

Biokraftstoffe

Eine vergleichende Analyse



Herausgeber

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow
Tel.: 0 38 43/69 30-0 • Fax: 0 38 43/69 30-1 02
info@fnr.de • www.fnr.de
www.bio-energie.de

Projektleitung

méo Consulting Team
Weissenburgstr. 53 • 50670 Kön
www.meo-consulting.com

Text

Dr. Norbert Schmitz, Dr. Jan Henke, Prof. Gernot Klepper

Redaktion

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
Abt. Öffentlichkeitsarbeit

Gestaltung und Herstellung

nova-Institut GmbH • 50354 Hürth
www.nova-institut.de

Bilder

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
iStockphoto.com/Mario Hornik (Tankstelle)

Druck und Verarbeitung

Media Cologne Kommunikationsmedien GmbH • 50354 Hürth
www.mediacolgne.de

Erstellt mit finanzieller Unterstützung des
Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz (BMELV)

FNR 2009

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Teil 1: Biokraftstoffe – Eine vergleichende Analyse für Entscheidungsträger in Politik, Verwaltung und Wirtschaft	
1. Einleitung	9
1.1 Gegenstand und Zielsetzung der Studie	9
1.2 Vorgehensweise	10
2. Biokraftstoffe im Vergleich	12
2.1 Betrachtete Biokraftstoffe, Rohstoffe, Produktionsprozesse und Verwendungsformen	12
2.2 Marktrelevanz der untersuchten Biokraftstoffe in Deutschland	14
2.3 Auswahl der relevanten Kriterien für den Vergleich	15
2.4 Definition der verwendeten Kriterien für den Biokraftstoffvergleich	17
2.5 Datenlücken, Ergebnisspannbreiten und offene methodische Fragen	19
2.6 Biokraftstoffe als Dieselsubstitut im Vergleich	20
2.7 Biokraftstoffe als Benzinsubstitut im Vergleich	24
2.8 Biokraftstoffe als Gassubstitut im Vergleich	28
2.9 Stärken und Schwächen von Dieselsubstituten im Vergleich	30
2.10 Stärken und Schwächen von Benzinsubstituten im Vergleich (I)	34
2.11 Stärken und Schwächen von Benzinsubstituten im Vergleich (II)	36
2.12 Stärken und Schwächen von Gassubstituten im Vergleich	37
3. Erläuterungen	38
3.1 Biodiesel (Rapsölmethylester, RME)	38
3.2 Biodiesel (Palmölmethylester, PME)	40
3.3 Biodiesel (Sojaölmethylester, SME)	42
3.4 Biodiesel (aus tierischen Fetten, FME)	44
3.5 Biodiesel (Jatrophaölmethylester, JME)	46
3.6 reines Pflanzenöl (Rapsöl)	48
3.7 hydrierte Öle (HVO)	50
3.8 BtL-Kraftstoffe (Choren-Verfahren)	52
3.9 Bioethanol aus Getreide	54
3.10 Bioethanol aus Zuckerrüben	56
3.11 Bioethanol aus Zuckerrohr (Brasilien)	58
3.12 Bioethanol aus Mais (USA)	60

3.13	Bioethanol aus Cassava (Asien)	62	8.	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	119
3.14	Bioethanol Lignozellulose (Stroh)	64	8.1	Mittel- und langfristig entstehen neue viel versprechende Biokraftstoffoptionen, die allerdings einer weiteren politischen Förderung bedürfen	119
3.15	Bioethanol aus lignozellulosehaltigen Restströmen der Agrarindustrie	66	8.2	Der Nachweis des Einsatzes nachhaltig produzierter Biokraftstoffe gewinnt an Bedeutung	120
3.16	Biogas (Biomethan)	68	8.3	Die Flächenverfügbarkeit für einen nachhaltigen Anbau begrenzt das Biokraftstoffpotential. Effekte für die deutsche Landwirtschaft sind gering	121
3.17	Bio-Wasserstoff	70	9.	Anhang	123
4.	Profile Biokraftstoffe	72	9.1	Eigenschaften Dieselsubstitute im Vergleich (2007)	124
4.1	Dieselsubstitute	72	9.2	Eigenschaften Benzinsubstitute im Vergleich (2007)	126
4.2	Benzinsubstitute	86	9.3	Eigenschaften Gassubstitute im Vergleich (2007)	128
4.3	Gassubstitute	100	10.	Quellen	129
4.4	Biokraftstoff aus Algen	103	11.	Abkürzungsverzeichnis	134
5.	Biokraftstoffpolitik in Deutschland und Europa	105		Teil 2:	
5.1	Entscheidende politische Rahmenbedingungen für Biokraftstoffe in Deutschland (I)	105		Biokraftstoffe – Daten und Fakten	
5.2	Entscheidende politische Rahmenbedingungen für Biokraftstoffe in Deutschland (II)	106	1.	Biokraftstoffe in Deutschland	138
5.3	Entscheidende politische Rahmenbedingungen für Biokraftstoffe in der EU	107	1.1	Kraftstoffverbrauch	138
6.	Gesamtwirtschaftliche Effekte der Biokraftstoffproduktion	108	1.2	Rohstoffe	140
6.1	THG-Vermeidungskosten von Biokraftstoffen im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien	108	1.3	Pflanzenöl	141
6.2	Ziele und Rückkopplungseffekte der Förderung von Biokraftstoffen	110	1.4	Biodiesel	142
6.3	Weltwirtschaftliche Rahmenbedingungen	111	1.5	Bioethanol	146
6.4	Landnutzungskonflikte	111	1.6	Preise	147
6.5	Einkommens- und Verteilungskonflikte (I)	113	1.7	Aktuelle Rahmenbedingungen Deutschland	150
6.6	Einkommens- und Verteilungskonflikte (II)	114	2.	Biokraftstoffe EU27	151
6.7	Perspektiven für die Produktion von Biomasse	115	2.1	Biodiesel	151
7.	Auswirkungen steigender Rohölpreise	117	2.2	Bioethanol	154
7.1	Steigende fossile Kraftstoff- und Rohölpreise erhöhen tendenziell die Wettbewerbsfähigkeit von Biokraftstoffen	117	2.3	Rahmenbedingungen EU27	156
7.2	Bei steigenden fossilen Kraftstoffpreisen und konstanten Rohstoffkosten sinken die THG-Vermeidungskosten von Biokraftstoffen	118	3.	Kenngrößen Biokraftstoffe in Brasilien	159
			4.	Energieversorgung weltweit nach IEA	162

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

der Biokraftstoffmarkt unterliegt weltweit einer sehr hohen Dynamik. Während vor allem in Amerika die Anlagenkapazitäten massiv ausgebaut werden, sind die Investitionen hierzulande seit Kurzem weitgehend zum Erliegen gekommen. Die Ursachen dafür sind sicherlich vielfältig, finden sich aber vor allem im extremen Anstieg der Rohstoffpreise seit 2006 und insbesondere 2007, andererseits aber auch in den rückläufigen Steuervergünstigungen für Biokraftstoffe in Deutschland.

Massive Veränderungen erfahren jedoch auch die Märkte für fossile Rohstoffe. Zwar stieg der Erdölpreis nicht ganz so rasant wie der von Getreide und Pflanzenölen, übertraf die Erwartungen renommierter Institutionen aber ebenfalls erheblich. Die sich nahezu täglich ändernden Rohstoffpreise können im Rahmen dieser Studie nur sehr schwer abgebildet werden, so dass der Analyse ein durchschnittlichen Rohölpreis für 2007 von 70 Dollar pro Barrel zu Grunde liegt. Die angesetzten Agrarrohstoffpreise stammen aus den Jahren 2006 und 2007. Kapitel 6 geht auf die Auswirkungen deutlich höherer Ölpreise auf den Biokraftstoffmarkt gesondert ein.

Die vorliegende Studie „Biokraftstoffe – eine vergleichende Analyse“ wurde durch das Kölner „meo Consulting Team“ mit finanzieller Förderung durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz erarbeitet. Sie ist eine Gemeinschaftsleistung unter Einbeziehung zahlreicher renommierter Vertreter aus Wirtschaft und Wissenschaft und untersucht unterschiedliche Biokraftstoff-Optionen anhand zahlreicher Parameter.

So geht die Studie auch auf Nachhaltigkeitskriterien ein. Ausführlich analysiert sie die Beiträge der einzelnen Biokraftstoffe zur Reduzierung von Treibhausgasen und beziffert die dabei entstehenden Kosten. Damit erlaubt sie einen fundierten Vergleich, in den auch derzeit nur wenig oder noch gar nicht am Markt vertretene Biokraftstoffe wie Biomethan, BtL-Kraftstoffe und Cellulose-Ethanol einbezogen werden.

Ich hoffe, dass diese Veröffentlichung dazu beiträgt, die aktuelle, teilweise hitzige Diskussion zu Biokraftstoffen etwas zu versachlichen.

Ihr



Dr.-Ing. Andreas Schütte

Geschäftsführer, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)



Teil 1

Biokraftstoffe

**Eine vergleichende Analyse
für Entscheidungsträger in Politik,
Verwaltung und Wirtschaft**

Für die Unterstützung bei der Erarbeitung der im ersten Teil der Broschüre veröffentlichten Analyse möchten wir den folgenden Unternehmen danken:

ADM • Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter e.V. (BDP) • BP • Choren Industries • crop energies • Daimler • ecoMotion • Epuron • Evonik Industries • Institut für Weltwirtschaft (ifw) • KWST • Linde • Lurgi • Neste oil • Royal Nedalco • Schmack Biogas AG • Shell • Toepfer International • Vogelbusch



1. Einleitung

1.1 Gegenstand und Zielsetzung der Studie

Die Nutzung von Biomasse zur Erzeugung von Biokraftstoffen ist neben fahrzeugtechnischen Maßnahmen zur Effizienzsteigerung heute die einzige Option im Transportsektor, fossile Rohstoffe zu ersetzen und Treibhausgase einzusparen (bei ansonsten gleichbleibenden Verhaltensweisen). Grundsätzlich weist der Biomasseeinsatz im Strom- und Wärmebereich im Vergleich zum Transportsektor Vorteile auf. Im stationären Bereich können i.d.R. höhere Wirkungsgrade erreicht werden, allerdings stehen auch alternative Energiequellen wie die Solarthermie zur Verfügung. Im Transportsektor, der erheblich zu den heutigen Treibhausgasemissionen beiträgt und in dem die Treibhausgasemissionen weiter ansteigen, stehen derartige Alternativen nicht zur Verfügung.

In der vorliegenden Studie findet daher ein Vergleich der heute oder für die Zukunft als relevant erachteten Biokraftstoffe anhand ausgewählter Kriterien statt. Andere energetische oder auch stoffliche Verwendungsformen von Biomasse und deren mögliche Vorteilhaftigkeit im Vergleich zur Verwendung von Biomasse im Biokraftstoffbereich werden nicht explizit berücksichtigt.

Bisherige Studien zu Biokraftstoffen betrachten häufig nur einzelne Biokraftstoffe und einzelne Aspekte, sind z. T.

schwer nachvollziehbar und richten sich überwiegend an ein wissenschaftlich orientiertes Fachpublikum. Eine vergleichende, überblicksartige Darstellung von Biokraftstoffen anhand ausgewählter Kriterien erfolgte bisher nur eingeschränkt.

In der vorliegenden Studie werden die nach heutiger Einschätzung relevanten Biokraftstoffe betrachtet und komprimiert vergleichend dargestellt. Die Bewertung erfolgte auf Basis der im Jahr 2007 zur Verfügung stehenden Informationen.

Im Gegensatz zu vielen anderen Studien wurden dabei neben der relevanten Literatur auch umfassend aktuelle Informationen aus der Praxis zu den Umwelteffekten, Produktionskosten und Technologien berücksichtigt. Dies erleichterte auch die Zukunftseinschätzung für die einzelnen Biokraftstoffe bis 2020 und stellt die Studie auf eine breitere Basis.

Biokraftstoffe sind definiert als erneuerbare Energieträger, die aus Biomasse gewonnen werden, wobei Biomasse sich aus der Gesamtheit des organischen Materials eines Ökosystems zusammensetzt. Im Vordergrund dieser Studie steht v. a. die Produktion von Biokraftstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Insgesamt soll die vorliegende Studie als eine transparente, nachvollziehbare „Management Summary“ für Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit dienen. Dabei soll sie zur Beseitigung beste-

hender Defizite bei der bisherigen Analyse und Darstellungsform von Biokraftstoffen beitragen und den Diskussions- und Entscheidungsprozess hinsichtlich der weiteren Förderung und Markteinführung von Biokraftstoffen unterstützen.

Ergänzt wird die Studie durch die Darstellung der aktuellen Entwicklungen in der Biokraftstoffpolitik in Deutschland und Europa und um eine gesamtwirtschaftliche Bewertung der Effekte der Biokraftstoffproduktion.

Die gegenwärtig entscheidende Entwicklung in Deutschland und Europa ist eine zunehmende Orientierung der Förderung von Biokraftstoffen an deren Nachhaltigkeit und THG-Einsparungspotential. Damit sollen Anreize geschaffen werden, die im Vergleich zu 2007 in Zukunft zu erheblichen Verbesserungen der Energie- und THG-Bilanzen führen, deren absolute Effekte aber noch schwer abschätzbar sind

1.2 Vorgehensweise

Ein interdisziplinär zusammengestelltes Projektteam hat unter der Leitung des meo Consulting Teams die Studie erstellt. Das Projektteam vereint fachlich qualifizierte Mitarbeiter von führenden Biokraftstoffproduzenten, Unternehmen der Mineralöl- und der chemischen Industrie, des Anlagenbaus, des Automobilbaus und des Agrarhandels dergestalt, dass die kompletten Wertschöpfungsketten von der landwirtschaftlichen Rohstoffproduktion bis hin zur Verwendung der Bio-

kraftstoffe im Kraftstoffsektor abgebildet werden konnten. Dies ermöglichte die Verwendung aktueller Informationen und Daten aus der Praxis und die Verwendung von Einschätzungen von Experten zu den Umwelteffekten, Kosten- und Mengenpotentialen sowie heutigen und zukünftigen Technologien.

In diesem Projektteam wurden die relevanten und zu vergleichenden Biokraftstoffe, Rohstoffe und Produktionsprozesse ausgewählt, die Bewertungskriterien festgelegt und die Darstellungsformen diskutiert. Während des Verlaufs des Projektes wurden Workshops zu unterschiedlichen Themenschwerpunkten organisiert. In den Phasen zwischen den Workshops fanden entsprechende Vor- und Nachbereitungsmaßnahmen statt, wurde relevante Literatur ausgewertet sowie weitere Experteninterviews durchgeführt.

Vorab muss ausdrücklich auf die erheblichen Unsicherheiten durch Marktpreisschwankungen bei den Roh- und Einsatzstoffen, den Kuppel- und Endprodukten sowie den fossilen Substituten hingewiesen werden. Diese haben einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse der Bewertungskriterien von Biokraftstoffen wie Produktionskosten, Treibhausgasvermeidungskosten, internationale Wettbewerbsfähigkeit. Dies gilt insbesondere auch für den Rohölpreis und damit auch für die Produktionskosten fossiler Kraftstoffe. Im Rahmen des Projektes wurde daher versucht, diese Unsicherheiten durch Expertenbefragungen sowie Auswertungen von relevanter Li-

teratur zu reduzieren, um so zu möglichst belastbaren Aussagen zu kommen.

Die Produktionskosten der Biokraftstoffe basieren auf Rohstoffkosten in 2006 und 2007, wobei sich die Rohstoffkosten im Vergleich zum Durchschnitt dieser Jahre noch mal deutlich erhöht haben. Dazu hat u. a. auch die Verwendung von agrarischen Rohstoffen für die Bioenergieproduktion beigetragen, die somit selbst auch einen Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit der Biokraftstoffe hat. Für 2020 wurden Rohstoffkosten gemäß aktueller FAPRI-Prognosen angesetzt. Für das fossile Substitut wurde in der Studie durchgehend der durchschnittliche Rohölpreis für 2007 von ca. 70 US\$/barrel zugrunde gelegt. In Kapitel 6 wird beschrieben, welche Auswirkungen deutlich höhere Rohölpreise, wie bspw. im ersten Halbjahr 2008, auf die Biokraftstoffmärkte haben können.

Heute befinden sich von den hier betrachteten Biokraftstoffen Biodiesel (aus verschiedenen pflanzlichen und tierischen Ölen und Fetten), Pflanzenöl (auch erste hydrierte Öle) und Bioethanol aus Zucker bzw. Stärke im Markt. Für Biomethan als Kraftstoff gibt es eine Abgabestelle und in 13 Anlagen wird Biomethan bereits ins Erdgasnetz eingespeist, wodurch es „treibstofffähig“ wird (ca. 12 weitere Einspeisungsanlagen sind derzeit in Bau bzw. Planung). Bei den anderen Biokraftstoffen wird die Markteinführung erst vorbereitet bzw. es besteht teilweise noch erheblicher F&E-Bedarf. Die Datengrundlage für Biodiesel (aus Raps-, Soja-, Palmöl, tierischen Fetten, Altfetten), Pflanzen-

öl und Bioethanol aus Zucker und Stärke ist relativ gut. Es bestehen aber noch große Unsicherheiten bei der Bewertung der anderen Biokraftstoffe, insbesondere bei Biowasserstoff, Biobutanol oder Biokraftstoff aus Algen. Bei den in der Darstellung gemachten Angaben handelt es sich damit teilweise um Schätzwerte. Für Biobutanol und für Biokraftstoff aus Algen wurden wegen der fehlenden Datengrundlage und fehlenden Studien keine konkreten Werte angegeben.

2. Biokraftstoffe im Vergleich

2.1 Betrachtete Biokraftstoffe, Rohstoffe, Produktionsprozesse und Verwendungsformen

Dieselsubstitute	Rohstoffe	Prozesse	Verwendungsformen
Biodiesel	<ul style="list-style-type: none"> ■ Rapsöl ■ Sojaöl ■ Palmöl ■ Altfette u. tierische Fette ■ Jatrophäöl ■ Algen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Umesterung der jeweiligen Öle, ggfs. Raffination 	<ul style="list-style-type: none"> ■ B100 ■ B5 ■ B7 (Deutschland) ■ Bis B30 in Flotten
Reines Pflanzenöl	<ul style="list-style-type: none"> ■ Raps ■ Soja ■ Altfette ■ Algen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pressung und Aufbereitung der Saat bzw. Rohstoffe, ggfs. Raffination 	<ul style="list-style-type: none"> ■ P100, v. a. in Flotten und Landwirtschaft, aber auch in Pkw
Biomass to Liquid (BtL) Kraftstoffe	<ul style="list-style-type: none"> ■ Cellulosehaltige Biomasse (schnellwachsende Hölzer) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Umwandlung von aus Biomasse gewonnenen Synthesegas 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Als Reinkraftstoff oder in beliebigen Beimischungen
Hydrierte Öle und Fette	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sämtliche Öle und Fette 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Co-processing (Beimischung Ölen/Fetten direkt im Raffinationsprozess) ■ Hydro-processing (Stand-alone-Verfahren) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Technisch problemlos H30 möglich. Markteinführung von H3 (3% hydrierte Öle und Fette im fossilen Kraftstoff) in Vorbereitung

Benzinsubstitute	Rohstoffe	Prozesse	Verwendungsformen
Bioethanol	<ul style="list-style-type: none"> ■ Weizen ■ Roggen ■ Gerste ■ Triticale ■ Mais ■ Zuckerrüben ■ Zuckerrohr ■ Cassava ■ Cellulose ■ Algen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fermentation, Destillation und Absolutierung ■ Synthese von Bioethanol und Isobutylen bzw. C5+-Olefine 	<ul style="list-style-type: none"> ■ E5, wird Standard-OK ■ E10 unverträglich für Teile bestehender Flotte ■ E85 für Flexible Fuel Vehicles ■ OKs mit anderen Ethanolgehalten in der Diskussion ■ E100 (Brasilien) ■ ETBE und höhere Ether
Biobutanol	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zucker ■ Stärke ■ Zellulose ■ Lignin 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Anaerobe, bakterielle Umwandlung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verwendung prinzipiell unproblematischer als bei Bioethanol ■ Aufgrund des geringeren Sauerstoffgehalts kann im Standardkraftstoff im Vergleich zu Bioethanol mehr beigemischt werden (bei derzeitig zulässigem Sauerstoffgehalt ca. 10%) ■ Mit neuen Grenzwerten für den Sauerstoffgehalt sind bis 16% möglich

Gassubstitute	Rohstoffe	Prozesse	Verwendungsformen
Biogas (Biomethan)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Energiepflanzen (Mais, Getreide, Zuckerhirse, Gräser etc.) ■ Gräser aus der Grünlandnutzung ■ Gülle ■ Zwischenfrüchte ■ Organische Abfälle 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Anaerobe Vergärung organischer Materials ■ Aufbereitung von Biogas zu Biomethan in Erdgasqualität 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Als Kraftstoff in Erdgasfahrzeugen
Biowasserstoff	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sämtliche Biomasse 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Freisetzung von Wasserstoff bspw. bei der Vergasung von Biomasse 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Einsatz in Brennstoffzellen und Verbrennungsmotoren

2.2 Marktrelevanz der untersuchten Biokraftstoffe in Deutschland

Biodiesel

- Deutschland nimmt eine führende Rolle bei der Biodieselproduktion ein. Raps ist der dominierende Rohstoff.
- In 2007 wurden ca. 3,3 Mio. t Biodiesel eingesetzt. Über die Hälfte davon wurde als Reinkraftstoff (B100) verwendet, der Rest als Beimischung (B5). Dies entspricht insgesamt einem Marktanteil von über 10% energetisch bezogen auf den Dieselmärkte.

Reines Pflanzenöl

- Reines Pflanzenöl, zumeist aus Raps produziert, wird in Deutschland v. a. in LKW-Flotten und auch in der Landwirtschaft in geringeren Mengen eingesetzt.
- In 2007 wurden ca. 840.000 t eingesetzt. Dies entspricht einem Anteil von ca. 2,6% energetisch am Dieselmärkte in Deutschland.

Hydrierte Öle und Fette

- Können aus sämtlichen Ölen und Fetten in beliebigen Kombinationen produziert werden.
- In Deutschland bisher nicht verwendet.
- In Zukunft wird die Verwendung von hydrierten Ölen und Fetten aber an Bedeutung gewinnen.

BtL

- BtL-Kraftstoffe sind bisher in Deutschland nicht im Markt.
- 2008 soll eine erste kommerzielle Anlage (15.000 t p.a.) in Betrieb gehen.

Bioethanol

- Bioethanol wird in Deutschland bisher v. a. für die ETBE Produktion verwendet. Die Beimischung von Ethanol zu Benzin gewinnt an Bedeutung. Der Markt für die Verwendung als E85 in sog. Flex Fuel Vehicles (FFVs) ist noch klein, gewinnt aber an Bedeutung. Insgesamt wurden über 460.000 t Bioethanol eingesetzt. Dies entspricht einem Anteil von knapp 1,3% energetisch am Ottokraftstoffverbrauch.

Biobutanol

- Biobutanol wird bisher in Deutschland nicht produziert und auch nicht eingesetzt. Eine erste Großanlage soll in Großbritannien entstehen.

Biogas (Biomethan)

- Biogas wurde bisher v. a. für die Strom- und Wärmeproduktion eingesetzt.
- Der Absatz von Biomethan im Kraftstoffsektor (in Erdgasfahrzeugen) kann in Zukunft wichtiger werden.
- Insbesondere die Entwicklung der Einspeisung in das Erdgasnetz ist hier von Bedeutung.

Biowasserstoff

- Wasserstoff im Transportsektor spielt bisher nur in Pilotprojekten eine Rolle
- Die Produktion von Biowasserstoff aus Biomasse findet in Deutschland bisher nicht statt.

2.3 Auswahl der relevanten Kriterien für den Vergleich

Relevante Vergleichs- und Bewertungskriterien

Zur Durchführung der Vergleichsstudie wurden in meó-Expertenworkshops mit Vertretern aus Industrie und Wissenschaft folgende Kriterien als besonders relevant ausgewählt:

Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. | Kraftstoffäquivalente/ha)

Der Kraftstofftrag/ha ist der Indikator für die Darstellung der Flächenproduktivität, d.h. für die mögliche Energiemenge der jeweiligen Biokraftstoffe, die pro ha produziert werden können. Bei Biokraftstoffen, die nicht aus der gesamten Pflanze produziert werden (bspw. Bioethanol aus Weizenkorn, Biodiesel aus Raps) kann aus den Nebenprodukten (Stroh) ebenfalls noch Energie erzeugt werden.

Nettoenergieertrag (GJ/ha)

Der Nettoenergieertrag je ha ist die entscheidende Größe zur Feststellung der jeweils tatsächlich eingesparten fossilen Primärenergie je ha.

Erzeugung/ Marktanteil

Gibt für 2007 die tatsächliche Erzeugung des jeweiligen Biokraftstoffs in Deutschland und den Marktanteil am jeweils relevanten fossilem Kraftstoffmarkt an. Für 2020 wird eine Abschätzung des Marktanteils vorgenommen.

Produktionskosten (€/GJ)

Die Produktionskosten der Biokraftstoffe untereinander und im Vergleich zum

fossilen Substitut sind der Hauptindikator für die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Biokraftstoffen. Die Produktionskosten der Biokraftstoffe basieren auf Rohstoffkosten in 2006 und 2007, wobei sich die Rohstoffkosten im Vergleich zum Durchschnitt dieser Jahre noch mal deutlich erhöht haben. Hierzu hat auch die Verwendung von agrarischen Rohstoffen für die Bioenergieproduktion beigetragen. Für 2020 wurden Rohstoffkosten gemäß aktueller FAPRI-Prognosen angesetzt. Für das fossile Substitut wurde in der Studie durchgehend der durchschnittliche Rohölpreis für 2007 von ca. 70 US\$/barrel zugrunde gelegt. Benzin und Diesel werden nicht unabhängig voneinander produziert. Dies ist bei der Betrachtung der Herstellungskosten zu berücksichtigen. In der Studie wurde durchgehend ein Wechselkurs von 1,35 US\$/€ zugrunde gelegt.

Internationale Wettbewerbsfähigkeit

Biokraftstoffe und ihre Ausgangsstoffe werden zunehmend zu einem international gehandelten Produkt. Da die Ausgangsbedingungen der Produktion in einzelnen Ländern unterschiedlich sind, bestehen unterschiedliche Produktionskosten.

THG-Einsparung/ha

Ein Hauptziel der Förderung von Biokraftstoffen ist die Treibhausgasvermeidung. Die Darstellung der möglichen THG-Einsparungen ist damit ein entscheidendes Kriterium. In dieser Studie wurden keine neuen Treibhausgasbilan-

zen erstellt, so dass die Angaben überwiegend auf Werten aus der Literatur beruhen. Die aktuellen Diskussionen zur Methodik der Treibhausgasbilanzierung werden dargelegt (insbesondere zur Bewertung von direkten und indirekten Landnutzungsänderungen), sind in den dargestellten Ergebnissen aber nicht explizit berücksichtigt.

THG-Vermeidungskosten

Die Vermeidungskosten sind ein wichtiger Indikator für die Effizienz klimapoli-

tischer Maßnahmen und erlauben eine Bewertung des Einsatzes der unterschiedlichen Biokraftstoffe zur Treibhausgasvermeidung. Die oben genannte noch anhaltende Methodendiskussion zur THG-Bilanzierung hat auch Auswirkungen auf die Vermeidungskosten.

Kommentare

Angabe von für die einzelnen Biokraftstoffe wichtigen zusätzlichen Informationen.

Über diese Kriterien hinaus werden in Kapitel 3 die Merkmale, Einsatzmöglichkeiten und Potentiale (technisch, wirtschaftlich, ökologisch, energie- und agrarpolitisch) der Biokraftstoffe in Kurzprofilen dargestellt.

2.4 Definition der verwendeten Kriterien für den Biokraftstoffvergleich

	Definition
Kraftstoffertrag (GJ/ha bzw. l Kraftstoffäquivalente/ha)	<ul style="list-style-type: none"> Der Kraftstoffertrag gibt die produzierbare Energie eines Biokraftstoffs/ha Anbaufläche an. Er ergibt sich aus dem Produkt der produzierten Menge des Biokraftstoffs/ha und dem Energiegehalt. Bei einigen Biokraftstoffen (bspw. Bioethanol aus Getreide oder Biodiesel aus Raps) können zusätzliche Erträge durch die energetische Nutzung des Strohs gewonnen werden. Die Angabe erfolgt in GJ/ha bzw. in l Kraftstoffäquivalente/ha. Bei dem zweiten Wert wurde der durch den jeweiligen Biokraftstoff zu ersetzende fossile Kraftstoff zur Berechnung der Kraftstoffäquivalente verwendet (basierend auf der Relation der jeweils unteren Heizwerte).
Nettoenergieertrag (GJ/ha)	<ul style="list-style-type: none"> Der Nettoenergieertrag gibt die durch die Verwendung von Biokraftstoffen eingesparte nicht erneuerbare Energie an. Er ergibt sich aus der Differenz der durch den jeweiligen Biokraftstoff ersetzten fossilen Energie (Benzin- bzw. Dieselmotorkraftstoff plus Energieaufwand für deren Erzeugung und Bereitstellung) und der in der Produktion des Biokraftstoffs eingesetzten fossilen Energie. Kuppelprodukte (bspw. DDGS, Rapschrot, Glycerin) sind berücksichtigt und gutgeschrieben.
Erzeugung/ Marktanteil	<ul style="list-style-type: none"> Für 2007 wird die tatsächliche Erzeugung des jeweiligen Biokraftstoffs in Deutschland genannt und der Marktanteil am jeweils relevanten fossilen Kraftstoffmarkt energetisch dargestellt. Für 2020 wird die Perspektive des jeweiligen Biokraftstoffs aufgezeigt.
Produktionskosten (€/GJ)	<ul style="list-style-type: none"> Gesamtkosten zur Erzeugung eines Biokraftstoffs. Heutige und zukünftige Kosten beruhen auf Angaben aus der Industrie, basierend auf Rohstoffpreisen für 2006 und 2007. Zahlen aus der Literatur wurden zu Vergleichszwecken hinzugezogen. Subventionen auf den Erzeugungsstufen sind nicht berücksichtigt. Kosten für eine Veränderung der Blendszusammensetzung für einen spezifikationsgerechten fossilen Kraftstoff, der Aufbau einer Infrastruktur sowie Fahrzeug-Umrüstungskosten sind nicht enthalten. Zum Vergleich sind folgende Werte angenommen: Produktionskosten Dieselmotorkraftstoff: 11,4 €/GJ (0,41 €/l) und für Superbenzin: 11,7 €/GJ (0,38 €/l) (Durchschnitt 2007 bei Ölpreis von ca. 70 US\$/Barrel).

