandes für Fahrzeugforschung und -entwicklung (EUCAR) und der Generaldirektion Joint Research Centre (JRC) der Europäischen Kommission von Bedeutung (CONCAWE, EUCAR, JRC 2006). Die Studie, die erstmals im Dezember 2003 erschien und deren zweite Auflage kürzlich vorgelegt wurde (Mai 2006), bewertet alternative Kombinationen von Antrieben und Kraftstoffen hinsichtlich des Energieaufwandes, der Treibhausgasemissionen und der Kosten für Herstellung und Nutzung des Kraftstoffs. In Kapitel 3.4 sind die wesentlichen Ergebnisse für Ethanol zusammengefasst sowie Kernaussagen zu flüssigen Brennstoffen und allgemeinen Erkenntnissen der Studie dokumentiert. Der englische Originaltext kann in Auszügen im Anhang nachgelesen werden (s. A 4).

3.2 CO₂-Studie, FVV

Ziel der Studie „CO₂-neutrale Wege zukünftiger Mobilität durch Biokraftstoffe“, die 2004 vom IFEU-Institut vorgelegt wurde, ist es, wissenschaftlich belastbare Aussagen über die Energie- und Treibhausgasbilanzen sowie über die weiteren Umweltwirkungen, Kosten- und Potenzialabschätzungen von Biokraftstoffen zu erhalten und den Forschungsbedarf zu identifizieren. In dem von der FVV, der Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. und der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. geförderten Vorhaben wurden internationale Publikationen zu den jeweiligen Themenfeldern analysiert und miteinander verglichen. Das IFEU-Institut stellte fest, dass die Ergebnisse und Schlussfolgerungen der einzelnen Forschungsgruppen bisweilen beträchtlich differie-

ren und nicht immer einen direkten Vergleich zwischen den unterschiedlichen Biokraftstoffoptionen zulassen. Aus diesem Grunde wurden für die Energieaufwendungen, die Treibhausgasemissionen sowie die Kosten für die Bereitstellung von Biokraftstoffen für alle Biokraftstoffe - untergliedert nach der jeweiligen Rohstoffbasis wie z. B. Bioethanol aus Weizen - durch Anpassung, Neuberechnung oder gegebenenfalls Neueinschätzung der Einzelergebnisse der analysierten Studien entsprechende Bandbreiten abgeleitet.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Studie insbesondere in Bezug zu Ethanol und ETBE zusammengefasst.

Energie- und Treibhausgasbilanzen von Biokraftstoffen

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Energie- und Treibhausgasbilanzen der analysierten Biokraftstoffe im Vergleich zu den fossilen Kraftstoffpendants in GJ eingesparte Primärenergie pro Hektar und Jahr bzw. in Tonnen eingesparte CO₂-Äquivalente pro Hektar und Jahr. Die negativen Werte bedeuten Vorteile für die Biokraftstoffe, da in diesem Fall Primärenergie bzw. CO₂-Äquivalent-Emissionen im Gesamtvergleich eingespart werden. Am Nullpunkt sind die CO₂-Emissionen über den gesamten Lebenswegvergleich „Biokraftstoff minus fossiler Kraftstoff“ ausgeglichen. Bioethanol wurde mit Ottokraftstoff und ETBE wurde mit fossilem MTBE verglichen.

Die eingesparte Primärenergie und die vermiedenen Treibhausgasemissionen korrelieren bei den in Abbildung 2 dargestellten Bioethanolen, ETBE, Biodiesel und Pflanzenölen jeweils untereinander sehr eng, so dass die Aussagen bezüglich der Primärenergie in gleichem Maße für die eingesparten Treibhausgasemissionen gelten.

Die Energie- und Treibhausgasbilanzen der betrachteten Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse im Vergleich zu den fossilen Kraftstoffpendants fallen bei allen Autoren zugunsten der Biokraftstoffe aus. Dies gilt nach Auffassung der Autoren uneingeschränkt, obwohl vereinzelte Studien zum entgegengesetzten Schluss kommen (vgl. z.B. Pimentel 2003). Die Vorteile bezüglich der eingesparten Primärenergie und der vermiedenen Treibhausgasemissionen pro Hektar sind von allen analysierten Bioethanolen am höchsten, wenn fossiler Ottokraftstoff durch Bioethanol aus Zuckerrohr ersetzt wird. Dies lässt sich vor allem auf den hohen Ethanolertrag von 7.000 l / ha zurückführen. Die zweitgrößten Vorteile weist Bioethanol aus Zuckerrüben auf. Auch hierfür ist der vergleichsweise hohe Ethanolertrag von ca. 6.000 l / ha mitverantwortlich. Die große Schwankungsbreite resultiert aus den unterschiedlich veranschlagten Zuckerrübenenerträgen.

Die Vorteile der Bioethanolproduktion aus Zuckerrohr gelten jedoch nicht in allen geographischen Räumen der Erde, da der Zuckerrohranbau nur unter tropischen Klimabedingungen möglich ist. Ähnlich verhält es sich mit dem Anbau von Zuckerrüben, die in den gemäßigten Zonen angebaut werden. Zuckerrüben stellen besonders hohe Ansprüche an den Boden.

Solange durch ETBE das fossile MTBE substituiert wird, fällt der Vergleich zwischen ETBE und Biodiesel bezogen auf die eingesparte Primärenergie günstiger für ETBE aus. Bei den vermiedenen Treibhausgasemissionen kann es abhängig vom betrachteten Rohstoff und Prozessführung auch gegenläufig sein.

ETBE weist trotz des zusätzlichen Prozessschrittes bei allen untersuchten Biomasserohstoffen Vorteile gegenüber Bioethanol auf. Das gilt auch hier solange ETBE fossiles MTBE ersetzt. Die Ursache dafür ist, dass ETBE das mit relativ hohem Energieaufwand zu produzierende MTBE ersetzt, während Bioethanol den im Vergleich zu MTBE günstiger zu produzierenden Ottokraftstoff ersetzt.

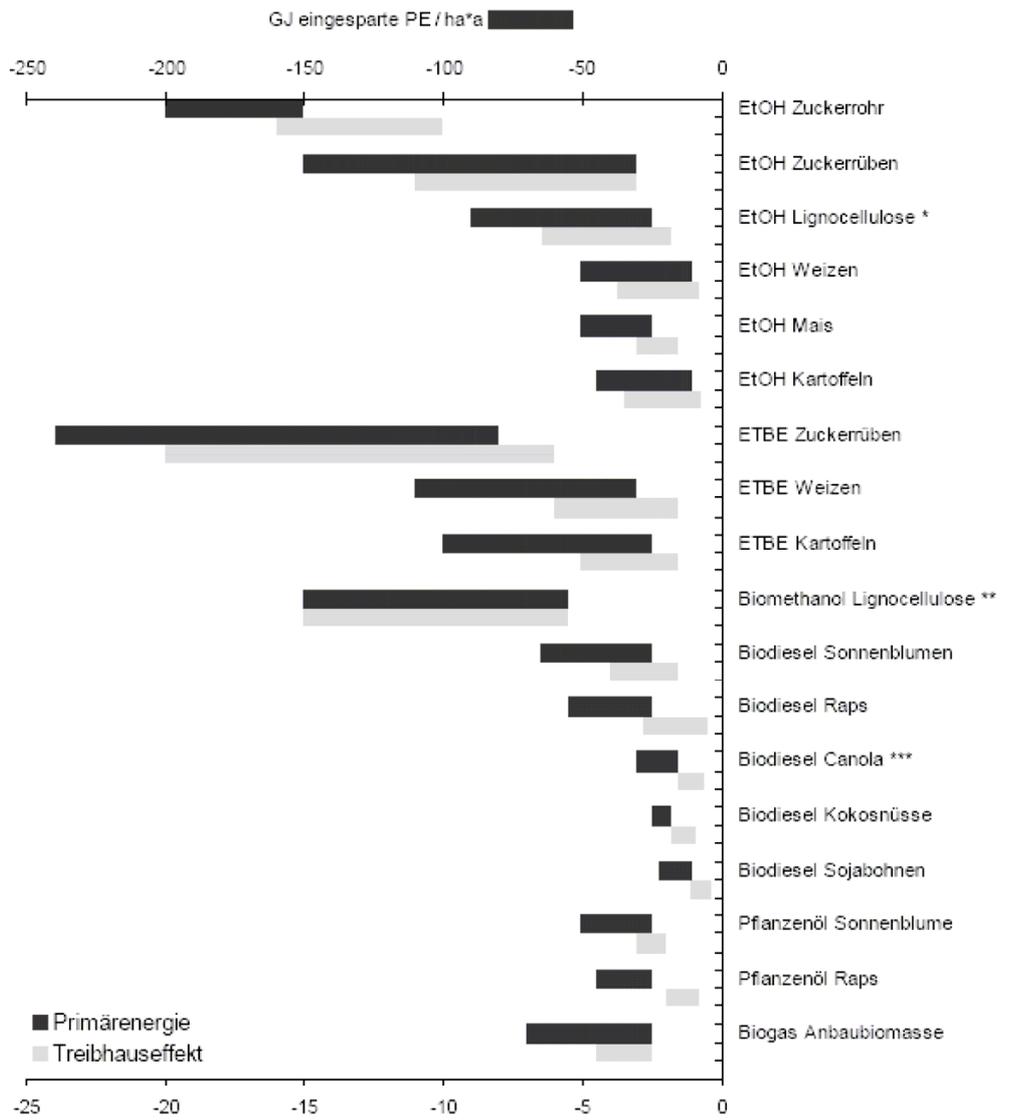


Abbildung 2: Energie- und Treibhausgasbilanzen der analysierten Biokraftstoffe im Vergleich zu den fossilen Kraftstoffpendants (FVV 2004, 23).

Aus der Tatsache, dass ETBE Vorteile gegenüber Bioethanol aufweist und Bioethanol aus Zuckerrohr von allen Ethanolen am günstigsten abschneidet, ziehen die Autoren den Schluss, dass ETBE aus Zuckerrohr die höchsten Vorteile aufweisen würde.

Die Produktion von ETBE aus Zuckerrüben ist die zweitgünstigste Option: Die größten Vorteile ergeben sich, wenn überdurchschnittlich hohe Zuckerrübenenerträge zugrundegelegt werden.

Beim Vergleich der Bioethanol- mit den Biodiesel-Optionen hängt es von den jeweiligen Rohstoffen ab, ob Bioethanol die günstigere Energie- und Treibhausgasbilanz aufweist als Biodiesel.

Es ist zu beachten, dass nicht alle Ökobilanzstudien als repräsentativ angesehen werden können. Ursächlich dafür sind die Nichtberücksichtigung oder nur Teilberücksichtigung des Treibhausgases N_2O (Emission bei Düngerbereitstellung, Düngerapplikation etc.), die Nichtberücksichtigung von Kuppelprodukten oder von agrarischen Referenzsystemen bzw. Alternativverwendungen, Basisdaten, die nicht mehr den Stand der Technik wider-

spiegeln (Konversionstechnologie, Düngereinsatzmengen etc.) sowie die Berücksichtigung von menschlicher Arbeit.

Die Ergebnisse variieren zudem in Abhängigkeit der getroffenen Annahmen. Große Bandbreiten ergeben sich v.a. aus Unterschieden in den Basisdaten, den Erträgen, der Verfahrenstechnik und in der Bewertung der Kuppelprodukte.

Der Betriebsmitteleinsatz in der Landwirtschaft wird in den einzelnen Studien sehr unterschiedlich bewertet. Beispielsweise reicht der Stickstoffdüngereinsatz, der im Bereich der Landwirtschaft oftmals für den erschöpflichen Primärenergieaufwand, die CO₂- und N₂O-Emissionen hauptverantwortlich ist, in den analysierten Studien zu Bioethanol aus Weizen von 53 kg N/ha (Elsayed 2003) bis 195 kg N/ha (Richards 2000, 7). Neben der Einsatzmenge variiert auch der Primärenergieaufwand für die Bereitstellung von Stickstoffdüngemitteln erheblich. In den Studien zu Bioethanol aus Mais z.B. schwankten die Werte zwischen 70 MJ / kg N (Pimentel 2003) und 42 MJ / kg N (GM 2001).⁴

Auch bei den Erträgen gibt es eine große Schwankungsbreite, wobei die angegebenen Werte für die jeweiligen Bezugsräume durchaus repräsentative Werte darstellen. So liegen in den Studien zu Ethanol die Zuckerrübenenerträge zwischen 56 t / ha (IFEU 2000, Bezug Deutschland) und 86 t / ha (IFEU 2000, Bezug Niederlande) und die Weizenenerträge zwischen 2,7 t / ha (S&T 2003) und 9,0 t / ha (ADEME, DIREM 2002).⁵

Von großem Einfluss auf das Ergebnis kann auch das gewählte Produktionsverfahren sein. Moderne Anlagen und geschickte Prozessführung sind in der Regel effizienter als alte Anlagen und herkömmliche Produktionsweisen.

In manchen Studien erfolgte keine Anrechnung der Kuppelprodukte (FfE 1999). In der IFEU-Studie (2002) zu Bioethanol aus Zuckerrüben variierte die Zuschreibung der Primärenergieaufwendungen und der Treibhausgasemissionen auf das Zielprodukt Bioethanol zwischen 15 und 95 %. Bei den Studien zu Bioethanol aus Weizen ergaben sich vergleichsweise geringe Vorteile für Bioethanol, wenn das Gutschriftenverfahren zur Anwendung kam. Bei Anwendung des Allokationsverfahrens fielen die Vorteile für Bioethanol dagegen bis zu viermal höher aus.⁶

Bei begrenzt zur Verfügung stehenden Flächen ist für Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse der Flächenbezug von Bedeutung. Werden jedoch die Fahrleistung der mit Bio- bzw. fossilen Kraftstoffen betriebenen Fahrzeuge analysiert, dann eignet sich der Kilometerbezug besser. Letzterer erlaubt auch einen Effizienzvergleich aller Kraftstoffe (aus Anbaubiomasse und aus Reststoffen) untereinander. Die Änderung der Bezugsgröße verändert in der Regel nicht die Ergebnisrichtung. Ausnahmen bestätigen die Regel. So weist z.B. im Gegensatz zur flächenbezogenen Betrachtung Ethanol bei allen untersuchten Biomasserohstoffen bezogen auf einen Kilometer Vorteile gegenüber ETBE auf. Das liegt an dem vergleichsweise hohen energiebezogenen Hektarertrag von ETBE.

Beim Einsatz von organischen „Abfallbiomassen“ wie Altspeisefetten oder Abfallholz müssen grundsätzlich deren reale oder potenzielle Alternativverwendungen mit berücksichtigt werden. Bei den bisherigen Analysen wurden diese aber meist zu Null gesetzt. Werden „Abfallbiomassen“ zur Energiegewinnung eingesetzt, fällt dabei eine mehr oder weniger große Gutschrift an, die die potenziellen Vorteile des Biokraftstoffes reduziert. Im Extremfall kann „der Biokraftstoff durchaus auch schlechter als der fossile Kraftstoff

⁴ Quellen zitiert nach FVV 2004, 21.

⁵ Quellen zitiert nach FVV 2004, 21.

⁶ Quellen zitiert nach FVV 2004, 21.

ausfallen, beispielsweise wenn Sägerestholz nicht direkt energetisch genutzt wird, weil die darin enthaltene Lignocellulose mit gewissen Konversionsverlusten zu einem Biokraftstoff verarbeitet wird“ (FVV 2004, 26).

Insgesamt liegen für viele Biokraftstoffe eine Vielzahl von Studien zu Energie- und Treibhausgasbilanzen vor. Das IFEU-Institut nennt jedoch auch Bereiche, zu denen nur wenige bzw. gar keine entsprechenden Studien vorhanden sind. Beispielsweise müssten zur besseren Absicherung der Bandbreite für einige Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse noch ergänzende Analysen durchgeführt werden. Dazu gehört z.B. Bioethanol bzw. ET-BE aus Zuckerrohr und aus Kartoffeln. Großer Forschungsbedarf herrscht zudem zu einigen Biokraftstoffen aus Reststoffen.