	Definition
Internationale Wettbewerbsfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Die internationale Wettbewerbsfähigkeit gibt die Produktionskosten von Biokraftstoffen aus heimischer Produktion im Vergleich zum jeweiligen globalen Kostenführer bzw. zu den Weltmarktpreisen an (Der Faktor, um den die deutsche Produktion jeweils teurer ist, wird angegeben). Bei Biokraftstoffen, die noch nicht auf dem Markt sind, können lediglich Tendenzen aufgezeigt werden.
THG-Einsparung (t/ha)	<ul style="list-style-type: none"> Die THG-Äquivalente Einsparung an Treibhausgasen geben an, wie viel Treibhausgase durch Einsatz des jeweiligen Biokraftstoffs gegenüber der Verwendung fossiler Kraftstoffe eingespart werden können. Es ist berücksichtigt, dass bei der Produktion von Biokraftstoffen selbst auch Treibhausgase entstehen. Indirekte Landnutzungsänderungen wurden nicht explizit berücksichtigt. Die Diskussionen zur Methodik der THG-Bilanzierung sind noch nicht abgeschlossen, können aber zu Änderungen der Werte führen.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG)	<ul style="list-style-type: none"> Die Vermeidungskosten ergeben sich aus der Differenz der Produktionskosten eines Biokraftstoffs und dem jeweiligen fossilen Kraftstoff (bei einem angenommenen Rohölpreis von 70 US\$/barrel) bezogen auf die durch die Substitution erfolgte THG-Einsparung. Ggfs. zusätzlich entstehende Kosten der Mineralölindustrie bei einer Beimischung sind hier noch nicht berücksichtigt. Änderungen der Werte zur THG-Einsparung aufgrund der Methodendiskussion haben auch einen Einfluss auf die Vermeidungskosten.
Kommentare	<ul style="list-style-type: none"> Angabe von für die einzelnen Biokraftstoffe wichtigen zusätzlichen Informationen.

2.5 Datenlücken, Ergebnisspannbreiten und offene methodische Fragen

Diese Faktoren erschweren die Darstellung. Dies gilt v. a. für die Energie- und THG-Bilanzen:

Für die meisten der gewählten Kriterien ist die Ableitung von Ergebnissen mit einigen Problemen und Unsicherheiten verbunden. Dies liegt zum einen an sich ständig ändernden Rahmen- und Marktbedingungen und zum anderen daran, dass es für die Herstellung der verschiedenen Biokraftstoffe sowie deren Nebenprodukte verschiedene Anlagenkonzepte, Betriebsformen und Rohstoffversorgungsmöglichkeiten gibt, die alle einen

Einfluss auf die Ergebnisse haben können. In der Studie wurden für die jeweiligen Biokraftstoffe repräsentative Ergebnisse dargestellt.

Bei den Angaben zur THG-Bilanz, die mit den größten Unsicherheiten verbunden sind, wurde überwiegend auf Daten aus der Literatur zurückgegriffen. Ergebnisse verschiedener Studien können nicht unmittelbar miteinander verglichen werden und indirekte Landnutzungsänderungen sind in bisherigen Studien nicht berücksichtigt.

Spezielle Herausforderungen bei der THG-Bilanzierung		
Landnutzungsänderungen	Biomasseanbau	Konversion
<ul style="list-style-type: none"> Direkte Landnutzungsänderungen können einen erheblichen Einfluss auf die THG-Bilanz haben. Entscheidend ist dabei, was anstelle des jeweiligen Biokraftstoff-Rohstoffs angebaut würde und was für einen Einfluss die Änderung im Anbau auf die THG-Bilanz hat Bei indirekten Landnutzungsänderungen kommt es durch den Anbau von Biokraftstoffen zu einer Ausdehnung der landwirtschaftlichen Fläche und damit zu THG-Freisetzung, die je nach Flächentyp der neu in Anspruch genommen wird erheblich sein kann. Dies zu erfassen und zu bewerten ist extrem schwierig 	<ul style="list-style-type: none"> Um die THG-Emissionen des jeweiligen Biomasseanbaus zu bewerten, müssen folgende Parameter betrachtet werden: <ul style="list-style-type: none"> Anbaufläche Düngung, Pflanzenschutz Fossiler Energieeinsatz bei der Bewirtschaftung und Transport Ernteerträge Auch hier kann es zu Erfassungs- und Bewertungsproblemen kommen 	<ul style="list-style-type: none"> Die unterschiedlichen Energiekonzepte (bspw. Verwendung fossiler Prozessenergie vs. integrierte KWK-Anlage) einzelner Anlagen zur Biokraftstoffproduktion haben einen erheblichen Einfluss auf die THG-Bilanz des produzierten Biokraftstoffs Die unterschiedlichsten Konzepte können im Detail nur im Rahmen einer individuellen Treibhausgasbilanz für einzelne Anlagen bewertet werden

2.6 Biokraftstoffe als Dieselsubstitut im Vergleich

Bezogen auf das Jahr 2007	Biodiesel aus Rapsöl	Biodiesel aus Palmöl	Biodiesel aus Sojaöl	Biodiesel aus tier. Fetten	Biodiesel aus Jatropa	Reines Pflanzenöl (Rapsöl)	BtL	Hydrierte Öle*
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. l Kraftstoffäquivalente/ha)	52 / 1450	144 / 4000	21 / 580	k.A.	20 / 600**	53 / 1480	135 / 3910	98 / 2730
Nettoenergieertrag (GJ/ha)	38	75	20	k.A.	k.A.	35	114	35
Erzeugung/Marktanteil	ca. 7% am DK-Markt in Deutschland	< 1% am DK-Markt in Deutschland	< 2% am DK-Markt in Deutschland	< 1%	0%	ca. 2% am DK-Markt in Deutschland	0%	< 0,2%
Produktionskosten (€/GJ)	24	19	22	24	12	20	31***	23
Internationale Wettbewerbsfähigkeit	Produktion aus anderen Ölen günstiger	gegeben	gegeben	Im Vgl. zu Biodiesel aus Raps gegeben	gegeben	gegeben	Im Vgl. zu anderen Biokraftstoffen nicht gegeben	Abhängig von den eingesetzten Ölen
THG-Einsparung (t/ha)	3,0	9,0	1,0	k.A.	k.A.	3,0	10,0	5,5
THG-Vermeidungskosten (€/t THG)	214	131	205	159	k.A.	159	258	214
Kommentare	Rapsstengel nicht berücksichtigt	Palmöl wird bisher v. a. in BHKWs eingesetzt	Geringer Flächenertrag, primär Sojamehlproduktion	Flächenbezogene Betrachtung nicht sinnvoll	Angaben basieren auf ersten Pilotprojekten	Rapsstengel sind nicht berücksichtigt	In 2008 sollen erste Mengen auf den Markt kommen	Kleinere Mengen wurden aus Finnland importiert

* Die Werte beziehen sich auf das stand-alone Verfahren. Für das co-processing liegen noch keine belastbaren Daten vor. Es wird aber davon ausgegangen, dass diese ähnlich sind

** Hektarertäge beziehen sich auf karge Böden. Auf höherwertigen Flächen sind erheblich größere Erträge möglich

*** Angabe für erste Sigma Anlage, basierend auf Dena-Studie (2006) und Choren. Biomassekosten 60 bis 80 €/t atro

Bezogen auf das Jahr 2020	Biodiesel aus Rapsöl	Biodiesel aus Palmöl	Biodiesel aus Sojaöl	Biodiesel aus tier. Fetten	Biodiesel aus Jatropha	Reines Pflanzenöl (Rapsöl)	BtL	Hydrierte Öle
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. Kraftstoffäquivalente/ha)	64 / 1780	186 / 5170	27 / 760	k.A.	25 / 690	66 / 1820	157 / 4700	129 / 3600
Nettoenergieertrag (GJ/ha)	46	99	26	k.A.	k.A.	43	138	k.A.
Erzeugung/Marktanteil	< 7%	< 1% des DK-Marktes in Deutschland	> 3% des DK-Marktes in Deutschland	< 1%	k.A.	<1%	1%	>3%
Produktionskosten (€/GJ)	23	21	21,6	23	12	17,6	26*	23
Internationale Wettbewerbsfähigkeit	Produktion aus anderen Ölen günstiger (bei prognostizierten Preisen)	gegeben	Im Vgl. zu Biodiesel aus Raps gegeben	Nur im Vgl. zu Biodiesel aus Raps gegeben	gegeben	Im Vgl. zu Biodiesel gegeben	Technologievorsprung Deutschlands	Abhängig von den eingesetzten Ölen
THG-Einsparung (t/ha)	4,3	11,7	1,4	k.A.	k.A.	4,2	12,0	8,3
THG-Vermeidungskosten (€/t THG)	181	160	205	153	k.A.	113	179	182
Kommentare	Höhere Marktanteile nur bei Umsetzung B10, Förderung Flotten/ÖPNV	THG-Einsparung stark abhängig von Landnutzungsänderungen	Landnutzungsänderungen sind hier nicht berücksichtigt	Bei Nutzung sämtl. Kategorien tier. Fette in D theoretisch bis zu 300.000 t	Abhängig von Entwicklung des Jatrophaanbaus	Mit Auslaufen der Förderung wird Verwendung enden	Angenommene Rohstoffkosten von 60 bis 80 €/t atro	THG-Einsparung abhängig von eingesetzten Ölen

* Gilt für weitere Sigma-Anlagen mit deutlich geringeren Anlagenkosten

2.7 Biokraftstoffe als Benzinsubstitut im Vergleich

Bezogen auf das Jahr 2007	Bioethanol aus Getreide	Bioethanol aus Zuckerrüben	Bioethanol aus Zuckerrohr (BRA)	Bioethanol aus Mais (USA)	Bioethanol aus Cassava (Asien)	Bioethanol aus Lignozellulose (Stroh)	Bioethanol aus lignozelluloseh. Restströmen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. Kraftstoffäquivalente/ha)	55 / 1650	132 / 4080	135 / 4160	79 / 2440	78 / 2410	21 / 640**	4,7 / 150**
Nettoenergieertrag (GJ/ha)	52*	120	116	40	k.A.	18**	k.A.**
Erzeugung/Marktanteil	1,5%	> 0%	ca. 30% des OK-Marktes in BRA; Exporte in EU steigen	ca. 2% des OK-Marktes in USA, noch keine Exporte in EU	Keine relevanten Marktanteile in Asien, keine Exporte	0	0
Produktionskosten (€/GJ)	26	25	9,5	16	19	30	32
Internationale Wettbewerbsfähigkeit	im Vergleich zu BRA: Faktor 2,7	im Vergleich zu BRA: Faktor 2,6	Globaler Kostenführer	Günstiger als EU-Produktion	Im Vgl. zur europäischen Produktion gut	k.A.	k.A.
THG-Einsparung (t/ha)	3,7	9,4	10,0	1,9	k.A.	1,5**	0,4***
THG-Vermeidungskosten (€/t THG)	208	188	-30	182	k.A.	248	227
Kommentare	Neue Energiekonzepte mit besseren THG-Bilanzen in Vorbereitung	Nennenswerte Produktion in D erst in 2008	Gefahr schlechter THG-Bilanz durch indirekte Landnutzungsänderung	Massive Produktionsausdehnung in den USA	Lediglich in Thailand und China findet Produktion statt	Demonstrationsanlage von Iogen in Kanada	Verschiedene Restströme aus der Agrarindustrie kommen in Frage

* Dieser Wert gilt für bestehende Anlagen. Bei Verwendung neuer Anlagensetups (v. a. Biomasseboiler, Kraft-Wärme-Kopplung) sind bessere Werte möglich

** Beim Rohstoffanbau für Bioethanol aus Lignozellulose fallen auf der Fläche zusätzlich Produkte an, die in der Nahrungsmittel- oder Ethanolproduktion verwendet werden können

*** Da nur Reststoffe landwirtschaftlicher Produktion verwendet werden, sind die THG-Einsparungen/ha relativ gering, fallen aber zusätzlich zu möglichen Einsparungen durch die Nutzung des Hauptproduktes an

Bezogen auf das Jahr 2020	Bioethanol aus Getreide	Bioethanol aus Zuckerrüben	Bioethanol aus Zuckerrohr (BRA)	Bioethanol aus Mais (USA)	Bioethanol aus Cassava (Asien)	Bioethanol aus Lignozellulose (Stroh)	Bioethanol aus lignozelluloseh. Restströmen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. Kraftstoffäquivalente/ha)	70 / 2170	163 / 5020	166 / 5130	115 / 3540	145 / 4480	25 / 760**	6 / 180**
Nettoenergieertrag (GJ/ha)	65*	155	142	59	k.A.	21**	k.A.**
Erzeugung/Marktanteil	5 – 10% des OK-Marktes in Deutschland	< 5% des OK-Marktes in Deutschland	> 40% in BRA	15%	Bioethanol aus Cassava wird v. a. in Asien an Bedeutung gewinnen	< 1%	< 1%
Produktionskosten (€/GJ)	23,6	22	9,5	16	19	24	18
Internationale Wettbewerbsfähigkeit	im Vergleich zu BRA: Faktor 2,5	im Vergleich zu BRA: Faktor 2,3	BRA bleibt globaler Kostenführer	Ggü. Europäischer Produktion gegeben	Im Vgl. zur europäischen Produktion gut	k.A.	k.A.
THG-Einsparung (t/ha)	6,0	12,0	12,0	2,7	k.A.	2,1**	k.A.**
THG-Vermeidungskosten (€/t THG)	167	145	-20	182	k.A.	138	k.A.
Kommentare	Neue politische Anforderungen führen zu Verbesserung der Energie und THG-Bilanz	Bis 2020 wird mit einer relevanten Produktion aus Zuckerrübe gerechnet	Landnutzungsänderungen sind hier nicht berücksichtigt	Bei prognostizierten Maispreisen sehr wettbewerbsfähige Produktion	Auch bei der Produktion aus Cassava besteht Flächenkonkurrenz	Mit ersten Mengen im Markt wird gerechnet	Bis 2020 wird mit deutlichen Kostensenkungen gerechnet

* Bei Verwendung innovativer Konzepte zur Energieversorgung der Anlagen sind deutlich bessere Werte erzielbar

** Beim Rohstoffanbau für Bioethanol aus Lignozellulose fallen auf der Fläche gleichzeitig Produkte an, die in der Nahrungsmittel- oder Ethanolproduktion verwendet werden können

*** Da nur Reststoffe der landwirtschaftlichen Produktion verwendet werden, sind die THG-Einsparungen/ha relativ gering, fallen aber zusätzlich zu möglichen Einsparungen durch die Nutzung des Hauptproduktes an

2.8 Biokraftstoffe als Gassubstitut im Vergleich

Bezogen auf das Jahr 2007	Biogas (Angaben Biomethan aus Silomais)	Bio-Wasserstoff*
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. l Kraftstoffäquivalente/ha)	178 / 4980	162 / 4740
Nettoenergieertrag (GJ/ha)	130	120
Erzeugung/Marktanteil	0	0
Produktionskosten (€/GJ)	21	26 – 37
Internationale Wettbewerbsfähigkeit	z.Z. kein internationaler Wettbewerb	k.A.
THG-Einsparung (t/ha)	7,4	k.A.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG)	240	k.A.
Kommentare	In 2007 bestand eine Biomethantankstelle	Noch keine Produktion

* Der Wirkungsgrad von Wasserstoff in BZ-Fahrzeugen ist ca. doppelt so hoch wie bei konventionellen Antriebssystemen. Die Biowasserstoffträge schwanken je nach Verfahrensoptimierung stark

Bezogen auf das Jahr 2020	Biogas (Angaben Biomethan aus Silomais)	Bio-Wasserstoff*
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. l Kraftstoffäquivalente/ha)	255 / 7140	189 / 5530
Nettoenergieertrag (GJ/ha)	204	140
Erzeugung/Marktanteil	k.A.	0%
Produktionskosten (€/GJ)	27	k.A.
Internationale Wettbewerbsfähigkeit	Einspeisung in Erdgasnetz ermöglicht internationalen Wettbewerb	k.A.
THG-Einsparung (t/ha)	10,6	k.A.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG)	386	k.A.
Kommentare	Der Marktanteil hängt auch von der Nachfrage in anderen Biogas-Verwendungen ab	Mit relevanten Mengen Biowasserstoff wird noch nicht gerechnet

* Der Wirkungsgrad von Wasserstoff in BZ-Fahrzeugen ist ca. doppelt so hoch wie bei konventionellen Antriebssystemen. Die Biowasserstoffträge schwanken je nach Verfahrensoptimierung stark

2.9 Stärken und Schwächen von Dieselsubstituten im Vergleich

	Biodiesel	Reines Pflanzenöl	BtL	Hydrierte Öle (stand-alone)	Hydrierte Öle (co-processing)
Stärken	<ul style="list-style-type: none"> + Genormt (B5, B100) und bereits etabliert im wachsenden Dieselmärkte + Verwendung als Beimischung (bis B7) ohne technische/logistische Probleme + B20 und B30 im Flotteneinsatz + Signifikante Reduktion von Partikelemissionen bei B100 auch ohne Partikelfilter + Ausgereifte Technologie + Versorgungsnetz bereits vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> + Technologisch unkompliziertes Herstellungsverfahren, geringe Produktionskosten + Biologische Abbaubarkeit + Niedrige THG-Vermeidungskosten + Bislang v. a. im Flottengeschäft ökonomisch attraktiv. Mercedes-Benz führt im LKW-Bereich einen Flottenversuch mit Garantieübernahme durch + Einsatz in der Landwirtschaft wird durch neue Pflanzenöлтаugliche Traktoren gefördert 	<ul style="list-style-type: none"> + Breite Rohstoffbasis (Land- u. Forstwirtschaft, Reststoffe). Zur Zeit Holz + Möglichkeit der Anpassung (Design) von Kraftstoffen an Motorbedarf in genauen Grenzen + Von der Automobil- und Mineralölindustrie aufgrund der Produkteigenschaften favorisiert + Hohes THG-Einsparungspotential erwartet + Verringerung Abgas- und Rußpartikelemissionen + Verbesserungspotentiale bei Verfahrenstechnik 	<ul style="list-style-type: none"> + Einsatz von Pflanzenölen und Fetten in beliebigen Verhältnissen + Einsatz preisgünstigster und verfügbarer Öle + Gesättigte Öle (Palm, Tierfette) brauchen weniger Wasserstoff für die Umsetzung und sind daher bevorzugt + Keine Begrenzung durch die Dieselnorm + Hohe Cetanzahl + Da isomerisiert gute Kaltfließeigenschaften + Geringere Alkaligehalte vorteilhaft für moderne Abgasnachbehandlungssysteme 	<ul style="list-style-type: none"> + Einsatz von Pflanzenölen und Fetten in beliebigen Verhältnissen + Einsatz preisgünstigster und verfügbarer Öle + Gesättigte Öle (Palm, Tierfette) brauchen weniger Wasserstoff für die Umsetzung und sind daher bevorzugt + Realisierung relevanter Mengen mit überschaubarem Investitionsaufwand + Erfahrungen liegen vor + Keine Begrenzung durch Dieselnorm + Geringere Alkaligehalte vorteilhaft für moderne Abgasnachbehandlungssysteme
Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> - Verwendung als B100 nur in dafür freigegebenen bzw. nachgerüsteten Fahrzeugtypen möglich - Beimischungen > B7 problematisch bei heutigem technischen Stand - Begrenzt Rohstoffpotential, aber Importe möglich - Fossiles Methanol für die Produktion erforderlich - Anwendungstechnische Probleme, v. a. bei der Verwendung von Palmöl - Flächen- und Nutzungskonkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion (gilt nicht bei Anbau von Jatropha auf erodierten Böden) 	<ul style="list-style-type: none"> - Laut Automobilindustrie problematisch bei Einsatz moderner Abgasnachbehandlung (Partikelfilter) - Bisher keine Herstellerfreigabe für PKW - Im LKW-Bereich Freigaben nur bei Verwendung bestimmter Umrüstsätze. (Risiken können aber über Versicherungen gedeckt werden) - Begrenzt Rohstoffpotential, allerdings Importe möglich - Flächen- und Nutzungskonkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion 	<ul style="list-style-type: none"> - Bisher noch keine großtechnische Produktion - Hohe Investitionskosten - Hohe Herstellungskosten - Rohstoffversorgung noch nicht etabliert, jedoch kann auf Erfahrungswerte aus der Zellstoffindustrie und Biomasseheizkraftwerken zurückgegriffen werden - Teilweise auch Flächenkonkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion 	<ul style="list-style-type: none"> - Im Vergleich zu Biodiesel höhere Kapitalinvestitionen erforderlich - Abhängig von günstiger Wasserstoffversorgung - Vorbehandlung der eingesetzten Biokomponente erforderlich - Flächen- und Nutzungskonkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion 	<ul style="list-style-type: none"> - Begrenzung der Einsatzmenge durch Kaltfließeigenschaften - Vorbehandlung der eingesetzten Biokomponente erforderlich - Flächen- und Nutzungskonkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion

2.8.1 Rohstoffspezifische Stärken und Schwächen

	Rapsöl	Palmöl	Sojaöl	Tierische Fette und Altfette	Jatrophaöl	BtL-Rohstoffe
Stärken	<ul style="list-style-type: none"> + Erfüllung der Biodieselnorm mit Biodiesel auf Rapsölbasis am leichtesten möglich + Erfüllung der Vornorm für Pflanzenöl mit Rapsöl am leichtesten möglich + Etabliertester Rohstoff für die Biodieselproduktion + Heimischer Rohstoff + Noch nicht erschlossene Rohstoffpotentiale in Osteuropa 	<ul style="list-style-type: none"> + In den letzten Jahren das preisgünstigste Pflanzenöl + Hohe Hektarerträge + Erweiterung der Rohstoffbasis + Gute THG-Bilanz, jedoch nur wenn Anbau auf vorherigen Brachflächen garantiert wird 	<ul style="list-style-type: none"> + In den letzten Jahren preisgünstiger als Rapsöl + Die Sojaölproduktion aus importierten Soja- saaten ist in Deutschland gut etabliert 	<ul style="list-style-type: none"> + Sinnvolle sowie nachhaltige Verwertung von Reststoffen und Nebenprodukten + Keine Konkurrenz zu Nahrungsmitteln + Sehr gute THG-Bilanz (Belastungen aus Vorkette gering) + Ausgereifte Technologie + Vergleichsweise preisgünstiger Rohstoff + Heimischer Rohstoff 	<ul style="list-style-type: none"> + Anbau auf degradierten Flächen möglich + Jedoch bei mangelhafter Wasserversorgung deutlich geringere Erträge + Wirksam gegen Bodenerosion + Non-food + Nachhaltige Kohlenstoffbindung möglich, da die Pflanze bis zu 40 Jahre besteht + Günstige Produktionskosten in ersten Pilotprojekten 	<ul style="list-style-type: none"> + Breite Rohstoffbasis und höheres Rohstoffpotential (Kurzumtriebsplantagen, Holz) + Keine „food vs. fuel“ Problematik, sofern die Rohstoffe nicht von landwirtschaftlichen Flächen kommen + Ganzpflanzenverwertung möglich + Im Vergleich zu konventionellen Biokraftstoffen bessere THG-Bilanz
Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> - Begrenztes Rohstoffpotential - Anbau in Deutschland ist limitiert auf ca. 1,8 Mio. ha 	<ul style="list-style-type: none"> - Probleme bei Normeinhaltung bei Biodiesel und Co-Processing, v. a. aufgrund schlechter Kälteeigenschaft. Verwendung in Wintermonaten daher problematisch - Nachhaltigkeitsprobleme durch einen zunehmenden Palmanbau - Garantierte THG-Einsparung nur bei Anbau auf Brachflächen 	<ul style="list-style-type: none"> - Schlechtere Kaltfließ-eigenschaften als bei Rapsöl - Oxidationsstabilität schlechter als bei Rapsöl - Ausdehnung Anbau auf Flächen mit hohem Naturschutzwert - Zunehmender Einsatz von Sojaöl kann zu Nachhaltigkeitsproblemen führen 	<ul style="list-style-type: none"> - Rohstoffpotential begrenzt - Verwendung als Reinkraftstoff in Wintermonaten nur mit Zusatzeinrichtung (Beimischung aber unproblematisch) - Technologisch aufwendiger Produktionsprozess - Relativ hohe Anlagen- und Betriebskosten - Vergleichsweise (RME) höhere Investitions- sowie Prozesskosten 	<ul style="list-style-type: none"> - Anbau bisher lediglich im Pilotmaßstab erfolgt - Auch bei Jatropha besteht die Gefahr, dass attraktive Flächen, auf denen die höchsten Erträge erzielt werden können, an Stelle von degradierten Flächen verwendet werden. Auch wenn es sich um eine non-food Pflanze handelt besteht dann Flächenkonkurrenz 	<ul style="list-style-type: none"> - Technologisch aufwendiger Prozess - Noch hohe Produktionskosten - Rohstoffversorgung teilweise ungeklärt

2.10 Stärken und Schwächen von Benzinsubstituten im Vergleich (I)

	Bioethanol (konventionell)	Bioethanol aus Lignozellulose	Biobutanol	Bioethanol aus Stärke	Bioethanol aus Zuckerrüben	Bioethanol aus Zuckerrohr (BRA)	Bioethanol aus Mais (USA)	Bioethanol aus Cassava (Asien)
Stärken	<ul style="list-style-type: none"> + Verschiedene Einsatzoptionen (Beimischung bis zu E10, ETBE als Oktanzahlverbesserer, E85, E100 in anderen Regionen) + Gute Anbaubedingungen in Deutschland für Getreide und Zuckerrüben + Breites und großes heimisches Rohstoffpotential (Getreide und Zuckerrüben) sowie darüber hinaus Importmöglichkeiten des Rohstoffs und des Biokraftstoffs + Zusätzliche Futtermittelproduktion + Etablierte Technologien und großtechnische Produktion 	<ul style="list-style-type: none"> + Verschiedene Einsatzoptionen (Oktanzahlverbesserer) + Hohe Kraftstoffträge/ha (auf guten Böden) + Hohes heimisches Rohstoffpotential, sofern der Rohstoff nicht auf heutigen landwirtschaftlichen Flächen angebaut wird + Eine Verwendung von zellulosehaltigen Rest- und Abfallstoffen ist möglich. Preissteigerungen bei den Rohstoffen können sich jedoch mit zunehmender Nachfrage ergeben 	<ul style="list-style-type: none"> + Bei zukünftigen OK-Spezifikationen von 3,7% Sauerstoffgrenzwert können über 16 vol% Butanol dem OK zugemischt werden 	<ul style="list-style-type: none"> + Gute Anbaubedingungen für Getreide in Deutschland und hohe Hektarerträge bei Getreide + Hohes heimisches Rohstoffpotential + Gut etablierte Rohstoffversorgung und ausgereifter Produktionsprozess von Bioethanol aus Getreide + Produktion von DDGS als wertvolles Futtermittel 	<ul style="list-style-type: none"> + Hohe Kraftstoffträge/ha (auf guten Böden) im Vergleich zu Bioethanol aus Getreide + Hohe Zuckerrübenträge in Deutschland + Zusätzliche Futtermittelherzeugung (Schnitzel) und Düngemittelherzeugung (Carbokalk) + Durch die Zuckermarktreform werden Rübenmengen frei, die für die Ethanolproduktion genutzt werden können 	<ul style="list-style-type: none"> + Geringste Produktionskosten + Bras. Ethanol im Vergleich zu Benzin wettbewerbsfähig + Bei Verhinderung von Landnutzungsänderungen sehr gute Treibhausgasbilanz + Seit Jahrzehnten etablierte Produktion und umfangreiche Nutzung in Brasilien + Weitere Länder können aus Zuckerrohr produzieren 	<ul style="list-style-type: none"> + Große Rohstoffbasis mit Expansionspotential + Großflächige und effiziente Landwirtschaft + Direkte Verfütterung der nassen Schlempe spart Energie für die Trocknung 	<ul style="list-style-type: none"> + Hohe Hektarerträge + Zusätzlicher Rohstoff, der bisher kaum für die Bioethanolproduktion verwendet wird + Deutliche Ertragssteigerungen erwartet + In tropischen und subtropischen Ländern nach bisherigen Erfahrungen zu günstigen Produktionskosten herstellbar + Positive THG-Bilanzen erwartet, jedoch noch keine Detailanalysen erfolgt
Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> - Europäische Ethanolproduktion aus Getreide und Zuckerrüben im Vergleich zur brasilianischen aus Zuckerrohr nicht wettbewerbsfähig - Beimischungskosten der Mineralölindustrie - Bei Beimischungen > 10% eigene Tankstelleninfrastruktur erforderlich - Bei der konventionellen Bioethanolproduktion aus Getreide und Zuckerrübe bzw. Zuckerrohr tritt eine Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion um die Anbauflächen auf, sofern nicht aus Abfällen produziert wird 	<ul style="list-style-type: none"> - Produktion im Vergleich zur brasilianischen Produktion und im Vergleich zu heutigen in Europa etablierten Produktionsverfahren nicht wettbewerbsfähig - Beimischungskosten der Mineralölindustrie - Bei Beimischungen > 10% eigene Tankstelleninfrastruktur erforderlich - Weiterhin Flächenkonkurrenz und Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion wenn der Rohstoff gezielt auf landwirtschaftlichen Flächen angebaut wird 	<ul style="list-style-type: none"> - Gefahr der Ausdehnung der Produktion durch direkte und indirekte Flächenverschiebungen in schützenswerte Gebiete. Dies verschlechtert u. a. die THG-Bilanz (Nachhaltigkeitsproblematik) - Beimischungskosten der Mineralölindustrie 	<ul style="list-style-type: none"> - Aufwendige Trocknung der Schlempe zur Produktion von DDGS erforderlich - Absatz von WDGS (ohne Trocknung) als Futtermittel nur regional möglich - Bei bestehenden Anlagen wird die Prozessenergie meist extern bezogen, was aufgrund des Einsatzes fossiler Energien die Energie- und THG-Bilanz belastet 	<ul style="list-style-type: none"> - Derzeitiges heimisches Rohstoffpotential begrenzt 	<ul style="list-style-type: none"> - Produktion aus Zuckerrohr für Europa nicht relevant, Importe aber möglich, jedoch mit hohen Zollsätzen belegt - Gefahr der Ausdehnung der Produktion durch direkte und indirekte Flächenverschiebungen in schützenswerte Gebiete. Dies verschlechtert u. a. die THG-Bilanz (Nachhaltigkeitsproblematik) - Anbau erfolgt in großen Monokulturen 	<ul style="list-style-type: none"> - Relativ hoher Energieverbrauch in der Konversion - Zunehmende Nutzung von künstlich bewässerten Flächen für den Maisanbau - Relativ weite Transportwege aus den Maisanbaugebieten zu den Raffinerien 	<ul style="list-style-type: none"> - Bislang noch wenig Erfahrung mit der Nutzung von Cassava für die Bioethanolproduktion - Produktion aus Cassava für Deutschland nicht relevant

2.11 Stärken und Schwächen von Benzinsubstituten im Vergleich (II)

	Bioethanol aus Lignozellulose	Bioethanol aus lignozellulosehaltigen Restströmen der Agrarindustrie	Biobutanol
Stärken	<ul style="list-style-type: none"> + Verwendung von Reststoffen + Ganzheitliche Biomasseverwertung + Soll langfristig kostengünstiger sein und zu höheren THG-Einsparungen führen + Keine Nutzungskonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion, Flächenkonkurrenz vermeidbar 	<ul style="list-style-type: none"> + Verarbeitung lignozellulosehaltiger Rohstoffe + Verwendung von Reststoffen, keine unmittelbare Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion + Erhebliche Restströme aus der Agrarindustrie vorhanden + Integrierte Produktion mit niedrigen Transportkosten + Ganzheitliche Biomasseverwertung + Soll mittel- und langfristig kostengünstiger sein und zu höheren THG-Einsparungen führen 	<ul style="list-style-type: none"> + In jedem Verhältnis dem Benzin beimischbar, kein erhöhter Dampfdruck + Hohe Toleranz gegenüber Wasserkontamination + Annähernd gleicher Heizwert wie Benzin, d.h. es tritt kein Mehrverbrauch auf
Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> - Noch keine Anwendung - Komplexer Konversionsprozess mit im Vergleich zu konventionellem Ethanol etwas höherem Energiebedarf - Herausforderung Rohstoffversorgung - Neue Enzyme nötig; hohe Enzymkosten, insbes. in der Anfangsphase - Zunehmende Verwendung von Rest- und Abfallstoffen kann zur Preissteigerungen bei der Rohstoffversorgung führen 	<ul style="list-style-type: none"> - Noch keine Anwendung - Komplexer Konversionsprozess mit im Vergleich zu konventionellem Ethanol etwas höherem Energiebedarf - Neue Enzyme nötig; hohe Enzymkosten, insbes. in der Anfangsphase - Neue (adaptierte) Mikroorganismen erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> - Bislang hohe Produktionskosten - Mit herkömmlichen Verfahren niedrige Ausbeuten, allerdings können diese durch den Einsatz genmodifizierter Organismen gesteigert werden - Bislang keine großindustrielle Anwendung für die Biokraftstofferzeugung

2.12 Stärken und Schwächen von Gassubstituten im Vergleich

	Biogas (Biomethan)	Bio-Wasserstoff
Stärken	<ul style="list-style-type: none"> + Zur Speicherung und Verteilung kann das bestehende Erdgas-Tankstellennetz genutzt werden + Nutzung kostengünstiger Neben- und Abfallprodukte mit positivem Einfluss auf THG-Bilanz möglich + Relativ hoher energetischer Wirkungsgrad + Einspeisung in das Erdgasnetz ist nach Aufbereitung möglich + Hohe Flächenproduktivität im Vergleich zu anderen Biokraftstoffen. Durch die Nutzung von Zwischenfrüchten (z. B. Erbse, Wicke, Senf) kann die Flächenproduktivität noch erhöht und die Flächenkonkurrenz gesenkt werden + Flotte der Gasfahrzeuge wächst. Namhafte Autohersteller greifen das Thema auf und arbeiten an Fahrzeugen, die keine Einschränkungen bei Raumangebot und Reichweite aufweisen 	<ul style="list-style-type: none"> + Keine lokalen Emissionen, Gesamtemissionen abhängig von Primärenergieeinsatz + Ideal für Brennstoffzellen, großes Potential für Verbrennungsmotoren + Industrielle Infrastruktur für konventionellen Wasserstoff vorhanden (Produktion, Lagerung, Transport)
Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> - Bei derzeitigen Rahmenbedingungen nur bedingt wirtschaftlich darstellbar (Steuerermäßigung für Erdgas) - Relativ hohe Umrüstungskosten - Nur in Gasfahrzeugen mit bislang nur kleinen, allerdings stark wachsenden Flotten einsetzbar, daher kurz- und mittelfristig aufgrund des sehr niedrigen Anteils von Gasfahrzeugen nur geringe Effekte bei der Einsparung von THG-Emissionen möglich - Gasförmiger Kraftstoff mit reduzierter Reichweite - Einsatz im Transportsektor erfordert Gasreinigung zur Einhaltung zukünftiger Erdgasnorm - Methanschlupf bei der Gaserzeugung und -aufbereitung erfordert entsprechende Maßnahmen (z. B. katalytische Nachoxidation) 	<ul style="list-style-type: none"> - Aufwendige Speicherung (gasförmig: hohe Drücke nötig und dennoch relativ geringe Energiedichte) - Notwendigkeit neuer Infrastruktur für Betankungen - Erheblicher F&E-Bedarf - Ausbau Tankstellennetz noch nicht absehbar

3. Erläuterungen

3.1 Erläuterungen Biodiesel (Rapsölmethylester, RME)

Biodiesel aus Rapsöl		Erläuterungen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. l Kraftstoffäquivalente/ha)	2007: 52/1440 2020: 64/1780	■ Für 2020 werden Verbesserungen dieser Werte v. a. über den Hebel der steigenden Hektarerträge erwartet.
Nettoenergieertrag (GJ/ha)	2007: 38 2020: 46	■ Für 2020 werden Verbesserungen dieses Wertes über den Hebel der steigenden Hektarerträge und höherer Ölgehalte der Pflanze erwartet. Eine Verbesserung der Nebenproduktverwertung, die zur weiteren Optimierung des Nettoenergieertrags führen würde, ist kaum zu erwarten. Die Pflanzenstengel werden bislang nicht energetisch verwendet, eine solche Verwendung könnte die Energiebilanz aber verbessern.
Erzeugung/ Marktanteil	2007: ca. 7% Biodiesel am DK-Markt Deutschland 2020: 7%	■ In 2007 wurden über 10% des Dieselmärktes in Deutschland durch Biodiesel als B100 und B5 ersetzt. ■ In 2020 wird mit einem Marktanteil von nur noch 7% gerechnet. Es wird davon ausgegangen, dass sich im DK-Markt ein Biokraftstoffanteil von 3% Hydrierung von Pflanzenölen und 7% Direktbeimischung von Biodiesel einstellt. Biodiesel als Reinkraftstoff wird durch die zunehmende Besteuerung auslaufen.
Produktionskosten (€/GJ)	2007: 24 2020: 23	■ Den Produktionskosten (ab Werk) liegen durchschnittliche Rohstoffpreise der letzten 2 Jahre zugrunde. ■ Ein technologischer Quantensprung wird nicht erwartet, daher nur geringe Kostensenkungen in der Produktion. Für 2020 wurden Rohstoffpreise gemäß Prognosen von FAPRI zugrunde gelegt.

Biodiesel aus Rapsöl		Erläuterungen
Internationale Wettbewerbsfähigkeit	2007: bedingt 2020: bedingt	■ In Europa ist die deutsche Biodieselinindustrie wettbewerbsfähig. Deutschland ist weltweit größter Produzent. Palm- und Sojaöle sind im Vergleich zu Rapsöl tendenziell billiger. Dies ermöglicht Importe dieser Öle bzw. von Sojasäen für die Biodieselproduktion (bereits ca. 20%). Gleiches gilt mittelfristig für Biodiesel selbst. Jedoch sind Palm- und Sojaöle bislang aus technischen Gründen nur begrenzt einsetzbar.
THG-Einsparung (t/ha)	2007: 3,0 2020: 4,3	■ Für 2007 und 2020 wird von einer THG-Einsparung von 2,1 kg/1 Biodiesel ausgegangen. Die Einsparungen/ha für 2020 erhöhen sich durch die steigenden Erträge. Möglichkeiten einer größeren Einsparung bestehen durch eine bessere energetische Verwertung der Reststoffe. Biodiesel weist leichte Vorteile gegenüber reinem Pflanzenöl auf, da das bei der Umesterung von Pflanzenöl zu Biodiesel entstehende Kuppelprodukt Glycerin technisch produziertes Glycerin ersetzt.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG)	2007: 214 2020: 181	■ Da die Produktionskosten und die vermiedene Menge je l Biodiesel bzw. Dieseläquivalente von der Industrie für 2020 ähnlich wie für 2007 eingeschätzt werden, ändert sich der Wert kaum (bei konstanten Preisen für das fossile Substitut).
Kommentare		■ In Deutschland bestehen derzeit Überkapazitäten bei Biodiesel. Der Reinkraftstoffmarkt wird durch die zunehmende Besteuerung wegfallen. Lediglich in der Land- und Forstwirtschaft ist weiter ein steuerbefreiter Einsatz von B100 möglich. In der Roadmap Biokraftstoffe hat man sich auf den Einsatz von B7/H3 verständigt (bei Erfüllung von 7% Biodiesel ist zusätzlich direkte Hydrierung von Pflanzenölen möglich). Eine höhere Beimischung als 7% Biodiesel ist technisch problematisch.

3.2 Erläuterungen Biodiesel (Palmölmethylester, PME)

Biodiesel aus Palmöl		Erläuterungen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. l Kraftstoffäquivalente/ha)	2007: 144/4000 2020: 188/5170	<ul style="list-style-type: none"> Für 2020 werden Verbesserungen dieser Werte v. a. über den Hebel der steigenden Hektarerträge erwartet. In Malaysia und Indonesien steigen die Hektarerträge um ca. 2 % p.a.
Nettoenergieertrag (GJ/ha)	2007: 75 2020: 99	<ul style="list-style-type: none"> Gutschriften v. a. für das als Tensid verwertete Palmkernöl und das Glycerin. Sehr positive Nettoenergiebilanz. Dies spiegelt sich aber nicht zwangsläufig in der THG-Bilanz wider. Bei guter Bewirtschaftung, d.h. mit höheren Erträgen, Nutzung der Reststoffe im Biomassekraftwerk und Auffangen des Biogas aus der Abwasserlagerung sind hier weitere Verbesserungen möglich.
Erzeugung/ Marktanteil	2007: < 1 % am DK-Markt in D 2020: < 1 %	<ul style="list-style-type: none"> Im Biodieselsbereich wird Palmöl bisher nur in geringem Maße und nur in den Sommermonaten eingesetzt. Der Hauptabsatzmarkt für Palmöl in Deutschland liegt in den BHKWs. In Zukunft wird Palmöl weiter in geringem Maße für die Biodieselproduktion eingesetzt. Eine größere Bedeutung wird es aber in der Hydrierung von Pflanzenölen erlangen, da hier keine technischen Limitationen beim Einsatz von Palmöl bestehen.
Produktionskosten (€/GJ)	2007: 19 2020: 21	<ul style="list-style-type: none"> Prognosen für Palmöl gehen von tendenziell weiter steigenden Preisen aus, was auch die Produktionskosten treibt und in 2020 zu leicht erhöhten Kosten führen dürfte.

Biodiesel aus Palmöl		Erläuterungen
Internationale Wettbewerbsfähigkeit	2007: gegeben 2020: gegeben	<ul style="list-style-type: none"> Palmöl war lange Zeit das preisgünstigste Pflanzenöl, was einen Einsatz in der Biodieselproduktion, soweit technisch möglich, attraktiv machte. Nach einer Angleichung der Pflanzenölpreise Mitte 2007, haben sich dies zum Ende des Jahres 2007 wieder deutlich auseinander entwickelt, so dass der Einsatz weiter attraktiv ist. Allerdings belastet die Nachhaltigkeitsdiskussion die weitere Palmölverwendung.
THG-Einsparung (t/ha)	2007: 9,0 2020: 11,7	<ul style="list-style-type: none"> Durch Auffangen und Nutzung des bei der Lagerung des Ölmühlen-Abwassers anfallenden Methans oder durch die Nutzung von Brachflächen statt Naturwald sind erhebliche Verbesserungen der THG-Einsparung möglich. Wirklich positive Effekte bei der THG-Einsparung nur wenn der Anbau auf vorherigen Brachflächen garantiert werden kann.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG)	2007: 131 2020: 160	<ul style="list-style-type: none"> Aufgrund der steigenden Produktionskosten erhöhen sich auch die THG-Vermeidungskosten.
Kommentare		<ul style="list-style-type: none"> Für den weiteren Einsatz von Palmöl im Biokraftstoffbereich wird der Nachweis einer tatsächlich positiven THG-Bilanz durch den Ausschluss negativer Landnutzungsänderungen entscheidend sein.

3.3 Erläuterungen Biodiesel (Sojaölmethylester, SME)

Biodiesel aus Sojaöl	Erläuterungen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. l Kraftstoffäquivalente/ha) 2007: 21/570 2020: 27/760	<ul style="list-style-type: none"> Für 2020 werden Verbesserungen dieser Werte v. a. über den Hebel der steigenden Hektarerträge erwartet. In den USA stiegen die Hektarerträge im Schnitt um ca. 2 % p.a. In anderen Ländern werden größere Ertragssteigerungen erzielt (bspw. in Argentinien oder Brasilien).
Nettoenergieertrag (GJ/ha) 2007: 20 2020: 26	<ul style="list-style-type: none"> Die Nettoenergieerträge für Biodiesel aus Sojaöl stellen sich im Vergleich zu den Bruttoerträgen relativ positiv dar, da Gutschriften für die Futtermittelproduktion erfolgen.
Erzeugung/ Marktanteil 2007: < 2 % am DK-Markt in D 2020: >3 %	<ul style="list-style-type: none"> Heute werden schon erhebliche Mengen Sojabohnen importiert und dann gepresst, um das Sojaöl in der Biodieselproduktion einzusetzen. Dies ist attraktiv, da die Preise für Sojaöl tendenziell unter den Preisen für Rapsöl liegen.
Produktionskosten (€/GJ) 2007: 22 2020: 21,6	<ul style="list-style-type: none"> Prognosen für Sojaölpreise gehen von einem ähnlichen Niveau wie den Durchschnittswerten in 2006/07 aus. Dies dürfte den Einsatz im Vergleich zu Rapsöl weiterhin attraktiv machen. Auch in der direkten Hydrierung wird Sojaöl eine wichtige Rolle spielen.

Biodiesel aus Sojaöl	Erläuterungen
Internationale Wettbewerbsfähigkeit 2007: gegeben 2020: gegeben	<ul style="list-style-type: none"> Biodiesel aus Sojaöl ist bei entsprechendem Preisabstand von Sojaöl zu Rapsöl eine attraktive Option. In Deutschland wird daher auch Sojaöl aus importierten Saaten für die Produktion verwendet. Sojaproduzierende Länder wie USA, Brasilien und Argentinien steigen ebenfalls zunehmend direkt in die Biodieselproduktion ein. Bisher kam es v. a. aus den USA zu Exporten auf den europäischen Markt.
THG-Einsparung (t/ha) 2007: 1,0 2020: 1,4	<ul style="list-style-type: none"> Die THG-Einsparungen steigen mit den steigenden Hektarerträgen. Auch bei Biodiesel aus Sojaöl wird bzgl. der THG-Einsparung in Zukunft entscheidend sein, in wie weit Landnutzungsänderungen mit einem negativen Einfluss auf die THG-Bilanz vermieden werden können.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG) 2007: 205 2020: 205	<ul style="list-style-type: none"> Aufgrund relativ konstanter Produktionskosten bei Biodiesel aus Soja und bei dem fossilen Substitut kann auch von konstanten THG-Vermeidungskosten ausgegangen werden.
Kommentare	<ul style="list-style-type: none"> Sojaöl ist global gesehen neben Palmöl das wichtigste Pflanzenöl. Deutschland importiert erhebliche Mengen Sojabohnen und produziert daraus Sojaöl In Ländern wie USA, Brasilien, Argentinien findet eine zunehmende Förderung der Biodieselproduktion basierend u. a. auf Sojaöl statt

3.4 Erläuterungen Biodiesel (aus tierischen Fetten, FME)

Biodiesel aus tierischen Fetten	Erläuterungen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. Kraftstoffäquivalente/ha) 2007: k.A. 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Keine relevante Größe für die Produktion aus tierischen Fetten.
Nettoenergieertrag (GJ/ha) 2007: k.A. 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Keine relevante Größe für die Produktion aus tierischen Fetten.
Erzeugung/ Marktanteil 2007: < 1 % 2020: ca. 1 %	<ul style="list-style-type: none"> Die heutige Produktion in Deutschland beläuft sich lediglich auf ca. 80.000 t. Rohstoffbasis ist begrenzt, eine Ausdehnung bis 2020 bei Nutzung sämtlicher Kategorien tierischer Fette ist aber noch möglich.
Produktionskosten (€/GJ) 2007: 24 2020: 23	<ul style="list-style-type: none"> Die Produktionskosten bewegen sich in etwa auf dem gleichen Niveau wie Biodiesel aus Raps. Es fallen höhere Investitionskosten, jedoch geringere Rohstoffkosten an. Das gewonnene Glycerin erzielt deutlich geringere Erträge als bei der Biodieselproduktion aus Rapsöl.

Biodiesel aus tierischen Fetten	Erläuterungen
Internationale Wettbewerbsfähigkeit 2007: im Vgl. zu RME gegeben 2020: im Vgl. zu RME gegeben	<ul style="list-style-type: none"> Im Vergleich zu Biodiesel aus Raps gegeben, die Produktion aus anderen Pflanzenölen ist jedoch kostengünstiger. Heute findet kein internationaler Handel mit den Rohstoffen oder dem Endprodukt statt.
THG-Einsparung (t/ha) 2007: k.A. 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Biodiesel aus tierischen Fetten erzielt deutliche THG-Einsparungen. Eine Angabe je Hektar ist hier jedoch nicht relevant, da der Rohstoff nicht flächenbezogen produziert wird.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG) 2007: 159 2020: 153	<ul style="list-style-type: none"> FME hat eine gute THG-Bilanz und auch entsprechend niedrige Vermeidungskosten. Werden die Vorketten allerdings anteilig berücksichtigt verschlechtert sich die Bilanz
Kommentare	<ul style="list-style-type: none"> Nach entsprechender Vorbehandlung darf aus sämtlichen tierischen Fetten Biodiesel produziert werden. Die steuerliche Förderung ist in Deutschland auf Kategorie 3 Rohstoffe (genusstauglich aber nicht menschlich verwendete Fette) begrenzt. Dies wird in den EU-Ländern jedoch unterschiedlich gehandhabt. FME erfüllt die Anforderungen der Qualitätsnorm. Durch entsprechende Technik (beheizbare Tanksysteme) ist die ganzjährige Nutzung als Rein-kraftstoff möglich.

3.5 Erläuterungen Biodiesel (Jatrophaölmethylester, JME)

Biodiesel aus Jatropha	Erläuterungen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. l Kraftstoffäquivalente/ha) 2007: 20/560 2020: 25/690	<ul style="list-style-type: none"> Für 2020 werden Verbesserungen dieser Werte v. a. über den Hebel der steigenden Hektarerträge und die Etablierung ausgereifter Sorten erwartet. Bisherige Ergebnisse beruhen nur auf Pilotvorhaben.
Nettoenergieertrag (GJ/ha) 2007: k.A. 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Detaillierte Energiebilanzen liegen noch nicht vor.
Erzeugung/ Marktanteil 2007: 0 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Die Produktion von Biodiesel aus Jatropha wird in verschiedenen Ländern (China, Indien, afrikanische Länder) und mittlerweile auch von großen Unternehmen verfolgt. Es handelt sich jedoch noch um Pilotprojekte. Jatrophaöl selbst ist heute am Markt kaum verfügbar. Die Produktion scheint attraktiv, jedoch zunächst v. a. für die nationale Verwendung.
Produktionskosten (€/GJ) 2007: 12 2020: 12	<ul style="list-style-type: none"> Erste Ergebnisse zu den Produktionskosten in Indien erscheinen sehr viel versprechend und zeigen, dass Jatropha-Biodiesel eine günstige Biokraftstoffoption sein kann. Jedoch hängt viel von den tatsächlich möglichen Erträgen ab. Auch wenn Jatropha eine relativ anspruchslose Pflanze ist, sind auf guten landwirtschaftlichen Flächen höhere Erträge als auf degradierten Flächen möglich.

Biodiesel aus Jatropha	Erläuterungen
Internationale Wettbewerbsfähigkeit 2007: gegeben 2020: gegeben	<ul style="list-style-type: none"> Erste Ergebnisse zu den Produktionskosten von Biodiesel aus Jatropha zeigen, dass diese in Indien im Vergleich zur europäischen Biokraftstoffproduktion sehr wettbewerbsfähig sind.
THG-Einsparung (t/ha) 2007: k.A. 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Detaillierte THG-Bilanzen liegen bisher nicht vor. Grundsätzlich gilt aber, dass eine zentrale Produktion und die energetische Nutzung des Presskuchens im Produktionsprozess bzgl. der THG-Vermeidung und auch ökonomisch sinnvoller ist. Auch bei Jatropha sind die THG-Bilanzen stark abhängig von der vorherigen Landnutzung, dem Energiemix des eingesetzten Stroms und der Anlagengröße
THG-Vermeidungskosten (€/t THG) 2007: k.A. 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Da noch keine detaillierten THG-Bilanzen vorliegen, ist hier noch keine Angabe möglich. Bei Produktion auf entsprechenden Flächen kann der Jatrophaanbau jedoch sogar zu einer zusätzlichen Kohlenstoffbindung führen. In diesem Fall wären sehr positive THG-Bilanzen zu erwarten und aufgrund der geringen Produktionskosten auch geringe Vermeidungskosten.
Kommentare	<ul style="list-style-type: none"> Hier gemachte Angaben beruhen auf Pilotprojekten der Firma Daimler in Indien. Bisher findet keine industrielle Produktion statt. Allerdings bestehen zunehmend Projekte (bspw. BP/D1Oil), die eine industrielle Verwendung von Jatropha zur Biodieselproduktion vorsehen.

3.6 Erläuterungen reines Pflanzenöl (Rapsöl)

Reines Pflanzenöl	Erläuterungen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. l Kraftstoffäquivalente/ha) 2007: 53/1480 2020: 66/1820	<ul style="list-style-type: none"> ■ Insgesamt stellen sich die Werte bei Pflanzenöl ähnlich dar wie bei der Produktion von Biodiesel. Jedoch sind bei der Biodieselproduktion Gutschriften für das Kuppelprodukt Glycerin zu berücksichtigen. ■ Ertragssteigerungen werden durch die steigenden Erträge in der Landwirtschaft erwartet.
Nettoenergieertrag (GJ/ha) 2007: 35 2020: 43	<ul style="list-style-type: none"> ■ Für 2020 werden wie bei Biodiesel Verbesserungen dieses Wertes über den Hebel der steigenden Hektarerträge und höherer Ölgehalte der Pflanze erwartet.
Erzeugung/ Marktanteil 2007: ca. 2 % 2020: < 1 %	<ul style="list-style-type: none"> ■ Die Verwendung von Pflanzenöl war bisher v. a. im Flottenbereich attraktiv. Aufgrund der zunehmenden Besteuerung sinkt allerdings zunehmend die Attraktivität der Verwendung von Pflanzenöl. Lediglich in der Landwirtschaft bleibt der Einsatz steuerbefreit und damit weiterhin attraktiv. ■ Bei der direkten Hydrierung wird in Zukunft auch Rapsöl eine Rolle spielen.
Produktionskosten (€/GJ) 2007: 20 2020: 18	<ul style="list-style-type: none"> ■ Angaben zu den Produktionskosten (ab Werk) basieren auf durchschnittlichen Rohstoffpreisen der letzten 2 Jahre. ■ Bei Rapsöl wird wie auch bei Biodiesel nicht mit großen Senkungen der Produktionskosten gerechnet, da kaum Potential beim technischen Fortschritt besteht. Für zukünftige Rohstoffkosten wurden FAPRI-Projektionen verwendet.

Reines Pflanzenöl	Erläuterungen
Internationale Wettbewerbsfähigkeit 2007: gegeben 2020: gegeben	<ul style="list-style-type: none"> ■ Palmöl und Sojaöl sind im Vergleich zu Rapsöl billiger und werden bereits verwendet. Jedoch sind Palm- und Sojaöl aufgrund unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften (Gefrierpunkt, Stabilität) nur begrenzt einsetzbar. ■ Im Vergleich zu Biodiesel ist die Verwendung reinen Pflanzenöls günstiger, jedoch wird der Markt in Deutschland in Zukunft schrumpfen.
THG-Einsparung (t/ha) 2007: 3,0 2020: 4,0	<ul style="list-style-type: none"> ■ Die Treibhausgaseinsparungen/ha können verbessert werden. Dies geschieht über steigende Biomasse- und damit Biokraftstoffträge/ha. Die Einsparungen/l Rapsöl bleiben jedoch relativ konstant. ■ Darüber hinaus bestehen Verbesserungsmöglichkeiten durch die energetische Verwendung der Stengel.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG) 2007: 113 2020: 159	<ul style="list-style-type: none"> ■ Die Vermeidungskosten für Pflanzenöl sind aufgrund der relativ hohen Einsparungen/l Kraftstoffäquivalente und der niedrigen Produktionskostendifferenz zum fossilen Substitut vergleichsweise niedrig. ■ Da die Produktionskosten in 2020 bei heutigen Rohstoffpreisprognosen etwas niedriger eingeschätzt werden, sinken auch die Vermeidungskosten.
Kommentare	<ul style="list-style-type: none"> ■ Durch die steuerliche Förderung war der Einsatz von Pflanzenöl in Deutschland trotz notwendiger Motorenumrüstung attraktiv und es hat sich insbesondere im Flottenbereich ein relevanter Markt herausgebildet, der jedoch mit zunehmender Besteuerung weg brechen wird. ■ Lediglich in der Land- und Forstwirtschaft wird der Einsatz von Pflanzenöl als Reinkraftstoff aufgrund der weiterhin geltenden Steuerbefreiung auch in Zukunft attraktiv sein.

3.7 Erläuterungen hydrierte Öle (HVO)

HVO*		Erläuterungen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. l Kraftstoffäquivalente/ha)	2007: 98/2730 2020: 129/3600	■ Der Kraftstofftrag je Hektar hängt in erster Linie von dem zugrunde gelegten Rohstoffmix ab, ist jedoch etwas höher als bei Biodiesel aus den jeweiligen Pflanzenölen, da HVO ein höheren Heizwert hat als die normalen Biodiesel und etwa die gleiche Menge fossilen Diesel ersetzt. Generell kann von einem Rohstoffmix aus Rapsöl und importierten Ölen ausgegangen werden.
Nettoenergieertrag (GJ/ha)	2007: k.A. 2020: k.A.	■ Der Nettoenergieertrag hängt ebenfalls erheblich von dem zugrunde liegenden Rohstoffmix ab.
Erzeugung/ Marktanteil	2007: < 0,2 % 2020: > 3 %	■ In Europa wird bisher lediglich in einer Anlage in Finnland in einem so genannten stand-alone-Verfahren produziert. Von dort gelangten bisher lediglich geringe Mengen auf dem deutschen Markt.
Produktionskosten (€/GJ)	2007: 23 2020: 23	■ Die Produktionskosten pro Liter Biokraftstoff liegen etwas höher als die Produktionskosten von Biodiesel aus den gleichen Pflanzenölen. Durch den höheren Heizwert der hydrierten Öle relativiert sich dies, wenn man die Produktionskosten je GJ im Vergleich zu Biodiesel betrachtet. Durch die Möglichkeit des flexiblen Rohstoffeinsatzes kann schnell auf Preisschwankungen der Pflanzenöle reagiert werden.

HVO*		Erläuterungen
Internationale Wettbewerbsfähigkeit	2007: abhängig von eingesetzten Ölen 2020: abhängig von eingesetzten Ölen	■ Entscheidend für die internationale Wettbewerbsfähigkeit ist der eingesetzte Rohstoff, d.h. das Pflanzenöl. Da es hierbei anders als bei Biodiesel keine technischen Begrenzungen gibt, ist mit dem Einsatz auch importierter preisgünstiger Pflanzenöle zu rechnen. Allerdings wird hier die Nachhaltigkeitsdiskussion in Zukunft eine bedeutende Rolle spielen.
THG-Einsparung (t/ha)	2007: 5,5 2020: 8,3	■ Bei der THG-Einsparung wird mit Werten ähnlich denen von Biodiesel, basierend auf dem gleichen Rohstoff, gerechnet. Die tatsächlich erzielte Einsparung wird von dem eingesetzten Rohstoffmix abhängen.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG)	2007: 214 2020: 182	■ Die Vermeidungskosten sind aufgrund ähnlicher Produktionskosten ebenfalls in etwa gleich hoch wie bei Biodiesel aus den gleichen Rohstoffen.
Kommentare		<ul style="list-style-type: none"> ■ Die Verwendung hydrierter Pflanzenöle wird in Zukunft steigen. In der „Roadmap Biokraftstoffe“ fand eine Festlegung auf eine 3%ige Beimischung bereits statt. ■ Ein weitaus höherer Einsatz ist jedoch technisch problemlos möglich und nicht wie bei Biodiesel begrenzt.

* Die Werte beziehen sich auf das stand-alone Verfahren. Für das co-processing liegen noch keine belastbaren Daten vor. Es wird aber davon ausgegangen dass diese sich ähnlich darstellen

3.8 Erläuterungen BtL-Kraftstoffe (Choren-Verfahren)

BtL	Erläuterungen	
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. l Kraftstoffäquivalente/ha)	2007: 135/3900 2020: 157/4700	<ul style="list-style-type: none"> Die Angaben basieren auf dem Verfahren der Firma Choren die plant, ihre Betaanlage 2008 in Betrieb zu nehmen. Die Erhöhung des Kraftstofftrages ist auf die angenommene Entwicklung der Biomasseerträge/ha, die von 15 auf 17,5 t steigen.
Nettoenergieertrag (GJ/ha)	2007: 114 2020: 138	<ul style="list-style-type: none"> Die geplanten Anlagen können energieautark (keine externe Energiezufuhr notwendig) betrieben werden, was den Nettoenergieertrag und auch die Treibhausgasbilanz verbessert
Erzeugung/ Marktanteil	2007: 0 % 2020: 1 %	<ul style="list-style-type: none"> In 2007 war kein BtL-Kraftstoff auf dem Markt. In 2008 werden erste kleine Mengen aus der Betaanlage von Choren erwartet. Bis 2020 kommen lediglich relevante Mengen auf den Markt, wenn bis dahin eine Großanlage realisiert wurde.
Produktionskosten (€/GJ)	2007: 31 2020: 26	<ul style="list-style-type: none"> BtL-Kraftstoffe werden noch nicht kommerziell produziert. Der Wert für 2007 gilt für die erste Sigma-Anlage (200.000 t BtL) gemäß Angaben von Choren. Für 2020 und bei einer großtechnischen Produktion wird mit geringeren Kosten gerechnet Entscheidend für die Kostenentwicklung ist aber auch hier die Rohstoffpreisentwicklung und der eingesetzte Rohstoffmix. Hier wurde von Rohstoffkosten zwischen 60 und 80 €/t atro ausgegangen

BtL	Erläuterungen	
Internationale Wettbewerbsfähigkeit	2007: k.A. 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Die Produktion von BtL-Kraftstoffen findet bisher weltweit nur in Versuchs- und Pilotanlagen statt. Neben technischen Anlagekonzepten werden Rohstoffpreise und -verfügbarkeit entscheidend sein. Diesbezüglich wird es darauf ankommen, welche Rohstoffe langfristig als Biomasse klassifiziert werden und zu welchen Konditionen diese durch Land- und Forstwirtschaft sowie die Entsorgungsbranche bereitgestellt werden können.
THG-Einsparung (t/ha)	2007: 10,0 2020: 12,0	<ul style="list-style-type: none"> Die Treibhausgaseinsparungen je Hektar sind hoch. Dies liegt an den hohen Einsparungen je Liter verwendeten Biokraftstoffs (2,5 kg/l BtL) und an den hohen erwarteten Hektarerträgen von BtL (ca. 4000 l/ha). Die weitere Erhöhung für 2020 ergibt sich aus steigenden Biomasse-Hektarerträgen.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG)	2007: 258 2020: 179	<ul style="list-style-type: none"> Die im Vergleich zu anderen Biokraftstoffen relativ geringen Vermeidungskosten kommen durch die hohe Vermeidung je eingesetzten Liter BtL-Kraftstoff zustande. Aufgrund sinkender Produktionskosten für BtL werden für 2020 niedrigere Vermeidungskosten erwartet.
Kommentare	<ul style="list-style-type: none"> Auch bei BtL-Kraftstoffen ist die Wettbewerbsfähigkeit noch nicht absehbar. Die Markteinführung bedarf der politischen Unterstützung und die Investitionskosten sind extrem hoch im Vergleich zu anderen Biokraftstoffen. Von sinkenden Produktionskosten kann ausgegangen werden. Jedoch sind auch diese erheblich von den zukünftigen Rohstoffkosten abhängig, die heute kaum einschätzbar sind. 	