Weitere Umweltwirkungen von Biokraftstoffen

Neben der Inanspruchnahme energetischer Ressourcen und Emissionen von Treibhausgasen gibt es weitere Umweltwirkungen, die mit der Herstellung und Nutzung von Kraftstoffen verbunden sind. Betrachtet wurden vom IFEU-Institut die für Ökobilanzen üblichen Wirkungskategorien Versauerung (SO_2 -Äquivalente SO_2 , NO_x , NH_3 , HCl , HF , H_2S , ...), Eutrophierung (PO_4 -Äquivalente NO_x , NH_3 , NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO^{3-}) und Photosmog (C_2H_4 -Äquivalente bzw. NO_x -korrig. C_2H_4 -Äquivalente), für die Wirkungskategorie Ozonabbau der Einzelparameter Lachgas (N_2O) sowie einige toxische Substanzen. Die Anzahl der Ökobilanzstudien zu den sonstigen Umweltwirkungen ist äußerst gering. Häufig wurden nicht alle Parameter einer Wirkkategorie berücksichtigt oder die weiteren Umweltwirkungen nicht für alle Lebenswegabschnitte betrachtet. Zum Photosmog ist meist keine Aussage möglich. Nur zwölf Studien wiesen eine vollständige Darstellung der weiteren Umweltwirkungen auf. Sogar für bereits auf dem Markt befindliche Biokraftstoffe fehlen eingehende Untersuchungen der weiteren Umweltwirkungen wie beispielsweise bei Bioethanol aus Zuckerrohr. Daher sind die Ergebnisse in der Regel nur qualitativ darstellbar. Die Ableitung von Bandbreiten für die betrachteten Größen analog zur Vorgehensweise bei den Energie- und Treibhausgasbilanzen ist wissenschaftlich nicht belastbar.

Bei den weiteren Umweltwirkungen von Biokraftstoffen hängen die Ergebnisse viel stärker als bei den Energie- und Treibhausgasbilanzen von den Fragestellungen und Bilanzierungsweisen ab. Das IFEU-Institut geht auf die Alternativverwendung bei Kraftstoffen aus Rest- oder Abfallstoffen, die Bereitstellung des Energiebedarfs, die Emissionsortbetrachtung und die Berücksichtigung von Kuppelprodukten ein.

Je nach Fragestellung können die zu betrachtenden Systemgrenzen für denselben Biokraftstoff deutlich unterschiedlich ausfallen. Das gilt insbesondere, wenn organische Reststoffe oder Abfälle als Rohstoffe eingesetzt werden. So kann z.B. bei der Ökobilanz zu Bioethanol aus Weizen das beim Weizenanbau anfallende Stroh in die Bilanz eingehen oder ein alternativer Verwendungszweck wie Energiegewinnung durch Verbrennung gegengerechnet werden.

Der Energiebedarf für die Konversion zum fertigen Biokraftstoff kann sowohl mit biogenen als auch fossilen Energieträgern gedeckt werden. Ob Strom aus dem Netz, industrie-eigene Kraft- oder Wärmebereitstellung mittels Erdgas, leichtes oder gar schweres Heizöl etc. zum Einsatz kommen, hat erheblichen Einfluss auf die NO_x - und SO_2 -Emissionen. Das führt für das genannte Beispiel und der Verbrennung fossiler Brennstoffe sogar zu einem Vorzeichenwechsel beim Photosmog (Beer et.al./CSIRO 2001).

Bei den luftgetragenen Emissionen spielt im Gegensatz zu den Energie- und Klimagasbilanzen der Emissionsort eine besonders große Rolle. Dieser Umstand wurde bisher ausschließlich in Untersuchungen des IFEU-Instituts berücksichtigt.

Die Berücksichtigung von Kuppelprodukten, die bei der Bereitstellung des Biokraftstoffs entstehen, erfolgt in der Praxis nicht immer einheitlich. „Vorzugsweise sollten Gutschriften erteilt werden, da dadurch die Realität besser beschrieben wird“ (FVV 2004, 29). In einigen Ökobilanzen werden die gemeinsamen Aufwendungen auf die verschiedenen Produkte aufgeteilt oder die Aufwendungen anhand der Masse, des ökonomischen Wertes oder des Energiegehalts zugeordnet. Die sich daraus ergebenden Unterschiede können teilweise recht drastische ausfallen.

Wegen den großen Stickstoffemissionen (N_2O , NO_x , NH_3 , NO_3^- , NH_4^+), die im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Produktion von Anbaubiomasse entstehen, fällt der Vergleich zwischen Bio- und fossilen Kraftstoffen sowohl für die Versauerung und Eutrophierung als auch für Lachgas qualitativ richtungssicher zu Gunsten der fossilen Kraftstoffe aus. Das trifft selbst zu, wenn verschiedene Bilanzierungsarten für die Eutrophierung (aquatisch und terrestrisch, über wasser- und luftgetragene Emissionen) Verwendung finden. Dies gilt jedoch nicht für Biokraftstoffe aus Reststoffen. N_2O spielt bei diesen Kraftstoffen in der Regel keine signifikante Rolle. Zur Ermittlung der Vor- und Nachteile ist jeweils eine Einzelfallprüfung unerlässlich.

Da nur sehr wenige Studien mehr als etwa fünf Parameter betrachten, fehlen zu den zur Öko- und Humantoxizität beitragenden Kohlenwasserstoffe Formaldehyd, Benzol und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) oder auch Partikeln in der Regel belastbare Einschätzungen über den gesamten Lebensweg hinweg. Des Weiteren gibt es kaum wissenschaftliche Erkenntnisse darüber, wie sich die Emissionen in unterschiedlichen Zumischungen in unterschiedlichen Motorenkonzepten verhalten. Das trifft auch auf NO_x zu, falls signifikante Emissionsunterschiede auftreten sollten.

Kosten von Biokraftstoffen

Die Bereitstellungskosten von Biokraftstoffen stehen nicht im Zentrum dieser Literaturexpertise zur Ökobilanz von Ethanol, aber ohne ihre Kenntnis lassen sich weder Realisierungsoptionen abschätzen noch Nachhaltigkeitsbetrachtungen anstellen. Im Folgenden sind die vom IFEU-Institut geprüften und zusammengestellten Daten zusammengefasst.

Die Produktionskosten von Biokraftstoffen setzen sich aus den Rohstoffkosten, den Kosten für den Rohstofftransport, den Konversionskosten, den Einnahmen durch Nebenprodukte sowie den Kosten für die Verteilung zusammen. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden Steuern und Gewinnaufschläge der Kraftstoffe nicht berücksichtigt.

Der Vergleich der Bereitstellungskosten macht deutlich, dass fossile Kraftstoffe meist kostengünstiger produziert werden können als Biokraftstoffe (siehe Abbildung 3). Es gibt aber auch Fälle, in denen sich Biokraftstoffe heute schon zu den Kosten von fossilen Kraftstoffen produzieren lassen. Dies gilt z.B. für Biodiesel aus Altspeisefetten, wenn man davon ausgeht, dass keine Rohstoffkosten anfallen und niedrige Konversionskosten angesetzt werden, oder für Pflanzenöl aus Raps und Sonnenblumen, wenn sie unter günstigen Bedingungen produziert werden. Die Bereitstellungskosten für Biodiesel sind in der Regel geringer als für Bioethanol. Die genannten Zusammenhänge gelten auch für andere Bezüge, so z. B. für Euro pro 100 Kilometer (s. FVV 2004, 34).

Die Produktion von Biokraftstoffen aus Reststoffen ist in einigen Fällen kostengünstiger als die aus Anbaubiomasse. Es lassen sich jedoch keine eindeutigen Unterschiede feststellen. Für verlässliche Aussagen ist eine Einzelfallbetrachtung notwendig.

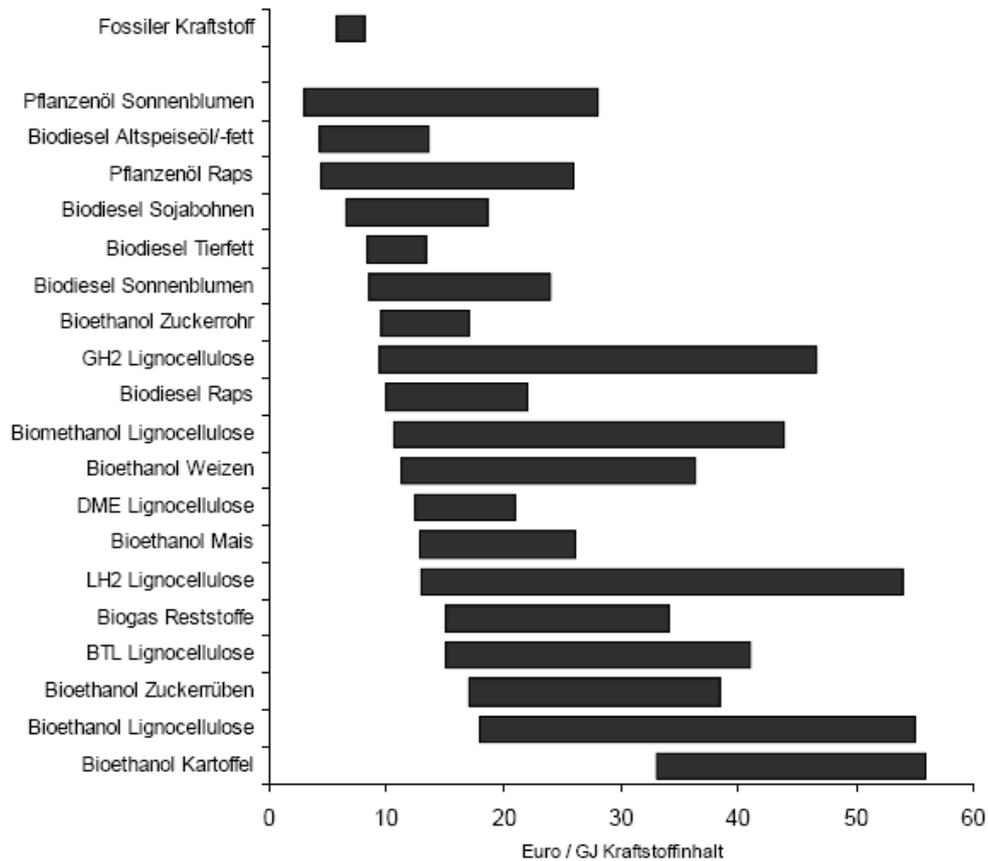


Abbildung 3: Bereitstellungskosten von Biokraftstoffen im Vergleich zu den Bereitstellungskosten von fossilem Kraftstoff in Euro / GJ Kraftstoffinhalt (FVV 2004, 32).

In den Fällen, in denen Biokraftstoffe günstiger als fossile Kraftstoffe produziert werden können, sind keine Kosten pro vermiedenen Klimagasemissionen oder eingesparten Energieträgern zu verzeichnen, sondern ein „Gewinn“. Bei den meisten Biokraftstoffen entstehen jedoch Vermeidungskosten, die einer extremen Schwankungsbreite unterliegen. „Die Vermeidungskosten sind bei den Biokraftstoffen am höchsten, deren Bereitstellungskosten hoch und deren eingesparte Primärenergie bzw. Treibhausgasemissionen gering sind“ (FVV 2004, 34). Ein Beispiel dafür ist Bioethanol aus Kartoffeln.

Die Bereitstellungskosten sind sehr variabel und nur bedingt miteinander vergleichbar. Das IFEU-Institut gibt dafür folgende Gründe an:

- Die Bereitstellungskosten von fossilen Kraftstoffen sind v.a. von den Konversionskosten und dem Rohölpreis abhängig, während bei den Biokraftstoffen auch noch andere Faktoren eine große Rolle spielen können. Bei den Kraftstoffen aus Anbaubiomasse sind vor allem die Produktionskosten in der Landwirtschaft zu nennen, die in vielen Ländern subventioniert wird. Bei den Biokraftstoffen aus Rest- bzw. Abfallstoffen fallen ggf. entgangene Alternativverwendungserlöse und vermiedene Entsorgungskosten ins Gewicht.

- Die Bereitstellungskosten beziehen sich auf unterschiedliche Bezugsräume, deren natürliche und wirtschaftliche Voraussetzungen grundverschieden sind, wie z. B. bei Bioethanol aus Zuckerrohr in Brasilien bzw. Bioethanol aus Zuckerrübe in Europa.
- Die Bereitstellungskosten basieren auf real vorkommenden Kosten von derzeit auf dem Markt befindlichen Kraftstoffen oder beziehen sich auf zukünftige, heute noch nicht großtechnisch hergestellte Kraftstoffe.

Die vorhandenen Kostenabschätzungen decken noch nicht alle Biokraftstoffe ab. So liegen beispielsweise zu ETBE keine Kostenabschätzungen vor und bei einigen Biokraftstoffen (Bioethanol aus Zuckerrohr, Biodiesel aus Sojabohnen) fand keine Aufteilung der Bereitstellungskosten auf die Einzelbereiche statt (Rohstoffkosten, Konversionskosten etc.), sodass eine Interpretation nicht möglich ist.

Potenziale von Biokraftstoffen

Theoretisch könnte die weltweit jährlich zuwachsende Biomasse den gesamten weltweiten Kraftstoffbedarf abdecken, doch stehen dem Restriktionen durch Flächenkonkurrenzen (Nahrungsmittelproduktion, Naturschutz, nachhaltige Landwirtschaft etc.) und Nutzungskonkurrenzen (Biomasse für stoffliche Nutzung, Bioenergieträger zur Strom- und Wärmeenergiegewinnung etc.) entgegen. Einhellig ist die Auffassung aller Autoren, dass der Anbau von Nahrungsmitteln eine höhere Priorität genießt als der Energiepflanzenanbau. Gemäß einer vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) in Auftrag gegebenen Potenzialabschätzung aus dem Jahr 2004, die auch Nachhaltigkeitsziele berücksichtigt hat, verringert sich das nutzbare Potenzial in Deutschland alleine durch Flächenkonkurrenzen erheblich (DLR, IFEU, WI 2004). Aussagen zur Entwicklung nach 2010 sind nicht möglich, da bisher kaum Untersuchungen darüber vorhanden sind⁷. Belastbare Quantifizierungen für die Europäische Union oder Welt stehen ebenfalls noch aus. Für die Nutzung von Biomasse aus Reststoffen gelten diese Einschränkungen nicht.

„Eine weitere für das Mengenpotenzial entscheidende Größe ist die Verfügbarkeit und die Effizienz von neuen Produktionstechnologien, zum Beispiel für Biomass-to-Liquid, Ethanol aus Lignozellulose oder für Bio-Wasserstoff“ (FVV 2004, IV). Nach heutigem Wissensstand lässt sich nur schwer vorhersagen, wann welche Technologien zur Verfügung stehen und zum Einsatz kommen werden. Nicht zuletzt ist das Potenzial von Biokraftstoffen erheblich davon abhängig, welche politischen Rahmenbedingungen gesetzt werden (Beimischungspflicht, Steuerbefreiung etc.).

⁷ Die jüngste Veröffentlichung der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe „Biokraftstoffe eine vergleichende Analyse“ enthält ein Szenario 2015 (FNR 2006a).

*Die Ergebnisse der CO₂-Studie auf einen Blick***Energie- und Treibhausgasbilanzen von Biokraftstoffen**

- Ergebnis 1: Die vorhandenen Ökobilanzstudien decken noch nicht alle Biokraftstoffe ab
- Ergebnis 2: Nicht alle Ökobilanzstudien können als repräsentativ angesehen werden: Deswegen ist die Ableitung von Bandbreiten nötig
- Ergebnis 3: Die Ergebnisse variieren in Abhängigkeit der getroffenen Annahmen, wodurch sich große Bandbreiten ergeben
- Ergebnis 4: Die Ergebnisse sind von der Art des gegenübergestellten fossilen Kraftstoffs abhängig
- Ergebnis 5: Qualitative Ergebnisse für Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse sind richtungssicher: Vorteile bei Energie- und Treibhausgasbilanzen
- Ergebnis 6: Unterschiedliche Fragestellungen bedingen unterschiedliche Bezüge und liefern teils die gleichen, teils aber auch unterschiedliche Antworten
- Ergebnis 7: Großer Forschungsbedarf zu einigen Biokraftstoffen aus Reststoffen wie BTL

Weitere Umweltwirkungen von Biokraftstoffen

- Ergebnis 8: Die Anzahl der Ökobilanzstudien zu den sonstigen Umweltwirkungen ist äußerst gering
- Ergebnis 9: Die Ergebnisse hängen stark von Fragestellung und Bilanzierungsweisen ab
- Ergebnis 10: Ergebnisse hier nur qualitativ darstellbar
- Ergebnis 11: Unterschiedliche Ergebnisse für Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse und aus Reststoffen
- Ergebnis 12: Meist keine Aussage zu Photosmog möglich
- Ergebnis 13: Großer Erkenntnisbedarf bei toxischen Parametern und Emissionsunterschieden bei der motorischen Nutzung

Kosten von Biokraftstoffen

- Ergebnis 14: Die vorhandenen Kostenabschätzungen decken noch nicht alle Biokraftstoffe ab
- Ergebnis 15: Die Bereitstellungskosten von fossilen Kraftstoffen sind meist günstiger als die von Biokraftstoffen
- Ergebnis 16: Keine eindeutigen Unterschiede bei Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse gegenüber solchen aus Reststoffen
- Ergebnis 17: Die Vermeidungskosten (Kosten pro vermiedenen Klimagasemissionen bzw. eingesparten Energieträgern) zeigen eine extreme Bandbreite
- Ergebnis 18: Die Ergebnisse sind sehr variabel und nur bedingt miteinander vergleichbar

Potenziale von Biokraftstoffen

- Ergebnis 19: Generell hohes Potenzial von Biokraftstoffen, was sich jedoch bei Berücksichtigung von Flächen- und Nutzungskonkurrenzen verringert
- Ergebnis 20: Quantifizierung der Potenziale unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten und Nutzungskonkurrenzen steht insbesondere für den Bezug „weltweit“ noch aus
- Ergebnis 21: Zukünftige Entwicklung der Energie- und Treibhausgasbilanzen kann lediglich bis 2010 aufgezeigt werden
- Ergebnis 22: In Zukunft geringerer Primärenergieaufwand und geringere Treibhausgasemissionen für Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen
- Ergebnis 23: Zukünftige Energie- und Treibhausgasbilanzen von Biokraftstoffen aus Reststoffen im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen nicht vorhersehbar

3.3 Innovationen bei der Bioethanolerzeugung und ihre Auswirkungen auf Energie- und Treibhausgasbilanzen, Schmitz

Da der Einsatz von Bioethanol als erneuerbarer Kraftstoff aus klimapolitischen Gründen nicht unumstritten ist und vorliegende Studien in Abhängigkeit von den getroffenen Annahmen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen kommen, führte eine Arbeitsgruppe unter der Leitung von Norbert Schmitz vom meó Consulting Team im Jahr 2005 die Untersuchung „Innovationen bei der Bioethanolerzeugung und ihre Auswirkungen auf Energie- und Treibhausgasbilanzen“ durch. Schmitz u.a. hatten bereits im Jahr 2003 im Auftrag der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) eine Neubewertung des Einsatzes von Ethanol und Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen im chemisch-technischen und im Kraftstoffsektor unter besonderer Berücksichtigung von Agraralkohol vorgenommen („Bioethanol in Deutschland“, Schmitz u.a. 2003). Beide Vorhaben erhielten die Unterstützung des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL).

Die Arbeitsgruppe erstellte für neun Anlagenkonzepte Energie- und Treibhausgasbilanzen für die Bioethanolherstellung aus Biomasse. Es wurde jeweils die gesamte Produktionskette, ausgehend von verschiedenen Ausgangsstoffen über die entsprechenden Konversionspfade bis hin zum Bioethanol und dessen Synthese zu ETBE untersucht. Weitere Wirkkategorien waren nicht Gegenstand der Untersuchung. Mit den beteiligten Unternehmen wurde eine einheitliche Vorgehensweise für die Datenerhebung vereinbart. Die gefundenen Ergebnisse können der Tabelle 1 entnommen werden bzw. sind im Folgenden dokumentiert.

Tabelle 1: Energie- und Treibhausgasbilanzen im Vergleich (Schmitz u.a. 2005, 20)

Konversionspfad / verwendete Prozess- energie	Nettoenergiegewinn / Liter Ethanol (MJ Output /. MJ fossiler Input)	Treibhausgasreduzierung / Liter Ethanol (CO ₂ -Äquivalent/0,647 l Benzin /. kg CO ₂ -Äquivalent/ l Ethanol)
Melasse / Heizöl S	6,4 MJ	1,19 kg
Rübensaft / Braunkohle	6,6 MJ	0,59 kg
C-Stärke + Melasse / Erdgas	8,9 MJ	1,39 kg
Getreide / Erdgas	6,6 MJ	1,09 kg
Getreide / Müll	14,5 MJ	1,49 kg
Getreide / Biogas	19,2 - 21,3 MJ	1,49 - 1,79 kg
Stroh / Biogas	15,7 - 20,1 MJ	1,89 - 2,15 kg

Den Berechnungen ging die Analyse zahlreicher Studien zu Energie- und Treibhausgasbilanzen voraus. Den Schwerpunkt der Untersuchungen bildete Europa, aber zu Vergleichszwecken wurde auch die Situation in den USA und in Brasilien bewertet. Viele Studien basieren noch auf veralteten Annahmen und Daten bezüglich der verwendeten Technologien in der landwirtschaftlichen Produktion der Rohstoffe und der Konversion dieser zu Ethanol. Für zwölf in jüngerer Zeit erschienene und als besonders relevant für die Fragestellungen identifizierte Studien erfolgte eine synoptische Auswertung (Schmitz u.a. 2005, 46ff).

Auszüge aus der Zusammenfassung (Schmitz u.a. 2005, 19ff):

„Bezogen auf den **Ausgangsstoff** werden die geringsten Belastungen für die Umwelt durch die Verwendung von Nebenprodukten (Stroh, Melasse, C-Stärke) sowie Zuckerrüben verursacht. Dies liegt an den relativ geringen, der Bereitstellungskette dieser Nebenprodukte zuzuschreibenden Aufwendungen sowie dem hohen Ertrag von Zuckerrüben je ha. Im Vergleich hierzu ist die Verwendung von Getreide mit höheren Belastungen verbunden.

Die **Konversion** bietet das größte Optimierungspotenzial in der Erzeugerkette von der landwirtschaftlichen Produktion bis zur Verwendung im Kraftstoffsektor. Unterschiedliche Produktionskonzepte wurden in dieser Studie analysiert. Diese reichen von traditionellen bereit seit Jahren im Betrieb befindlichen Anlagen bis hin zu Konzepten, die noch im Entwicklungsstadium sind. Auch unterschiedliche Betriebsgrößen wurden berücksichtigt. Die für eine Bioethanolherzeugung in Europa in Frage kommenden Rohstoffe sind Weizen, Roggen, Triticale, Melasse, Zuckerrüben und Stroh. Ein weiteres wichtiges Differenzierungsmerkmal, das erhebliche Auswirkungen auf die Bilanzierungsergebnisse hat, ist der für die Konversion eingesetzte Brennstoff. Sie reicht von Biogas, Erdgas, Müll über Braunkohle bis hin zu schwerem Heizöl. Die Verwendung nicht-fossiler Prozessenergie (im Konversionsprozess gewonnenes Methangas, Energie aus Müllverbrennung) entlastet die Treibhausgasbilanz beträchtlich.

Die Höhe des kumulierten fossilen **Primärenergieaufwands** wird wesentlich durch die bereitgestellte Prozessenergie, die landwirtschaftlichen Vorketten und die Gutschriften für die Kuppelproduktion bestimmt. Am wenigsten fossile Primärenergie benötigen die Konversionspfade Getreide/Biogas und Stroh/Biogas, weil hier prozessbedingt aus einem Teil der Schlempe Biogas gewonnen wird, das zur Abdeckung des Energiebedarfs der Konversion eingesetzt wird. Hier kommt es zu Nettoenergiegewinnen zwischen 15,7 und 21,3 MJ/Liter Ethanol. Sehr günstig wirkt sich auch die Verwendung nicht-fossiler Energiequellen für die erforderliche Prozessenergie aus. Bei einer Konversionsanlage, die Getreide verarbeitet und bei der Müll die Quelle der Konversionsenergie ist, wird ein Energiegewinn von 14,5 MJ/Liter realisiert. Bestehende konventionelle Anlagen auf Basis von Melasse, C-Stärke und Getreide weisen einen vergleichbaren fossilen Energieaufwand auf und erreichen Energiegewinne zwischen 6,4 und 8,9 MJ/Liter.

Die Erzeugung von Bioethanol aus Stroh verzeichnet aufgrund des verwendeten Ausgangsstoffs und der geringen erforderlichen fossilen Prozessenergie die geringsten **Klimagasemissionen**. Entsprechend hoch sind die Treibhausgaseinsparungen: Sie liegen zwischen 1,89 und 2,15 kg CO₂-Äquivalenten pro Liter Ethanol, der herkömmlichen Ottokraftstoff direkt ersetzt. Auch die Erzeugung von Ethanol aus Getreide, gekoppelt mit einer Biogas-Anlage, führt zu geringen Klimagasemissionen. Bei im Betrieb befindlichen Anlagen schneiden die Konversionspfade Verarbeitung von C-Stärke und Getreide, verbunden mit der Verwendung nicht-fossiler Prozessenergie, am besten ab. Die Treibhausgasreduzierung liegt dabei bei 1,39 bzw. 1,49 k CO₂-Äquivalenten. Die größten Klima-

gasemissionen entstehen bei der Produktion von Ethanol aus Rübensaft und der Verwendung von Braunkohle als Energieträger.“ (Schmitz 2005, 19ff)

3.4 Well-to-Wheels-Report, CONCAWE/EUCAR/JRC

Bereits im Jahr 2003 begannen die Generaldirektion Joint Research Centre (JRC) der Europäischen Kommission, die Forschungsvereinigung europäischer Ölgesellschaften für Umwelt-, Gesundheitsschutz und Sicherheit (CONCAWE) und der europäische Verband für Fahrzeugforschung und -entwicklung (EUCAR) eine Vielzahl zukünftiger Kraftstoffe und Antriebstechniken, die bis zum Jahr 2010 zum Einsatz kommen könnten, hinsichtlich ihres Energieverbrauchs und ihrer Treibhausgasemissionen zu untersuchen. Dabei handelt es sich nicht um Ökobilanzen, denn weder der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen, die mit dem Bau bzw. der Entsorgung der Gebäude oder der Autos verbunden sind, noch die weiteren Umweltwirkungen sind Teil der Untersuchungen. Ziel der gemeinsamen Anstrengung ist es, auch die makro-ökonomischen Kosten abzuschätzen und für Akzeptanz der Ergebnisse bei allen Stakeholdern zu sorgen.

Der Untersuchungsrahmen ist in den vergangenen Jahren immer wieder erweitert worden. Der inzwischen vorliegende zweite Well-to-Wheel-Report ist das Ergebnis umfassender Konsultationen. Er enthält weitere Kraftstoff- und Antriebstechnik-Kombinationen sowie überarbeitete Kosten- und Potenzialabschätzungen. Im Folgenden wird besonders auf die Ergebnisse zu Ethanol eingegangen.

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse der Well-to-Wheel-Untersuchungen von CONCAWE/EUCAR/JRC im Hinblick auf den erforderlichen Energieaufwand und die Treibhausgasemissionen von Ethanol. Die Bandbreiten fallen für die Treibhausgasemissionen größer aus, weil die Stickoxidemissionen eine wichtige Einflussgröße darstellen und mit großen Unsicherheiten verbunden sind. Zuckerrohr und die Umsetzung von Stroh mittels Kraft-Wärme-Kopplung zeigen die besten Ergebnisse.

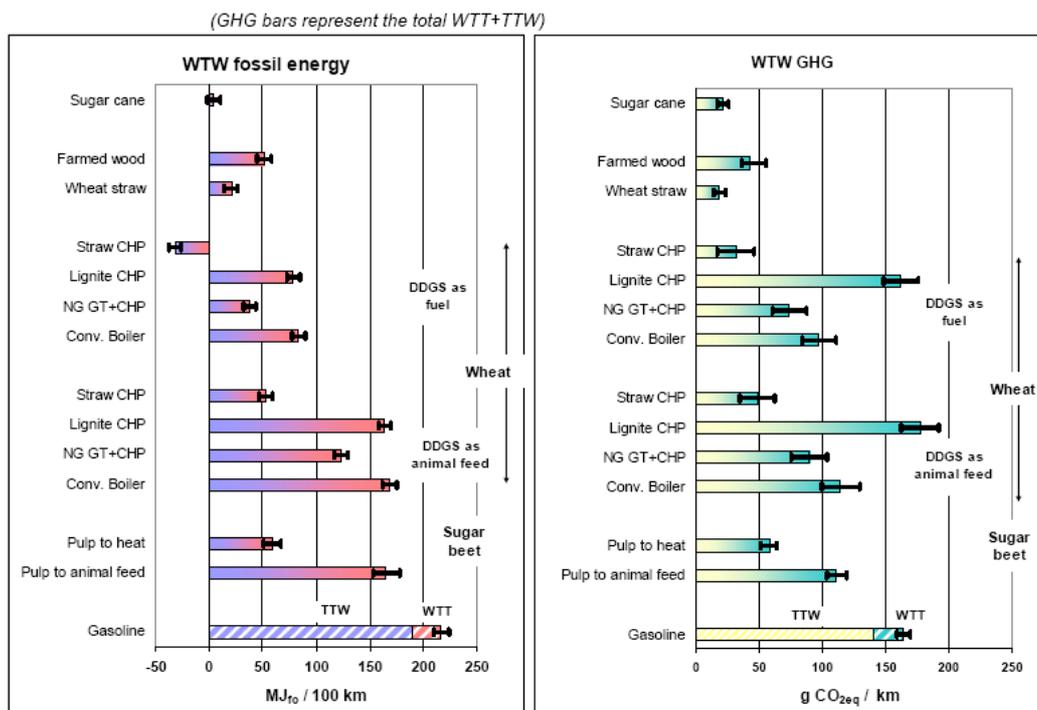


Abbildung 4: Well-to-Wheel Energieaufwand und Treibhausgasemissionen von Ethanol im Vergleich zu Benzin gemäß WTW-Report (CONCAWE, EUCAR, JRC 2006, 35).

In Europa auf konventionellem Wege erzeugtes Bioethanol führt nur zu geringen Energie- und Treibhausgasreduzierungen gegenüber Benzin. Beispielsweise lassen sich mit Zuckerrüben und Weizen bei konventioneller Produktion und der wirtschaftlichsten Nutzung der Nebenprodukte ca. 23 % des Energieaufwandes und ca. 30 % der Treibhausgasemissionen sparen.

Durch den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung in Verbindung mit einer Gasturbine verbessern sich diese Werte auf 43 % für den Energieaufwand und 45 % für die Treibhausgasemissionen. Wird jedoch (Braun-)Kohle anstelle von Gas eingesetzt, kann sich das Ergebnis sogar in das Gegenteil verwandeln. Die Bilanz kann verbessert werden, wenn Nebenprodukte zur Gewinnung von Prozessenergie statt als Tierfutter eingesetzt werden. Bei der Herstellung von Bioethanol aus Zuckerrüben lassen sich auf diese Weise bis zu 73 % des Energieaufwandes und 65 % der Treibhausgasemissionen einsparen.

Moderne Verfahren, die Holz oder Stroh einsetzen, führen zu noch größeren Einsparungen, da ein Teil der Biomasse als Prozessenergie genutzt wird. Die Unterschiede zwischen dem Stroh- und Holzeinsatz erklären sich v.a. aus der Verwendung von Prozesschemikalien.

Der Well-to-Wheel-Report enthält u.a. auch Ergebnisse, die für alle flüssigen Brennstoffe bzw. grundsätzlich gelten. Im Folgenden sind Auszüge aus den Schlussfolgerungen, die CONCAWE/EUCAR/JRC gezogen haben, im Wortlaut dokumentiert. Aussagen, die sich auf Energie- und Treibhausgasbilanzen beziehen, sind in normaler Schrift und zusätzliche Aspekte (Verfügbarkeit, Kosten etc.) kursiv dargestellt. Der englische Originaltext befindet sich im Anhang (s. A 4, CONCAWE, EUCAR, JRC 2006, 3).

Generelle Beobachtungen

Eine Analyse des gesamten Lebenswegs, d.h. sowohl der Phase der Bereitstellung des Kraftstoffes als auch der Fahrzeugnutzung, bildet die notwendige Grundlage, um die Auswirkungen zukünftiger Kraftstoffe als auch Antriebskonzepte zu beurteilen.

- Sowohl die Kraftstoffbereitstellung als auch die Effizienz des Antriebs bestimmen die Höhe der Treibhausgasemissionen und des Energieverbrauchs.
- Es wurden eine gemeinsame Methodologie und ein gemeinsames Datengerüst entwickelt, die eine Grundlage für die Bewertung spezifischer Produktionspfade darstellen. Sie können im Zuge der technologischen Weiterentwicklung jeweils auf den neuesten Stand gebracht werden.

Der Einsatz von erneuerbaren Energien und kohlenstoffarmen Kraftstoffen kann zu erheblichen Treibhausgasreduktionen führen. Ihr Einsatz erfordert jedoch in der Regel einen höheren Energieeinsatz. Es kommt darauf an, welche Einsatzstoffe und Konversionspfade im Einzelnen gewählt werden.

Die Ergebnisse müssen zudem hinsichtlich vorhandener Mengen, der Machbarkeit, der Praktikabilität, der Kosten sowie der Nutzerakzeptanz der verschiedenen Produktionspfade bewertet werden.

Derzeit ist der Einsatz von erneuerbaren und kohlenstoffarmen Rohstoffen noch recht teuer.

- *Treibhausgasemissionsreduktionen sind immer mit Kosten verbunden, aber höhere Kosten bedeuten nicht automatisch größere Treibhausgasreduktionen.*

Es zeichnet sich kurzfristig kein einzelner Konversionspfad ab, der die benötigten Mengen kohlenstoffarmer Kraftstoffe liefern könnte.