3.9 Erläuterungen Bioethanol aus Getreide

Bioethanol aus Getreide	Erläuterungen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. l Kraftstoffäquivalente/ha) 2007: 55/1650 2020: 70/2170	<ul style="list-style-type: none"> Hier wurden die durchschnittlichen Hektarerträge für Getreide in Deutschland zwischen 2002 und 2006 zugrunde gelegt. Bei einer Produktion lediglich aus Weizen würden höhere Kraftstoffträge je Hektar erzielt. Für 2020 werden Verbesserungen beim Kraftstofftrag lediglich über den Hebel der steigenden Hektarerträge erwartet.
Nettoenergieertrag (GJ/ha) 2007: 52 2020: 65	<ul style="list-style-type: none"> Bei der Konversion sind noch Energieeinsparungen durch eine Optimierung der Nebenproduktverwertung möglich. Außerdem kann der fossile Prozessenergieverbrauch bei neuen Anlagenlayouts zunehmend durch KWK-Anlagen, die auf Strohbasis oder Schlempe/DDGS.-Basis betrieben werden, ersetzt werden. Dies wird die Energie und THG-Bilanzen in Zukunft aufgrund der neuen politischen Anreize erheblich verbessern und kann zu positiveren Ergebnissen als hier dargestellt führen.
Erzeugung/Marktanteil 2007: 1,5 2020: 5 – 10% des OK-Marktes in D	<ul style="list-style-type: none"> In 2007 wurden energetisch ca. 1,5% des Ottokraftstoffmarkts durch Bioethanol abgedeckt. Die deutsche Erzeugung war jedoch niedriger und Importe spielen eine zunehmende Rolle. Die Möglichkeit des Einsatzes von E10 ist in Zukunft vorgesehen und notwendig, um die ursprünglich in Deutschland vorgegebenen Biokraftstoffquoten zu erreichen. Der E85-Markt wird sich weiter entwickeln, ist aber bisher kaum mengenrelevant.
Produktionskosten (€/GJ) 2007: 26 2020: 23,6	<ul style="list-style-type: none"> Die Angaben beruhen auf durchschnittlichen Rohstoffkosten der vergangenen 2 Jahre. Für 2020 ist bei der Produktion aus Weizen mit Kostensenkungen aufgrund eines geringeren Rohstoffbedarfs und aufgrund von Verfahrensoptimierungen zu rechnen. Rohstoffpreisprojektionen von FAPRI wurden verwendet.

Bioethanol aus Getreide	Erläuterungen
Internationale Wettbewerbsfähigkeit 2007: Vgl. zu BRA: Faktor 2,7 2020: Vgl. zu BRA: Faktor 2,5	<ul style="list-style-type: none"> Die Herstellungskosten brasilianischen Bioethanols sind deutlich geringer. Derzeit besteht jedoch ein Einfuhrzoll für Bioethanol in Europa. Jedoch begrenzen auch der hohe Inlandsverbrauch, attraktivere Exportdestinationen und Entwicklungen auf dem Zuckermarkt mögliche Exporte Brasiliens. Verschärfte Umweltschutzauflagen und Logistikprobleme bei steigender Produktion können zudem Kostensteigerungen auslösen.
THG-Einsparung (t/ha) 2007: 3,7 2020: 5,0	<ul style="list-style-type: none"> Die Treibhausgaseinsparungen hängen ganz erheblich von dem Energiekonzept der Produktionsanlagen und der Energiebereitstellung in diesen Anlagen ab. Entscheidend ist bspw. ob Biomasse oder fossile Energieträger zur Energieerzeugung verwendet werden und ob KWK-Anlagen zum Einsatz kommen. Es ist davon auszugehen, dass dies in Zukunft zunehmend der Fall ist und sich die Bilanzen noch mal deutlich verbessern.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG) 2007: 208 2020: 167	<ul style="list-style-type: none"> Die Vermeidungskosten ergeben sich aus der Produktionskostendifferenz zwischen Benzin und Bioethanol sowie der vermiedenen Menge THG je l Biokraftstoff. Beimischungskosten sind nicht gesondert berücksichtigt.
Kommentare	<ul style="list-style-type: none"> In 2007 litten die Ethanolproduzenten unter den teilweise extrem hohen Getreidepreisen, die die Produktionskosten in die Höhe trieben, sich aber nicht in steigenden Preisen für Bioethanol widerspiegelten. In Zukunft ist aufgrund der politischen Anreize in Deutschland und der EU damit zu rechnen, dass die THG-Bilanz ein entscheidender Aspekt für die Preiswürdigkeit des jeweiligen Biokraftstoffs sein wird, so dass hier große Anreize für Verbesserungen bestehen.

3.10 Erläuterungen Bioethanol aus Zuckerrüben

Bioethanol aus Zuckerrüben		Erläuterungen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. l Kraftstoffäquivalente/ha)	2007: 132/4080 2020: 163/5020	<ul style="list-style-type: none"> Die Produktion aus Zuckerrüben schneidet aufgrund der hohen Hektarerträge besser ab als die aus Stärke. Für 2020 werden Verbesserungen beim Kraftstofftrag lediglich über den Hebel der steigenden Hektarerträge erwartet.
Nettoenergieertrag (GJ/ha)	2007: 120 2020: 155	<ul style="list-style-type: none"> Bei der Konversion sind noch Energieeinsparungen durch eine Optimierung der Nebenproduktverwertung möglich, Außerdem kann der fossile Prozessenergieverbrauch bei neuen Anlagenlayouts zunehmend durch KWK-Anlagen auf Basis von Stroh aus der Getreideproduktion oder Biogas aus der Methanisierung von Nebenprodukten (Preßschnitzel, Vinasse etc.) gedeckt werden. Dies wird die Energie und THG-Bilanzen in Zukunft aufgrund der neuen politischen Anreize erheblich verbessern.
Erzeugung/ Marktanteil	2007: <0,5 % 2020: < 5 % des OK-Marktes in D	<ul style="list-style-type: none"> Erste Mengen Bioethanol aus Zuckerrüben wurden in Deutschland produziert Heutige Zuckerrübenanbauflächen sind begrenzt, jedoch wird die Produktion aufgrund des Auslaufens der Zuckermarktordnung zunehmen, da Zuckerrübenmengen frei werden.
Produktionskosten (€/GJ)	2007: 25 2020: 22	<ul style="list-style-type: none"> Die Produktionskosten beruhen auf Zuckerrübenpreisen wie sie für die Jahre 2006 und 2007 festgeschrieben waren. Durch das Absenken der Zuckerrübenpreise bis 2020 reduzieren sich auch die Produktionskosten.

Bioethanol aus Zuckerrüben		Erläuterungen
Internationale Wettbewerbsfähigkeit	2007: Vgl. zu BRA: Faktor 2,6 2020: Vgl. zu BRA: Faktor 2,3	<ul style="list-style-type: none"> Die Herstellungskosten brasilianischen Bioethanols sind deutlich geringer. Derzeit besteht jedoch ein Einfuhrzoll für Bioethanol in Europa. Jedoch begrenzen auch der hohe Inlandsverbrauch, attraktivere Exportdestinationen und Entwicklungen auf dem Zuckermarkt mögliche Exporte Brasiliens. Verschärfte Umweltschutzauflagen und Logistikprobleme bei steigender Produktion können zudem Kostensteigerungen auslösen.
THG-Einsparung (t/ha)	2007: 9,4 2020: 11,0	<ul style="list-style-type: none"> Die Treibhausgasersparungen hängen ganz erheblich von dem Energiekonzept der Produktionsanlagen und der Energiebereitstellung in diesen Anlagen ab, d.h. bspw. ob Biomasse oder fossile Energieträger zur Energieerzeugung verwendet werden und ob KWK-Anlagen zum Einsatz kommen. Dies wird in Zukunft zunehmend der Fall sein, so dass die Bilanzen durchaus besser ausfallen können als hier dargestellt.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG)	2007: 188 2020: 145	<ul style="list-style-type: none"> Die Vermeidungskosten ergeben sich aus der Produktionskostendifferenz zwischen Benzin und Bioethanol sowie der vermiedenen Menge THG je l Biokraftstoff. Beimischungskosten sind nicht berücksichtigt. Bei derzeitigen hohen Getreidepreisen und damit gestiegenen Produktionskosten für Bioethanol aus Weizen bewegen sich die Vermeidungskosten für Bioethanol aus Zuckerrüben in einem ähnlichen Bereich.
Kommentare		<ul style="list-style-type: none"> Die Bioethanolproduktion aus Zuckerrüben spielte bisher eine untergeordnete Rolle. Allerdings ist in 2007 eine erste Anlage in Betrieb gegangen und weitere Anlagen sind geplant. Zuckerrüben stellen aufgrund der hohen Hektarerträge, der steigenden Getreidepreise und des Auslaufens der Zuckermarktordnung einen relativ attraktiven Rohstoff dar, so dass die Verwendung in Zukunft steigen könnte.

3.11 Erläuterungen Bioethanol aus Zuckerrohr (Brasilien)

Bioethanol aus Zuckerrohr (BRA)	Erläuterungen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. Kraftstoffäquivalente/ha) 2007: 135/4160 2020: 166/5130	<ul style="list-style-type: none"> Die Kraftstoffträge der Bioethanolproduktion aus Zuckerrohr in Brasilien sind im Vergleich zur europäischen Ethanolproduktion aus Getreide mehr als doppelt so hoch und vergleichbar mit den Erträgen aus der Ethanolproduktion aus Zuckerrüben. Bis 2020 steigen die Erträge aufgrund einer weiter steigenden Produktivität beim Zuckerrohranbau.
Nettoenergieertrag (GJ/ha) 2007: 116 2020: 142	<ul style="list-style-type: none"> Auch die Nettoenergieerträge sind in der Regel bei der brasilianischen Produktion im Vergleich zur europäischen Produktion aus Getreide mehr als doppelt so hoch und vergleichbar mit den Erträgen der Ethanolproduktion aus Zuckerrüben
Erzeugung/ Marktanteil 2007: ca. 30 % in BRA 2020: > 40 % in BRA	<ul style="list-style-type: none"> In Brasilien erreicht Bioethanol über die verschiedenen Absatzkanäle (Beimischung und Reinkraftstoff) insgesamt einen Marktanteil von ca. 30 %. In Deutschland und EU ist brasilianisches Ethanol noch mit hohen Zöllen belegt. In 2007 sind die Importe brasilianischen Ethanols dennoch angestiegen.
Produktionskosten (€/GJ) 2007: 9,5 2020: 9,5	<ul style="list-style-type: none"> Die Produktionskosten brasilianischen Ethanol sind niedrig. Das Produkt ist im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen wettbewerbsfähig.

Bioethanol aus Zuckerrohr (BRA)	Erläuterungen
Internationale Wettbewerbsfähigkeit 2007: Kostenführer 2020: Kostenführer	<ul style="list-style-type: none"> International gesehen ist Brasilien Kostenführer bei der Bioethanolproduktion. Exporte in den europäischen Raum sind jedoch aufgrund der hohen Zölle, des großen Eigenbedarfs Brasiliens und anderen attraktiven Exportregionen (Asien, USA) noch relativ begrenzt.
THG-Einsparung (t/ha) 2007: 10,0 2020: 12,0	<ul style="list-style-type: none"> Die THG-Einsparungen je Hektar sind hoch und mit der europäischen Produktion aus Getreide nicht zu erreichen, sind jedoch ähnlich wie die Einsparungen je Hektar bei der Produktion aus Zuckerrüben Allerdings besteht bei der Ausdehnung des Zuckerrohranbaus die Gefahr von Landnutzungsänderungen mit extrem negativen Auswirkungen auf die THG-Bilanz. Dies wird bei der Möglichkeit des Marktzugangs in Deutschland und der EU in Zukunft wahrscheinlich eine wichtige Rolle spielen.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG) 2007: -30 2020: -20	<ul style="list-style-type: none"> Aufgrund der Wettbewerbsfähigkeit brasilianischen Ethanols im Vergleich zu fossilem Kraftstoff fallen keine, bzw. sogar negative Vermeidungskosten an.
Kommentare	<ul style="list-style-type: none"> Die brasilianische Ethanolproduktion und auch die Exporte sollen erheblich ausgebaut werden. Bei Exporten nach Europa wird jedoch die Nachhaltigkeitsdiskussion und der Nachweis, dass keine Landnutzungsänderungen stattgefunden haben für den Marktzugang an Bedeutung gewinnen.

3.12 Erläuterungen Bioethanol aus Mais (USA)

Bioethanol aus Mais (USA)	Erläuterungen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. Kraftstoffäquivalente/ha) 2007: 79/2440 2020: 115/3540	<ul style="list-style-type: none"> ■ Im Vergleich zur europäischen Bioethanolproduktion aus Getreide weist die Produktion aus Mais in den USA relativ hohe Kraftstoffträge je Hektar auf. Diese sind jedoch geringer als bei der Bioethanolproduktion aus Zuckerrüben in Europa ■ Die Erträge bis 2020 erhöhen sich aufgrund steigender Maiserträge, höherem Stärkegehalt und höherer Ausbeuten.
Nettoenergieertrag (GJ/ha) 2007: 40 2020: 59	<ul style="list-style-type: none"> ■ Die Nettoenergieerträge liegen etwas höher als bei der Ethanolproduktion aus Getreide in Europa.
Erzeugung/ Marktanteil 2007: > 2 % 2020: 15 % des OK-Marktes USA	<ul style="list-style-type: none"> ■ Der Marktanteil von Bioethanol in den USA ist noch relativ gering (ca. 2%), jedoch findet ein erheblicher Kapazitätsaufbau statt und es bestehen ehrgeizige politische Ziele für den Einsatz alternativer Kraftstoffe (15 % alternative Kraftstoffe in 2017). ■ Auch wenn sehr stark auf die Produktion aus Lignozellulose gesetzt wird, ist damit zu rechnen, dass bis 2017 noch ein erheblicher Anteil der Ethanolproduktion auf Basis von Mais stattfindet.
Produktionskosten (€/GJ) 2007: 16 2020: 16	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aus einem Maispreis von 150 US\$ resultieren Produktionskosten von ca. 0,39 €/Liter. Diese sind deutlich geringer als die Produktionskosten in Europa, aber deutlich höher als in Brasilien. ■ Die Produktionskosten bis 2020 werden erheblich von der weiteren Entwicklung der Rohstoffkosten und damit von den Maispreisen abhängen. Projektionen deuten jedoch auf einen ähnlichen Maispreis wie in 2006/07 hin.

Bioethanol aus Mais (USA)	Erläuterungen
Internationale Wettbewerbsfähigkeit 2007: ggü. EU-Produktion gegeben 2020: ggü. EU-Produktion gegeben	<ul style="list-style-type: none"> ■ Die USA sind mittlerweile der weltgrößte Ethanolproduzent. Im Vergleich zum internationalen Kostenführer Brasilien sind die USA nicht wettbewerbsfähig und schotten ihren Markt durch Importschranken ab. ■ Im Vergleich zu Europa ist die Produktion jedoch wettbewerbsfähig. Bisher finden jedoch keine Exporte nach Europa statt und Ethanol aus den USA ist in Europa ebenfalls mit hohen Zöllen belegt.
THG-Einsparung (t/ha) 2007: 1,9 2020: 2,7	<ul style="list-style-type: none"> ■ Die THG-Einsparungen je Hektar sind im Vergleich zur europäischen Produktion aus Getreide etwas geringer. Sie werden in Zukunft aufgrund der höheren Biokraftstoffträge je Hektar steigen.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG) 2007: 182 2020: 182	<ul style="list-style-type: none"> ■ Die THG-Vermeidungskosten liegen bei heutigen Produktionskosten unter denen der Produktion in Europa aus Getreide.
Kommentare	<ul style="list-style-type: none"> ■ Die USA haben ein massives Förderprogramm für Biokraftstoffe gestartet. Dies zielt u. a. auch auf die Förderung von Bioethanol aus Lignozellulose ab. Bisherige Ethanolkapazitäten basieren aber nur auf herkömmlichen Rohstoffen. ■ Sollte der Kapazitätsaufbau in heutigem Maßstab weitergehen, kann es auch zu Überkapazitäten und möglichen Exporten kommen.

3.13 Erläuterungen Bioethanol aus Cassava (Asien)

Bioethanol aus Cassava (Asien)		Erläuterungen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. Kraftstoffäquivalente/ha)	2007: 78/2410 2020: 145/4480	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bis 2020 wird eine deutliche Ertragssteigerung durch neue Sorten und durch eine Erhöhung des Stärkegehalts erwartet.
Nettoenergieertrag (GJ/ha)	2007: k.A. 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Energiebilanzen liegen bisher nicht vor.
Erzeugung/ Marktanteil	2007: keine relevanten Marktanteile 2020: wachsende Bedeutung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Die Bioethanolproduktion aus Cassava findet bisher lediglich im asiatischen Raum in Thailand und China statt, allerdings auch hier nicht in großem Umfang. Exporte finden bisher nicht statt. ■ Die Produktion wird jedoch zunehmen und Marktanteile werden steigen.
Produktionskosten (€/GJ)	2007: 19 2020: 19	<ul style="list-style-type: none"> ■ Die Produktionskosten (in Thailand) sind im Vergleich zur Bioethanolproduktion in Europa geringer. ■ Für 2020 sind Aussagen schwierig, da auch bei der Produktion aus Cassava die Rohstoffkosten der entscheidende Faktor sind und keine expliziten Prognosen für Cassavapreise vorhanden sind.

Bioethanol aus Cassava (Asien)		Erläuterungen
Internationale Wettbewerbsfähigkeit	2007: im Vgl. zu EU gegeben 2020: im Vgl. zu EU gegeben	<ul style="list-style-type: none"> ■ Eine Bioethanolproduktion aus Cassava, bspw. in Thailand ist im internationalen Maßstab durchaus wettbewerbsfähig. ■ Bisher findet jedoch kein Export von Bioethanol aus Cassava statt und die Produktionskapazitäten müssten erstmal aufgebaut werden.
THG-Einsparung (t/ha)	2007: k.A. 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> ■ THG-Bilanzen für Bioethanol aus Cassava liegen bisher nicht vor. ■ Es wird aber davon ausgegangen, dass diese bei Ausschluss negativer Wirkungen der Landnutzungsänderungen relativ positiv sind.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG)	2007: k.A. 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Keine Angabe möglich, da die THG-Vermeidung nicht bekannt ist. ■ Bei den niedrigen Produktionskosten und einer zu erwartenden positiven Bilanz (bei Ausschluss negativer Landnutzungsänderungen) können diese jedoch relativ gering sein.
Kommentare		<ul style="list-style-type: none"> ■ Die Cassavaproduktion und der Cassavaexport ist für Thailand als heute einzigen relevanten Exporteur weltweit von großer wirtschaftlicher Bedeutung. ■ Es wird davon ausgegangen, dass die Relevanz von Cassava für die Bioethanolproduktion steigt.

3.14 Erläuterungen Bioethanol Lignozellulose (Stroh)

Bioethanol aus Lignozellulose	Erläuterungen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. Kraftstoffäquivalente/ha) 2007: 21/640 2020: 25/760	<ul style="list-style-type: none"> Die relativ geringen Energieerträge hängen mit den geringen Biomasserträgen je ha zusammen. Bei einem Strohertrag von 8 t/ha inkl. 20 % Wasser sind nur 6,4 t/ha trocken verwertbar, wovon wiederum in der Praxis nur 45 % gewinnbar sind (d.h. nur 2,8 t). Der Ethanolertrag je ha ist für die Produktion aus Lignozellulose nicht die entscheidende Größe, da die Produktion auf landwirtschaftlichen Reststoffen beruht und keine zusätzliche Fläche beansprucht. Vielmehr kann eine Nutzung zusätzlich zur Ethanolproduktion aus Stärke erfolgen.
Nettoenergieertrag (GJ/ha) 2007: 18 2020: 21	<ul style="list-style-type: none"> Besondere Relevanz für den Nettoenergieertrag hat die Frage, inwieweit der Energieaufwand bei der Konversion durch die energetische Nutzung des Lignins gedeckt werden kann. Beim Rohstoffanbau für Bioethanol aus Lignozellulose fallen auf der Fläche zusätzlich Produkte an, die in der Nahrungsmittel- oder Ethanolproduktion verwendet werden können.
Erzeugung/ Marktanteil 2007: 0 2020: < 1	<ul style="list-style-type: none"> In 2007 besteht keine Erzeugung. Produktionspotentiale bestehen. Jedoch ist fraglich, ob eine Produktion aus Stroh wirtschaftlich tatsächlich darstellbar ist. Andere Rohstoffmöglichkeiten (Gras, Rest- und Abfallstoffe) bestehen. Die Potentiale sind zusätzlich zu den Potentialen von Bioethanol aus Getreide erreichbar, sofern das Stroh dort nicht energetisch verwendet wird.
Produktionskosten (€/GJ) 2007: 30 2020: 24	<ul style="list-style-type: none"> Die Angaben zu den Produktionskosten basieren auf Zahlen aus der Literatur und auf Angaben der Industrie. Die Industrie geht in best-case Szenarien, basierend auf der Produktion aus Stroh, von geringeren möglichen Kosten für 2007 aus. Die Rohstoffkosten sind v. a. abhängig davon, ob Anbaubiomasse oder Reststoffe verwendet werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass mit zunehmender Nachfrage bspw. nach Stroh für die Biokraftstoffproduktion auch die Kosten steigen.

Bioethanol aus Lignozellulose	Erläuterungen
Internationale Wettbewerbsfähigkeit 2007: k.A. 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Die Produktion von Bioethanol aus Lignozellulose spielt noch keine Rolle. IOGEN betreibt in Kanada eine Demonstrationsanlage. In Brasilien wird eine Versuchsanlage auf Basis von Zuckerrohrstroh/Bagasse von DEDINI betrieben. Auch Abengoa u. a. sind in dem Bereich Bioethanol aus Lignozellulose bereits aktiv. Neben den technischen Anlagekonzepten werden die meist regional unterschiedlichen Preise für Stroh oder andere Rohstoffe entscheidend sein.
THG-Einsparung (t/ha) 2007: 1,5 2020: 2,1	<ul style="list-style-type: none"> Die Treibhausgaseinsparungen hängen ganz erheblich von dem Energiekonzept der Produktionsanlagen und der Energiebereitstellung in diesen Anlagen ab, d.h. bspw. ob Biomasse oder fossile Energieträger zur Energieerzeugung verwendet werden und ob Kogenerationsanlagen zum Einsatz kommen.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG) 2007: 248 2020: 138	<ul style="list-style-type: none"> Die Reduktion der Vermeidungskosten bis 2020 liegt an der erwarteten Senkung der Produktionskosten und an der erwarteten Erhöhung der Treibhausgasvermeidung je verwendeter Einheit Bioethanol durch verbesserte Anlagenkonzepte.
Kommentare	<ul style="list-style-type: none"> Bioethanol aus Lignozellulose befindet sich noch im F&E-Stadium. Bei den Produktionskosten zeichnet sich ab, dass ohne eine Förderung Bioethanol aus Lignozellulose nicht wettbewerbsfähig sein wird.

3.15 Erläuterungen Bioethanol aus lignozellulosehaltigen Restströmen der Agrarindustrie

Bioethanol, Restströme Agrarindustrie	Erläuterungen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. l Kraftstoffäquivalente/ha) 2007: 4,7 / 150 2020: 6 / 180	<ul style="list-style-type: none"> Der Hektarertrag für Bioethanol aus agrarischen Reststoffen, bspw. Weizenkleie ist gering, allerdings können von der gleichen Fläche natürlich auch noch weitere Produkte zu Bioethanol verarbeitet werden, so dass durch die Nutzung bspw. von Weizenkleie vielmehr zusätzliches Potential für die Bioethanolproduktion je Hektar entsteht.
Nettoenergieertrag (GJ/ha) 2007: k.A. 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Energiebilanzen liegen bisher nicht vor. Auch hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass Bioethanol aus lignozellulosehaltigen Restströmen der Agrarindustrie eine zusätzliche Verwendung zur Nutzung bspw. des Weizenkorns darstellt und so insgesamt die Hektarerträge deutlich erhöht.
Erzeugung/ Marktanteil 2007: 0 2020: < 1 %	<ul style="list-style-type: none"> Bisher keine marktrelevante Erzeugung Bis 2020 wird mit ersten relevanten Mengen im Markt gerechnet.
Produktionskosten (€/GJ) 2007: 32 2020: 18	<ul style="list-style-type: none"> Auch hier besteht eine große Abhängigkeit der Produktionskosten von den Rohstoffpreisen. Bei der Nutzung von Restströmen aus der Agrarindustrie fallen häufig keine Transportkosten für die Rohstoffe an und die Rohstoffkosten können relativ gering sein. Kostenreduktionen treten u. a. durch sinkende Enzymkosten auf, die in den ersten Jahren unverhältnismäßig hoch sind.

Bioethanol, Restströme Agrarindustrie	Erläuterungen
Internationale Wettbewerbsfähigkeit 2007: noch nicht möglich 2020: im Vgl. zu EU-Produktion möglich	<ul style="list-style-type: none"> Bei angenommenen heutigen Produktionskosten wäre Bioethanol aus lignozellulosehaltigen Restströmen der Agrarindustrie international nicht wettbewerbsfähig und könnte auch mit der bestehenden europäischen Bioethanolproduktion nicht konkurrieren. Für eine mögliche industrielle Produktion wird in Zukunft aber mit innerhalb Europas wettbewerbsfähigen Produktionskosten gerechnet.
THG-Einsparung (t/ha) 2007: 0,4 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Detaillierte THG-Bilanzen liegen bisher nicht vor. Es wird aber damit gerechnet, dass die THG-Einsparungen je Liter Biokraftstoff höher liegen als bei der Bioethanolproduktion aus Getreide (Weizenkorn). Die Einsparungen je Hektar sind gering, fallen aber bspw. zusätzlich zur herkömmlichen Produktion an.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG) 2007: 224 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Aufgrund der zunächst angenommenen relativ hohen Produktionskosten liegen die Vermeidungskosten trotz angenommener relativ hoher THG-Vermeidung je Liter Biokraftstoff in einem ähnlichen Bereich wie bei der Produktion aus Getreide (Weizenkorn).
Kommentare	<ul style="list-style-type: none"> Die Verarbeitung von Restströmen aus der Agrarindustrie, zunächst bspw. basierend auf Weizenkleie kann als weiterer Einstieg in die Verarbeitung von Lignozellulose zu Bioethanol gesehen werden.

3.16 Erläuterungen Biogas

Biogas (Angaben für Biomethan)	Erläuterungen
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. l Kraftstoffäquivalente/ha) 2007: 178/4980 2020: 255/7140	<ul style="list-style-type: none"> Hoher Kraftstofftrag pro Hektar im Vergleich zu den anderen Biokraftstoffen. Hier wurde lediglich die Produktion aus Anbaubiomasse (Silomais) betrachtet. Auf den Anbauflächen für die Betreiber von Biogasanlagen werden teilweise deutlich höhere Biomasseerträge und damit auch Kraftstoffträge erreicht. Der Anbau von Zwischenfrüchten kann die Erträge weiter steigern.
Nettoenergieertrag (GJ/ha) 2007: 130 2020: 204	<ul style="list-style-type: none"> Die Energieerträge hängen bedeutend von Art und Anbau der verwendeten Rohstoffe und von der Strom- und Wärmebereitstellung für die Biogasanlagen ab. Der Nettoenergieertrag kann durch Reduktion des Eigenenergiebedarfs, v. a. durch Optimierung der THG-Entfernung bei der Aufbereitung des Gases und durch eine optimierte Verdichtung des Gases reduziert werden.
Erzeugung/ Marktanteil 2007: 0 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Bisher fand keine relevante Nutzung von Biogas als Kraftstoff statt, da eine Verstromung aufgrund EEG-Förderung sinnvoller ist. Von der Rohstoffseite her besteht jedoch großes Potential, da Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen, Reststoffen und Abfällen produziert werden kann. Diese Rohstoffnutzung steht allerdings teilweise in Konkurrenz zur Nutzung für andere Biokraftstoffe.
Produktionskosten (€/GJ) 2007: 21 2020: 27	<ul style="list-style-type: none"> Die Kosten gelten für Nawaro-Anlagen. Bei Abfallanlagen, d.h. ohne Rohstoffkosten reduzieren sich die Kosten deutlich. Biogaserzeugung ist eine etablierte Technologie, wesentliche Kostensenkungspotenziale werden nicht erwartet. Produktionskosten sind stark von den Rohstoffkosten abhängig.

Biogas (Angaben für Biomethan)	Erläuterungen
Internationale Wettbewerbsfähigkeit 2007: kein Wettbewerb 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Die Produktion von Biogas zur Verwendung als Kraftstoff würde in Deutschland aus deutschen Rohstoffen erfolgen, da zumindest der Import der Rohstoffe aufgrund der hohen Transportkosten nicht sinnvoll ist. In Zukunft könnte durch die Einspeisung von Biomethan in bestehende Erdgasnetze der Biogastransport auch international erfolgen. Dann hängt die Wettbewerbsfähigkeit v. a. von den Rohstoffkosten ab.
THG-Einsparung (t/ha) 2007: 7,4 2020: 10,6	<ul style="list-style-type: none"> Dieser Wert bezieht sich ausschließlich auf die Produktion von Biomethan aus Anbaubiomasse bei einer Treibhausgaseinsparung von ca. 70 % gegenüber fossilem Kraftstoff.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG) 2007: 240 2020: 386	<ul style="list-style-type: none"> Dieser Wert gilt ausschließlich für die Produktion von Biomethan aus Anbaubiomasse. Für die Zukunft wird ein leichter Rückgang der Vermeidungskosten erwartet. Der exakte Wert ist jedoch abhängig von Rohstoffmix und jeweiligen Rohstoffkosten.
Kommentare	<ul style="list-style-type: none"> Für die Markteinführung müsste Biomethan als Kraftstoff im Vergleich zur Verstromung von Biogas und auch zur Nutzung von Erdgas als Kraftstoff (noch langfristig steuerentlastet) besser gestellt werden. Voraussetzung für die Umsetzung ist außerdem eine verstärkte Markteinführung von Gasfahrzeugen. Eine zunehmende Einspeisung von Biomethan in das Erdgasnetz macht Biogas „treibstofffähig“.

3.17 Erläuterungen Bio-Wasserstoff

Biowasserstoff	Erläuterungen	
Kraftstofftrag (GJ/ha bzw. Kraftstoffäquivalente/ha)	2007: 162/4740 2020: 189/5530	<ul style="list-style-type: none"> Stark abhängig von Art und Optimierung des Biowasserstoff-Produktionsverfahrens sowie von Art und Erträgen der Biomasse aus der Biowasserstoff erzeugt wird. Hier wurde ein Biowasserstofftrag von 90 kg Biowasserstoff je Tonne Biomasse und ein Ernteertrag von 15 Tonnen Biomasse je Hektar angenommen.
Nettoenergieertrag (GJ/ha)	2007: 120 2020: 140	<ul style="list-style-type: none"> Zur Vergärung organischer Reststoffe zur Bio-Wasserstoffherzeugung liegen bisher kaum Angaben vor und eine Einschätzung für das Jahr 2020 ist nicht möglich.
Erzeugung/ Marktanteil	2007: 0 2020: 0	<ul style="list-style-type: none"> Die Wasserstoffproduktion für den Transportsektor erfolgt nur in Pilotprojekten. Die Rohstoffbasis für die Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse ist hoch, konkurriert aber z. T. auch mit der Verwendung der Biomasse für andere Biokraftstoffe. Bis 2020 wird mit keiner relevanten Produktion aus Biomasse gerechnet. Auch die herkömmliche Wasserstoffproduktion wird bis dahin aus Kostengründen keinen relevanten Marktanteil erreichen.
Produktionskosten (€/GJ)	2007: 26 – 37 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Angabe gilt für Wasserstoff aus Biomasse. Kosten für Produktion, Transport zur Tankstelle und die anteiligen Kosten für die Tankstelle sind enthalten.

Biowasserstoff	Erläuterungen	
Internationale Wettbewerbsfähigkeit	2007: k.A. 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Die USA verfügen über die größten konventionellen Wasserstoff-Produktionskapazitäten. Die USA, Japan und Europa sind sowohl in der Produktions- als auch in der Anwendungstechnologie führend. Insbesondere in den USA wird die Produktion von Wasserstoff aus Biomasse stark gefördert.
THG-Einsparung (t/ha)	2007: k.A. 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Belastbare Daten sind nicht verfügbar.
THG-Vermeidungskosten (€/t THG)	2007: k.A. 2020: k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Belastbare Daten sind nicht verfügbar.
Kommentare	<ul style="list-style-type: none"> Für das Ziel der Erzeugung von Bio-Wasserstoff ist noch Grundlagenforschung nötig. Derzeit erfolgt vielmehr die Erprobung von herkömmlichem Wasserstoff in geförderten Modell- und Demonstrationsprojekten auf Landes-, Bundes-, und EU-Ebene. Auch hier ist jedoch in den nächsten Jahren nicht mit einer breiten Markteinführung zu rechnen. 	

4. Profile Biokraftstoffe

4.1 Dieselsubstitute

4.1.1 Profil Biodiesel (Rapsölmethylester, RME)

Merkmale Biodiesel aus Rapsöl

RME wird durch die Umesterung von Pflanzenöl mit Methanol hergestellt. Dabei werden ca. 10% des Raps-Rohöls als Glycerin abgetrennt und durch fossiles Methanol ersetzt. In Deutschland ist Raps der entscheidende Rohstoff. Eine Produktion ist aber auch aus anderen Pflanzenölen, Altspeise- und Tierfetten möglich.

Spezifisches Gewicht
0,88 kg/l Biodiesel

Heizwert
33,03 MJ/l (37,2 MJ/kg)

Kraftstoffäquivalent
1 l Biodiesel ersetzt wegen des geringeren Heizwertes nur 0,92 l Diesel

Einsatzmöglichkeiten

- Biodiesel wird heute normgerecht (EN590) fossilem Diesel mit bis zu 5% beigemischt (B5). Dieses Marktsegment gewinnt stark an Bedeutung. In Zukunft soll B7 eingesetzt werden. Noch höhere Beimischungsquoten gelten derzeit als technisch problematisch. In den USA wird B20, in Frankreich B30 im Flottenbetrieb eingesetzt.
- Biodiesel wird auch als Reinkraftstoff abgesetzt. Herkömmliche Dieselmotoren können mit reinem Biodiesel (B100) (EN 12214) betrieben werden, sofern eine Freigabe seitens des Fahrzeugherstellers vorliegt. Daraus ergibt sich in Deutschland ein Potential von derzeit 3 Mio. Fahrzeugen. Die Freigabeerteilungen sind allerdings rückläufig und aufgrund der Euro IV und V-Normen, die mit Biodiesel nicht erfüllt werden können, schrumpft dieses Marktsegment.

Potential

Technisch: Das Produktionsverfahren auf Basis Raps ist in Deutschland ausgereift und etabliert. Weiteres Forschungspotential zur Verbesserung der Energieeffizienz, THG-Bilanz und Qualität des Endprodukts sowie bei der Verwendung des Nebenprodukts Glycerin, das fossile Produkte in der chemischen Industrie ersetzen kann, ist vorhanden. Fossiles Methanol kann bei der Produktion durch Ethanol ersetzt werden, dadurch würde Biodiesel zu einem reinen Biokraftstoff werden (FAEE).

Wirtschaftlich: Produktionskosten liegen über dem Dieselläquivalent. Steigende Dieselpreise verbessern die Wettbewerbsfähigkeit. Jedoch ist von einer Kopplung des Biodiesel- an den Dieselpreis auszugehen. Auf die stark steigende

de Biodieselnachfrage wurde bisher mit einem deutlichen Angebotsausbau reagiert. Probleme können bei steigender Produktion aufgrund begrenzter Märkte für Kuppelprodukte entstehen. Rohstoffe sind der entscheidende Kostenfaktor. Andere Länder produzieren den Rohstoff teilweise kostengünstiger. Dies gilt v. a. für Palm- und Sojaöl, deren Einsetzbarkeit jedoch eingeschränkt ist. Auch sind die ökologischen und sozialen Auswirkungen eines vermehrten Anbaus v. a. in asiatischen Ländern sowie in Lateinamerika bisher nicht untersucht.

Ökologisch: Die Biodieselverwendung führt zu Treibhausgaseinsparungen.

Energiepolitisch: Die Verwendung von Biodiesel schont fossile Ressourcen und reduziert die Abhängigkeit von Erdöl.

Agrarpolitisch: In Deutschland erfolgt die Biodieselproduktion überwiegend aus Rapsöl. Ertragssteigerungspotentiale liegen bei normalen Raps bei 1% p.a., bei dem dominierenden Hybridraps bei 2% p.a.. Züchterisch können zudem das Fettsäuremuster optimiert und fruchtfolgebedingte Krankheiten reduziert werden. Es sind aber auch andere Pflanzenöle sowie Altspeise- und Tierfette geeignet. Weltweit sind besonders Palm- und Sojaöl bedeutsam. Die derzeitige Biodieselproduktion in Deutschland bindet ca. 700.000 bis 900.000 ha. Unter Berücksichtigung der Produktion für andere Verbrauchsformen ist das Potential aufgrund von Fruchtfolgegrenzen weitgehend ausgeschöpft. Es besteht eine zunehmende Flächenkonkurrenz, beispielsweise mit

Weizen. Importe von Pflanzenöl sind kostengünstiger.

4.1.2 Profil Biodiesel (Palmölmethylester, PME)

Merkmale Biodiesel aus Palmöl

In Deutschland ist Raps zwar noch der entscheidende Rohstoff für die Biodieselproduktion. Eine Produktion ist aber auch aus Palmöl möglich. In den Sommermonaten wird Palmöl anteilig als Rohstoff eingesetzt. Ein Einsatz ist v. a. bei geringeren Preisen im Vergleich zu Raps attraktiv.

Spezifisches Gewicht
0,88 kg/l Biodiesel

Heizwert
32,36 MJ/l (37,2 MJ/kg)

Kraftstoffäquivalent
1 l Biodiesel ersetzt wegen des geringeren Heizwertes nur 0,90 l Diesel

Einsatzmöglichkeiten

- Die Einsatzmöglichkeiten in Deutschland sind durch die schlechten Kaltfließeigenschaften eingeschränkt. Am Markt sind keine Additive verfügbar, die die Kaltfließeigenschaften ausreichend verbessern würden. PME erfüllt nicht die Anforderungen von EN14214.
- Der Einsatz von PME wird von vielen Marktteilnehmern im Winter ausgeschlossen, im Sommer können bis zu 10% im B100-Markt beigemischt werden.

- Aufgrund der mit Palmöl assoziierten Nachhaltigkeitsprobleme verlangen einige große Mineralölgesellschaften von ihren Biodiesellieferanten für B5 den Nachweis, dass kein Palmöl für die Produktion eingesetzt wurde.
- Es wird an Möglichkeiten gearbeitet, die Einsatzmöglichkeiten von PME in Europa zu verbessern (deutliche Erhöhung der Beimischungsanteile ohne Beeinträchtigung der Kraftstoffqualität).

Potential

Technisch: Die Kaltfließesigenschaften von Biodiesel aus Palmöl sind schlecht, so dass ein Einsatz in den Wintermonaten kaum möglich ist.

Wirtschaftlich: Die Preise für Palmöl lagen in der Vergangenheit meist deutlich unter den Preisen für Rapsöl. Damit bestanden erhebliche wirtschaftliche Anreize zur Substitution von Raps- durch Palmöl in der Biodieselproduktion.

Ökologisch: Der finanzielle Aufwand der Errichtung einer Palmplantage auf Brachflächen ist deutlich höher als bei der Errichtung auf Naturwaldflächen nach deren Abholzung. Anreize zur Nutzung von Brachflächen sollten daher implementiert werden, um eine weitere Abholzung tropischer Wälder und die damit verbundenen hohen Kohlenstofffreisetzung zu verhindern. Ein kontrollierter Ölpalmanbau auf Brachflächen hingegen ist sinnvoll und kann sogar zu einer Kohlenstoffbindung führen. Die THG-Bilanz der Palmölproduktion auf Brachflächen ist wesentlich besser als auf

abgeholzten Naturwaldflächen. Bei der Verdrängung anderer Plantagenwirtschaft durch Palmölplantagen können ebenfalls negative THG-Effekte auftreten, da bspw. verdrängte Naturprodukte durch fossile Produkte ersetzt werden müssen. Die Nutzung von Optimierungspotentialen im Anbau und der Verarbeitung (bspw. Auffangen des Methans bei der Abwasseraufbereitung) können die THG- und Energiebilanz ebenfalls verbessern.

Energiepolitisch: Kein Einsatz heimischer Rohstoffe. Jedoch führt der Einsatz von Palmöl zu einer Diversifizierung der Struktur der Herkunftsländer und kann so die Energieversorgungssicherheit erhöhen.

Agrarpolitisch: Durch Verbesserungen in der Bewirtschaftung lässt sich die Produktivität des Anbaus steigern. Eine Ausdehnung der Flächen in Regenwaldgebiete muss gestoppt werden. Der Anbau hingegen auf Brachflächen (ehemalige Naturwaldflächen), der ohne die Verdrängung anderer Plantagenformen stattfinden kann, kann agrar- und klimapolitisch sinnvoll sein.

4.1.3 Profil Biodiesel (Sojaölmethylester, SME)

Merkmale Biodiesel aus Sojaöl

Sojaöl ist nach Raps der zweitwichtigste Rohstoff für die Biodieselproduktion in Deutschland. Biodiesel aus Sojaöl erfüllt die Anforderungen der EN14214 mit Ausnahme der Jodzahl.

Spezifisches Gewicht
0,88 kg/l Biodiesel

Heizwert
32,36 MJ/l (37,2 MJ/kg)

Kraftstoffäquivalent
1 l Biodiesel ersetzt wegen des geringeren Heizwertes nur 0,90 l Diesel

Einsatzmöglichkeiten

- SME kann sowohl in der Beimischung als auch im Reinkraftstoffmarkt (B100) eingesetzt werden.
- In der Praxis sind Anteile von 20 bis 25 % Sojaöl im Rohstoffmix der Biodieselproduzenten gängig. Höhere Sojaölanteile wären möglich, allerdings würde dann die Jodzahl nicht mehr den Anforderungen der EN14214 entsprechen.
- Es wird an Möglichkeiten gearbeitet, die Einsatzmöglichkeiten von SME in Europa zu verbessern (deutliche Erhöhung der Beimischungsanteile ohne Beeinträchtigung der Kraftstoffqualität).

Potential

Technisch: Die Oxidationsstabilität bei Sojaöl-Biodiesel ist im Vergleich zu RME schlechter. Auch die Kaltfließesigenschaften sind nicht so gut wie bei RME, jedoch besser als bei PME, was einen anteiligen Einsatz auch bei kälteren Wetterbedingungen ermöglicht

Wirtschaftlich: Der Einsatz von Sojaöl ist attraktiv, wenn die Preise für Sojaöl unter denen für Rapsöl liegen oder der Be-

zug einfacher ist. Die weltweite Sojaölproduktion ist deutlich größer als die Rapsölproduktion. Zudem verfügt sie noch über großes Expansionspotential.

Ökologisch: Insbesondere die Sojaölproduktion in Lateinamerika wird zunehmend negativ eingeschätzt, da es dort durch einen vermehrten Anbau zu Landnutzungsänderungen kommt. Diese Landnutzungsänderungen führen zu erheblichen Kohlenstofffreisetzung, die wiederum die THG-Bilanz stark belasten.

Energiepolitisch: Bei Sojaöl handelt es sich um einen importierten Rohstoff, die Importabhängigkeit bei der Energieversorgung wird damit nicht reduziert. Allerdings wird ein Beitrag zur Diversifizierung der Energieversorgung geleistet.

Agrarpolitisch: Kein Einsatz heimischer Rohstoffe, allerdings kann die vermehrte Produktion von Sojaöl zur Erfüllung wichtiger agrarpolitischer Ziele in Entwicklungs- und Schwellenländern beitragen.

4.1.4 Profil Biodiesel (aus tierischen Fetten/Altfetten)

Merkmale Biodiesel aus tierischen Fetten

Fettmethylester (FME; international auch TME, Tallow Methyl Ester, genannt) ist ein Biodiesel, der durch Ver- und anschließende Umesterung von tierischen Fetten mit Methanol gewonnen wird. Gleiches gilt für die Biodieselerzeugung aus Altfetten (AME). Basierend auf der EU-Verordnung 1774/2002 darf FME in der EU nach entsprechender Vorbehand-

lung aus sämtlichen tierischen Fetten (Kategorie 1 bis 3 der EU-Hygieneverordnung) hergestellt werden. In Deutschland ist die Produktion seit 2005 nur auf Basis von Fetten der Kategorie 3 steuerlich begünstigt und somit wirtschaftlich möglich.

Spezifisches Gewicht

0,88 kg/l Biodiesel

Heizwert

32,68 MJ/l (37,1 MJ/kg)

Kraftstoffäquivalent

1 l Biodiesel ersetzt wegen des geringeren Heizwertes nur 0,91 l Diesel

Einsatzmöglichkeiten

- FME erfüllt sämtliche Anforderungen der Qualitätsnorm EN14214 (auch Jodzahl). Auch die Kältefestigkeit nach DIN EN 143214 wird in den Sommermonaten eingehalten
- Durch entsprechende Technik (Doppeltank, beheizt) ist die ganzjährige Nutzung von FME als Reinkraftstoff (B100) möglich. FME wird in Deutschland überwiegend im Flottengeschäft abgesetzt.
- Die Beimischung von FME zu fossilem Diesel ist im Rahmen der EN 590 (B5) analog zu RME möglich. Allerdings spielt dies nach Aussagen von Industrievertretern im Markt keine große Rolle.

Potential

Technisch: Die FME-Produktion ist im Vergleich zur RME-Produktion aufwendiger, da zusätzliche Verfahrensschritte

wie Vorveresterung und Destillation nötig sind. Die Vorveresterung dient der Bindung freier Fettsäuren, die im tierischen Fett verstärkt auftreten. Hierdurch wird die Verseifung dieser freien Fettsäuren während der Veresterung reduziert und damit eine Reduzierung der Ausbeuteverluste bewirkt. Durch die Destillation im Anschluss an die Biodieselaschwemmung wird ein hochreines Endprodukt gewonnen. Die Herstellung von Biodiesel aus Altfetten (AME) (z. B. aus Altseifeölen) ist technisch fast identisch.

Wirtschaftlich: Durch die zusätzlichen Verfahrensschritte erhöhen sich die Investitionskosten sowie der Energieverbrauch der FME- im Vergleich zur RME Produktion. Aufgrund des eingesetzten Rohstoffes werden für das gewonnene Glycerin deutlich niedrigere Erlöse erzielt. Aufgrund von zusätzlichen Wasch- und Destillationsschritten erzielt die FME Produktion geringere Ausbeuten. Diese kapitalgebundenen und betrieblichen Mehrkosten werden teilweise durch die niedrigeren Rohstoffkosten ausgeglichen. Das Aufkommen tierischer Fette für die FME-Produktion ist gering. Die Herstellung von AME ist wirtschaftlich betrachtet fast identisch.

Ökologisch: Wird innerhalb der THG-Bilanzierung die Prozessgrenze der Herstellung von Biokraftstoff aus tierischen Fetten und anderen Nebenprodukten (Stroh, Gülle, Altfette) ohne Einbeziehung der Vorkette definiert, weist FME eine sehr gute THG-Bilanz auf. Werden die Vorketten allerdings anteilig berücksichtigt, verschlechtert dies die Bilanz.

Energiepolitisch: FME wird fast ausschließlich aus heimischen Rohstoffen hergestellt und reduziert hierdurch die Importabhängigkeit (Fossile als auch alternative Energieprodukte). Gleiches gilt für Altfette, die aus dem Bereich der Gastronomie und Lebensmittelindustrie stammen

Agrarpolitisch: Die Produktion von FME erfolgt aus tierischen Fetten. Diese fallen als Nebenprodukt der Fleischproduktion an. Insofern ist kein direkter Zusammenhang zwischen der Agrarpolitik und der FME-Produktion herzustellen. Dieses wiederum bedeutet, dass FME im positiven Sinne nicht von der „Food vs. Fuel“-Debatte betroffen ist.

4.1.5 Profil Biodiesel (JME aus Jatropa)

Merkmale Biodiesel aus Jatropa

Jatropa Curcas (Purgiernuss, Brechnuss) ist eine robuste und genügsame Pflanze aus der Familie der Wolfsmilchgewächse. Die Pflanze ist in Mittel- und Südamerika sowie Afrika und Asien verbreitet. Alle Pflanzenteile sind giftig (Phorbolester, Crucin). Aus dem Samen kann

Spezifisches Gewicht

0,88 kg/l Biodiesel

Heizwert

32,9 MJ/l (37,3 MJ/kg)

Kraftstoffäquivalent

1 l Biodiesel ersetzt wegen des geringeren Heizwertes nur 0,92 l Diesel

Biodiesel (JME) hergestellt werden. Alle Angaben beruhen auf Projektergebnissen der Daimler AG auf erodierten Böden Gujarats, einem Bundesstaat im Westen Indiens.

Einsatzmöglichkeiten

- Die ölhaltigen Samen und das gewonnene Öl lassen sich wegen der Giftigkeit nicht als Nahrungsmittel verwenden. Energetische Zwecke sowie chemisch-technische Verwendungen (Seifen, Kerzen) stehen daher im Vordergrund.
- JME kann in Beimischungen (B5 entsprechend EN 590) und als Reinkraftstoff eingesetzt werden. Jatropaöl hat eine ähnliche Fettsäurezusammensetzung wie Rapsöl. JME ähnelt daher in seinen Eigenschaften dem aus Rapsöl gewonnenen RME. JME aus Laboranlagen erreichte zwischenzeitlich EN14214-Qualität.

Potential

Technisch: Die Umesterung von Jatropaöl erfolgt mit herkömmlichen Verfahren. JME kann auch in kleinen dezentralen Anlagen hergestellt werden. Das Anbaupotential auf mittel- bis stark degradierten Flächen ist groß. Die FAO weist weltweit je 27 Mio. km² für die beiden Bodenkategorien auf. Auf diesen Flächen ist eine Nahrungsmittelproduktion nicht oder nur sehr stark eingeschränkt möglich. Bei Nutzung dieser Flächen gibt es keine Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion.

Wirtschaftlich: Erste Hinweise zu den Produktionskosten zeigen, dass Biodiesel

aus Jatropha durchaus wettbewerbsfähig produziert werden kann. Für eine industrielle Produktion fehlen zurzeit jedoch die notwendigen Mengen an Jatrophaöl. Großindustrielle Anlagen bestehen bislang nicht. BP und D1 haben im Sommer 2007 ein Joint Venture bezüglich des Anbaus von weltweit 1 Mio. ha Jatropha mit einer Produktion von 2 Mio. t Jatrophaöl p.a. beschlossen.

Ökologisch: Detailanalysen zu THG-Bilanzen liegen noch nicht vor. Es wird beim Anbau auf degradierten Flächen mit sehr positiven Bilanzen gerechnet. Jedoch ist dies stark abhängig von der vorherigen Landnutzung. Der Anbau auf schlechten Flächen ist möglich, jedoch sind dann auch die Erträge geringer. Zusätzliche Kohlenstoffbindung durch den Jatrophaanbau ist möglich

Energiepolitisch: Die Verwendung von JME schont die fossilen Ressourcen. Einige potentielle Jatropha Produzenten haben angekündigt in die Jatrophaproduktion einzusteigen und v. a. für den Eigenbedarf zu produzieren (China, Indien).

Agrarpolitisch: Der Anbau der Pflanze für energetische Zwecke bietet Landwirten in Entwicklungs- und Schwellenländern ein zusätzliches Einkommenspotential. Jatropha kann zudem zur Rekultivierung von Ödland beitragen. Züchterisch besteht noch erhebliches Potential.

4.1.6 Verwendungsformen von Biodiesel

	B5	B7 (B10)	B20/B30	B100
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> Beimischung von 5% Biodiesel zu fossilem Dieseldieselkraftstoff 	<ul style="list-style-type: none"> Beimischung von 7 bzw. 10% Biodiesel zu fossilem Dieseldieselkraftstoff 	<ul style="list-style-type: none"> Beimischung von 20% bzw. 30% Biodiesel zu fossilem Dieseldieselkraftstoff 	<ul style="list-style-type: none"> Reiner Biodiesel (100%)
Anwendungsstand	<ul style="list-style-type: none"> B5 wird bereits verwendet 	<ul style="list-style-type: none"> B10 derzeit in der EU nicht auf dem Markt, B7 ist in D in Vorbereitung 	<ul style="list-style-type: none"> Bisher in den USA und in Frankreich in Flotten angewandt 	<ul style="list-style-type: none"> Bei PKW und Nutzfahrzeugen mit Abgasnormen Euro IV und V rückläufig
Stärken und Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> + THG-Einsparungen in der gesamten Fahrzeugflotte + keine Fahrzeuganpassung nötig + Technologisch unproblematische Beimischung + Öffnet den Markt für Beimischung biogener Kraftstoffkomponenten + wachsender Dieselmotor, herkömmliche Dieselmotorproduktion kann nicht ohne weiteres ausgedehnt werden + Qualität unterliegt der Kontrolle der Mineralölindustrie 	<ul style="list-style-type: none"> + THG-Einsparungen in der gesamten Fahrzeugflotte + Höherer Anteil von Biodiesel für nicht umgerüstete Fahrzeuge verfügbar <ul style="list-style-type: none"> - Aufgrund technischer Probleme werden Biodieselanteile höher als 7% nicht unterstützt - Einheitlicher Standard erforderlich - Einhaltung der Abgasnormen muss verifiziert werden 	<ul style="list-style-type: none"> + Hoher Anteil der biogenen Komponente + Dies steigert die THG-Einsparungen + Einsatz bisher in Nutzfahrzeugen und Busflotten <ul style="list-style-type: none"> - Freigabe notwendig - Keine Freigabe für PKW mit Partikelfilter (Probleme mit der Regeneration) - Einheitlicher Standard erforderlich - Einhaltung Abgasnormen problematisch - Materialverträglichkeit (Gummi, Plastik) erfordert ggfs. Fahrzeuganpassungen 	<ul style="list-style-type: none"> + Verbesserung der Energie- und THG-Bilanzen + Preisvorteil für Verbraucher zu herkömmlichen Diesel bei derzeitiger Besteuerung + Einsatz in Nutzfahrzeugen und Flotten beliebt + Nutzung im großen Markt für gewerbliches Transportwesen + Wachsender Dieselmotor + Biologisch abbaubar + Reduktion von Partikelemissionen <ul style="list-style-type: none"> - Freigaben und Fahrzeugumrüstung notwendig - Rückgang der Freigaben - Bisher keine Freigabe für PKW mit Partikelfilter - Einhaltung Abgasnormen problematisch

4.1.7 Profil Pflanzenöl (Rapsöl)

Merkmale Pflanzenöl

Pflanzenöl ist nicht nur Ausgangsstoff für Biodiesel sondern kann auch in unveränderter Form in umgerüsteten Dieselmotoren verwendet werden.

Spezifisches Gewicht

0,92 kg/l Pflanzenöl

Heizwert

34,59 MJ/l (37,6 MJ/kg)

Kraftstoffäquivalent

1 l Rapsöl ersetzt wegen des geringeren Heizwertes nur 0,96 l Diesel

Einsatzmöglichkeiten

- Fahrzeuge können so umgerüstet werden, dass wahlweise Pflanzenöl oder normaler Diesel verwendet werden kann.
- Derzeit stellt die Verwendung von Pflanzenöl als Kraftstoff einen Nischenmarkt dar und ist v. a. in der Landwirtschaft und im Flottengeschäft relevant. Da in Zukunft in Deutschland nur noch der Einsatz in der Land- und Forstwirtschaft steuerbefreit ist, wird v. a. hier ein Marktsegment für Pflanzenöl erhalten bleiben. Im Flottengeschäft dürfte der Absatz aufgrund der zunehmenden Besteuerung und der heute nicht gegebenen Wettbewerbsfähigkeit zurückgehen
- Freigaben für Pflanzenöl im PKW-Bereich bestehen nicht. Laut Automobilindustrie sind die Emissionsanforderungen im PKW-Bereich mit Pflanzenöl nicht einhaltbar (EURO IV und V).

- Für den land- und forstwirtschaftlichen Bereich werden jedoch Traktoren mit pflanzenöлтаuglichen Motoren von Fendt und Deutz angeboten

Potential

Technisch: Die Verwendung reinen Pflanzenöls ist z.Z. eine Nischenanwendung. Bei der Anwendung bestehen noch technische Probleme und es fallen Umrüstungskosten an. Eine Verwendung ohne vorherige Umrüstung findet zwar teilweise statt, kann aber zu Motorschäden führen. Eine Serienfertigung pflanzenöлтаuglicher Motoren ist nur für den Agrarbereich geplant bzw. realisiert (Fendt, Deutz). Zukünftige Emissionsanforderungen können nach Aussagen der Automobilindustrie beim Einsatz von Pflanzenöl nicht erfüllt werden.

Wirtschaftlich: Aufgrund der Preisdifferenz zu fossilem Diesel und der im Vergleich zu Biodiesel geringeren Besteuerung war Pflanzenöl trotz der anfallenden Umrüstungskosten lange attraktiv. Bei den Pflanzenölpreisen im 2. HJ 2007 gilt dies jedoch nicht mehr. Mit zunehmender Besteuerung wird nur noch der Einsatz im weiter steuerfreiem Bereich der Land- und Forstwirtschaft attraktiv sein.

Ökologisch: Die Energie- und Treibhausgasbilanzen sind bei Pflanzenöl aufgrund des sehr einfachen Konversionsverfahrens gut. Es gibt Untersuchungen, die zu dem Ergebnis kommen, dass Probleme bei der Einhaltung von Emissionsvorgaben auftreten.

Energiepolitisch: Pflanzenöl kann ähnlich wie Biodiesel einen Beitrag zur Energieversorgungssicherheit leisten. Mit einer bedeutsamen Verwendung von Pflanzenöl über einzelne Nischenmärkte hinaus ist aber nicht zu rechnen.

Agrarpolitisch: Aus klimatischen Gründen ist in Deutschland Raps für die Produktion von Pflanzenöl am geeignetsten. Bedingt in Frage kommen Sonnenblumen, Altfette und tierische Fette. Weltweit sind vor allem Soja- und Palmöl relevant. Diese können auch importiert werden. Technische Eigenschaften schränken jedoch die Verwendung vor allem von Palmöl ein.

4.1.8 Profil Hydrierte Öle (HVO) (stand-alone)

Merkmale hydrierte Öle (stand-alone)

Stand Alone-Verfahren zur Hydrierung und Isomerisierung von pflanzlichen oder tierischen Fetten. Das Produkt ist ein reiner Isoparafinkraftstoff mit günstigen motorischen Eigenschaften (sehr gute Verbrennungseigenschaften, geringe Emissionen, schwefel- und aromatenfrei, kein Sauerstoff, stabil, kaum wasserlöslich, einstellbare Kaltfließesigenschaften).

Spezifisches Gewicht

0,778 kg/l

Heizwert

34,3 MJ/l (44 MJ/kg)

Kraftstoffäquivalent

1 l HVO ersetzt 0,95 l fossilen Diesel

Einsatzmöglichkeiten

- HVO kann wie fossiler Diesel eingesetzt werden ohne Beschränkungen in Lagerung, Mischanteil oder motorischer Performance, die für einige andere Biokraftstoffe gelten. Mischungsverhältnisse auch deutlich über 10 % Bioanteil sind technisch möglich. Lediglich die niedrigere Dichte im Vergleich zu fossilem Diesel begrenzt die Beimischung bezogen auf die derzeit gültige Kraftstoffnorm EN 590, so dass maximal eine Beimischung von 50 % möglich ist (abhängig von der Dichte des eingesetzten fossilen Diesels).
- Durch hohe Cetanzahl und günstige motorische Performance kann HVO sogar als Komponente zur Verbesserung fossiler Kraftstoffe eingesetzt werden.
- Sehr gute Kälteeigenschaften erlauben auch im Winter und in klimatisch anspruchsvollen Regionen den Einsatz von HVO.

Potential

Technisch: Pflanzenöle oder tierische Fette werden – nach entsprechender Vorbehandlung – unter Einsatz von Wasserstoff in einer katalytischen Reaktion hydriert und isomerisiert. Dabei entstehen neben dem Hauptprodukt weitere Kraftstoffkomponenten (Biopropan, Biobenzin), sonstige Nebenprodukte gibt es nicht. HVO kann wie fossiler Diesel eingesetzt werden. Gute motorische Performance.

Wirtschaftlich: Die Anlagen erfordern relativ hohe Investitionen. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit sind Verfügbarkeit und Kosten von Wasserstoff und des Ein-

satzstoffes. Die Herstellungskosten liegen etwas über den Kosten für RME. Langfristig ist HVO ggf. günstiger durch die Möglichkeit eines flexibleren Rohstoffeinsatz.