- *Vielmehr bedarf es des Einsatzes verschiedener Technologien und Konversionspfade.*
- *Voraussichtlich werden eine Vielzahl von verschiedenen Kraftstoffen auf den Markt kommen.*
- *Die Zumischung von Biokraftstoffen zu konventionellen Kraftstoffen oder ihr Einsatz in Nischen sollten in Erwägung gezogen werden, wenn dadurch Treibhausgasemissionen zu angemessenen Kosten eingespart werden können.*

Die großtechnische Herstellung synthetischer Kraftstoffe oder Wasserstoff aus Kohle oder Gas bietet das Potenzial, durch CO₂-Abscheidung und -Speicherung Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Dieses Verfahren verdient weitere Forschungsanstrengungen.

Moderne Biokraftstoffe und Wasserstoff haben ein größeres Potenzial, fossile Brennstoffe zu ersetzen, als konventionelle Brennstoffe.

Hohe Kosten und die Komplexität zwischen der Rohstoffgewinnung, der Anlagengröße, Effizienz und Kosten sind große Hemmnisse für die großtechnische Entwicklung dieser Verfahren.

Der Einsatz erneuerbarer Ressourcen im Verkehrssektor führt meist nicht zu den maximal möglichen Treibhausgasreduktionen erneuerbarer Energien.

Um erneuerbare Energie-Ressourcen, wie z.B. Biomasse und Windenergie, optimal zu nutzen, sollten alle Möglichkeiten auf der Nachfrageseite, einschließlich stationärer Anwendungen, in Betracht gezogen werden.

Alternative flüssige Kraftstoffe

Es gibt bereits zahlreiche Möglichkeiten, alternative flüssige Kraftstoffe herzustellen, die als Zumischung zu konventionellen Kraftstoffen oder in manchen Fällen auch in Reinform in der vorhandenen Infrastruktur und den vorhandenen Fahrzeugen eingesetzt werden können.

Die Einsparung von fossiler Energie und von Treibhausgasemissionen konventionell erzeugter Biokraftstoffe wie Bioethanol oder Biodiesel sind stark vom gewählten Produktionsverfahren und der Nutzung von Nebenprodukten abhängig.

Die Treibhausgasbilanz von konventionell erzeugten Biokraftstoffen ist aufgrund der N₂O-Emissionen in der Landwirtschaft besonders mit Unsicherheiten behaftet.

Neben der direkten Beimischung kann Ethanol auch als ETBE dem Benzin beigemischt werden. Der Verbrauch von Energie und die Treibhausgasemissionen sind direkt abhängig von der zugemischten Ethanolmenge.

Es werden Verfahren entwickelt, die Zellulose von Holz oder Stroh zu Ethanol verwandeln. Sie haben eine vielversprechende Energie- und Treibhausgasbilanz.

Die Mengen von Bioethanol oder Biodiesel sind begrenzt. Das Kosten/Nutzen-Verhältnis, das auch die CO₂-Vermeidungskosten und die Substitutionskosten nicht-erneuerbarer Brennstoffe berücksichtigt, hängt stark vom gewählten Konversionspfad, der Nutzung von Nebenprodukten und den Stickoxidemissionen ab. Aus Zellulose gewonnenes Ethanol kann das Produktionspotenzial, auch zu Kosten, die mit herkömmlichen Verfahren erzielt werden können, erheblich vergrößern, wenn geringwertige Rohstoffe, wie z.B. Stroh, zum Einsatz kommen.

Aus Erdgas (Gas-to-Liquid) und Kohle (Coal-to-Liquid) lässt sich Diesel bester Qualität herstellen. Die Treibhausgasemissionen von GTL-Diesel sind jedoch etwas höher als bei

konventionellem Dieseldieselkraftstoff. CTL-Diesel verursacht erheblich mehr Treibhausgasemissionen.

Mittelfristig steht GTL- (und CTL-)Diesel nur in begrenztem Umfang für Nischenanwendungen oder als hochwertiger Diesel zur Beimischung zur Verfügung.

Derzeit werden neue Biomass-to-Liquid-Verfahren zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen entwickelt, die geringere Treibhausgasemissionen verursachen, aber immer noch einen hohen Energieeinsatz erfordern.

Diese modernen BTL-Verfahren haben das Potenzial erheblich mehr Treibhausgasemissionen einzusparen als heute übliche Biomasse-Anlagen. Ihre Entwicklung verdient weitere Forschungsanstrengungen.

Einflussfaktoren wie Flächen- und Biomasseverfügbarkeit, Rohstoffgewinnung, Anlagengröße sowie die Verfügbarkeit effizienter und kostengünstiger Verfahren begrenzen die Anwendung dieser Verfahren.

3.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Ökobilanz Bioethanol

Es gibt nur sehr wenige Ökobilanzstudien, die die üblichen Wirkkategorien (Verbrauch fossiler Energieträger, Wirkung auf den Treibhauseffekt, Ozonabbau, Versauerung, Eutrophierung, Human- und Ökotoxizität) systematisch berücksichtigen. Selbst für bereits auf dem Markt befindliche Biokraftstoffe fehlen oft aussagekräftige Untersuchungen der weiteren Umweltwirkungen wie z.B. für Bioethanol aus Zuckerrohr. Ergebnisse sind in der Regel nur qualitativ darstellbar. Sie hängen u.a. stark davon ab, welche Alternativverwendung bei Kraftstoffen aus Rest- oder Abfallstoffen angenommen wird, in welcher Form die Bereitstellung des Energiebedarfs erfolgt, welche Methodik bei der Berücksichtigung von Kuppelprodukten zum Einsatz kam und ob der Emissionsort beachtet wurde. Lediglich bei den Energie- und Treibhausgasbilanzen können Bandbreiten für die betrachteten Größen seriös ermittelt werden. Hier sind die Ergebnisse in geringerem Umfang von den Fragestellungen und Bilanzierungsweisen abhängig. Große Bandbreiten ergeben sich v.a. aus Unterschieden in den Basisdaten, den Erträgen, der Verfahrenstechnik und in der Bewertung der Kuppelprodukte.

Wegen der großen Stickstoffemissionen, die im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Produktion von Anbaubiomasse entstehen, fällt der Vergleich zwischen Bio- und fossilen Kraftstoffen sowohl für die Versauerung und Eutrophierung als auch für Lachgas (N₂O) qualitativ richtungssicher zu Gunsten der fossilen Kraftstoffe aus. Eine Ausnahme bilden Biokraftstoffe aus Reststoffen, da Lachgas bei diesen Kraftstoffen in der Regel keine wesentliche Rolle spielt. Hinsichtlich der Ressourcenschonung und beim Einsparen von Klimagasen sind die Verhältnisse umgekehrt. Objektiv erlauben diese Ergebnisse keine Bevorzugung für einen Kraftstoff. Gemäß den internationalen Normen für Ökobilanzen (insbesondere ISO 14042) ist aber eine Priorisierung von Umweltwirkungen möglich, wenn diese gesellschaftlich anerkannt und kommuniziert wird. „Wenn, wie derzeit in weiten gesellschaftlichen Kreisen in Deutschland, der Energieeinsparung und dem Treibhauseffekt in der Bewertung die höchste Priorität eingeräumt wird, dann schneiden alle untersuchten Biokraftstoffe besser als die fossilen Alternativen ab“ (Reinhardt in Germanwatch / Bernhardt u.a. 2005, 18).

Die eingesparte Primärenergie und die vermiedenen Treibhausgasemissionen korrelieren für Bioethanol, ETBE, Biodiesel und Pflanzenöle jeweils untereinander sehr eng, so dass

Aussagen bezüglich der Primärenergie annähernd auch für die eingesparten Treibhausgasemissionen gelten. Am günstigsten fällt die Energie- und Treibhausgasbilanz von Ethanol aus, wenn fossiler Ottokraftstoff durch Bioethanol aus Zuckerrohr ersetzt wird. In gemäßigten Breiten schneidet Ethanol aus Zuckerrüben am besten ab, gefolgt von Ethanol aus Lignozellulose, Weizen, Mais oder Kartoffeln. Bioethanol aus Zuckerrohr weist auch eine bessere Bilanz auf als Pflanzenöle aus Sonnenblumen oder Raps. Beim Vergleich der Bioethanol- mit den Biodiesel-Optionen hängt es von den jeweiligen Rohstoffen ab, ob Bioethanol die günstigere Energie- und Treibhausgasbilanz aufweist als Biodiesel.

Trotz des zusätzlichen Prozessschrittes wird bei allen untersuchten Biomasserohstoffen eine noch positivere Bilanz erreicht, wenn Ethanol weiter zu Ethyl-Tertiär-Butylether (ETBE) verarbeitet wird und das fossile Methyl-Tertiär-Butylether (MTBE) ersetzt. Das liegt daran, dass ETBE das mit relativ hohem Energieaufwand zu produzierende MTBE ersetzt, während Bioethanol den im Vergleich zu MTBE günstiger zu produzierenden Ottokraftstoff ersetzt. Es wird vermutet, dass ETBE aus Zuckerrohr die höchsten Vorteile aufweisen würde.

Insgesamt besteht hinsichtlich der Ökobilanz von Bioethanol und anderen Biokraftstoffen noch ein großer Forschungsbedarf. Insbesondere die weiteren Umweltwirkungen wie Human- und Ökotoxizität, Versauerung, Eutrophierung etc. müssen für alle Lebenswegabschnitte ermittelt werden. Es fehlen zudem Untersuchungen zu einigen Biokraftstoffen aus Reststoffen, wie z.B. Biomass-to-Liquid (BtL). Zur besseren Absicherung der Bandbreiten der Energie- und Treibhausgasbilanzen für einige Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse bedarf es noch ergänzender Analysen z.B. zu Bioethanol bzw. ETBE aus Zuckerrohr und aus Kartoffeln. Da stationäre Anwendungen zumeist unter Ökobilanzgesichtspunkten gegenüber der mobilen Verwendung vorteilhafter sind, sollte auch diese Option geprüft werden.

Beitrag zur Nachhaltigkeit

Das wichtigste Ziel bei der Biokraftstoffherstellung und -nutzung sollte die Nachhaltigkeit sein. Das bedeutet, dass ausschließlich sozial verträgliche, ökologisch unbedenkliche und wirtschaftliche Verfahren zum Einsatz kommen sollten. Mittel- bis langfristig können wir es uns nicht erlauben, ein nicht-nachhaltiges Produktionssystem aufrechtzuerhalten. Insbesondere in den Entwicklungsländern ist es von großer Bedeutung, dass der Energiepflanzenanbau Arbeitsplätze schafft und die Lebensqualität besonders im ländlichen Raum verbessert. Alle Akteure sollten angemessen an der Wertschöpfung beteiligt sein. Der Energiepflanzenanbau und die Importsubstitution von Öl sowie der Export von Biokraftstoffen wie Ethanol helfen, die Versorgungssicherheit zu verbessern und die nationalen Ausgaben in harter Währung zu reduzieren. Durch den Einsatz von Biokraftstoffen lässt sich die Luftqualität in den Ballungsräumen verbessern. Darüber hinaus können Biokraftstoffe einen Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasen leisten. Angesichts der Oligopolisierung von Massenmärkten und dem absehbaren Großeinsatz von Gentechnik im Biospritzbereich wird es sehr schwer, die genannten Kriterien durchzusetzen. Die Erzeugung von Biokraftstoffen ist nicht die erstbeste Lösung der Klimaproblematik, denn die Einsparung von Energieressourcen oder die Steigerung der Energieeffizienz ist immer vorzuziehen. Zudem wäre der Einsatz von Biomasse zum Ersatz von Kohle im Kraftwerksbereich hinsichtlich der Klimabilanz weit günstiger.

Welche Chancen hat die Bioethanol-Produktion in Nordrhein-Westfalen, Deutschland und in der Europäischen Union?

Die Bioethanolproduktion war bis 2004 in Deutschland - und auch in Nordrhein-Westfalen - nur von geringer Bedeutung. Im vergangenen Jahr sind die Produktionskapazitäten sprunghaft angestiegen. Der Absatz von Bioethanol betrug 2005 0,22 Mio. Tonnen (280 Mio. Liter). Gründe dafür sind das gestiegene Preisniveau für Ottokraftstoffe und die Wirkung des Mineralölsteuergesetzes, wonach auch die Beimischungen von Bioethanol zu Ottokraftstoffen anteilig steuerbefreit ist. Die geplante Beimischungspflicht von Bioethanol („Biokraftstoffquotengesetz“) wird diese Entwicklung noch begünstigen. Auch in der Europäischen Union steigen die Produktionsmengen von Bioethanol. Es ist zu erwarten, dass sich u.a. durch die jüngsten Aktivitäten der EU zur Förderung des Biokraftstoffsektors dieser Trend fortsetzen wird.

Im Zuge der Reform der Zuckermarktordnung erhalten die Bauern in der Europäischen Union weniger Geld für ihren Zucker. Die betroffenen Bauern und Zuckerproduzenten suchen nach alternativen Vermarktungsmöglichkeiten. Die Herstellung von Bioethanol für den Kraftstoffmarkt ist eine mögliche Option. Die nordrhein-westfälische Landesregierung unterstützt u.a. im Rahmen des Kompetenznetzwerkes „Kraftstoffe der Zukunft“ die betroffenen Akteure. Sie fördert den Einsatz von Bioethanol E85 als Kraftstoff in Fahrzeugflotten der öffentlichen Verwaltung und gibt Zuschüsse für den Ausbau des Bioethanol-Tankstellennetzes (MUNLV 2005). Es ist davon auszugehen, dass bei weiter steigenden Ölpreisen der Weltmarktpreis für Bioethanol steigen wird. Das Absatzpotential nimmt zu. Dies würde nicht nur dazu führen, dass Stilllegungsflächen produktiv genutzt werden, sondern auch dass andere, weniger rentable Anbauprodukte verdrängt werden.. Der Wertschöpfungsbeitrag für die Landwirtschaft ist aber eher gering.

Die Produktion in Deutschland und in der EU steht jedoch im internationalen Wettbewerb. Bei den bisherigen Weltmarktpreisen ist die deutsche wie auch die europäische Bioethanolproduktion auf dem Weltmarkt nicht konkurrenzfähig. Sollte aber der Ölpreis dauerhaft weiter steigen, lohnt sich auch der Anbau hierzulande. Importzölle bieten derzeit noch einen gewissen Außenschutz vor preiswerterem Bioethanol vom Weltmarkt (2002: 19,2 €/hl, Henke, Klepper, Netzel 2002: 19). Sollten die Verhandlungen in der WTO-Doha-Runde abgeschlossen werden, müssen diese jedoch deutlich abgebaut werden.

Wenig beachtet wurde bisher, dass Deutschland sehr gute Voraussetzungen besitzt, innovative technische Lösungen und Verarbeitungsanlagen weltweit zu vermarkten. Auch Nordrhein-Westfalen ist als Technologiestandort prinzipiell gut aufgestellt, um an der Wertschöpfung durch Anlagenbau teilzuhaben. Um in diesem Bereich auch zukünftig Beschäftigungsmöglichkeiten zu erhalten bzw. zu schaffen, bedarf es sowohl der Exportförderung für deutsche Technologie (Anpassung von Hermes für kleine und mittlere Unternehmen (KMU), Investitionsbeihilfen etc.) als auch eines funktionierenden inländischen Marktes. Die Bioethanolproduktion kann nur im globalen Kontext gesehen werden. Die politischen Ziele sollten genau definiert sein.

Wie können Entwicklungsländer von der Bioethanol-Produktion profitieren?

Bisher gibt es unter den Ländern des Südens nur wenige Ethanol-Exporteure. Die größten sind Brasilien und neuerdings auch China. Durch die Ethanol-Produktion lässt sich die Abhängigkeit vom Öl senken. Sie schafft Beschäftigung, auch in ländlichen Gegenden, und Unterstützung für die heimische Landwirtschaft. Darüber hinaus werden Treibhausgasemissionen sowie Emissionen von Luftschadstoffen (z.B. Blei) gesenkt.

Speziell zu der Frage, ob Ethanol eine Perspektive für LDC- und AKP-Länder sein kann, wurde von Germanwatch im Mai 2006 eine Tagung im Rahmen des Zuckerdialog-Projektes durchgeführt (Germanwatch / Lanje, Römling 2006). Besonders deutlich wurde dabei, welcher immense Forschungsbedarf bei der Ethanolerzeugung in den AKP- und LDC-Ländern besteht (Germanwatch / Lanje, Römling 2006: 9). Viele offene Fragen bleiben: Ob ein Einstieg in die profitable Ethanolerzeugung auch die Situation der armen Menschen in diesem Land verbessert oder nur internationale Unternehmen Gewinne einfahren, ob ein großer Teil der Bevölkerung durch steigende Lebensmittelpreise wegen des weltweiten Ethanol-Booms hart betroffen sein wird und ob der Anbau für den Eigenbedarf - was in der Anfangsphase Abschottungen gegen billige brasilianische Importe notwendig machen würde - oder für den Export in LDCs sinnvoller wäre. Das Beispiel Brasilien zeigt deutlich, dass es in den vergangenen Jahren sowohl Verbesserungen der Schwachpunkte in Bezug auf ökologische und soziale Nachhaltigkeit gibt, obwohl in einigen Regionen viele häufig genannte Kritikpunkte weiter Bestand haben. Besonders der immense Flächenverbrauch für Ethanol aus Zuckerrohr ist einer der Problempunkte, für den sich noch keine angemessene Lösung findet. Die Substitution des Nahrungsmittelanbaus in Ländern, in denen Nahrungsmittelknappheit herrscht, ist bei anhaltendem Ethanol-Boom in liberalisierten Märkten zu befürchten, da die Autobesitzer mehr Kaufkraft haben als die Menschen am Existenzminimum.