Ökologisch: Ähnliche THG-Bilanz wie bei der Verwendung von Biodiesel aus den gleichen Rohstoffen. Unterstützt wie FAME die Effizienz- und Abgasziele der Fahrzeughersteller durch bessere motorische Performance (Verbesserung lokale Emissionen).

Energiapolitisch: Die Verwendung schon die fossilen Ressourcen.

Agrarpolitisch: Es können sowohl einheimische als auch importierte Pflanzenöle eingesetzt werden. Es kann von einem Rohstoffmix von etwa 50 % heimischen Ölen und Fetten sowie 50 % importierten Rohstoffen ausgegangen werden. Chance für die EU-Agrarwirtschaft, über das Verfahren pflanzliche Öle zu einem Produkt mit sehr guten Eigenschaften für den Kraftstoffsektor zu transformieren.

4.1.9 Profil Hydrierte Öle (HVO) (co-processing)

Merkmale hydrierte Öle (co-processing)

Hydrierte Pflanzenöle (auch HVO genannt, Hydrogenated Vegetable Oils) werden durch katalytische Reaktionen von Pflanzenöl mit Wasserstoff gewonnen. Die Eigenschaften dieser reinen Kohlenwasserstoffe hängen von den eingesetzten Pflanzenölen ab. Im Vergleich zu konventionellem Diesel weisen hydrier-

te Öle eine geringere Dichte, einen etwas geringeren Energiegehalt und eine schlechtere Kältestabilität auf. Die Cetanzahl von hydrierten Pflanzenölen ist sehr hoch. Über eine Isomerisierung des hydrierten Öls kann die Kältestabilität so verbessert werden, dass sie keinen Hinderungsgrund mehr für eine Beimi-

Spezifisches Gewicht
0,78 kg/l hydrierte Öle

Heizwert
34 MJ/l

Kraftstoffäquivalent
1 l hydrierte Pflanzenöle ersetzen 0,9 l fossilen Diesel

schung darstellt.

Einsatzmöglichkeiten

- Die Hydrierung kann in einem separaten Prozess durchgeführt werden, das Pflanzenöl kann aber auch in einer konventionellen Raffinerie zusammen mit Erdöl-Komponenten hydriert werden. Das hydrierte Pflanzenöl wird bei der letztgenannten Alternative unmittelbar Bestandteil des Dieselschnitts.
- Hydrierte Pflanzenöle können problemlos im Dieselmotorkraftstoff eingesetzt werden. Limitierend wirken lediglich die Dichte und die Kälteeigenschaften, sofern diese nicht über eine Isomerisierung verbessert werden.

Potential

Technisch: Flexibler Öleinsatz je nach Beschaffungsmöglichkeiten und Preisen. Die Automobilindustrie bevorzugt hydrierte Pflanzenöle, da Paraffine/Isopar-

affine als hochwertige Kraftstoffbestandteile erzeugt werden. Hydrierte Pflanzenöle können hinsichtlich der eingesetzten Anlagentechnik, Technologien und des Fertigprodukts als mögliche Brücke zu den Biokraftstoffen der 2. Generation gesehen werden. So finden bspw. bereits Labortests zur Hydrierung verschiedener Biomassen statt.

Wirtschaftlich: Durch die Flexibilität beim Pflanzenöleinsatz können die Rohstoffkosten minimiert werden. Die Produktionskosten sind stark von den eingesetzten Rohstoffen und dem spezifischen Anlagendesign abhängig. Beim Co-Processing in der Raffinerie ist jedoch die Nutzung vorhandener Prozessanlagen möglich. Durch hydrierte Pflanzenöle wird eine innovative zusätzliche Bio-Komponente für den Dieselmotormarkt geschaffen. Die hydrierten Öle sind eine ideale Beimischungskomponente, die eine hohe Cetanzahl aufweist. Der Energieverbrauch bei der Herstellung ist im Vergleich zur Fischer Tropsch-Synthese geringer.

Ökologisch: Beitrag zum Klimaschutz durch hohe THG-Vermeidungspotentiale. Reduktion von Emissionen durch optimale Verbrennung im Motor.

Energiapolitisch: Hektarproduktivität hängt von den jeweils eingesetzten Ölen ab. Die Konversionsstufe hin zum Biodiesel findet aufgrund der direkten Hydrierung der Öle nicht statt, so dass die Konversionsenergie eingespart werden kann. Eine Steigerung des Bioanteils im Dieselmotorkraftstoffmarkt ist zusätzlich zu

den Biodieselbeimischungen möglich und ohne steuerliche Förderung erreichbar.

Agrarpolitisch: Heimische und importierte Öle können eingesetzt werden. Die Agrarwirtschaft profitiert von der Pflanzenölnachfrage. Es besteht eine breite Einsatzmöglichkeit der verschiedenen Öle und Fette.

4.1.10 Profil BtL

Merkmale BtL

BtL-Kraftstoffe, auch synthetische Biokraftstoffe, SunFuel, Sun-Diesel oder Designerkraftstoff genannt, bestehen aus reinen Kohlenwasserstoffketten und können in ihren Nutzungseigenschaften regelrecht „maßgeschneidert“ werden. Der Einsatz der Kraftstoffe führt zu einer deutlichen Verringerung der Abgas- und Rußpartikelemissionen.

Spezifisches Gewicht
0,76 bis 0,79 kg/l*

Heizwert
33,45 MJ/l (43,9 MJ/kg)

Kraftstoffäquivalent
1 l BtL-Kraftstoff ersetzt ca. 0,97 l Diesel**

* In Abhängigkeit von eingesetztem Katalysator und Upgradingverfahren

** Dieser Wert ergibt sich nicht nur aus den unterschiedlichen Heizwerten, sondern auch aus dem geringeren Verbrauch beim Einsatz von BtL wie er in Tests von VW und DaimlerChrysler ermittelt wurde

Einsatzmöglichkeiten

■ BtL-Kraftstoffe sind eine neue am Markt noch nicht verfügbare Entwicklung. Es bestehen unterschiedlich weit entwickelte Produktionsverfahren für den Otto- und Dieselmotorenmarkt. Bisher existieren nur Versuchsanlagen, die erste größere Anlage (18.000 m³ Jahreskapazität) ist in der Inbetriebnahme. Jedoch beruhen große Hoffnungen auf BtL-Kraftstoffen und es besteht großes Entwicklungspotential. Grundlage dieser Studie ist das „Choren-Verfahren“ (Produktion von BtL für den Dieselmotorenmarkt). Weitere Verfahren sind an der TU Bergakademie Freiberg, am Forschungszentrum Karlsruhe und auch in anderen europäischen Ländern (ECN, Niederlande; TU Wien; VTT, Finnland; Vernamo, Schweden) in der Entwicklung.

■ BtL-Kraftstoffe können in Reinform oder als Mischungen ohne Motoranpassungen in Dieselfahrzeugen verwendet werden.

Potential

Technisch: Neben Holz und Stroh können diverse Rest- und Abfallstoffe in Kraftstoff umgewandelt werden. Mit knapp 4.000 l/ha erzielt BtL einen hohen flächenbezogenen Kraftstofftrag. Die Eigenschaften des Kraftstoffs können während der so genannten Synthese durch Variation bestimmter Parameter nach Wunsch beeinflusst werden. Die Qualität der BtL-Kraftstoffe entspricht der von GTL-Kraftstoffen.

Wirtschaftlich: Die Inbetriebnahme der ersten kommerziellen Anlage mit einer Jahreskapazität von rund 18.000 m³ ist für 2008 durch die Firma CHOREN geplant. Weitere Standorte mit einer Jahreserzeugung von jeweils rund 225.000 m³ sind in Vorbereitung. Die Produktionskosten sind aktuell deutlich höher als bei Bioethanol oder Biodiesel, mittelfristig werden Kostensenkungen von bis zu 30% erwartet.

Ökologisch: Die Erzeugung der BtL-Kraftstoffe kann mit geringer Zufuhr externer Energie erfolgen. Dies führt zu einer weitgehenden THG-Neutralität des Produktionsprozesses.

Energiepolitisch: Durch den hohen Kraftstofftrag pro Flächeneinheit und die breite Rohstoffbasis kann BtL erheblich zur Verringerung von Energieimporten beitragen.

Agrarpolitisch: Der gezielte Anbau von Biomasse für die BtL-Produktion muss den Landwirten ausreichende Deckungsbeiträge ermöglichen, um Anreize zur Umstellung auf die Energiepflanzenproduktion zu setzen. Direkte Einkommenseffekte in der Landwirtschaft treten besonders dann auf, wenn Kuppelprodukte neben der Nahrungsmittelproduktion zusätzlich vermarktet werden können oder bestimmte Flächen für den Anbau von mehrjährigen Energiepflanzen effizienter genutzt werden können.

4.1.11 Verwendungsformen von BtL

	Beimischung	Reinkraftstoff (BtL100)	BtL im Ottokraftstoff
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> ■ BtL kann mit fossilem Dieselmotorenkraftstoff in jedem Verhältnis gemischt werden 	<ul style="list-style-type: none"> ■ BtL100 ist der Dieselmotorenkraftstoff mit den besten Eigenschaften 	<ul style="list-style-type: none"> ■ BtL nach dem FT-Verfahren ist erst nach einem zusätzlichen Aufbereitungsschritt als Ottomotorenkraftstoff geeignet
Anwendungsstand	<ul style="list-style-type: none"> ■ BtL derzeit nicht im Markt verfügbar 	<ul style="list-style-type: none"> ■ BtL derzeit nicht im Markt verfügbar 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Alternative Produktionstechnologien in der Erprobung
Stärken und Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> + Verbesserung der Energie- und THG-Bilanzen + Beimischung von bis zu 30% kann unter Einhaltung der EN590 erfolgen + Schadstoffvermeidungspotenzial ist bei der Beimischung größer als beim Reinkraftstoff. Bei 20%iger Beimischung werden bis zu 50% Schadstoffreduktionspotenzial erreicht + Verbesserung der Emissionen auch älterer Fahrzeuge (unter der Annahme, dass die Mineralölindustrie die Blend-Zusammensetzung nicht verändert) + Keine neue Verteilerinfrastruktur erforderlich - BtL derzeit noch nicht im Markt verfügbar - Beimischungskosten - Hohe Kosten des Kraftstoffs 	<ul style="list-style-type: none"> + 100% biogener Kraftstoff und dadurch starke Verbesserung der Energie- und THG-Bilanzen + Erhebliche Verbesserung der Emissionen auch älterer Fahrzeuge + Für Flotten älterer Fahrzeuge (Bus, Taxi) im Innenstadtbereich sinnvoll (Reduzierung der Partikelemission auch ohne Partikelfilter) + Weitere Optimierung der Motoren für BtL100 möglich + BtL, GtL und CtL sind chemisch identisch. Dies dürfte die Akzeptanz im Premiumkraftstoffmarkt erhöhen - BtL derzeit noch nicht im Markt verfügbar - Mit Ausnahme der Dichte entspricht BtL der EN590 - Hohe Kosten des Kraftstoffs 	<ul style="list-style-type: none"> + Verbesserung der Energie- und THG-Bilanzen möglich + Erweiterung der Rohstoffbasis analog zu BtL-Diesel - Technologie noch nicht ausgereift - BtL nur nach weiteren Konditionierungsschritten für den Ottomotorenkraftstoffmarkt geeignet - Kraftstoff-Motor-Interaktion muss noch überprüft werden - Hohe Kosten des Kraftstoffs

4.2 Benzinsubstitute

4.2.1 Profil Bioethanol aus Getreide

Merkmale Bioethanol aus Getreide

Chemische Strukturformel: C_2H_5OH

Bioethanol ist ein Alkohol, der aus nachwachsenden Rohstoffen (zucker-, stärke- und cellulosehaltige Pflanzen), aber auch aus Abfällen und Reststoffen hergestellt werden kann und im Kraftstoffsektor eingesetzt wird.

Spezifisches Gewicht

0,79 kg/l Bioethanol

Heizwert

21,17 MJ/l (26,8 MJ/KG)

Kraftstoffäquivalent

1 l Bioethanol ersetzt wegen des geringeren Heizwertes nur 0,65 l Benzin

Einsatzmöglichkeiten

■ Nach DIN EN 228 ist eine Beimischung von max. 5% Ethanol zu Benzin zulässig (E5). Herkömmliche Ottomotoren vertragen bis zu 10% Beimischung (E10). An der Anpassung der Norm wird sowohl auf deutscher als auch EU-Ebene gearbeitet. Höhere Anteile erfordern Motorenanpassung. Bioethanol kann auch für die ETBE-Produktion verwendet werden. ETBE ist eine Benzinmischkomponente und kann bei geltenden Normen bis zu 15% beigemischt werden. ETBE hat fossiles MTBE weitgehend ersetzt. Auch der Einsatz von Ethanol in TAEE u. a. Ethern ist möglich.

■ Darüber hinaus kann E85 (85% Ethanol, 15% Benzin) als Treibstoff verwendet werden. Dafür sind Ethanolmotoren bzw. sogenannte „Flexible Fuel Vehicles“ (FFVs), die beliebige Benzin-Ethanol Mischungen verwenden können, nötig. Diese sind in Brasilien sowie USA stark verbreitet und in Schweden im Markt. Einige Hersteller versuchen, sie auch in Deutschland und anderen Ländern (v. a. Frankreich) auf den Markt zu bringen.

Potential

Technisch: Verfahren aus zucker- und stärkehaltigen Pflanzen sind marktreif. Potential besteht bei Verfahrensinnovationen. Insbesondere die Produktion aus lignozellulosehaltigen Pflanzen und Reststoffen ist vielversprechend. Erste Anlagen, die Biomasse als Konversionsenergie anstelle von fossiler Energie einsetzen (bspw. durch Nutzung von Getreidestroh in KWK-Anlagen, Separierung und Nutzung der Kleie in KWK-Anlage oder Methanisierung von Nebenprodukten) und so deutlich bessere Energie- und THG-Bilanzen erzielen, befinden sich in Europa in Bau.

Wirtschaftlich: Produktionskosten liegen bei derzeitigen Ölpreisen über denen des Benzinäquivalents. Durch sinkende Produktionskosten und steigende Benzinpreise erhöht sich die Wettbewerbsfähigkeit. Andere Länder (Brasilien, USA) produzieren z. T. deutlich kostengünstiger. Im Gegensatz zur Beimischung von ETBE fallen bei Ethanolbeimischung aufgrund der Dampfdruck- und Wasserproblematik in der Mineralölindustrie ins-

besondere während der Einführungsphase zusätzliche Kosten an (z. B. Reduzierung Leichtsieder).

Ökologisch: Die Verwendung von Bioethanol als Substitut für Benzin führt zu Treibhausgaseinsparungen. Optimierungen und Innovationen können diesen Effekt steigern (bspw. Verwendung von Biomasse als Prozessenergie, Nutzung des THG aus der Fermentation und Ersatz fossilen THG).

Energiepolitisch: Die Verwendung von Bioethanol schont fossile Ressourcen, reduziert die Erdöl- und die Importabhängigkeit.

Agrarpolitisch: In Deutschland sind v. a. Getreide und Zuckerrüben für die Bioethanolproduktion geeignet. Mittelfristig ist mit einer Ausdehnung der Rohstoffbasis auf lignozellulosehaltige Pflanzen und Reststoffe zu rechnen. Findet die Bioethanolproduktion in Deutschland und aus heimischen Rohstoffen statt, können alternative Absatzkanäle für die Landwirtschaft geschaffen werden.

Züchterisch kann noch eine weitere Optimierung der Pflanzen erfolgen, insbesondere hinsichtlich einer Steigerung des Stärkegehalts und einer Reduzierung des Proteingehalts bei Getreide. Auch die Prozessierbarkeit des Getreides (Mahleigenschaften, Gärparameter) kann züchterisch noch optimiert werden.

4.2.2 Profil Bioethanol aus Zuckerrüben

Merkmale Bioethanol aus Zuckerrüben

Chemische Strukturformel: C_2H_5OH

Bioethanol ist ein Alkohol, der aus nachwachsenden Rohstoffen (zucker-, stärke- und cellulosehaltige Pflanzen), aber auch aus Abfällen und Reststoffen hergestellt werden kann und im Kraftstoffsektor eingesetzt wird.

Spezifisches Gewicht

0,79 kg/l Bioethanol

Heizwert

21,17 MJ/l (26,8 MJ/KG)

Kraftstoffäquivalent

1 l Bioethanol ersetzt wegen des geringeren Heizwertes nur 0,65 l Benzin

Einsatzmöglichkeiten

■ Nach DIN EN 228 ist eine Beimischung von max. 5% Ethanol zu Benzin zulässig (E5). Herkömmliche Ottomotoren vertragen bis zu 10% Beimischung (E10). An der Anpassung der Norm wird sowohl auf deutscher als auch EU-Ebene gearbeitet. (Höhere Anteile erfordern Motorenanpassung. Bioethanol kann auch für die ETBE-Produktion verwendet werden. ETBE ist eine Benzinmischkomponente und kann bei geltenden Normen bis zu 15% beigemischt werden. ETBE hat fossiles MTBE weitgehend ersetzt. Auch der Einsatz von Ethanol in TAEE u. a. Ethern ist möglich.

■ Darüber hinaus kann E85 (85% Ethanol, 15% Benzin) als Treibstoff verwendet werden. Dafür sind Ethanol-

motoren bzw. sogenannte „Flexible Fuel Vehicles“ (FFVs), die beliebige Benzin-Ethanol Mischungen verwenden können, nötig. Diese sind in Brasilien sowie USA stark verbreitet und in Schweden im Markt. Einige Hersteller versuchen, sie auch in Deutschland und anderen Ländern (v. a. Frankreich) auf den Markt zu bringen.

Potential

Technisch: Die Ethanolherzeugung aus Zuckerrüben spielte bislang in Deutschland eine untergeordnete Rolle, seit kurzem sind zwei Anlagen in Betrieb. Technisch ist die Erzeugung aus Zuckerrüben, die beispielsweise in Frankreich traditionell eine größere Rolle spielt, ausgereift. Als Nebenprodukt entstehen dabei Vinasse, die als Futter-, Düngemittel oder Substrat für Biogasanlagen eingesetzt werden kann, Preß-/Trockenschnitzel (Futtermittel) und Carbokalk (Kalkdünger). Erste Anlagen, die Biomasse als Konversionsenergie anstelle von fossiler Energie einsetzen befinden sich in Europa in Bau.

Wirtschaftlich: Die Produktion aus Zuckerrüben kann insbesondere bei weiter steigenden Getreidepreisen im Vergleich zu der Produktion aus Getreide kostengünstiger sein.

Ökologisch: Außerdem ist aufgrund der hohen Bioethanolerträge je Hektar die THG-Vermeidung je Flächeneinheit höher.

Energierechtlich: Bei der Produktion von Bioethanol aus Zuckerrüben kommen le-

diglich heimische Rohstoffe zum Einsatz, da sich Importe aufgrund der Transportproblematik bei Zuckerrüben nicht lohnen. Die Importabhängigkeit bei der Energieversorgung kann somit gesenkt werden.

Agrarpolitisch: Die Flächenproduktivität ist bei der Ethanolherzeugung aus Zuckerrüben im Vergleich zu Getreide deutlich höher. Damit entsteht weniger Flächenkonkurrenz bei der Bioethanolproduktion aus Zuckerrüben. Durch den zunehmenden Einsatz von Zuckerrüben zur Bioethanolproduktion kann ein Teil des durch die Zuckermarktreform ausgelösten Drucks auf den Zuckerrübenanbau evtl. aufgefangen werden. Der Rübenanbau ist zudem aus Gründen der Fruchtfolge positiv. Durch die Einführung der Winterrübe sind Ertragssteigerungen von 20 bis 30 % möglich.

4.2.3 Profil Bioethanol aus Zuckerrohr (Brasilien)

Merkmale Bioethanol aus Zuckerrohr

Die Ethanolherzeugung in Brasilien erfolgt überwiegend in kombinierten Zucker-/

Spezifisches Gewicht
0,79 kg/l Bioethanol

Heizwert
21,17 MJ/l (26,8 MJ/KG)

Kraftstoffäquivalent
1 l Bioethanol ersetzt wegen des geringeren Heizwertes nur 0,65 l Benzin

Ethanolanlagen. Die Energieversorgung der Anlagen erfolgt oft über die Verbrennung von Bagasse in Blockheizkraftwerken. Das Zuckerrohr, das in großen Monokulturen angebaut wird, kommt aus der unmittelbaren Umgebung der Verarbeitungsanlagen.

Einsatzmöglichkeiten

- In Deutschland wie jedes Bioethanol einsetzbar, allerdings bestehen Importbarrieren durch die hohen Zölle der EU.
- Da in Deutschland sehr trockenes Ethanol eingesetzt wird, muss importiertes brasilianisches Ethanol nach dem Eintreffen in Europa u.U. erneut getrocknet werden bevor es eingesetzt werden kann.
- In Brasilien selbst wird das Ethanol in Beimischungen von 20 bis 25 %, in einer schrumpfenden Flotte von reinen Ethanolfahrzeugen und in FFVs, die zunehmend den brasilianischen Markt dominieren, eingesetzt.
- Der brasilianische Export ist bisher vor allem auf die USA und Asien ausgerichtet, allerdings zeigen die Brasilianer auch ein wachsendes Interesse am europäischen Markt.

Potential

Technisch: Die Bioethanolproduktion aus Zuckerrohr ist ein ausgereifter Prozess und findet in Brasilien in großem Maßstab seit über 30 Jahren statt. Die Energieeffizienz der Anlagen kann noch gesteigert werden.

Wirtschaftlich: Die brasilianische Bioethanolproduktion ist im Vergleich zu fos-

silem Kraftstoff wettbewerbsfähig. Brasilien gilt als der globale Kostenführer bei der Ethanolproduktion. Brasilien ist nach den USA der zweitgrößte Ethanolproduzent und der größte Exporteur der Welt.

Ökologisch: Werden durch den Anbau von Zuckerrohr für die Bioethanolproduktion keine Landnutzungsänderungen hervorgerufen, weist brasilianisches Bioethanol eine hervorragende THG-Bilanz auf und die Vermeidungskosten können sogar negativ sein. Jedoch kann diese bei Berücksichtigung von Landnutzungsänderungen schnell sehr negativ werden, wenn Land konvertiert wird, das zuvor eine erhebliche Kohlenstoffbindung aufwies. Lokale Luftverschmutzungen und THG-Emissionen durch Abbrennen der Blätter bei der Zuckerrohrernte treten nach wie vor auf. Sie sollen aber durch gesetzliche Regelungen bis 2017 gestoppt werden. In Sao Paulo State, dem größten Zuckerrohr-Anbaugebiet in Brasilien werden heute bspw. ca. 40 % der Ernte maschinell eingebracht. Der Rest wird manuell geerntet, was ein Abbrennen der Blätter erfordert.

Energierechtlich: Der Import brasilianischen Ethanols reduziert nicht die Importabhängigkeit, kann jedoch durch die Diversifizierung der Energieträger und Bezugsländern die Energieversorgungssicherheit erhöhen.

Agrarpolitisch: Der Import brasilianischen Ethanols leistet keinen Beitrag zur Förderung der deutschen Landwirtschaft.

4.2.4 Profil Bioethanol aus Mais (USA)

Merkmale Bioethanol aus Mais

Die Ethanolproduktion in den USA erfolgt überwiegend aus Mais (95% der Produktion). Bei der Konversion werden Trocken- und Nassvermahlung eingesetzt, als Nebenprodukt wird entweder DDGS oder WDGS abgesetzt. Ende 2007 existierten über 130 Ethanolanlagen mit einer Gesamtkapazität von ca. 25 Mio. m³. Darüber hinaus befanden sich 73 weitere Anlagen im Bau.

Spezifisches Gewicht

0,79 kg/l Bioethanol

Heizwert

21,17 MJ/l (26,8 MJ/KG)

Kraftstoffäquivalent

1 l Bioethanol ersetzt wegen des geringeren Heizwertes nur 0,65 l Benzin

Einsatzmöglichkeiten

- US-amerikanisches Ethanol wird bislang nur in den USA abgesetzt.
- Ethanol wird steuerlich gefördert und i.d.R. als E10 abgesetzt. ETBE wird nicht verwendet.
- Mit steigender Produktion ist ggfs. auch damit zu rechnen, dass die USA Ethanol auf dem Weltmarkt absetzen. Nach der aktuellen Gesetzeslage (Renewable Fuel Standard; RFS) werden nur 28,4 Mio. m³ bis zum Jahr 2012 im US-Binnenmarkt benötigt. Der aktuelle Kapazitätsaufbau weist aber auf eine dann erheblich höhere Produktion

hin. Heutige Kapazitäten liegen schon nur knapp unter dem Bedarf für 2012.

- Der Bedarf steigt jedoch erheblich, wenn der Alternative Fuel Standard (AFS) umgesetzt wird. Dieser sieht einen Anteil von 15% alternativer Kraftstoffe vor. Dies entspricht ca. 132,5 Mio m³.

Potential

Technisch: Die Bioethanolproduktion aus Mais ist ein weitgehend ausgereifter Prozess; allerdings dürften Verbesserungen der Energieeffizienz noch möglich sein.

Wirtschaftlich: US-amerikanische Produzenten werden über ein umfangreiches Förderinstrumentarium unterstützt. Importe sind nur begrenzt zugelassen. Vorteilhaft für den Bioethanolabsatz ist, dass der US-amerikanische Kraftstoffmarkt im wesentlichen durch Ottokraftstoff geprägt ist, und die Nachfrage nach Ottokraftstoff in den nächsten Jahren auch noch zunehmen soll. Die Entwicklung der Maispreise wird die Wirtschaftlichkeit der Ethanolerzeugung in den USA wesentlich beeinflussen; Netto-Rohstoffkosten machen knapp zwei Drittel der Gesamtkosten US-amerikanischer Ethanolproduzenten aus.

Ökologisch: Die Verfügbarkeit von Wasser ist beim Maisanbau kritisch. Die zunehmende Nutzung künstlich bewässerter Flächen hat negative Auswirkungen auf die THG-Bilanz. Zusätzlich sind Landnutzungsänderungen sowie die Energieeffizienz in der Konversion bei der Bewertung der ökologischen Vorteilhaftigkeit zu berücksichtigen.

Energiepolitisch: Der Import US-amerikanischen Ethanols reduziert nicht die Importabhängigkeit, kann jedoch durch die Diversifizierung der Energieträger und Bezugsländern die Energieversorgungssicherheit erhöhen.

Agrarpolitisch: Die Bioethanolproduktion leistet einen erheblichen Beitrag zur Förderung der US-amerikanischen Landwirtschaft.

4.2.5 Profil Bioethanol aus Cassava (Asien)

Merkmale Bioethanol aus Cassava in Asien

Chemische Strukturformel: C₂H₅OH

Bioethanol ist ein Alkohol, der aus nachwachsenden Rohstoffen (zucker-, stärke- und cellulosehaltige Pflanzen), aber auch aus Abfällen und Reststoffen hergestellt werden kann und im Kraftstoffsektor eingesetzt wird.

Spezifisches Gewicht

0,79 kg/l Bioethanol

Heizwert

21,17 MJ/l (26,8 MJ/KG)

Kraftstoffäquivalent

1 l Bioethanol ersetzt wegen des geringeren Heizwertes nur 0,66 l Benzin

Einsatzmöglichkeiten

- Im asiatischen Bereich wird die Produktion von Bioethanol aus Cassava zunehmend als attraktive Option gesehen.

- In China und Thailand sind erste Anlagen in Betrieb.

- In Deutschland wäre importiertes Bioethanol aus Cassava wie heimisches Bioethanol einsetzbar.

- Mit Exporten aus den möglichen Produktionsregionen wird in absehbarer Zeit nicht gerechnet.

Potential

Technisch: Produktion aus der sehr stärkehaltigen Cassava-Wurzel direkt nach der Ernte im feuchten Zustand oder aus Cassava-Chips, die zumeist in kleinbäuerlichen Strukturen durch Zerkleinern der Cassava in Stücke von ca. 2 bis 5 cm und anschließendem Trocknen durch Sonnenenergie hergestellt werden. Der bei der Produktion anfallende Dekanterkuchen und die Schlempe können als Beimischung zu Futtermittel, zur Verbrennung und zur Biogasproduktion eingesetzt werden.

Wirtschaftlich: Produktionskosten liegen nach Industrieangaben zurzeit in Thailand bei ca. 12,5 Baht je Liter (entspricht ca. 0,27 €). Dies sind im Vergleich zur Bioethanolproduktion in Europa sehr geringe Kosten.

Ökologisch: Energie- und THG-Bilanzen zu Bioethanol aus Cassava liegen bisher nicht vor. Sollten keine negativen Auswirkungen von Landnutzungsänderungen vorliegen, wird allerdings von guten THG-Bilanzen ausgegangen.

Energiepolitisch: Die Cassava-Produktion findet im tropischen und subtropischen Regionen statt. Ein Import von Bio-

ethanol auf Cassava-Basis nach Europa oder von Cassava für die Bioethanolproduktion in Europa findet bisher nicht statt, könnte aber die Energieversorgungssicherheit erhöhen, allerdings nicht die Importabhängigkeit reduzieren.

Agrarpolitisch: Wird lediglich in tropischen und subtropischen Regionen in Afrika, Südamerika und Südostasien angebaut. Der Durchschnittsertrag je ha beträgt ca. 19 t Frischmasse. Dies entspricht ca. 3,5 bis 4 m³ Ethanol je ha. Die durchschnittliche Produktion weltweit ist allerdings geringer als die hier genannten Erträge in Thailand. Ein Anbau ist auch auf schlechteren Böden und unter trockeneren Bedingungen möglich. Allerdings reduzieren sich dann auch hier die Hektarerträge. Eine deutliche Erhöhung der Hektarerträge und auch des Stärkegehalts wird angenommen.