Wenn sich LDCs dafür entscheiden, sollte eine Unterstützung für den Aufbau einer Bioethanol-Produktion zuerst für die Eigenversorgung, später ggf. für den Export sichergestellt werden. Dies kann im Rahmen von bilateralen Partnerschaften (Nord-Süd und Süd-Süd), aber auch durch internationale Organisationen erfolgen. Derzeit kann Bioethanol in die EU zollfrei im Rahmen der Präferenzregelungen „Alles außer Waffen“, dem Cotonou-Abkommen mit Ländern Afrikas, der Karibik und des Pazifischen Raums sowie einigen weiteren bilateralen Präferenzabkommen importiert werden.

Im Rahmen der Begleitmaßnahmen für Vertragsstaaten des AKP-Zuckerprotokolls, die von der Reform der Zuckermarktordnung betroffen sind, sollen die Umstrukturierung oder Diversifizierung der Länder zur Entwicklung des Ethanolsektors genutzt werden. Geplant ist die Entwicklung eines kohärenten Förderpaktes für Biokraftstoffe in dem auch die Chancen zur Armutsbekämpfung ein Aspekt sein sollen. Wenn Ethanol - etwa angetrieben durch die geplante Beimischungspflicht in Deutschland - in großem Maßstab in die EU importiert wird, werden vermutlich nur wenige Exportstaaten davon profitieren, LDC wohl kaum. Die Investitionsüberlegungen etwa der Ölbranche zeigen deutlich in diese Richtung.

Damit die Bioethanolproduktion Nachhaltigkeitskriterien entsprechen kann, sollte die Zertifizierung vorangetrieben werden, ohne unnötige Handelshemmnisse zu errichten (Germanwatch / Lanje, Römling 2006: 33). Allerdings sollte man sich vor der Illusion hüten, dass damit die negativen Auswirkungen eines Ethanol-Booms im Griff seien. Zentrale systemische Auswirkungen - wie etwas steigende Agrarpreise oder die indirekte Verdrängung der Soja-Anbauflächen in den Regenwald - sind durch flächenbezogene Zertifizierung nicht zu regeln.

4 Literaturliste

- ADEME - Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, DIREM – La Direction des Ressources Énergétiques et Minérales (2002): Bilans Énergétiques et Gaz à Effet de serre des Filières de Production de Biocarburants en France.
www.ademe.fr/partenaires/agrice/publications/documents_francais/synthese_bilans_energetiques_fr.pdf.
- Beer, Tom, et. al. (2001): Comparison of Transport Fuels. Final Report to the Australian Greenhouse Office on the Stage 2 Study of Life-Cycle Emissions Analysis of Alternative Fuels for Heavy Vehicles. EV45A/2/F3C. CSIRO - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Aspendale, Australia.
www.greenhouse.gov.au/transport/comparison/pubs/comparison.pdf.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006a): Entwicklung der Erneuerbaren Energien 2005. Aktueller Sachstand Mai 2006.
www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_aktuellersachstand.pdf.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006b): Grafiken und Tabellen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Mai 2006.
www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/schaubilder_ee_juni2006.pdf.
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Worldwatch Institute, GTZ - Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (2006): Kraftstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen – Globale Potenziale und Implikationen für eine nachhaltige Landwirtschaft und Energieversorgung im 21. Jahrhundert. Konferenzhandreichung. GTZ, Berlin.
www.gtz.de/de/dokumente/de-Konferenz_Handout-2006.pdf.
- Bundesregierung (2004): Bericht der Unterarbeitsgruppe „Kraftstoffmatrix“ zum „Matrixprozess“. November 2004. Bundesregierung, Berlin. www.bmvbs.de/Anlage22295/Matrixbericht-der-Expertenarbeitsgruppe-der-Bundesregierung.pdf.
- CONCAWE - Conservation of Clean Air and Water in Europe, EUCAR - European Council for Automotive Research and Development, JRC - European Commission Directorate-General Joint Research Centre (2006): Well-to-Wheels-Report. Version 2b.
http://ies.jrc.cec.eu.int/media/scripts/getfile.php?file=fileadmin/H04/Well_to_Wheels/WTW/WTW_Report_030506.pdf, <http://ies.jrc.cec.eu.int/wtw.html>.
- DLR - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, WI - Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. BMU, Berlin.
www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nutzung_ee_lang.pdf.
- Elsayed, M.A.; Matthews, R.; Mortimer, N.D. (2003): Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuels Options. Crown. Copyright. www.shu.ac.uk/rru/reports/scp21-3_main_sections.pdf.
- FfE - Forschungsstelle für Energiewirtschaft (1999): Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen. Teil V Biogene Kraftstoffe. Im Auftrag der Bayerische Forschungstiftung. Bearbeitet am Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München von Dreier, T.. FfE, München. www.ffe.de/download/gabie/biogen.pdf.
- Flavin, Christopher (2006): Biofuels for Transportation. Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture in the 21st Century. Power Point Präsentation im Rahmen der Konferenz „Kraftstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen“ am 16.-17. Mai 2006 in Berlin.
www.gtz.de/de/dokumente/en-flavin-worldwatch-institute-2006.pdf.
- FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hg.) (2006a): Biokraftstoffe eine vergleichende Analyse. FNR, Gülzow. www.fnr-server.de/pdf/literatur/pdf_236biokraftstoffvergleich2006.pdf.
- FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2006b): Bioethanol-Anlagen, Region Deutschland. www.fnr-server.de/cms35/index.php?id=1149&GID=0&KID=16&OID=0. Persönliche Mitteilung Dietmar Kemnitz 17.08.2006.

- FVV - Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (2004): CO₂-Studie. CO₂-neutrale Wege zukünftiger Mobilität durch Biokraftstoffe: Eine Bestandsaufnahme. Abschlussbericht. Heft 789. FVV, Frankfurt am Main. www.fvv-net.de/Download/Download%20CO2-Studie/AB_CO2-Studie_komplett_Internet.pdf.
- Germanwatch / Bernhardt, Dörte u.a. (2005): Ethanol aus Zucker? Aus ökologischer und sozialer Perspektive. Dokumentation der Veranstaltung im Rahmen der „Aktionstage Ökolandbau NRW“ in Bielefeld am 28. Juni 2005. Germanwatch, Bonn. www.germanwatch.org/tw/eth05.pdf.
- Germanwatch / Lanje, Kerstin; Bernhardt, Dörte; Zenker, Rosemarie (2005): Die Zukunft des Zuckers. Optionen für eine entwicklungspolitische und ökologisch nachhaltige Zuckerpolitik. Dokumentation der Auftaktveranstaltung des Projekts „Süßer Sprengstoff für die entwicklungspolitische und ökologische Debatte“ in Düsseldorf am 21. September 2005. Germanwatch, Bonn. www.germanwatch.org/tw/zu-dok05.pdf.
- Germanwatch / Lanje, Kerstin; Römling, Cornelia (2006): Ethanol aus Zuckerrohr als Perspektive für AKP- und LDC-Länder. Dokumentation der Dialogveranstaltung IV in Bonn am 24. Mai 2006. Germanwatch, Bonn. www.germanwatch.org/tw/zudoet06n.pdf.
- GM - General Motors Corporation (2001): Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of advanced Fuel/Vehicle Systems. North American Analysis. www.fischer-tropsch.org/DOE/DOE_reports/well2wheel/well2wheel.htm.
- Henke, Jan M.; Klepper, Gernot; Netzel, Jens (2002): Steuerbefreiung für Biokraftstoffe: Ist Bio-Ethanol wirklich eine klimapolitische Option? Kieler Arbeitspapier Nr. 1136. Institut für Weltwirtschaft, Kiel. www.uni-kiel.de/ifw/pub/kap/2002/kap1136.pdf.
- IE - Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (2005): Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext. Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern. IE, Leipzig. www.bmu.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/36715.php.
- IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (2000): Bioenergy for Europe: Which Ones Fit Best? A Comparative Analysis for the Community. Final Report. FAIR V CT 98 3832. Under support of DG XII. In Collaboration with BLT, CLM, CRES, CTI, FAL, FAT, INRA, and TUD⁸. IFEU, Heidelberg. www.oeko.de/service/bio/dateien/en/BLT%20Biofuels%20II.pdf.
- IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (2002): Ökobilanz von Bioethanol und Bio-Ethyl-Tertiär-Butylether (ETBE). Interner Bericht des IFEU-Instituts.
- KOM - Kommission der Europäischen Gemeinschaften (1997): Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger. Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan. Mitteilung der Kommission: KOM(97)599 endg.. http://europa.eu.int/comm/energy/library/599fi_de.pdf.
- KOM - Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2005): Aktionsplan für Biomasse. KOM(2005) 628 vom 7.12.2005. KOM, Brüssel. http://ec.europa.eu/energy/res/biomass_action_plan/doc/2005_12_07_comm_biomass_action_plan_de.pdf.
- KOM - Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2006b): Eine EU-Strategie für Biokraftstoffe. KOM(2006) 34 vom 08.02.2006. KOM, Brüssel. http://ec.europa.eu/energy/res/biomass_action_plan/doc/2006_02_08_comm_eu_strategy_de.pdf.
- KOM - Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2006c): Biokraftstoff-Strategie: Memo mit Hintergrundinformationen. MEMO/06/65. 08.02.2006. KOM, Brüssel. <http://europa.eu.int/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/06/65&format=PDF&aged=1&language=DE&guiLanguage=en>.

⁸ BLT - Bundesanstalt für Landtechnik (Austria), CLM - Centrum voor Landbouw en Milieu (Netherlands), CRES - Centre for Renewable Energy Sources (Greece), CTI - Comitato Termotecnico Italiano (Italy), FAL - Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (Switzerland), FAT - Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (Switzerland), INRA - Institut National de la Recherche Agronomique (France), TUD - Technical University of Denmark (Denmark)

- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2005): Viel Raps für Öl und Diesel. Pressemeldung vom 05.01.2005. www.landwirtschaftskammer.de/presse/archiv/aa-2005-01-01.htm.
- MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. (2005): Förderkonzept zum Projekt "Einsatz von Rapsöl und Bioethanol als Kraftstoff in Fahrzeugflotten der öffentlichen Verwaltung". MUNLV, Düsseldorf. www.lag21.de/download/3/Biokraftstoffe%20MUNLV%20Foerderkonzept.pdf.
- Observ'ER - Observatoire des énergies renouvelables⁹ (2004): Biofuel Barometer / Le baromètre des biocarburants. With the financial support of ADEME and DG Tren. June 2004. Observ'ER, Brussels. www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro167b.pdf.
- Pimentel, David. (2003): Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics and Environmental Impacts are Negative. *Natural Resources Research*, Vol. 12, No. 2, 127-134. www.ethanol-gec.org/netenergy/neypimentel.pdf.
- Richards, I.R. (2000): Energy Balances in the Growth of Oilseed Rape for Biodiesel and of Wheat for Bioethanol. Report for the British Association of Bio Fuels and Oils (BABFO). Levington Agriculture Report. Levington Agriculture Ltd, Ipswich. www.senternovem.nl/mmfiles/27781_tcm24-124189.pdf.
- Schmitz, Norbert u.a. (Hg.) (2003): Bioethanol in Deutschland. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Band 21. Landwirtschaftsverlag, Münster. www.fnr-server.de/pdf/literatur/pdf_25ethanol2003.pdf.
- Schmitz, Norbert u.a. (Hg.) (2005): Innovationen bei der Bioethanolerzeugung und ihre Auswirkungen auf Energie- und Treibhausgasbilanzen. Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Schneider, Wolfgang (2005): Die beschleunigte Ökologisierung des Autos. Wolfgang Schneider zu den Strategien von Ford; in: *BWK - Das Energie-Fachmagazin* 12/2005: S. 10-11.
- S&T - Squared Consultants Inc. (2003): The Addition of Ethanol from Wheat to GHGenius. Report to Office of Energy Efficiency, Natural Resources Canada. Ottawa. www.ghgenius.ca/forum/index.php?action=vthread&forum=2&topic=23.
- WI - Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy (2005): A Synopsis of German and European Experience and State of the Art Biofuels for Transport. WI, Wuppertal. www.gtz.de/de/dokumente/en-synopsis-of-german-and-european-experience-of_biofuels-for_transport-2005.pdf.

⁹ Beobachtungsstelle für erneuerbare Energien

5 Anhang

5.1 A 1: Literaturverzeichnis CO₂-Studie

- ADEME 2002/ Direction of Agriculture and Bioenergies of the French Environment and Energy Management Agency (ADEME) & French Direction of the Energy and Mineral Resources (DIREM) (2002): Bilans Énergétiques et gaz à effet de serre des filières de Production de Biocarburants en France.
- AFCG 2003/ Alternative Fuels Contact Group (2003): Market Development of Alternative Fuels.
- Atrax 2002/ Atrax Energi AB et al. (2002): The Bio-DME Project, Phase 1. Report to Swedish National Energy Administration (STEM).
- Börjesson 2004/ Börjesson, P. & Berglund, M. (2004): Environmental Analysis of Biogas Systems – Part I: Fuel Cycle Emissions; Part II: Environmental Impact when replacing various Reference Systems. Manuskripte zur 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection 10 – 14 May 2004 Rome, Italy.
- CONCAWE 2002/ Armstrong, A.P., Baro, J., Dartoy, J., Groves, A.P., Nikkonen, J. & Rickeard D.J. (2002): Energy and Greenhouse Gas Balance of Biofuels for Europe - An Update.
- CSIRO 2001/ Beer, T., Morgan, G., Lepszewicz, J., Anyon, P., Edwards, J., Nelson, P., Watson, H. & Williams, D. (2001): Comparison of Transport Fuels. Life-Cycle Emission Analysis of Alternative Fuels for Heavy Vehicles. Australia.
- DfT 2003/ DfT (2003): International Resource Costs of Biodiesel and Bioethanol.
- DLR 2003/ DLR, IfE & ISVS (2003): Renewable Fuels for Cross Border Transportation. Final Report to the European Commission.
- DLR 2004/ DLR, IfEU, & WI (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland.
- Dreier 1999/ Dreier, T. (1999): Biogene Kraftstoffe – Energetische, ökologische und ökonomische Analyse. IfE Schriftenreihe Heft 38.
- Dreier 2000/ Dreier, T. (2000): Ganzheitliche Systemanalyse und Potenziale biogener Kraftstoffe. IfE Schriftenreihe Heft 42.
- Duncan 2003/ Duncan, J. (2003): Costs of Biodiesel Production. Prepared for: Energy Efficiency and Conservation Authority.
- EEA 2003 / European Environmental Agency (2003): Greenhouse Gas Emission Trends and Projections in Europe 2003 – Tracking Progress by the EU and acceding and Candidate Countries towards achieving their Kyoto Protocol Targets. Final Draft Environmental Issue Report 36.
- EIA 2004 / EIA (2004): World Crude Oil Prices 02/20/2004 unter <http://www.eia.doe.gov/> (zuletzt geöffnet am 27.02.2004).
- Elsayed 2003/ Elsayed, M.A., Matthews, R. & Mortimer, N.D. (2003): Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuels Options.
- Enerstrat 2003/ Enerstrat (2003): CSR Fuel Ethanol Lifecycle Analysis. Prepared for CSR Sugar in association with APACE Research.
- EST 2002/ Eyre, N. (EST), Fergusson, M. (IEEP), Mills, R. (NSCA) (2002): Fuelling Road Transport – Implications for Energy Policy.
- ETSU 1996/ Gover, M.P., Collings, S.A., Hitchcock, G.S., Moon, D.P. & Wilkins, G.T. (1996): Alternative Road Transport Fuels – A Preliminary Life-Cycle Study for the UK. Energy Technology Support Unit, Oxford.
- EU 2003/ Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor. Amtsblatt L-123/42 vom 17. Mai 2003.

- EUCAR 2003/ EUCAR, CONCAWE & JRC (2003): Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context.
- Europäische Kommission (2001): Grünbuch – Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit. Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften
- FAT 2000/ Heinzer, L., Gaillard, G., Dux, D., Stettler, C. (2000): Ökologische und ökonomische Bewertung von Bioenergieträgern. Vergleichende Untersuchungen von Stückholzheizung, Rapsmethylester und Fernwärme aus Heu. FAT-Schriftenreihe 52.
- FfE 1999/ Dreier, T. (1999b): Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen, Teil V Biogene Kraftstoffe. Auftraggeber: Bayerische Forschungsförderung / Forschungsstelle für Energiewirtschaft. Bearbeitet am Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München.
- Fromentin 2000/ Fromentin A., Biollay F., Dauriat A., Lucas-Porta H., Marchand J. D., Sarlos G., (2000): Caractérisation de filières de Production de Bioéthanol dans le contexte Helvétique. Programme de recherche Biomasse, Annexes au Rapport, Office Fédéral de l'Énergie.
- GM 2001/ General Motors Corporation (2001): Well-to-Wheel Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems – North American Analysis.
- GM 2002/ General Motors Corporation (2002): Well-to-Wheel Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems – A European study. Annex "Full Background Report" – Methodology, Assumptions, Descriptions, Calculations, Results- to the Well-to-Wheel Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems – A European Study.
- Graboski 2002/ Graboski M.S. (2002). Fossil Energy Use in the Manufacture of Corn Ethanol. Prepared for the National Corn Growers Association.
- IEA 1999/ International Energy Agency (IEA) (1999): Automotive Fuels for the future: The search for Alternatives, Paris.
- IEA 2003/ International Energy Agency (IEA) (2003): Analysis of Biofuels.
- IFEU 2000/ IFEU (Hrsg.) (2000): Bioenergy for Europe: Which Ones Fit Best? A Comparative Analysis for the Community. Final Report. Under support of DG XII, in Collaboration with BLT, CLM, CRES, CTI, FAT, INRA, and TUD, Heidelberg 2000.
- IFEU 2001/ Gärtner, S.O. & Reinhardt, G.A. (2001): Ökologischer Vergleich von RME und Rapsöl. Projekt im Auftrag der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, finanziert durch das Ministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft.
- IFEU 2002a/ Patyk, A. & Reinhardt, G.A. (2002a): Ökobilanz von Bioethanol und Bio-Ethyl-Tertiär-Butylether (ETBE). Interner Bericht des IFEU. Auszugsweise veröffentlicht in: Reinhardt, G. A. & Uihlein, A. (2002): Bioethanol and ETBE versus other Biofuels for Transportation. An Ecological Comparison. In International Organizing Committee of ISAF (ed.): Proceedings of the 14th International Symposium on Alcohol Fuels (ISAF XIV), 12 - 15 November 2002, Phuket (Thailand) 2002.
- IFEU 2002b/ Gärtner, S.O. & Reinhardt, G.A. (2002b): Ökobilanz von Sonnenblumenölmethylester (SME). Interner Bericht des IFEU. Auszugsweise veröffentlicht in: Reinhardt, G. A. & Uihlein, A. (2002): Bioethanol and ETBE versus other Biofuels for Transportation. An Ecological Comparison. In International Organizing Committee of ISAF (ed.): Proceedings of the 14th International Symposium on Alcohol Fuels (ISAF XIV), 12 - 15 November 2002, Phuket (Thailand) 2002.
- IFEU 2002c/ Patyk, A. & Reinhardt, G.A. (2002c): Ökobilanz von Bio-MeOH und Bio-DME. Interner Bericht des IFEU. Auszugsweise veröffentlicht in: Reinhardt, G. A.: Ökologische Bewertung erneuerbarer Kraftstoffe. Proceedings of the Symposium "Zukünftige Kraftstoffe für moderne Antriebe", Köln, 24 - 25 Juni 2003.
- IFEU 2003/ Gärtner, S.O. & Reinhardt, G.A. (2003): Erweiterung der Ökobilanz von RME. Projekt im Auftrag der Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V..

- IFEU 2004/ Reinhardt, G.A., Gärtner, S.O. (IFEU) & Scheurlen (IUS) (2004): Teilbericht „Energie aus Biomasse und Naturschutz“. In: DLR, IFEU, & WI (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland.
- IFO 2002/ Schöpe, M. & Brischkat, G. (2002): Gesamtwirtschaftliche Bewertung des Rapsanbaus zur Biodieselproduktion in Deutschland. ifo Schnelldienst 6/2002, S. 3-10.
- IPCC 2000 / IPCC (2000): Summary for Policymakers – Land use, Land-use change, and Forestry. A Special report of the IPCC.
- IPCC 2001/ IPCC (2001): Climate Change 2001 – Third Assessment Report. Cambridge UK.
- JRC 2002a/ Enguídanos, M., Soria, A., Kavalov, B., Jensen, P. (2002): Techno-economic Analysis of Biodiesel Production in the EU: A short summary for Decision-Makers. Report EUR 20279 EN.
- JRC 2002b/ Enguídanos, M., Soria, A., Kavalov, B., Jensen, P. (2002): Techno-economic Analysis of Bio-alcohol Production in the EU: A short Summary for Decision-Makers. Report EUR 20280 EN.
- JRC 2003/ Kavalov, B., Jensen, P., Papageorgiou, D., Schwensen, C., Olsson, J.-P. (2003): Biofuel Production Potential of EU-Candidate Countries. Final Report EUR 20835 EN Addendum to the Final Report EUR 20836 EN.
- JRC 2004/ Kavalov, B. (2004): Biofuel Potentials in the EU. Report EUR 21012 EN.
- Jungmeier 2003/ Jungmeier, G., Hausberger, S. & Canella L. (2003): Treibhausgas-Emissionen und Kosten von Transportsystemen – Vergleich von biogenen mit fossilen Treibstoffen. Projekt Nr.: IEF.2000.GF.013, Projektkoordination: Joanneum Research, Institut für Energieforschung.
- Kohlmaier & Rohner 1998/ Kohlmaier, G. & Rohner, M. (1998): CO₂-Senke der Wälder und Klimaschutz. Studie im Rahmen des Forschungsprojektes „Biosphäre, Klima und Ökonomie im globalen Kohlenstoffkreislauf“.
- Larson 1999/ Larson, E.D. & Haiming, J. (1999): Biomass Conversion to Fischer-Tropsch Liquids: Preliminary Energy Balances. Proceeding of the 4th Biomass Conference of the Americas, Oakland, California, 29 Aug. – 2 Sept. 1999.
- LBST 2002/ Altmann, M., Blandow, V., Niebauer, P., Schindler, J., Schurig, V., Weindorf, W., Wurster, R. & Zittel, W. (2002): Vergleich verschiedener Antriebskonzepte im Individualverkehr im Hinblick auf Energie- und Kraftstoffeinsparung. Studie im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen.
- LBST 2003/ Schindler, J. & Weindorf, W. (2003): “Well-to-Wheel” – Ökologische und ökonomische Bewertung von Fahrzeugkraftstoffen und -antrieben. Präsentation vom 12. April 2003 in Nürnberg.
- Levelton 1999/ Levelton Engineering Ltd. (1999): Assessment of Net Emissions of Greenhouse Gases from Ethanol-Blended Gasolines in Canada: Lignocellulosic Feedstocks.
- Levelton 2000/ Levelton Engineering Ltd. & (S&T) Consulting Inc. (2000): Assessment of Net Emissions of Greenhouse Gases from Ethanol-Gasoline Blends in Southern Ontario.
- Levelton 2002/ Levelton Engineering Ltd. & (S&T) Consulting Inc. (2002): Assessment of Biodiesel and Ethanol Diesel Blends, Greenhouse Gas Emissions, Exhaust Emissions, and Policy Issues.
- Levington 2000/ Richards, I.R. (2000): Energy Balances in the growth of Oilseed Rape for Biodiesel and of Wheat for Bioethanol. Report for the British Association of Bio Fuels and Oils (BABFO).
- Macedo 1997/ Macedo, I.C., (1997): Greenhouse Gas Emissions and Bio-Ethanol Production/Utilization in Brazil. Centro de Tecnologia Copersucar, Internal Report CTC-05/97.
- Marano, J.J. & Ciferno, J.P. (2001): Life-Cycle Greenhouse-Gas Emissions Inventory for Fischer-Tropsch Fuels. Prepared for U.S. Department of Energy National Energy Technology Laboratory.
- Moreira 2002/ Moreira, J.R. (2002). The Brazilian Energy Initiative - Biomass Contribute. Prepared for the Biotrade Workshop, Amsterdam, The Netherlands, September 9-10, 2002.

- Nieder et al. 1993/ Nieder, R., Kersebaum, K.C., Widmer, P. & Richter, J. (1993): Untersuchungen zur Stickstoff-Immobilisation in mineralisch gedüngten Ackerböden aus Löß während der Vegetationszeit von Winter-Weizen. In: Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 156, S. 293-300.
- NREL 1998/ Sheehan J., Camobreco, V., Duffield, J., Graboski, M. & Shapouri, H. (1998): Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus. Colorado, USA.
- NREL 1999/ Kadam, K.L., Camobreco, V.J., Glazebrook, B.E., Forrest, L.H., Jacobson, W.A., Simeroth, D.C., Blackburn, W.J. & Nehoda K.C. (1999): Environmental Life Cycle Implications of Fuel Oxygenate Production from California Biomass – Technical Report Section 1: Project Overview – References.
- NREL 2002/ Sheehan, J., Aden, A., Riley, C., Paustian, K., Killian, K., Brenner, J., Lighthle, D., Nelson, R. Walsh, M. & Cushmann, J. (2002): Is Ethanol from Corn Stover sustainable? Adventures in Cyber-Farming. A Life-Cycle-Assessment of the Production of Ethanol from Corn Stover for use in a flexible Fuel Vehicle. Draft Report for Peer Review, December 23, 2002.
- Öko-Institut 2004/ Fritsche, U., Jenseit, W., Hünecke, K., Rausch, L. & Wiegmann, K. (Öko-Institut, Darmstadt), Heinz, A. (Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik – UMSICHT), Thrän, D. (Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Leipzig – IE), Gärtner, S., Patyk, A. & Reinhardt, G. (Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH Heidelberg – IFEU), Baur, F., Bemann, U., Groß, B., Heib, M. & Ziegler, C. (Institut für Zukunfts-Energie-Systeme, Saarbrücken – IZES), Flake, M. & Schmehl, M. (TU Braunschweig, Institut für Geoökologie, Abt. Umweltsystemanalyse), Simon, S. (TU München, Lehrstuhl f. Wirtschaftslehre d. Landbaues) (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Endbericht des Verbundprojekts, gefördert vom BMU im Rahmen des ZIP, Projektträger: FZ Jülich.
- Pehnt 2002a/ Pehnt, M. (2002a): Ganzheitliche Bilanzierung von Brennstoffzellen in der Energie- und Verkehrstechnik. Fortschritt-Berichte, Reihe 6, Nr. 476, VDI Verlag, Düsseldorf 2002.
- Pehnt 2002b/ Pehnt, M. & Gärtner, S.O. (2002b): Ökobilanz von gasförmigem Wasserstoff aus Holzvergasung. Interner Bericht des IFEU, basiert auf: Ganzheitliche Bilanzierung von Brennstoffzellen in der Energie- und Verkehrstechnik. Fortschritt-Berichte, Reihe 6, Nr. 476, VDI Verlag, Düsseldorf 2002.
- Pimentel 2001/ Pimentel, D. (2001): The Limits of Biomass Utilization. In Encyclopedia of Physical Science and Technology Third Edition. Vol 2: S. 159-171.
- Pimentel 2003/ Pimentel, D. (2003): Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics and Environmental Impacts are Negative. Natural Resources Research, Vol. 12, No. 2, S. 127-134.
- Raschka 2002/ Raschka, M. (2002): Methanol als Energieträger in einem nachhaltigen Energiesystem? Fachgebiet Energiesysteme, Veranstaltung „Neue Entwicklung auf den Energiemärkten“ 2002.
- Reinhardt 1999/ Reinhardt, G. A. (1999): Ressourcen- und Emissionsbilanzen: Rapsöl und RME im Vergleich zu Dieselmotortreibstoff. Texte 79/99, Umweltbundesamt Berlin.
- Rogasik et al. 2000/ Rogasik, J., Schnug, E. & Rogasik, H. (2000): Landbau und Treibhauseffekt: Quellen und Senken für CO₂ bei unterschiedlicher Landbewirtschaftung. Arch. Acker-Pfl. Boden., 2000 Vol. 45, S 105-121. Malaysia
- (S&T) 2003/ (S&T) Consultants Inc. (2003): The Addition of Ethanol from Wheat to GHGenius.
- Schmitz 2003/ Schmitz, N. (Hrsg.) (2003): Bioethanol in Deutschland. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Band 21.
- Tan 2002/ Tan, R.R., Culaba, A.B. & Purvis, M.R.I. (2002a): Carbon Balance Implications of Coconut Biodiesel Utilization in the Philippine Automotive Transport Sector
- Thrän 2004/ Thrän, D. & Kaltschmitt, M. (2004): Status Quo und Potenziale der energetischen Biomassenutzung in Deutschland – Wozu sollen welche Biomassepotenziale genutzt werden? In: Bundesverband BioEnergie e. V. und Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (2004): Tagungsband: Ausbau der Bioenergie – im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz?! Eine Standortbestimmung. 10. Februar 2004, Berlin. S. 45-66.

- Thuijl 2003/ Thuijl, van E., Roos, C.J. & Beurskens, L.W.M. (2003): An Overview of Biofuel Technologies, Markets and Policies in Europe.
- TU München 2003/ Igelspacher, R. (2003): Ganzheitliche Systemanalyse zur Erzeugung und Anwendung von Bioethanol im Verkehrssektor. Gefördert durch: Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten. Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik im Institut für Energietechnik, TU München Prof. Dr.-Ing. U. Wagner, München im Juni 2003.
- UBA 2002/ Umweltbundesamt (2002): Emissionen nach Emittentengruppen in Deutschland 1990 – 2000. Stand Juli 2002. <http://www.umweltdaten.de/luft/ed-2000.pdf>; zuletzt geöffnet am 16.02.2004.
- USDA 2002/ Shapouri, H., Duffield, J.A. & Wang, M. (2002): The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update. Economic Report No. 813.
- VITO 1999/ Ceuterick, D. & Spirinckx C. (1999): Comparative LCA of Biodiesel and Fossil Diesel Fuel, VITO, Belgium.
- Wang 1999/ Wang, M., Saricks, C. & Santini D. (1999): Effects of Fuel Ethanol Use on Fuel-Cycle Energy and Greenhouse Gas Emissions.
- WBGU 2004/ WBGU (2004): Politikpapier 3 – Erneuerbare Energien für eine nachhaltige Entwicklung: Impulse für die renewables 2004.
- Woods 2003/ Woods, J. & Bauen, A. (2003): Technology Status Review and Carbon Abatement Potential of Renewable Transport Fuels in the UK.

5.2 A 2: Publikationen, die in der CO₂-Studie nicht analysiert werden, weil

5.2.1 keine Primärdaten aufgeführt werden

Die Ergebnisse basieren auf einer Detailstudie, die jedoch berücksichtigt wird (in Klammern aufgeführt).