4.2.6 Verwendungsformen von Bioethanol

	E5 / E10	ETBE, TAEe und höhere Ether	E85	Ethanol in Biodiesel (FAEE)
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> ■ 5% Beimischung zu Ottokraftstoff laut DIN möglich ■ 10% Beimischung motorverträglich 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gemäß Norm heute bis 15% ETBE Beimischung möglich ■ TAEe Beimischung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mischung von 85% Ethanol und 15% Ottokraftstoff 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Möglichkeit des Ersatzes fossilen Methanols durch Bioethanol
Anwendungsstand	<ul style="list-style-type: none"> ■ E5 bald flächendeckend, E10 in der Vorbereitung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Produktion von ETBE, TAEe und höheren Ethern 	<ul style="list-style-type: none"> ■ E85-Fahrzeuge (FFVs) in USA, Brasilien und zunehmend Europa 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Projekte in Frankreich
Stärken und Schwächen	<ul style="list-style-type: none"> + Keine Motorenumrüstung nötig + Verbesserung der Energie- und THG-Bilanz + E10-DIN in Vorbereitung <ul style="list-style-type: none"> - Aufgrund des EU-Binnenmarktes für Kraftstoffe und Fahrzeuge einheitliche Regelung notwendig - Problem Dampfdruck und Wasseraffinität - Kosten durch Beimischung, insbesondere in Einführungsphase - Schrumpfender Ottokraftstoffmarkt - Nach neuesten Angaben der Automobilindustrie sind nicht wie ursprünglich angegeben lediglich 375.000 Fahrzeuge nicht E10 tauglich, sondern 3,4 Mio. Fahrzeuge 	<ul style="list-style-type: none"> + Ersatz fossiler Benzinmischkomponenten + Verbesserung der Energie- und THG-Bilanzen (Effekte in der Raffinerie) + Keine Dampfdruckprobleme bei Zumischung zu Ottokraftstoff + Erzeugungskapazitäten vorhanden + Zusätzlicher Energieaufwand für Konversion ist gering <ul style="list-style-type: none"> - Schrumpfender Ottokraftstoffmarkt 	<ul style="list-style-type: none"> + Hoher Anteil biogenen Kraftstoffs + Anwendbarkeit bewiesen <ul style="list-style-type: none"> - Umrüstung notwendig - Einhaltung Euro V muss überprüft werden - Kaltstartprobleme im Winter - Aufbau getrennter Infrastruktur nötig von Erzeugung bis Vertrieb - Schrumpfender Ottokraftstoffmarkt 	<ul style="list-style-type: none"> + Sinnvoller Einsatz von Bioethanol, Biodiesel wird 100% biogen + Option wird von der Mineralölindustrie unterstützt + FAEE sollte gleiche Produktmerkmale aufweisen wie FAME <ul style="list-style-type: none"> - Großtechnisch noch nicht realisiert, noch keine Marktrelevanz - Ethanol-Absatzpotential ist sehr begrenzt - (Langwieriger) Normungsprozess erforderlich - Vergleichsweise hohe Kosten des Substituts Ethanols, kein wirtschaftlicher Anreiz für die Verwendung

4.2.7 Produktion Bioethanol Europa vs. Brasilien

Produktion aus Zuckerrüben und Getreide in Europa

In Europa und Deutschland werden heute v. a. Getreide sowie Zuckerrüben für die Bioethanolproduktion eingesetzt. Während zuckerhaltige Pflanzen direkt vergoren werden, wird bei Getreide die Stärke erst enzymatisch in Zucker umgewandelt.

Bei der Ethanolgewinnung entsteht als Nebenprodukt Schlempe bzw. Vinasse, die als Futter-, Düngemittel oder Substrat für Biogasanlagen eingesetzt werden kann. Aus der Getreideschlempe wird oft DDGS (Distillers Dried Grains with Solubles) hergestellt. Bei der Ethanolherstellung aus Zuckerrübe entstehen als weitere Nebenprodukte Preß-/Trockenschrot (Futtermittel und Carbokalk (Kalkdünger)).

Die Flächenproduktivität ist bei der Bioethanolproduktion aus Zuckerrüben deutlich höher als bei Getreide. Sie ist auch mehr als doppelt so hoch wie bei der Produktion von Biodiesel oder Pflanzenöl aus heimischen Rohstoffen. Die Pflanzenzüchtung lässt erwarten, dass für die Zukunft höhere Stärkegehalte bei Getreide erreicht werden.

Ethanolherzeugung aus Zuckerrüben/Getreide ist techn. ausgereift.

Bislang wird lediglich das stärkehaltige Korn des Getreides für die Ethanolherzeugung verwendet. Großes Potential bezüglich der Kosten und der Energie- und

THG-Bilanzen besteht in der Nutzung der gesamten Pflanze, d.h. auch des lignozellulosehaltigen Teils und in der Nutzung von Nawaros als Quelle für die Konversionsenergie. Die Flächenproduktivität kann deutlich gesteigert werden, wenn z. B. das Korn konventionell und gleichzeitig das Stroh über neue Verfahren zu Ethanol verarbeitet wird.

Unter den Getreidearten hat Weizen die höchste Flächenproduktivität, im Vergleich zur Zuckerrübe werden aber nur ca. halb so hohe Ethanolerträge je Hektar erreicht. Die Flächenproduktivität von Roggen ist geringer als bei Weizen. Triticale spielt bei der Ethanolherzeugung nur eine geringe Rolle.

Sofern die Bioethanolproduktion in Deutschland bzw. Europa auf heimischen Rohstoffen beruht, können so alternative Absatzkanäle für landwirtschaftliche Produkte geschaffen werden. Die Produktion ist im Vergleich zu dem fossilen Substitut derzeit nicht wettbewerbsfähig. Es besteht ein Einfuhrzoll für den europäischen Markt.

Produktion aus Zuckerrohr in Brasilien

Brasilien ist nach den USA der zweitgrößte Ethanolproduzent und größter Exporteur und verfügt über eine mehr als 30jährige Erfahrung bei der Verwendung von Ethanol im Kraftstoffsektor. Brasilien verfügt über die größte Anbaufläche für Zuckerrohr und kann diese weiter ausdehnen. Allerdings stellt dies höhere Anforderungen an Infrastruktur und Logistik.

Brasilien ist globaler Kostenführer bei der Ethanolproduktion. Die Produktion ist konkurrenzfähig im Vergleich zu Benzin. Allerdings begrenzen der hohe und weiter wachsende Inlandsverbrauch, attraktive Exportdestinationen in Asien und Entwicklungen auf dem Zuckermarkt mögliche Importe der EU aus Brasilien.

Bioethanol wurde in Brasilien als Reinkraftstoff oder als Beimischung zum Benzin verwendet. Noch heute gibt es reine Ethanolfahrzeuge im Markt. Zunehmend setzen sich aber Fahrzeuge mit der FFV-Technologie durch, die mit einem beliebigen Ethanol-/Ottokraftstoffgemisch betrieben werden können. Im August 2005 hatten sie bereits einen Anteil von 60 % bei den Neuzulassungen.

Zuckerrohr wird in Monokulturen angebaut und weist hohe Biomasse-Hektarerträge auf.

Die Energie- und Treibhausgasbilanz der Ethanolproduktion aus Zuckerrohr ist günstiger als die der Produktion aus Getreide und Zuckerrüben. Dies liegt an der Vorteilhaftigkeit des Zuckerrohrs als Rohstoff und am geringen Einsatz fossiler Energie in der Konversion, in der die anfallende Bagasse energetisch genutzt wird. Die weitere Ausdehnung des Zuckerrohranbaus kann jedoch mit negativen Landnutzungsänderungen verbunden sein und die THG-Bilanz verschlechtern.

Die Kosten der Treibhausgasvermeidung durch Bioethanol sind in Brasilien aufgrund der guten Treibhausgasbilanz und der geringen Produktionskosten negativ.

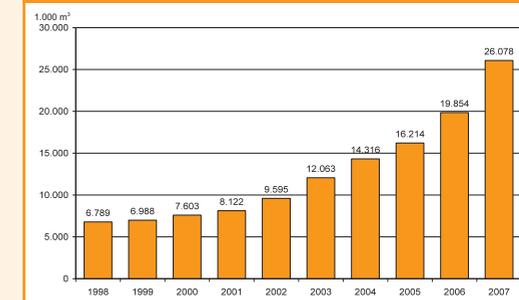
Lokale Luftverschmutzungen durch Abbrennen der Blätter bei der Ernte sollen durch gesetzliche Regelungen zu den Erntemethoden reduziert werden. Eine Verschärfung von Umweltauflagen führt zu zusätzlichen Kosten.

4.2.8 Produktion Bioethanol aus Mais in den USA

Die USA sind der weltgrößte Ethanolhersteller

Wird der Alternative Fuel Standard umgesetzt, dann wächst der Markt bis 2017 um das Siebenfache

Ethanolproduktion in den USA



Quelle: F.O. Licht, Industrieangaben

Die Ethanolproduktion in den USA hat in den vergangenen Jahren erheblich zugelegt. Von 2002 bis 2007 wuchs sie von 9,6 Mio. m³ auf 26 Mio. m³, damit hat sie sich in einem Fünfjahreszeitraum fast verdreifacht. Die USA haben Brasilien als traditionell führenden Ethanolproduzent überholt. Die Produktion erfolgt nahezu ausschließlich auf Getreidebasis, zuckerhaltige Rohstoffe spielen keine Rolle.

Die Ethanolnachfrage stieg von 8,3 Mio. m³ in 2001 auf 22,4 Mio. m³ in 2006. Die USA sind ein Netto-Importeur von Ethanol; in 2006 wurden 2,7 Mio. m³ Ethanol importiert, während die Exporte nur 0,2 Mio. m³ betragen. Importe in die USA sind beschränkt, die heimische Produktion wird zudem durch Importzölle geschützt.

Einen Beitrag zur Sicherung der Energieversorgung zu leisten ist eines der wichtigsten Ziele der Bioethanolpolitik. Die Entwicklung der Ethanolindustrie wurde im wesentlichen durch die Clean Air Act Amendments (CAAA; saubere Verbrennung von Kraftstoff durch die Beimischung von Ethanol) in den 90er Jahren, durch das Verbot von MTBE in vielen Staaten (Substitution von MTBE durch Ethanol zur Verbesserung der Oktanzahl, durch das neue Energiegesetz (New Energy Bill, Renewable Fuels Standard) und durch den American Jobs Creation Act (Einführung eines neuen Systems für die Besteuerung von Kraftstoffen mit Steuergutschriften für Biokraftstoffe) gefördert.

Eine verpflichtende Beimischung von 28,4 Mio. m³ Ethanol ist für das Jahr 2012 vorgeschrieben. Das ist fast doppelt so viel wie im Jahr 2005 abgesetzt worden ist.

Das US Energy Department prognostiziert für das Jahr 2012 eine Ethanolproduktion von 40 Mio. m³ in den USA, deutlich mehr, als zur Erfüllung des RFS benötigt wird. Wird diese Menge tatsächlich produziert, dann sind Exporte

wahrscheinlich, da bei der derzeitigen Gesetzeslage der heimische Markt diese Mengen nicht aufnehmen würde. Wird allerdings der Alternative Fuel Standard (AFS) umgesetzt, dann steigt der Ethanolbedarf gewaltig. Danach sollen bis zum Jahr 2017 15% des Kraftstoffverbrauchs durch alternative Kraftstoffe ersetzt werden. Ethanol dürfte dabei eine Hauptrolle spielen. Dieses Ziel entspricht einer Versiebenfachung der 2006er Produktion.

Die USA setzen sehr stark auf den Einsatz von lignozellulosehaltigen Rohstoffen für die Produktion von Ethanol. Das Department of Energy hat Anfang 2007 sechs Unternehmen (u. a. Abengoa) insgesamt 385 Mio. US\$ bereitgestellt, damit diese über die nächsten vier Jahre die kommerzielle Machbarkeit der Bioethanolproduktion aus Lignozellulose demonstrieren.

4.2.9 Bioethanol aus Lignozellulose

Produktion

Rohstoffe für die Produktion von Bioethanol aus Lignozellulose sind alle zellulosehaltigen Materialien, bspw. Gras, Stroh, Holz und verschiedene Rest- und Abfallprodukte aus der Landwirtschaft und Holzverarbeitung sowie kommunale Abfälle und Reststoffe. Im Vergleich zu der Konversion von zucker- und stärkehaltigen Rohstoffen ist dieser Prozess komplexer, da die Umwandlung von Zellulose in Zucker aufwendig ist. Bisher findet dies nur in Versuchs- und Demonstrationsanlagen statt.

Einsatzmöglichkeiten

- Bislang besteht weltweit keine großtechnische Produktion von Bioethanol aus Lignozellulose.
- Die Gewinnung von Ethanol aus Lignozellulose stellt international einen Forschungsschwerpunkt dar. Mit der baldigen Errichtung erster kommerzieller Anlagen rechnet z. B. die Internationale Energieagentur.
- Mittel- bis langfristig gelten zellulosehaltige Rohstoffe als besonders vielversprechend, da sie in sehr großen Mengen vorliegen und im Vergleich zu traditionellen Rohstoffen der Bioethanolproduktion in der Zukunft vermutlich zu geringeren Kosten zur Verfügung stehen werden. Allerdings müssten dafür verlässliche Anreize für die Rohstoffproduzenten bestehen. Auch Ernte und Logistikkette stellen eine Herausforderung dar.

Potential

Technisch: Bislang findet keine kommerzielle Produktion von Bioethanol aus Lignozellulose statt. Mittelfristig wird hier aber ein großes Potential gesehen, und erste Praxisversuche werden als vielversprechend gewertet.

Wirtschaftlich: Die Produktion wird zunächst als teurer eingeschätzt. Mittelfristig erwartete Kostenvorteile werden kontrovers diskutiert. Dies hängt u. a. mit hohen Enzymkosten zusammen. Die Wettbewerbsfähigkeit von Bioethanol aus Lignozellulose im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen ist bislang nicht absehbar. Zukünftige Produktionskosten werden auch von den Rohstoffkosten abhängen,

die mit zunehmender Nachfrage steigen können.

Ökologisch: Im Vergleich zur Produktion aus Zucker und Stärke werden günstigere Energie- und Treibhausgasbilanzen erwartet.

Energiapolitisch: Durch die Produktion aus Lignozellulose und die damit verbundene Erweiterung der Rohstoffbasis erhöht sich das Mengenpotential für Bioethanol. Dies erhöht den Beitrag zur Energieversorgungssicherheit.

Agrarpolitisch: Die Produktion von Bioethanol aus Lignozellulose erweitert die Rohstoffbasis erheblich, ermöglicht auch den Einsatz landwirtschaftlicher Reststoffe und verringert damit die Flächenkonkurrenz, da keine zusätzlichen Flächen nötig sind. Dies würde eine Ausdehnung der Ethanolproduktion erlauben und das Einkommenspotential in der Landwirtschaft erhöhen. Es gibt keine Konflikte mit der Nahrungsmittelproduktion.

4.2.10 Bioethanol aus lignozellulosehaltigen Restströmen der Agrarindustrie

Merkmale Bioethanol aus lignozellulosehaltigen Restströmen der Agrarindustrie

Bioethanol kann auch aus zellulosehaltigen agrarischen Reststoffen wie bspw. Weizenkleie, Rübenschnitzel und Maisfasern hergestellt werden.

Spezifisches Gewicht

0,79 kg/l Bioethanol

Heizwert

21,17 MJ/l (26,8 MJ/KG)

Kraftstoffäquivalent

1 l Bioethanol ersetzt wegen des geringeren Heizwertes nur 0,65 l Benzin

Einsatzmöglichkeiten

- Bioethanol aus Restströmen der Agrarindustrie kann wie herkömmliches Bioethanol im Kraftstoffbereich eingesetzt werden.

Potential

Technisch: Verfahren der Ethanolproduktion aus zellulosehaltiger Biomasse sind noch nicht marktreif. Zelluloseethanol kann aus weicher und harter Biomasse hergestellt werden. Es wird erwartet, dass Ethanol aus weicher Biomasse als erstes kommerziell auf den Markt kommen wird, weil die technologische Umsetzung weniger kompliziert ist.

Wirtschaftlich: Produktionskosten liegen derzeit über denen der herkömmlichen Bioethanolproduktion. Die Kosten der Vorbehandlung des Rohstoffs, der Enzyme und die Hefekosten sind noch höher. Steigerungen der Prozesseffizienz werden erwartet und Produktionskosten sollen langfristig niedriger sein als bei herkömmlichen Verfahren. Die Nutzung von Restströmen aus der Agrarindustrie hat dem Vorteil, dass die Kosten des Biomassetransports sehr niedrig sind.

Ökologisch: Die Verwendung von Bioethanol aus Weizenkleie führt tendenziell zu höheren Treibhausgaseinsparungen als bei der Bioethanolproduktion ausschließlich aus Stärke. Die Prozessenergie ist zwar etwas höher, aber die landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen sind wesentlich geringer. Die Nutzung von Restströmen der Agrarindustrie mildert auch die Landnutzungskonflikte, weil weniger Flächen für die Kraftstoffproduktion erforderlich sind.

Energiapolitisch: Die Verwendung von Bioethanol schont generell fossile Ressourcen und reduziert die Erdölabhängigkeit. Der potenzielle Ersatz von Erdöl durch Ethanol steigt durch den Einsatz zellulosehaltiger Biomasse weil die Rohstoffbasis für die Bioethanolproduktion deutlich ausgeweitet wird.

Agrarpolitisch: Die Wettbewerbfähigkeit der europäischen Agrarindustrie wird durch die neue und hochwertige Absatzmöglichkeit von Restströmen der Agrarindustrie verbessert.

4.2.11 Biobutanol

Merkmale Biobutanol

Biobutanol wird im herkömmlichen Verfahren durch Fermentation von Biomasse mit Hilfe des Bakteriums *Clostridium acetobutylicum* gewonnen (sog. „A.B.E.-Prozess“). Ursprünglich wurde dieses Bakterium für die Produktion von Aceton aus Stärke eingesetzt. Biobutanol entsteht dabei als Nebenprodukt in der Fermentation.

Spezifisches Gewicht

0,81 kg/l Butanol

Heizwert

29,2 MJ/l

Kraftstoffäquivalent

1 l Biobutanol ersetzt ca. 0,9 l Benzin

Einsatzmöglichkeiten

- Butanol kann im Ottokraftstoffmarkt eingesetzt werden. Bei herkömmlichen Fahrzeugen sind derzeit Beimischungen von bis zu 10 vol. % ohne technische Anpassungen möglich, in Zukunft sollen Beimischungen bis zu 16 % möglich sein (bei einem Grenzwert von 3,7 % Sauerstoffanteil). Eine Verwendung als Reinkraftstoff ist derzeit nicht vorgesehen.
- Butanol weist im Vergleich zu Ethanol Eigenschaften auf, die die Beimischung und Verwendung im Kraftstoffsektor deutlich erleichtern (ähnlicher Heizwert wie Ottokraftstoff, nicht hygroskopisch, weniger korrosiv, keine Dampfdruckprobleme).
- Bislang wird Butanol nicht im Kraftstoffmarkt eingesetzt. Der wesentliche Grund dafür dürften die hohen Produktionskosten sein.
- BP und DuPont haben angekündigt, in Zukunft in England Biobutanol für die Verwendung als Biokraftstoff zu produzieren.

Potential

Technisch: Die Herstellung von Butanol kann mittels anaerober, bakterieller Umwandlung aus Zucker, Stärke, Zellulose

und Lignin direkt erfolgen. Technisch unterscheidet sich das Verfahren von der Ethanolerzeugung vor allem in der Fermentation. Bestehende Ethanolanlagen können nach Industrieangaben in Butanolanlagen umgebaut werden. Der Energiegehalt von Butanol ist deutlich höher als der von Bioethanol, es kommt im Vergleich zu Ethanol zu einem geringeren volumetrischen Mehrverbrauch des Fahrzeugs. Butanol hat einen niedrigen Dampfdruck (es kommt nicht zur Dampfdruckanomalie wie bei Ethanol) und es ist nicht hygroskopisch, so dass es in normalen Pipelines transportiert werden kann.

Wirtschaftlich: Die Produktion von Biobutanol für die Verwendung als Biokraftstoff spielt bisher keine Rolle. Hohe Produktionskosten aufgrund von geringen Ausbeuten stehen bislang einer wirtschaftlichen Nutzung entgegen. Herstellkosten bei konventionellen Verfahren werden in der Literatur auf 1,00 bis 1,20 €/Liter geschätzt. Durch den Einsatz gentechnisch modifizierter Bakterien können ggfs. die Ausbeuten gesteigert und damit die Wirtschaftlichkeit verbessert werden.

Ökologisch: Energie- und THG-Bilanzen zu Butanol sind nicht bekannt.

Energiapolitisch: Butanol kann sowohl aus heimischen als auch importierten Rohstoffen produziert werden, ggfs. kann über Butanol Lignozellulose einfacher für den Kraftstoffsektor bereit gestellt werden.

Agrarpolitisch: Für die Produktion von Butanol kann eine breite Rohstoffbasis

(z. B. Zuckerrüben, Zuckerrohr, Getreide, Cassava, Stroh) eingesetzt werden. Absatzmöglichkeiten ergeben sich für die heimische Landwirtschaft, aber auch für Agrarproduzenten außerhalb der EU.

4.3 Gassubstitute

4.3.1 Profil Biogas/Biomethan

Merkmale Biogas

Biogas entsteht bei der anaeroben Vergärung organischen Materials, d.h. Anbaubiomasse oder Reststoffe (Maissilage, Gras, Gülle, Abfälle, etc.). Biogas besteht zu 50 bis 60 % aus Methan und zu 40 bis 50 % aus Kohlendioxid. Andere Gase (Schwefelwasserstoff, Wasserstoff, Stickstoff und höhere Kohlenwasserstoffe) sind in Spuren enthalten. Durch Abtrennung des Kohlendioxids und der Spurengase erhält man ein Reingas, das chemisch mit Erdgas identisch ist.

Angaben für Reingas

Spezifisches Gewicht

0,72 kg/m³

Heizwert

50 MJ/kg (36 MJ/m³)

Kraftstoffäquivalent

1 kg Biomethan ersetzt 1,5 l Benzin und 1,3 l Diesel (1 m³ ersetzt 0,94 l Benzin und 1,08 l Diesel)

Einsatzmöglichkeiten

- Biogas wird derzeit aufgrund der Förderung durch das EEG zumeist zur

kombinierten Strom- und Wärmeergewinnung eingesetzt. Allerdings ist nach Aufbereitung auch die Nutzung von Biogas als Erdgassubstitut (Treibstoff, Wärme, etc.) möglich.

- Auf Erdgasqualität aufbereitetes Biogas kann über übliche Erdgastankstellen (Januar 2007 ca. 750 in Deutschland) angeboten werden. In Schweden und der Schweiz bspw. erfolgt dies zunehmend.
- In Deutschland bieten einige Fahrzeughersteller serienmäßig Erdgasfahrzeuge an. Allerdings ist es auch möglich, Fahrzeuge mit Ottomotor auf Erdgasbetrieb umzurüsten. Anfang 2007 waren in Deutschland ca. 42.000 PKW und ca. 10.000 LKW als Erdgasfahrzeuge zugelassen. Diese können problemlos auch mit aufbereitetem Biogas betrieben werden.

Potential

Technisch: Die Erzeugung von Biogas ist eine etablierte Technologie. Zur Biogasverwendung im Transportsektor muss eine Gasreinigung auf Erdgasqualität erfolgen. Bei der Aufbereitung und Verwendung als Treibstoff besteht in Deutschland wenig Erfahrung, jedoch kann auf Erfahrungen in Schweden oder der Schweiz zurückgegriffen werden.

Wirtschaftlich: Biogas aus Anbaubiomasse als Erdgassubstitut ist im Vergleich zur Strom- und Wärmeergewinnung (EEG) nicht wirtschaftlich darstellbar. Die Produktion aus Reststoffen kann im Einzelfall lohnend sein. Das Konkurrenzprodukt fossiles Erdgas kostete im Jahresdurchschnitt 2006 gut 0,8 €/kg (6,2

Cent/kwh). Erdgasfahrzeuge sind in der Anschaffung um mindestens 1.500 € teurer als vergleichbare Benzinfahrzeuge. Biogas als Biokraftstoff ist bis Ende 2015 von der Mineralölsteuer befreit (bei Prüfung der Überkompensation).

Ökologisch: Die Biogasnutzung als Ersatz für fossile Treibstoffe reduziert die Treibhausgasemissionen. Dies gilt insbesondere für Biogas aus Reststoffen, bspw. Rindergülle. Die Biogasproduktion weist einen weitgehend geschlossenen Nährstoffkreislauf auf, da düngewirksame Mineralien der Anbaufläche wieder zugeführt werden. Es besteht eine positive Humusbilanz und bei der Verwendung von Zwischenfrüchten können auch die N₂O-Emissionen reduziert werden.

Energiapolitisch: Eine Produktion aus heimischen Rohstoffen reduziert die Importabhängigkeit von fossilen Energieträgern. Die Produktion von Biogas aus Biomasse hat eine gegenüber den anderen Biokraftstoffen deutlich höhere Flächeneffizienz. Der Einsatz von Biogas als Treibstoff wäre energetisch sinnvoll und durch geeignete Fördermechanismen förderbar.

Agrarpolitisch: Biogas bietet eine gute Möglichkeit, Zwischenfrüchte für die Energieerzeugung zu verwenden. Die Produktion aus Anbaubiomasse erfolgt aus heimischen Rohstoffen, da sie aufgrund hoher Transportkosten für Substrate dem internationalen Wettbewerb begrenzt ausgesetzt sind. Biogas aus Zwischenfrüchten und Reststoffen steht nicht in Konkurrenz zur Nahrungsproduktion.

Züchterisch kann noch eine Optimierung der Rohstoffe vorgenommen werden, insbesondere bzgl. einer Absenkung des Schwefelgehalts und einer Verbesserung der Methanausbeute. Auch kann die Rohstoffbasis noch erweitert werden, z. B. durch Zuckergräser oder durch Nutzung von Grünrognen.

4.3.2 Profil Bio-Wasserstoff

Merkmale Bio-Wasserstoff

Wasser (H₂O) kann durch Energiezufuhr in Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O) getrennt werden. Die Schlüsseltechnologie Brennstoffzelle setzt Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser um und produziert dabei Elektrizität und Wärme. Heute wird Wasserstoff überwiegend aus Methan durch Reformierung gewonnen. Jedoch bestehen weitere Optionen, u. a. die Produktion aus Biomasse durch die Freisetzung von Wasserstoff bspw. bei der Vergasung. Hier wird dann von Bio-Wasserstoff gesprochen.

Spezifisches Gewicht

flüssig (20,3 K): 0,071 kg/l
gasförmig (200 bar): 0,017 kg/l

Heizwert

120 MJ/kg (flüssig: 8,49 MJ/l;
gasförmig: 4,93 MJ/l (bei 700 bar)

Kraftstoffäquivalent (Benzin)

flüssig: 2,8 l

Einsatzmöglichkeiten

- Wasserstoff gilt als zukunftssträchtiger Energieträger. Er kann aus verschie-

denen Primärenergieträgern, u. a. mit Hilfe von Biomasse hergestellt werden. Ein Einsatz ist in Brennstoffzellen und Verbrennungsmotoren möglich.

- Mittlerweile bestehen einige Wasserstoffprojekte, v. a. im Linienbusbereich und es existieren wenige öffentliche Wasserstofftankstellen. Weltweit existieren erst 600 PKW-Versuchsfahrzeuge.
- Die Technik ist noch in der Erprobungsphase. Die Kosten sind entsprechend dem niedrigen heutigen Produktionsvolumen relativ hoch. Der Kraftstoff benötigt separate aber dennoch gut integrierbare Technologie an den Tankstellen. Eine öffentliche Tankstellen-Infrastruktur fehlt. Mit einer breiteren Markteinführung ist erst ab 2015 zu rechnen. Wasserstoff wird heute hauptsächlich mittels fossilen Energiequellen (Erdgas) produziert. U. a. aufgrund steigende Energiepreise (v. a. fossil) ist mit einer breiteren Anwendung regenerativer Energie für die Produktion von Wasserstoff zu rechnen.

Potential

Technisch: Für eine effektive Speicherung und Transport ist der Einsatz von Wasserstoff in flüssiger (LH_2 , Liquid Hydrogen) oder gasförmiger (CGH_2 , Compressed Gaseous Hydrogen) Form nötig. Dazu muss Wasserstoff auf -253°C abgekühlt bzw. unter Druck gesetzt werden. Beides stellt hohe Anforderungen an Technik und Sicherheit und kostet auch Energie. Die Verflüssigung ist zunächst energieaufwendiger, was jedoch durch den einfacheren Transport kompensiert

werden kann. Bestehende Technologien sind von der Wirtschaftlichkeit weit entfernt. Dennoch wird aufgrund der unbegrenzten Verfügbarkeit ein weiterer Ausbau erfolgen. Die tatsächliche Produktion von Bio-Wasserstoff spielt in Deutschland bisher keine Rolle.

Wirtschaftlich: Wasserstoff wird heute überwiegend und am kostengünstigsten mittels Dampfreformierung aus Erdgas, Erdöl und Kohle gewonnen. Die Dampfreformierung ist technisch etabliert. Dies kostet rund das 1,5–2-fache von Benzin und Diesel. Werden auch Lagerung und Transport berücksichtigt, erhöhen sich die Kosten noch mal erheblich. Dabei ist aber zu bedenken, dass Brennstoffzellen-Fahrzeuge im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen nur etwa die Hälfte an Energie für eine zurückgelegte Strecke benötigen.

Ökologisch: Bei regenerativer Produktion und Einsatz in der Brennstoffzelle entstehen weder Treibhausgasemissionen noch lokal wirkenden Abgase.

Energiepolitisch: Die regenerative Herstellung von Wasserstoff würde ganz erheblich zur Lösung energiepolitischer Probleme beitragen. Allerdings müssten zunächst regenerative Energien als Quelle für die Wasserstoffproduktion ausreichend vorhanden sein.

Agrarpolitisch: Produktion von Bio-Wasserstoff kann die Biomassenachfrage erhöhen.

4.4 Biokraftstoff aus Algen

4.4.1 Ausblick: Biokraftstoff aus Algen

Merkmale Biokraftstoff aus Algen

Algen produzieren schon im natürlichen Zustand Öle. Sie können in offenen Teichen oder verschlossenen, durchsichtigen Rohrsystemen gezüchtet werden. Dies geschieht heute überwiegend im Süßwasser. Aus diesen speziell gezüchteten Algen lassen sich Öle gewinnen, die mit heutiger Raffinerietechnologie zu Diesel verarbeitet werden können. Algen, die mehr Kohlenhydrate als Öl produzieren, können auch über die Fermentation zur Ethanolgewinnung genutzt werden. Das dabei anfallende Protein kann als Tierfutter eingesetzt werden.

Spezifisches Gewicht

k.A.

Heizwert

k.A.

Kraftstoffäquivalent (Diesel)

k.A.

Einsatzmöglichkeiten

- Es wird davon ausgegangen, dass Biokraftstoffe aus Algen genauso eingesetzt werden können wie herkömmliche Biokraftstoffe. Beschränkungen des Einsatzes sind nicht bekannt.
- Alternativ können Algen auch für die Biogasproduktion verwendet werden.

Potential

Technisch: Technologie ist im Entwicklungsstadium und bislang noch nicht

großtechnisch erprobt. Vor allem amerikanische Firmen arbeiten daran, bis 2010 in ersten kleineren Anlagen zu produzieren. Fortschritte in der Biotechnologie sollen helfen, einerseits die Prozesse der Ölbildung durch Algen genauer zu kontrollieren und andererseits die Fähigkeit der Algen schnell zu wachsen zu erhalten. Auch von Seiten der Mineralölindustrie werden Pilotprojekte geplant.

Wirtschaftlich: Biokraftstoffe aus Algen spielen heute im Markt keine Rolle. Bislang ist es nicht gelungen, diese wirtschaftlich herzustellen. Investitions- und Instandhaltungskosten für die Photobioreaktoren oder andere Aufzucht-Installationen sind noch zu hoch. Jedoch kann hier in Zukunft mit Kostenreduktionen gerechnet werden.

Ökologisch: Algen können in Teichen auf Flächen gezüchtet werden, die für andere Pflanzen nicht zu gebrauchen wären (bspw. Wüstenflächen). Außerdem können sie theoretisch aus Salzwasserquellen bewässert werden, was das Problem der Wasserversorgung in der Landwirtschaft reduziert. Algen können ebenfalls zum Abbau schädlicher Stoffe wie Stickstoff aus Abwasser oder THG aus Kraftwerken verwendet werden.