- Lave L, MacLean H, Hendrickson C & Lankey R. (2000): Life-Cycle Analysis of Alternative Automobile Fuel/Propulsion Technologies. *Environ Sci Technol* 2000, 34 (17), S. 3598–3605. (MacLean & Lave 2002)
- Macedo, I.C. (1997): Emissão de Gases de Efeito Estufa e a Produção/Utilização de Etanol da Cana-de-Açúcar no Brasil. Centro de Tecnologia Copersucar, Brasil. (Macedo 1997)
- Macedo, I.C. (1998): Greenhouse Gas Emissions and Energy Balances in Bio-Ethanol Production and Utilization in Brazil (1996). *Biomass and Bioenergy*, 1998, 14.1, S. 77-81. (Macedo 1997)
- MacLean, H.L., Lave, L.B., Lankey, R. & Joshi, S. (2000): A Life-Cycle Comparison of Alternative Automobile Fuels, *Journal of the Air and Waste Management Association*, 50, 1769-1779. (MacLean & Lave 2002)
- Horne, R.E., Mortimer, N.D. & Elsayed, M.A. (2003): Energy and Carbon Balances of Biofuels Production: Biodiesel and Bioethanol. Paper presented to The International Fertilizer Society at a Meeting in London, on 3rd April 2003. (Mortimer 2003/ Mortimer, N.D., Cormack, P., Elsayed, M.A. & Horne, R.E. 2003)
- O'Connor, D.V., Esteghlalian, A.R., Gregg, D.J. & Saddler, J.N. (2000): Full Fuel Cycle Analysis of Greenhouse Gas Emissions from Biomass-derived Ethanol Fuel in Canada. In: Proceedings of an IEA Bioenergy Task 25 Workshop, 27-30 September 1999 Gatlinburg, Tennessee USA. (Levelton & (S&T) 2000)
- Pehnt, M. (2002): Life Cycle Assessment of Fuel Cell Systems. In: A. Lamm (Hrsg.), *Fuel Cell Handbook. Volume 3 – Fuel Cell Technology and Applications*, J. Wiley, Chichester 2002. (Pehnt 2002a)
- Sheehan, J., Camobreco, V., Duffield, J., Graboski, M., Shapouri, H. (1998): An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles. NREL, Golden, Colorado. (NREL 1998)

Wang, M., Saricks, C. & Santini, D (1998): Fuel-Cycle Fossil Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Corn Ethanol. Paper presented at the 8th Bio-Energy Conference, Madison, Wisconsin, October 5-8, 1998. (Wang et al. 1999) IFEU-Heidelberg A 136

5.2.2 aktuellere Publikationen der gleichen Autoren vorliegen

- Blackburn, B., MacDonald, T., McCormack, M., Perez, P., Scharff, M. & Unnasch, St. (1999): Evaluation of Fuel Potential in California. A Report from the California Energy Commission to the Governor and the Agency Secretary, California Environmental Protection (CEC 2001/ California Energy Commission 2001)
- Ecobilan SA (1999): Analyse de Cycle de Vie du Diester, Evaluation Comparée des Filières Gazole et Diester, octobre 1999. (Ademe 2002)
- Ecobilan SA (1999): Actualisation de l'Ecobilan du Diester, mars 1999. (Ademe 2002)
- Ecobilan SA (1996): Ecobilan de l'ETBE de Betteraves – Comparaison avec le MTBE, Confédération Générale des Planteurs de Betteraves – Syndicat National des Producteurs d'Alcools Agricoles, mars 1996. (Ademe 2002)
- ECOTEC Research and Consulting Ltd. (1999): Financial and Environmental Impact of Biodiesel as an Alternative to Fossil Diesel in the UK. Birmingham. (ECOTEC 2000/ ECOTEC Research and Consulting Ltd. 2000)
- Hartmann, H. & Kaltschmitt, M. (2002): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Band 3. (Thrän 2004/ Thrän & Kaltschmitt 2004)
- Kaltschmitt, M., Zander, F. & Nill, M. (2003): Potenziale biogener Kraftstoffe in Deutschland. ZfE – Zeitschrift für Energiewirtschaft 27 (2003) 3, S. 1-11. (Thrän 2004/ Thrän & Kaltschmitt 2004)
- 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. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung, 1999. (IFEU 2001/2002b/2003/ Gärtner, S.O. & Reinhardt, G.A. 2001/2002/2003 & IFEU 2002a/ Patyk, A. & Reinhardt, G.A. 2002)
- Reinhardt, G.A. (1999): Aktuelle Bewertung des Einsatzes von Rapsöl/RME im Vergleich zu Dieselmotoren. UBA-Texte 79/99. ISSN 0722-186X (IFEU2001/2003/ Gärtner, S.O. & Reinhardt, G.A. 2001/2003)
- Reinhardt, G. A. & Zemanek, G. (2000): Ökobilanz Bioenergieträger – Basisdaten, Ergebnisse, Bewertungen. IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. (IFEU 2001/2002b/2003/ Gärtner, S.O. & Reinhardt, G.A. 2001/2002/2003 & IFEU 2002a/ Patyk, A. & Reinhardt, G.A. 2002)
- Sundqvist, J.-O., Baky, A., Björklund, A., Carlsson, M., Eriksson, O., Frostell, B., Granath, J., Thyselius, L. (1999): Systemanalys av Energiutnyttjande från avfall – Utvärdering av Energi, miljö och Ekonomi IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Report No. 1380, 1999. (Sundqvist 2003)
- Wang, M., Saricks, C. & Wu, M. (1997): Fuel-Cycle Fossil Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Fuel Ethanol Produced from U.S. Midwest Corn, prepared for Illinois Department of Commerce and Community Affairs, Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, Argonne, Ill., Dec. (Wang 1999/ Wang et al. 1999)

5.2.3 keine Primärdaten, sondern ausschließlich Daten anderer Autoren betrachtet werden

- Bockey, D. (2002): Biodiesel Production and Marketing in Germany. The Situation and Perspective.
- Bückmann, M. & van Malsen, A. (1997): Biodiesel: A Climate-friendly Auto Fuel? Greenhouse Issues, (31).
- Calais, P. & Sims, R. (2000): A Comparison of Life-Cycle Emissions of Liquid Biofuels and Liquid and Gaseous Fossil Fuels in the Transport Sector. Proceedings of Solar 2000, Brisbane.

- Canadian Renewable Fuels Association (CRFA) (1999): Emissions Impact of Ethanol. Ontario, Canada.
- Delucci, M. & Lipmann, T. (2003): Appendix A: Energy use and Emissions from the Lifecycle of Diesel-like Fuels derived from Biomass. An Appendix to the Report, "A Lifecycle Emissions Model (LEM): Lifecycle Emissions From Transportation Fuels, Motor Vehicles, Transportation Modes, Electricity Use, Heating and Cooking Fuels, and Materials".
- ECOTEC Research and Consulting Ltd. (2000): Emissions from Liquid Biofuels. Birmingham.
- MacLean, H.L. & Lave, L.B. (2003): Evaluating Automobile Fuel/Propulsion Systems Technologies. *Progress in Energy and Combustion Science* 29 (2003) S. 1-69.
- Woods, J. & Bauen, A. (2003): Technology Status Review and Carbon Abatement Potential of Renewable Transport Fuels in the UK.

5.2.4 sie nicht mehr auf dem aktuellen Stand sind (1995 und älter)

- Ahouissoussi, N.B.C. & Wetzstein M.E. (1995): Life-cycle Costs of Alternative Fuels: Is Biodiesel Cost competitive for Urban Buses? Washington, DC. U.S. Dept. of Agriculture, Economic Research Service.
- Bain, R.L. (1992): Material and Energy Balances for Methanol from Biomass Using Biomass Gasifiers. Report NREL.
- Bartus, D. (1989): Effects of Fuel Ethanol Production and Use on CO₂ Production and Global Warming, United States Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- Culshaw, F. & Butler, C. (1992): A Review of the Potential of Biodiesel as a Transport Fuel. Final Report ETSU-R-71, United Kingdom Department of Trade & Industry, London.
- Ecobilan SA (1993): Ecobilan du Diester et Eléments d'analyse de la filière Gazole, Tome 1, Résultats, Rapport final ONIDOL, janvier 1993. Tome 2, annexe, rapport final ONIDOL, janvier 1993.
- Graef, M., Vellguth, G., Krahl, J. & Munack, A. (1995): Fuel from Sugar Beet and Rape Seed Oil - Mass and Energy Balances for Evaluation. In: *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry*, S. 1159-1164, Elsevier Science Ltd., Oxford, 1995.
- Le Cornu, J. (1990): Greenhouse Gas Emissions from the Production and use of alternative Transport Fuels. In: Swaine, D. J. (1990): *Greenhouse and Energy*. CSIRO Australia. S. 293-303.
- Lorenze, D. & Morris, D. (1995): How much Energy does it take to make a Gallon of Ethanol? Institute for Local Self-Reliance, August, 1995.
- Marland, G. & Turhollow A.F. (1990): CO₂ Emissions from the Production and Combustion of Fuel Ethanol from Corn. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. Environmental Sciences Division, No. 3301. U.S. Department of Energy.
- Minnesota Ethanol Commission (1991): Corn to Ethanol from a Net Energy Perspective. Minnesota Department of Agriculture, St. Paul.
- National Renewable Energy Laboratory & Pacific Northwest Laboratory (1991): A comparative Analysis of the environmental Outputs of future Biomass-Ethanol Production Cycles and Crude Oil/Reformulated Gasoline Production Cycles. Prepared for U.S. Department of Energy, Office of Transportation Technologies and Office of Planning and Assessment.
- Scharmer, K., Gosse, G. et al. (1995): Energy balance, Ecological impact and Economics of vegetable Oil Methylene Production in Europe as substitute for fossil Diesel. EUStudie ALTERNER 4.1030/E/94-002-1, Dezember 1995.
- Tyson, K.S., Riley C.J. & Humphreys K.K. (National Renewable Energy Laboratory) (1993): Fuel Cycle Evaluations of Biomass-Ethanol and Reformulated Gasoline, Golden, CO, Report No. NREL/TP-463-4950, DE94000227, November 1993.
- Wagner, U., Geiger, B., Frey H. & Schedl T. (1995): Untersuchung von Prozeßketten einer Wasserstoff-Energiewirtschaft. München, TU München.

- Williams, R. H., Larson, E. D., Katofsky, R. E. & Chen J. (1995): Methanol and Hydrogen from Biomass for Transportation, with Comparisons to Methanol and Hydrogen from Natural Gas and Coal. Princeton, Princeton University.
- Wood, B.J. & Corley, R.H.V. (1991) The Energy Balance of Oil Palm Cultivation. In: Basiron, Y., Sukaimi, J., Chang, K.C., Cheah, S.C., Henson, I.E., Kamaruddin, N., Paranjothy, K., Rajanaidu, N., Dolmat, T.H.T. & Arrifin, D. (1991): Proceedings of the International Oil Palm Conference. PORIM (Palm Oil Research Institute of Malaysia), Kuala Lumpur, S. 130-143.
- Zabel, M. (1994): Analyse und Bewertung der Ethanolherstellung aus Biomasse – Kosten und Schadstoffemissionen: Dargestellt am Beispiel des Bundesstaates São Paulo, Brasilien. Berlin Techn. Univ., Diss.

5.2.5 sonstige Begründungen vorliegen

- Ahlvik, P. & Brandberg, Å. (2001): Well-to-Wheel Efficiency for Alternative Fuels from Natural Gas or Biomass. Publication No. 2001:85. Borlänge: Swedish National Road Administration.
=> Energiedaten sind nicht aufgeschlüsselt; Es wurde lediglich ein Quotient aus Input und Output gebildet.
- Aurélio dos Santos, M.: Energy Analysis of Crops used for Producing Ethanol and CO2 Emissions. Proceedings of the third Biomass Conference of the Americas, Montreal, 24. – 29. August 1997.
=> keine Primärdaten, basiert auf einer Publikation von 1992
- Benemann J. R. (1998): Process Analysis and Economics of Biophotolysis of Water. Report for the IEA Agreement on the Production and Utilization of Hydrogen. Walnut Creek (USA).
=> behandelt Biophotolyse; keine LCA, vorläufige Kostenangaben
- Berglin, N., Lindblom, M. & Ekbom, T. (2002): Efficient Production of Methanol from Biomass via Black Liquor Gasification. Prepared for the 2002 Tappi Engineering Conference, San Diego, California, September 8 – 12, 2002.
=> keine Aufteilung zwischen regenerativem und erschöpflichem Energieaufwand
- Betz, M., Faltenbacher, M. & Eyerer, P. (2001): Environmental Analysis of Hydrogen for Fuel Cell Powered Buses, VDI Proceedings 2001.
=> nur Elektrolyse
- Biedermann, P., Dienhart, H., Dreier, T., Grube, T., Höhle, B., Menzer, R., Nitsch, J., Pehnt M. & Wagner U. (1998): Ganzheitliche Systemuntersuchung zur Energiewandlung durch Brennstoffzellen. Abschlußbericht des Forschungszentrum Jülich, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und der Technischen Universität München. Frankfurt, Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e. V.
=> nur fossile Energieketten
- Bossel, U. Eliasson B. & Taylor G. (2003): The Future of Hydrogen: Bright or bleak?
=> keine LCA
- California Energy Commission (2001): Costs and Benefits of a Biomass-to-Ethanol Production Industry in California. Commission Report.
=> Ergebnisse nicht nachvollziehbar
- Dante, R. C., Güereca, L. P., Neri, L., Escamilla, J. L., Aquino, L. & Celis, J. (2002): Life Cycle Analysis of Hydrogen Fuel: A Methodology for a Strategic Approach of Decision Making. Int. J. Hydrogen Energy 27, S. 131-133.
=> nur Dampfreformierung von Erdgas und Elektrolyse
- Ecotrafic (2001): Well-to-Wheel Efficiency. For alternative Fuels from Natural Gas or Biomass.
=> nur Wirkungsgrade
- Ericson, M. & Odehn, G. (1999): A Life-Cycle Assessment on Ethanol Fuel from Wine – A Study on present Ethanol Fuel for Buses including comparisons to Diesel, Natural Gas and Ethanol from Wheat or Wood, Master of Science Thesis, Chemical Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
=> Ethanol aus Wein wird nicht betrachtet und für Weizen und Lignocellulose wurden Daten anderer Autoren betrachtet

- ETH Lausanne (2002): Etude comparative de Carburants au Bioéthanol par Analyse de leur Cycle de Vie.
=> Die Langfassung ist nicht erhältlich, „da sie einer Überarbeitung bedarf.“
- Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (2003): Systemvergleich alternativer Antriebstechnologien Primärenergetische Analyse der Herstellung und Nutzung alternativer Antriebssysteme im Vergleich zu konventionellen Systemen für den Pkw-Bereich. Auftraggeber: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie, Projektleitung: Dipl.-Phys. Roger Corradini.
=> keine Werte zum KEA (nur Abb.) und keine Basisdaten enthalten
- Finkenwirth, O. (1999): Ganzheitliche Bilanzierung innovativer Wasserstoffverfahren. Betreuung: Martin Pehnt, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Stuttgart, und Torsten Marheineke, Universität Stuttgart. Studienarbeit Universität Stuttgart.
=> Studienarbeit für Pehnt 2002
- Graboski, M.S., McCormick, R.L., Alleman T.L. & Herring A.M. (2003): The Effect of Biodiesel Composition on Engine Emissions from a DDC Series 60 Diesel Engine. NREL.
=> Keine Emissionsdaten über den gesamten Lebensweg hinweg; Abgasmessungen von Biodiesel aus Altöl.
- Methanex & (S&T)2 Consultants Inc. (2000): Assessment of Emissions of Greenhouse Gases from Fuel Cell Vehicles. Prepared for Methanex Corporation. Delta BC (Canada).
=> nur Elektrolyse
- Mortimer, N.D., Cormack, P., Elsayed, M.A. & Horne, R.E. (2003): Evaluation of the Comparative Energy, Global Warming and Socio-Economic Costs and Benefits of Biodiesel. Final Report.
=> gleiche Daten wie in Elsayed 2003
- Mutert, E.W. & Fairhurst, T.H. (1999): Oil Palm – The Great Crop of South East Asia: Potential, Nutrition and Management. Paper presented at the IFA Regional Conference for Asia and the Pacific, Kuala Lumpur, Malaysia, 14-17 November 1999.
=> keine umfassenden Potenzialabschätzungen für Palmöl bzw. Biodiesel aus Palmöl
- Kadam, K. L. (2000): Environmental Life Cycle Implications of Using Bagasse-Derived Ethanol as a Gasoline Oxygenate in Mumbai (Bombay). NREL.
=> keine Aufteilung auf die einzelnen Bereiche, Bezüge nicht eindeutig zur Umrechnung von MJ/t Bagasse auf MJ/MJ
- Pembina (2000): Climate-Friendly Hydrogen Fuel: A Comparison of the Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions for selected Fuel Cell Vehicle Hydrogen Production Systems. Drayton Valley (Canada), Pembina Institute.
=> nur Elektrolyse
- Röder A. (2001): Life-Cycle Inventory and Costs of Different Car Power Trains, PSI-Bericht 01-16. Villigen, Paul-Scherrer-Institut.
=> verwendet bei den Biokraftstoffen vorwiegend bereits veröffentlichte Literatur und liefert diesbezüglich somit keinen Erkenntnisgewinn
- Sims, R. (1996): The Potential for Biodiesel in New Zealand. Proceedings of Conference, Applications of Bioenergy Technologies™ Rotarua, S. 139-148 EECA.
=> keine Angaben über Potenziale
- Schneider 2001/ Schneider, U.A. & McCarl, B.A. (2001): Economic Potential of Biomass based Fuels for Greenhouse Gas Emission Mitigation.
=> keine Potenzialabschätzungen von Biokraftstoffen
- Spath, P. L. & Mann, M. K. (2003): Using LCAs to find improvements for Hydrogen Production from Wind Electrolysis. Proc. Of DETC '03, Chicago September 2003.
=> nur Elektrolyse
- Stelzer, T. (1999): Biokraftstoffe im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen: Lebensweganalysen von Umweltwirkungen. Stuttgart Univ., Diss., 1999.
=> Daten wurden in IFEU 2000a aktualisiert

- Sundqvist, J.-O. (2003): System Analysis of organic Waste Management Schemes - Experiences of the ORWARE model. In the Proceedings of EU Summer School: Biotechnology in organic waste management: from solid waste disposal to resource recovery, Wageningen 29 June - 4 July 2003.
=> Primärenergieaufwendungen der Bereitstellung, Nutzung und der gesamten Abfallbeseitigung zu einem Wert aggregiert
- Tan, R.R. & Culaba, A.B. (2002b): Life-Cycle Assessment of Conventional and Alternative Fuels for Road Vehicles.
=> für Bioethanol aus Lignocellulose keine Primärdaten, sondern ausschließlich Daten anderer Autoren, Daten für Biodiesel aus Kokosnüssen wurden Tan 2002a entnommen
- Weiss, M.A., Heywood, J.B., Drake, E.M., Schafer, A., AuYeung, F.F. (2000): On the Road in 2020. A Life-Cycle Analysis of new Automobile Technologies. Energy Laboratory Report MIT EL 00-003. Energy Laboratory, Massachusetts Institute of Technology; October 2000.
=> LCA von neuen Technologien, nicht aber von regenerativen Kraftstoffen.
- Yusoff, S. & Sulaiman, N. (2000): Life Cycle Study on Palm Oil - A Renewable Raw Material. Proceedings of the International Conference & Exhibition on Life Cycle Assessment: Tools for Sustainability. 25. – 27.04.2000 Virginia.
=> kein Detailbericht verfügbar

5.3 A 3: Literaturlisten „Innovationen bei der Bioethanolerzeugung und ihre Auswirkungen auf Energie- und Treibhausgasbilanzen“

Aufgelistet sind alle Studien, die in die Untersuchung „Innovationen bei der Bioethanolerzeugung und ihre Auswirkungen auf Energie- und Treibhausgasbilanzen“ (Schmitz u.a. 2005) einbezogen wurden.

5.3.1 12 Studien, die genauer analysiert wurden

- Armstrong, A.P.; et. al. (2002): Energy and Greenhouse Gas Balance of Biofuels for Europe - an Update. CONCAWE, report no. 2/02. Brussels.
- De Carvalho Macedo, Isaias; et al. (2003): Greenhouse Gas (GHG) Emissions in the Production and Use of Ethanol in Brazil: Present Situation (2002).
- Elsayed, M.A.; Matthews, R.; Mortimer, N.D. (2003): Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuels Options. Resources Research Unit, Sheffield Hallam University. Project Number B/B6/00784/REP.
- Gärtner, S.O.; Reinhardt, G.A. (2003): Erweiterung der Treibhausgasbilanz für RME. Gutachten im Auftrag der Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V., Projekt Nr. 530/025. IFEU, Heidelberg.
- General Motors (GM), et al. (2002): Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems – A European Study.
- Jonk, G. (2002): European Environmental Bureau (EEB) Background Paper 18-03-2002 on the Use of Biofuels for Transport.
- Reinhardt, G.A.; Zemanek, G. (2000): Treibhausgasbilanz Bioenergieträger. Basisdaten, Ergebnisse, Bewertungen. Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Initiativen zum Umweltschutz 17. Erich Schmidt Verlag. Berlin.
- Schmitz, Norbert (Hrsg.) (2003): Bioethanol in Deutschland. Verwendung von Ethanol und Methanol aus nachwachsenden Rohstoffen im chemisch-technischen und im Kraftstoffsektor unter besonderer Berücksichtigung von Agraralkohol. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Band 21. Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Senn, T.; Lucá, S.F. (2002): Studie zur Bioethanolproduktion aus Getreide in Anlagen mit einer Jahres-Produktionskapazität von 2,5 und 9 Mio. Litern. Eine Energie- und Kostenbilanzie-

- ung. Erstellt im Auftrag von: Bundesverband landwirtschaftliche Rohstoffe verarbeitende Brennereien e.V. Unter Beteiligung des Bundesverbandes Deutscher Kartoffelbrenner e.V..
- Shapouri, H.; Duffield, J.A.; Wang, M. (2002): The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update. United States Department of Agriculture, Office of the Chief Economist, Office of Energy Policy and News Uses. Agricultural Economic Report Number 813.
- Stelzer, T. (1999): Biokraftstoffe im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen – Lebensweganalysen von Umweltwirkungen. Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. IER Forschungsbericht, Band 57.
- Wagner, U.; Igelspacher, R. (2003): Ganzheitliche Systemanalyse zur Erzeugung und Anwendung von Bioethanol im Verbundsektor. Gelbes Heft 76. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten.

5.3.2 Überblick über ausgeschlossene Studien

- ADEME et al. (2002): Energy and Greenhouse Gas Balance of Biofuels' Production Chains in France.
=> Spezifische Anwendung auf Frankreich
- van den Broek et al. (2003): Biofuels in the Dutch Market: A Fact Finding Study.
=> Stark auf die Niederlande bezogen, keine neuen Ergebnisse
- CSIRO et al. (2003): Appropriateness of a 350 Million Litre Biofuels Target.
=> Reine Australien-Studie
- Dreier (1999): Biogene Kraftstoffe. Energetische, ökologische und ökonomische Analyse.
=> Keine Berücksichtigung von Kuppelprodukten, keine Berücksichtigung von Weizen
- Enguñados et al. (2002): Techno-Economic-Analysis of Bio-Alcohol Production in the EU.
=> Keine Detaillierte Angaben zu Energie- und Treibhausgasbilanzen
- Hamelinck et al. (2003): Production of FT Transportation Fuels from Biomass; Technical Options, Process Analysis and Optimisation, and Development Potential.
=> Ausschließliche Betrachtung von technischer und ökonomischer Charakterisierung
- Hartmann, Kaltschmitt (2002): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse.
=> Keine Studie ausschließlich zu Bioethanol, sondern sehr umfassende Studie zu Biomasse als Energieträger allgemein und auch vergleichend zu anderen erneuerbaren Energiequellen unter Berücksichtigung sämtlicher Umwelteffekte
- IEA (2004): Biofuels for Transport.
=> Keinen neuen Ergebnisse
- Kraus et al. (1999): Aktuelle Bewertung des Einsatzes von Rapsöl/RME im Vergleich zu Dieselmotorkraftstoff.
=> Betrachtet ausschließlich RME
- McAloon (2000): Determining the Cost of Producing Ethanol from Corn Starch and Lignocellulosic Feedstock.
=> Lediglich Kostenanalyse (z.T. unter Einbeziehung von Kuppelprodukten)
- Monier et al. (2000): Bioethanol in France and Spain.
=> Hauptsächlich ökonomische Analyse, keine Energie- und Treibhausgasbilanz
- Reith et al. (2002): Co-Production of Bio-Ethanol, Electricity and Heat from Biomass Residues.
=> Keine direkte Treibhausgas-Betrachtung
- Richards (2000): Energy Balances in the Growth of Oilseed Rape for Biodiesel and of Wheat for Bioethanol.
=> Lediglich detaillierte Betrachtung von Energiebilanzen, v.a. in der Landwirtschaftlichen Produktion
- Scharnier (2001): Biodiesel. Energie- und Umweltbilanz Rapsölmethylester.
=> Betrachtet ausschließlich RME

Schneider et al. (2003): Economic Potential of Biomass Based Fuels for Greenhouse Gas Emission Mitigation.

=> Keine detaillierte Angaben zu Energie- und Treibhausgasbilanzen, Reine USA-Studie

Sheehan (1998): The Role of Bioethanol in Global Climate Change.

=> Keine detaillierte Angaben zu Energie- und Treibhausgasbilanzen

Stelzer, T. (1999): Biokraftstoffe im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen: Lebensweganalysen von Umweltwirkungen. Stuttgart Univ., Diss., 1999.

=> Daten wurden in IFEU 2000a aktualisiert

Wang et al. (1999): .Effects of Fuel Ethanol Use on Fuel-Cycle Energy and Greenhouse Gas Emissions

=> Reine USA-Studie

5.4 A 4: Executive Summary Well-to-Wheels-Report (Auszug)

Auszug aus der Zusammenfassung des Well-to-Wheels-Report (CONCAWE/EUCAR 2004,. Version 1b):

Executive Summary Well-to-Wheels-Report

EUCAR, CONCAWE and JRC (the Joint Research Centre of the EU Commission) have performed a joint evaluation of the Well-to-Wheels energy use and greenhouse gas (GHG) emissions for a wide range of potential future fuel and powertrain options. The specific objectives of the study were to:

- Establish, in a transparent and objective manner, a consensual well-to-wheels energy use and GHG emissions assessment of a wide range of automotive fuels and powertrains relevant to Europe in 2010 and beyond.
- Consider the viability of each fuel pathway and estimate the associated macro-economic costs.
- Have the outcome accepted as a reference by all relevant stakeholders.

The main conclusions and observations are summarised below. We have separated the points pertaining to energy and GHG balance (in normal font) from additional points involving feasibility, availability and costs (in *italic*).

GENERAL OBSERVATIONS

A Well-to-Wheels analysis is the essential basis to assess the impact of future fuel and powertrain options.

- Both fuel production pathway and powertrain efficiency are key to GHG emissions and energy use.
- A common methodology and data-set has been developed which provides a basis for the evaluation of pathways. It can be updated as technologies evolve.

A shift to renewable/low fossil carbon routes may offer a significant GHG reduction potential but generally requires more energy. The specific pathway is critical.

Results must further be evaluated in the context of volume potential, feasibility, practicality, costs and customer acceptance of the pathways investigated.

A shift to renewable/low carbon sources is currently expensive.

- *GHG emission reductions always entail costs but high cost does not always result in large GHG reductions*

No single fuel pathway offers a short term route to high volumes of “low carbon” fuel

- *Contributions from a number of technologies/routes will be needed*
- *A wider variety of fuels may be expected in the market*
- *Blends with conventional fuels and niche applications should be considered if they can produce significant GHG reductions at reasonable cost.*

Large scale production of synthetic fuels or hydrogen from coal or gas offers the potential for GHG emissions reduction via CO₂ capture and storage and this merits further study.

Advanced biofuels and hydrogen have a higher potential for substituting fossil fuels than conventional biofuels.

High costs and the complexities around material collection, plant size, efficiency and costs, are likely to be major hurdles for the large scale development of these processes.

Transport applications may not maximize the GHG reduction potential of renewable energies

Optimum use of renewable energy sources such as biomass and wind requires consideration of the overall energy demand including stationary applications.

ALTERNATIVE LIQUID FUELS

A number of routes are available to produce alternative liquid fuels that can be used in blends with conventional fuels and, in some cases, neat, in the existing infrastructure and vehicles.

The fossil energy and GHG savings of conventionally produced bio-fuels such as ethanol and bio-diesel are critically dependent on manufacturing processes and the fate of by-products.

- The GHG balance is particularly uncertain because of nitrous oxide emissions from agriculture.

ETBE can provide an option to use ethanol in gasoline as an alternative to direct ethanol blending. Fossil energy and GHG gains are commensurate with the amount of ethanol used.

Processes converting the cellulose of woody biomass or straw into ethanol are being developed. They have an attractive fossil energy and GHG footprint.

Potential volumes of ethanol and bio-diesel are limited. The cost/benefit, including cost of CO₂ avoidance and cost of fossil fuel substitution crucially depend on the specific pathway, by-product usage and N₂O emissions. Ethanol from cellulose could significantly increase the production potential at a cost comparable with more traditional options or lower when using low value feedstocks such as straw.

High quality diesel fuel can be produced from natural gas (GTL) and coal (CTL). GHG emissions from GTL diesel are slightly higher than those of conventional diesel, CTL diesel produces considerably more GHG

In the medium term, GTL (and CTL) diesel will be available in limited quantities for use either in niche applications or as a high quality diesel fuel blending component.

New processes are being developed to produce synthetic diesel from biomass (BTL), offering lower overall GHG emissions, though still high energy use. Such advanced proc-

esses have the potential to save substantially more GHG emissions than current bio-fuel options.

BTL processes have the potential to save substantially more GHG emissions than current bio-fuel options at comparable cost and merit further study.

- *Issues such as land and biomass resources, material collection, plant size, efficiency and costs, may limit the application of these processes.*

6 Abkürzungsverzeichnis

AKP-Länder	Afrika-Karibik-Pazifik-Länder
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BMVEL	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
BTL	Biomass-to-Liquid
CO ₂	Kohlendioxid
CONCAWE	Conservation of Clean Air and Water in Europe (europäischer Umweltverband der Mineralölwirtschaft)
CTL	Coal-to-Liquid
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EN	Europäische Normung
EPA	Economic Partnership Agreement
ETBE	Ethyl-Tertiär-Butylether
EUCAR	European Council for Automotive R & D
FAME	Fatty Acid Methylester (Fettsäure-Methylester)
FFV	Flexible-Fuel-Vehicle
FVV	Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V.
GHG	Greenhouse gas
GTL	Gas-to-Liquid
IFEU-Institut	Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH
ISO	International Organization for Standardization
JRC	Joint Research Centre of the European Commission
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LDC	Least Developed Countries
Mercosur	Mercado Común del Cono Sur
MTBE	Methyl-Tertiär-Butylether
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
RME	Rapsölmethylester
WTO	World Trade Organization
ZMO	Zuckermarktordnung

... Sie fanden diese Publikation interessant und hilfreich?

Wir stellen unsere Veröffentlichungen zum Selbstkostenpreis zur Verfügung, zum Teil auch unentgeltlich. Für unsere weitere Arbeit sind wir jedoch auf Spenden und Mitgliedsbeiträge angewiesen.

Spendenkonto: 32 123 00, Bank für Sozialwirtschaft AG, BLZ 10020500

Informationen zur Mitgliedschaft finden Sie auf der Rückseite dieses Hefts. Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

Germanwatch

Wir sind eine gemeinnützige, unabhängige und überparteiliche Nord-Süd-Initiative. Seit 1991 engagieren wir uns in der deutschen, europäischen und internationalen Nord-Süd-, Handels- und Umweltpolitik.

Ohne strukturelle Veränderungen in den Industrieländern des Nordens ist eine sozial gerechte und ökologisch verträgliche Entwicklung weltweit nicht möglich. Wir setzen uns dafür ein, die politischen Rahmenbedingungen am Leitbild der sozialen und ökologischen Zukunftsfähigkeit für Süd und Nord auszurichten.

Unser Engagement gilt vor allem jenen Menschen im Süden, die von den negativen Auswirkungen der Globalisierung und den Konsequenzen unseres Lebens- und Wirtschaftsstils besonders betroffen sind. Wir treten dafür ein, die Globalisierung ökologisch und sozial zu gestalten!

Germanwatch arbeitet an innovativen und umsetzbaren Lösungen für diese komplexen Probleme. Dabei stimmen wir uns eng mit Organisationen in Nord und Süd ab.

Wir stellen regelmäßig ausgewählte Informationen für Entscheidungsträger und Engagierte zusammen, mit Kampagnen sensibilisieren wir die Bevölkerung. Darüber hinaus arbeiten wir in gezielten strategischen Allianzen mit konstruktiven Partnern in Unternehmen und Gewerkschaften zusammen, um intelligente Lösungen zu entwickeln und durchzusetzen.

Zu den Schwerpunkten unserer Arbeit gehören:

- Verantwortungsübernahme für Klimaschutz und Klimaopfer durch wirkungsvolle, gerechte Instrumente und ökonomische Anreize
- Gerechter Welthandel und faire Chancen für Entwicklungsländer durch Abbau von Dumping und Subventionen im Agrarhandel
- Einhaltung sozialer und ökologischer Standards durch multinationale Unternehmen
- Ökologisches und soziales Investment

Möchten Sie uns dabei unterstützen? Für unsere Arbeit sind wir auf Spenden und Beiträge von Mitgliedern und Förderern angewiesen. Spenden und Mitgliedsbeiträge sind steuerlich absetzbar.

Weitere Informationen erhalten Sie unter www.germanwatch.org oder bei einem unserer beiden Büros:

Germanwatch Büro Bonn
Dr. Werner-Schuster-Haus
Kaiserstr. 201, D-53113 Bonn
Telefon +49 (0)228 / 60492-0, Fax, -19

Germanwatch Büro Berlin
Voßstr. 1, D-10117 Berlin
Telefon +49 (0)30 / 288 8356-0, Fax -1

E-mail: info@germanwatch.org

Internet: www.germanwatch.org

Bankverbindung / Spendenkonto:

Konto Nr. 32 123 00, BLZ 100 205 00, Bank für Sozialwirtschaft AG



Per Fax an:

+49-(0)30 / 2888 356-1

Oder per Post:

Germanwatch e.V.
Büro Berlin
Voßstr. 1
D-10117 Berlin

Ja, ich unterstütze die Arbeit von Germanwatch

Ich werde Fördermitglied zum Monatsbeitrag von €..... (ab 5 €)

Zahlungsweise: jährlich vierteljährlich monatlich

Ich unterstütze die Arbeit von Germanwatch durch eine Spende von
€..... jährlich €..... vierteljährlich €..... monatlich €..... einmalig

Name

Straße

PLZ/Ort

Telefon

E-Mail

Bitte buchen Sie die obige Summe von meinem Konto ab:

Geldinstitut

BLZ

Kontonummer

Unterschrift