Energiepolitisch: Gelingt es, Prozesse zu entwickeln, die die wirtschaftliche Produktion von Biokraftstoffen aus Algen ermöglichen, dürfte das Potential zur Substitution von fossilen Kraftstoffen sehr groß sein.

Agrarpolitisch: Durch die Züchtung auf Flächen, die für andere Pflanzen nicht in Frage kommen, wird die Flächenkonkurrenz und auch die Problematik „food vs. fuel“ erheblich reduziert. Die Erträge je ha sind außerdem wesentlich höher als bei anderen Energiepflanzen.

5. Biokraftstoffpolitik in Deutschland und Europa

5.1 Entscheidende politische Rahmenbedingungen für Biokraftstoffe in Deutschland (I)

Energiesteuergesetz	Biokraftstoffquotengesetz	Nachhaltigkeitsverordnung
<ul style="list-style-type: none"> ■ Durch das Energiesteuergesetz wurde die Befreiung sämtlicher Biokraftstoffe von der Mineralölsteuer (§2a MinölstG) aufgehoben. ■ E5 und ETBE sowie B5 wird ab 2007 voll besteuert. ■ Bei B100 und Pflanzenöl wird die Besteuerung schrittweise erhöht. ■ Lediglich die Biokraftstoffe der 2. Generation, wozu auch E85 zählt, sind weiter steuerentlastet. ■ Allerdings findet jährlich eine Überkompensationsprüfung statt und eine Anpassung der Besteuerung ist möglich. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Das Gesetz legt ab Januar 2007 bis 2015 verbindliche Biokraftstoffquoten fest. ■ Der Biokraftstoffquote im OK-Markt steigt von 1,2% in 2007 bis auf 3,6% ab 2010 bis 2015. ■ Die Biokraftstoffquote im DK-Markt beträgt ab 2007 4,4%. ■ Ab 2009 gilt zusätzlich eine Quote für den gesamten Kraftstoffmarkt. Diese steigt von 6,25% bis auf 8% in 2015 und ist höher als die Summe für OK- und DK-Markt. ■ Die Nichterfüllung der Quote wird sanktioniert. ■ Jährliche Berichterstattung an den Bundestag, insbesondere zur Überprüfung der Überkompensation ist vorgesehen. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Das Quotengesetz setzt Nachhaltigkeitsanforderungen für Biokraftstoffe und schafft die Basis, diese über eine Verordnung umzusetzen. ■ Die Nachhaltigkeitsverordnung wurde am 5. Dezember 2007 vom Kabinett verabschiedet. Eine Notifizierung bei der Kommission und der WTO muss noch erfolgen. ■ Die Verordnung setzt Anforderungen für die landwirtschaftliche Produktion, die Landnutzung und setzt Mindestwerte für die THG-Einsparung. ■ Entscheidend ist, dass für die Quotenanrechnung eine bestimmte THG-Einsparung nachgewiesen werden muss. Ab 2010 soll eine höhere Einsparung als der Basiswert durch eine überproportionale Anrechnung auf die Quote belohnt werden. Methoden und Default-Values werden noch diskutiert.

5.2 Entscheidende politische Rahmenbedingungen für Biokraftstoffe in Deutschland (II)

Eckpunktepapier der Bundesregierung (Meseberg-Papier)	Roadmap Biokraftstoffe
<ul style="list-style-type: none"> ■ In ihrem Eckpunktepapier für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm, verabschiedet am 24./25. August 2007 in Meseberg, schlägt die Bundesregierung eine Fokussierung der Politik im Transportsektor auf die THG-Einsparung vor. ■ Für Biokraftstoffe wird eine auf der THG-Einsparung basierende Förderung vorgeschlagen. ■ Im Biokraftstoffquotengesetz sollen Netto-treibhausgasersparungen festgelegt werden, die stufenweise von 5% im Jahr 2015 bis auf 10% im Jahr 2020 steigen. Dies entspricht auch dem Vorgehen in der vorgeschlagenen „Dekarbonisierungsstrategie“ auf europäischer Ebene. ■ Die geltenden energetischen Quoten sollen durch die Verpflichtung zur Treibhausgas-minderung abgelöst werden. ■ Eine THG-Reduktion von 10% würde laut Meseberg-Papier einem Biokraftstoffanteil von ca. 20 vol. % entsprechen. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zwischen Industrie, Landwirtschaft und BMU/BMELV wurde eine Roadmap für die weitere Förderung von Biokraftstoffen abgestimmt. ■ Kernpunkte sind: <ul style="list-style-type: none"> – Erhöhung der Biokraftstoffverwendung und der -ziele; – Sicherstellung der Nachhaltigkeit und Steigerung der THG-Effizienz. Der Nachweis soll über eine Zertifizierung erfolgen; – Förderung der Biokraftstoffe der zweiten Generation. ■ Beimischungsgrenzen Bioethanol und Biodiesel zu OK und DK sollen im Rahmen der technischen Möglichkeiten erhöht werden. ■ Die E10-Verwendung sollte ursprünglich kurzfristig auf Basis nationaler Normen ermöglicht werden. ■ Die Automobilindustrie wird kurzfristig alle PKWs für B7 freigeben. Hierfür sollen die erforderlichen Normen erarbeitet werden. ■ Anrechnung von 3% hydrierten Pflanzenöl auf die Quote soll zeitnah ermöglicht werden, so dass insgesamt ein Biokraftstoffanteil im DK-Markt von 10% erreicht wird.

5.3 Entscheidende politische Rahmenbedingungen für Biokraftstoffe in der EU

Biofuels Directive und Energy Tax Directive	Renewable Energy Roadmap (2007)*	Vorschlag Fuel Quality Directive (decarbonization) (2007)*
<ul style="list-style-type: none"> ■ In der Biofuels Directive wurden 2003 erstmals konkrete Ziele für die Biokraftstoff-Marktanteile in der EU festgelegt. ■ In 2010 sollen die Mitgliedsländer einen Marktanteil von 5,75% energetisch erreichen. ■ Die einzelnen Länder müssen regelmäßig über die Umsetzung berichten und geeignete Maßnahmen zur Zielerreichung ergreifen. ■ Gleichzeitig wurde durch die Energy Tax Directive für die Mitgliedsländer die Möglichkeit geschaffen, Biokraftstoffe von der Verbrauchsteuer zu befreien. ■ Dabei darf jedoch keine Überkompensation des Kostennachteils von Biokraftstoffen im Vergleich zu den fossilen Kraftstoffen stattfinden. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Die Renewable Energy Roadmap von 2007 ist eine Vision für die weitere Entwicklung der erneuerbaren Energien in der EU bis 2020. ■ Darin werden verpflichtende Ziele für den Anteil erneuerbarer Energien festgelegt. Ein sektorspezifisches Ziel (10%) soll lediglich für den Transportsektor gelten. ■ Die Umsetzung wird als realistisch angesehen. Maßnahmen für die Umsetzung werden benannt (Anpassung Kraftstoffnormen und Fahrzeuge, Förderung 2. Generation, Garantie eines nachhaltigen Anbaus, Förderung von Biokraftstoffen mit hoher THG-Einsparung). ■ Vorschläge zur Sicherung der Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen werden erarbeitet. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Reduktion Luftverschmutzung und THG-Emissionen im Kraftstoffsektor. ■ Verpflichtung für Kraftstoffanbieter über die THG-Emissionen der Kraftstoffe über den gesamten Lebenszyklus hinweg zu berichten (ab 2009) und die THG-Emissionen pro Jahr um 1% je Energieeinheit zu reduzieren (ab 2011). ■ Weitere Maßnahmen, die höhere Biokraftstoffanteile im Kraftstoff ermöglichen sollen. ■ Der Vorschlag wird bei Umsetzung einen erheblichen Einfluss auf die Biokraftstoffmärkte haben. ■ Das THG-Vermeidungspotenzial einzelner Biokraftstoffe wird an Bedeutung gewinnen und dürfte sich auch in den Preisen für einzelne Biokraftstoffe widerspiegeln.

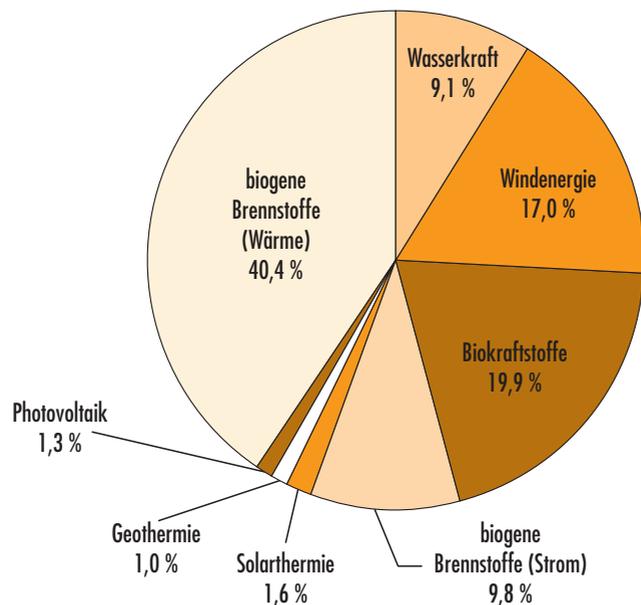
* Verabschiedung noch erforderlich

6. Gesamtwirtschaftliche Effekte der Biokraftstoffproduktion

6.1 THG-Vermeidungskosten von Biokraftstoffen im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien

70 % der gesamten Endenergie aus erneuerbaren Energiequellen wurde 2007 durch Biomasse bereitgestellt

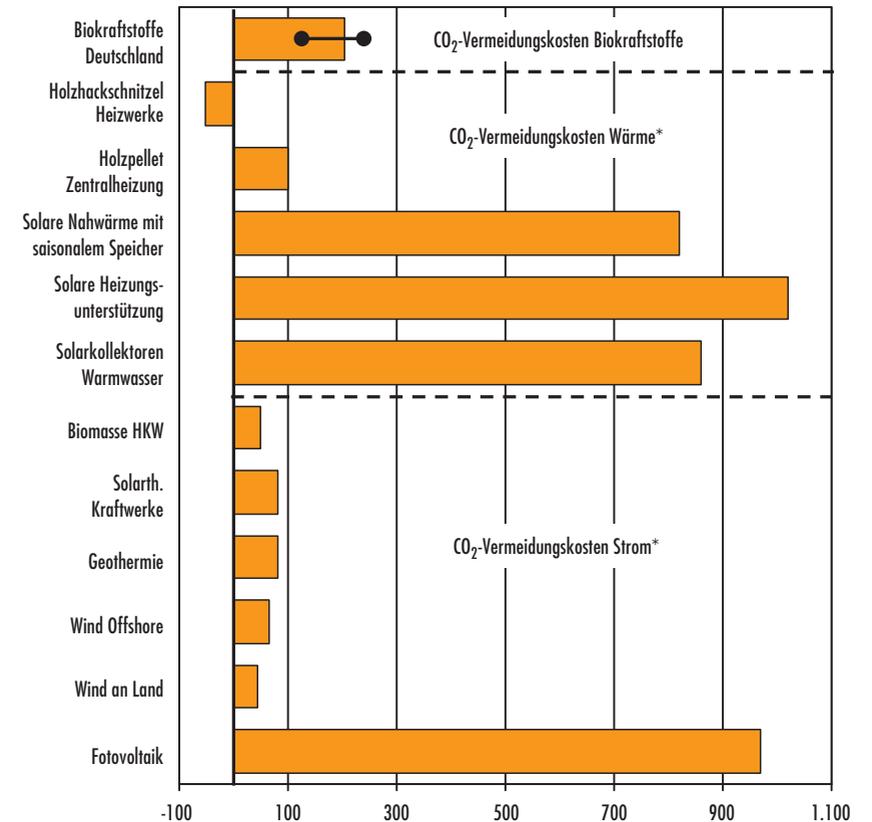
Biokraftstoffe stellten 2007 ca. 20 % der Endenergie aus erneuerbaren Energien bereit



Endenergie: ca. 234 TWh, 9,8 % am gesamten Endenergieverbrauch

Quelle: BMU/AGEE-Stat, 2008

Vergleich der THG-Vermeidungskosten ausgewählter erneuerbarer Energien



Vermeidungskosten für Strom und Wärme sind heute geringer, da sich die fossilen Substitute verteuert haben und es Kostenreduktionen bei den Erneuerbaren gab. Die Relationen bleiben aber weitgehend bestehen. Neue Daten werden vom DLR innerhalb der „Leitstudie 2008“ erarbeitet.

Quelle: BMU (2006), meo

6.2 Ziele und Rückkopplungseffekte der Förderung von Biokraftstoffen

Die Produktion von Biokraftstoffen wird staatlich gefördert, um drei Ziele gleichzeitig zu verfolgen:

- Verbesserte Sicherheit der Energieversorgung
- Reduktion der Emission von Klimagasen, insbesondere von Kohlendioxid
- Sicherung der Einkommen und Beschäftigung in der Landwirtschaft und Förderung des ländlichen Raums

Diese Förderung hat neben den direkten Wirkungen auf die an der Wertschöpfungskette beteiligten Erzeuger von Biokraftstoffen auch Rückkopplungswirkungen auf andere Märkte und Wirtschaftssektoren.

So beeinflusst der zunehmende Flächenverbrauch für Biokraftstoffe die Nahrungsmittelmärkte und umgekehrt beeinflussen Signale von den Agrarmärkten die Vorteilhaftigkeit der Biokraftstoffproduktion. Diese Rückkopplungen sind durch die starken Veränderungen bei den Ölpreisen und den Weltmarktpreisen für Agrarrohstoffe in der letzten Zeit drastisch bemerkbar geworden.

Die drei energiepolitischen Ziele werden durch verschiedene staatliche Maßnahmen gefördert. So wird im Bereich der Versorgungssicherheit für Energie eine Reihe von Politiken verfolgt, die komplementär zur Förderung der Biokraftstoffe sind, allerdings werden auch Aktivitäten unterstützt, die mit der Biokraft-

stoffherzeugung im Wettbewerb stehen. So steht die Diversifizierung von Lieferregionen für Erdgas und Erdöl im Einklang mit der Förderung von Biokraftstoffen. Auch die verstärkte Förderung von Biogas zur Stromproduktion verursacht einen intensiveren Wettbewerb um landwirtschaftliche Rohstoffe, der über die Biokraftstoffmärkte und über die Bioenergiemärkte hinaus geht.

Die klimapolitische Funktion der Biokraftstoffförderung steht im Spannungsfeld einer Vielzahl von anderen klimapolitischen Maßnahmen wie dem Europäischen Emissionshandel, der Ökosteuern und vielen anderen Regelungen zur Einsparung von fossilen Brennstoffen. Hier ist zu überprüfen, ob die Förderung der Biokraftstoffe im Gesamtkonzept der Klimapolitik ihren angemessenen Raum hat und in welcher Form sie Rückkopplungen auf die gesamtwirtschaftliche Entwicklung zeigt.

Die Sicherung von Einkommen und Beschäftigung in der Landwirtschaft wird durch die Reform der Europäischen Agrarmärkte von der produktbezogenen auf die auf Personen bezogene Förderung umgestellt. Eine zusätzliche Förderung durch den Anbau von Rohstoffen für die Biokraftstoffproduktion erhöht potentiell die Ertragssituation in der Landwirtschaft. Allerdings sind ihre gesamtwirtschaftlichen Wirkungen nicht immer so positiv, wenn zum Beispiel die lokale Nahrungsmittelversorgung nur bei höheren Preisen möglich ist und damit mit höheren Lebensmittelkosten für die Bevölkerung verbunden ist.

6.3 Weltwirtschaftliche Rahmenbedingungen

Die weltwirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die Biokraftstoffproduktion sind durch eine Reihe von wichtigen Entwicklungen außerhalb Deutschlands und der EU von großer Bedeutung:

- Die Pro-Kopf-Einkommen steigen insbesondere in den Schwellenländern mit bis zu 10 Prozent und mehr im Jahr an.
- Im Zuge dieser Einkommensentwicklung nimmt die weltweite Nachfrage nach Energie zu. Dies befördert die Anreize Biomasse in energetischer Verwendung einzusetzen.
- Die Weltbevölkerung wird in den nächsten Jahrzehnten weiter wachsen. Von heute etwa 6,5 Milliarden Menschen wird sie auf knapp 10 Milliarden ansteigen, um dann in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts zu stagnieren oder wieder abzunehmen.
- Gleichzeitig verschiebt sich – verursacht durch die steigenden Einkommen – die Nahrungsmittelnachfrage weg von den pflanzlichen Produkten und hin zu Fleisch mit der Folge, dass diese Veredelungsproduktion eine überproportional ansteigende Nachfrage nach Futtermitteln erzeugt.
- Die Verhandlungen im Rahmen der WTO lassen erwarten, dass es zu einer weiteren Liberalisierung des Welthandels kommen wird, wobei insbesondere der Agrarsektor mit einer Senkung der Handelsschranken sowohl im tarifären als auch im nicht-tarifären Bereich rechnen muss.

Diese Faktoren zusammen genommen bedeuten, dass es in den nächsten Jahren und Jahrzehnten zu einer Verschiebung der regionalen Produktionsstrukturen und der Handelsströme für Agrarprodukte kommen wird. Diese wird induziert durch die regionale Begrenzung von Agrarflächen in Gebieten mit hohem Einkommenswachstum und durch steigende Weltmarktpreise für Agrargüter.

6.4 Landnutzungskonflikte

Die Zunahme in der Nachfrage nach Nahrungsmitteln aufgrund der steigenden Weltbevölkerung und den steigenden Einkommen verlangt eine signifikante Ausweitung der landwirtschaftlichen Produktion. Die Entwicklungsländer werden in zunehmendem Ausmaß auf Importe von Nahrungsmitteln aus den Industrieländern angewiesen sein. Die Getreideimporte nahmen schon von den 70er Jahren bis Ende der 90er Jahre um fast das Dreifache zu und die FAO erwartet, dass bis 2030 noch einmal eine Verdreifachung des Importbedarfs stattfinden wird, da in diesen Ländern nicht ausreichend landwirtschaftliche Flächen zur Verfügung stehen. Dies wird die Frage der Aufteilung landwirtschaftlicher Flächen in den Agrarexportländern zwischen der Nahrungsmittel- und der Bioenergieproduktion weiter verstärken.

Die Prognosen aller Forschungsinstitute gehen davon aus, dass die Preise für Agrargüter in der Zukunft sich auf hohem Niveau stabilisieren und bei einem forcierten Ausbau der Biokraftstoffpro-

duktion weiter steigen werden. Da die Produktivität der Landwirtschaft nur schrittweise erhöht werden kann und in vielen Regionen durch die Wasserverfügbarkeit beschränkt ist, kommt für eine Ausweitung der Produktion nur die Konversion von bisher nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen in Frage. Dazu steht nur in geringfügigem Ausmaß landwirtschaftliche Brache zur Verfügung, ansonsten müssen Waldflächen oder bisher natürlich belassene Flächen in die intensive Nutzung kommen. Damit tritt die Agrarproduktion in den Wettbewerb mit der Holzwirtschaft für bauliche ebenso wie für energetische Holznutzung, oder sie kommt in Konflikt mit ökologischen Zielen einer Erhaltung natürlicher Flächen. In jedem Fall würden die Preise für Agrar- und forstwirtschaftliche Produkte steigen und entsprechende Verteilungseffekte verursachen (s.u.).

Zwei weitere Faktoren, die die Landnutzung in der Zukunft beeinflussen werden, sind die Klimapolitik und der Klimawandel. Die Klimapolitik setzt nicht nur Anreize im Transportsektor Biokraftstoffe als Ersatz für fossile Kraftstoffe einzusetzen. Gleichzeitig entstehen Anreize, durch Aufforstung eine zumindest temporäre Sequestrierung von Kohlenstoff zu erreichen. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass besonders in den warmen Regionen der Welt im Zuge des Klimawandels die Wasserverfügbarkeit zurückgeht und damit ein zusätzlicher Faktor die Importnachfrage der Länder dieser Regionen erhöhen wird. Schließlich wird zunehmend in Betracht gezogen,

dass die Belastung der Ökosysteme durch den Klimawandel zusätzliche Schutzmaßnahmen erfordern, d.h. eine Ausweitung von Schutzgebieten ist in den nächsten Jahren nicht auszuschließen.

In der Summe deuten diese Entwicklungen darauf hin, dass die vielfach in den Potentialberechnungen für die Verfügbarkeit von Flächen für die Produktion von Bioenergie gemachten Annahmen nur schwer haltbar sind. Die steigende Nachfrage nach Nahrungsmitteln wird Marktprozesse in Gang setzen, unter denen die Entscheidung der Landwirte zur Produktion von Bioenergie nur bei hohen Preisen dieser Feedstocks oder durch ordnungsrechtliche Maßnahmen umsetzbar sein wird. Dies gilt in ähnlichem Ausmaß auch für die Konkurrenz zwischen direkter Kohlenstoffsequestrierung durch Aufforstung und der Produktion von Bioenergieträgern.

Schließlich ist nach dem 4. Sachstandsbericht des IPCC zu erwarten, dass der Klimawandel schneller voranschreitet als bislang von den Modellen vorhergesagt und in den Prognosen angenommen wurde. Damit gehen insbesondere in den tropischen und subtropischen Breiten starke Veränderungen in der saisonalen Wasserverfügbarkeit sowie dem ganzjährigen Wasserangebot einher. Dies wird zu einer weiteren Einschränkung der lokalen Nahrungsmittelversorgung dieser Regionen führen und den Bedarf nach Agrarprodukten aus den Industrieländern weiter verstärken. Mit gleichzeitig steigenden Einkommen in diesen Ländern wird der Bedarf nicht zu schlechte-

rer Versorgung führen, wie häufig in der Vergangenheit, sondern als tatsächlich nachfragewirksam werden.

Insgesamt ist also davon auszugehen, dass der Klimawandel dazu führt, dass in den nächsten Jahren die Nachfrage nach Bioenergie und nach Nahrungsmitteln immer stärker in Konkurrenz treten. Bei geringen Elastizitäten des Angebots, wie sie bei der bodengebundenen Produktion typisch sind, müssen die Preise für Produkte aus der Landwirtschaft weltweit signifikant steigen.

6.5 Einkommens- und Verteilungskonflikte (I)

Die Förderung von Biokraftstoffen in Deutschland und die oben beschriebenen Veränderungen auf den Märkten für Agrargüter und Energie führen zu komplexen Einkommens- und Verteilungseffekten. Im Folgenden werden die Effekte in Deutschland von denen in anderen Ländern getrennt aufgeführt, die Ursachen aber, die in der weltweiten Expansion der Produktion von Bioenergie und der zunehmenden Nahrungsmittelnachfrage liegen, nicht getrennt. Dies wäre auch gar nicht möglich.

Die nachhaltig steigenden Preise für Agrargüter werden auf der Einkommensseite die Situation der Landwirte verbessern, aber auf der Nachfrageseite – wie es schon geschehen ist – sowohl die Konsumausgaben der Haushalte belasten als auch die Beschaffungskosten der Hersteller von Biokraftstoffen drastisch an-

heben. Angesichts der Tatsache, dass mind. 50 Prozent der Herstellungskosten bei Biokraftstoffen Rohstoffkosten sind, ist klar, dass damit die Kostensituation der Biokraftstoffindustrie negativ belastet wird. Der Anstieg der fossilen Brennstoffpreise kann dies nur zum Teil wettmachen, da diese wiederum die Produktionskosten sowohl in der Landwirtschaft als auch in der Biokraftstoffindustrie erhöhen.

Die Beschäftigungseffekte im Zuge der Expansion der Biokraftstoffproduktion werden in den Analysen sehr unterschiedlich beurteilt. Dies liegt zum einen an unterschiedlichen Annahmen über die Systemgrenzen, die bei der Berechnung benutzt werden, zum anderen daran, dass die makroökonomischen Veränderungen auf anderen Märkten und in anderen Regionen nur begrenzt in die Analysen eingehen.

Für die Beschäftigung in der Landwirtschaft ist die angebaute Fläche der entscheidende Faktor. Wenn es tatsächlich zu einer Ausweitung der angebauten Fläche kommt, unabhängig davon, ob darauf Bioenergie oder Nahrungsmittel produziert werden, dann ist mit einer entsprechenden Ausweitung der Beschäftigung zu rechnen, allerdings höchstens um den Arbeitseinsatz pro Hektar multipliziert mit der zusätzlich in die Produktion gebrachten Fläche. Die Produktion von Biokraftstoffen (Biodiesel und Bioethanol) führte in Deutschland in 2007 zu einer Flächenbindung von ca. 1,4 Mio. ha (hinzu kam eine Flächenbindung von ca. 400.000 ha für Biogas für die energetische

Verwendung außerhalb des Transportsektors). Bei einem durchschnittlichen Bedarf von 1,7 Arbeitskräften je 100 ha landwirtschaftlicher Fläche in Deutschland können daher durch die Biokraftstoffproduktion theoretisch ca. 23.800 Arbeitskräfte gebunden werden (Beschäftigungssicherung). In der Biokraftstoffindustrie werden bei dem Zubau von Anlagen die anlagenspezifischen Beschäftigungseffekte auftreten.

Diese Berechnungen hängen in entscheidender Weise davon ab, welche Mengen an heimischen Biokraftstoffen tatsächlich abgesetzt werden können und welche zusätzliche Fläche für diese Produktion zur Verfügung steht, die vorher nicht landwirtschaftlich mit der gleichen Arbeitsintensität genutzt worden ist. Darüber hinaus kann man die Beschäftigungseffekte nicht immer vollständig den Biokraftstoffen zurechnen, wenn gleichzeitig auch noch die Nahrungsmittelexporte steigen und Pflanzen für stoffliche und andere energetische Nutzung angebaut werden. Da bislang noch keine nennenswerte Ausweitung der Flächen (über die Stilllegungsflächen hinaus) stattgefunden hat, sondern weitgehend eine Substitution in der Verwendung agrarischer Rohstoffe erfolgte, ist nicht mit signifikanten Beschäftigungseffekten zu rechnen. Abgesehen von dem Einmaleffekt der Investitionen in die Biokraftstoffanlagen ist der laufende Betrieb dieser Anlagen mit sehr wenigen Beschäftigten möglich.

6.6. Einkommens- und Verteilungskonflikte (II)

Die weltweite Expansion des Anbaus von Energiepflanzen hat auch global unterschiedlich ausfallende Einkommens- und Beschäftigungseffekte zur Folge. Prinzipiell führt die weltweit gestiegene Nachfrage nach Agrargütern, d. h. Bioenergie als auch Nahrungsmittel, zu steigenden Einkommen in der Landwirtschaft. Dies geschieht zum einen durch höhere Preise, zum anderen durch die Ausweitung von Anbaugebieten und eine Ausdehnung der Produktion. Durch eine Ausdehnung der Anbaugebiete können auch positive Beschäftigungseffekte auftreten. Gerade die Ausdehnung der Anbaugebiete ist in den Tropen jedoch in die Kritik geraten, aber auch in den gemäßigten Breiten können zusätzliche Flächen in Konflikt mit dem Naturschutz geraten.

Den positiven Einkommenseffekten stehen Belastungen der Bevölkerung durch höhere Nahrungsmittelpreise gegenüber. Besonders in armen Ländern kann dies zu einem besonderen sozialen Problem werden. So birgt die weltweite Expansion der Biokraftstoffproduktion die Gefahr einer verschärften sozialen Lage in manchen Entwicklungsländern in sich, die auch von internationalen Organisationen mit Sorge gesehen wird. Gleichzeitig können aber auch Haushalte in ländlichen Regionen, wo ein hoher Anteil der ärmeren Bevölkerung lebt, durch höhere Preise, wachsende Absatz- und Beschäftigungsmöglichkeiten profitieren.

6.7 Perspektiven für die Produktion von Biomasse

Für die Erzeugung von Biomasse auf landwirtschaftlichen Flächen zur Produktion von Energie kann eine Vielzahl alter und neuer Kulturpflanzen verwendet werden. Allerdings ist die ökonomische Effizienz differenziert zu betrachten, da die Vollkosten je nach Pflanzenart und Standort stark schwanken und diese auf eine möglichst hohe Anzahl erzeugter Einheiten (dt/ha TM) verteilt werden müssen. Zusätzlich sind im Biomasseproduktionsprozess Kriterien der Nachhaltigkeit (Boden- und Gewässerschutz, Energie-, THG-Bilanz u. a.) zu berücksichtigen. Die letzteren Anforderungsprofile sind am ehesten durch die Organisation von Biomassefruchtfolgen zu gewährleisten, allerdings setzen die ökonomischen Erfordernisse enge Grenzen.

Die ausschließliche Nutzung von C4-Pflanzen (Mais, Hirse, Sudangras) ist auf Vegetationszeiträume mit relativ hohen Temperaturen ($> 8 - 10^\circ\text{C}$ für die Keimung, $> 15^\circ\text{C}$ Tagesmitteltemperatur für hohe TM-Gewinne) beschränkt. C3-Pflanzen (Getreide, Gräser) sind dagegen befähigt, auch die zusätzlichen Vegetationszeiträume zu nutzen. Deren Nutzung ist aber häufig mit einer Verkürzung der potentiellen Wachstumszeit verbunden, da Anforderungen an die Biomassequalität (Vergärbarkeit) die Ernte der Pflanzen deutlich vor der Abreife erfordert. Aus den spezifischen Anforderungen von C3- und C4-Pflanzen ergeben sich die Kombinationen von verschiedenen Kul-

turen und damit die Entwicklung von standortgerechten Anbausystemen.

Mais hat derzeit im Spektrum der Energiepflanzen (Anteil über 80 %) für die Erzeugung von Biogas die höchste Priorität. Die Nutzung erfolgt oft in Form der Monokultur. Kriterien der Nachhaltigkeit sind hier besonders einzufordern und bedürfen der ständigen Überprüfung, um gesetzlichen Anforderungen zu genügen.

Die Einschaltung von Grünroggen als Winterzwischenfrucht vor Mais nutzt Vegetationszeiträume im Herbst und im Frühjahr bis ca. Ende April, so dass die Vegetationszeit für den Mais als Folgefrucht nur wenig eingeschränkt wird. Dieses Zweifruchtssystem erfordert eine spezifische Sortenwahl, eine lange Vegetationszeit und eine sichere Wasserversorgung (Grundwasseranschluss, Böden mit hoher nutzbarer Feldkapazität).

Nach früh räumendem Getreide (Wintergerste), nach Landsberger Gemenge oder Ackerfuttergras (Welsches Weidelgras) bietet sich der Folgeanbau von Hirsen, Sudangras, Sonnenblumen und Mais (mit besonders adaptierten Sorten) an. Die Vegetationszeit für diese Folgekulturen ermöglicht hohe Erträge, in Kombination mit den Vorfrüchten wird die verfügbare Wachstumszeit vollständig ausgenutzt.

Winterroggen und Winterweizen werden im Vergleich zur Körnernutzung für die Erzeugung von Biomasse etwa vier Wochen früher geerntet. In der Folge ergeben sich Nutzungsmöglichkeiten des

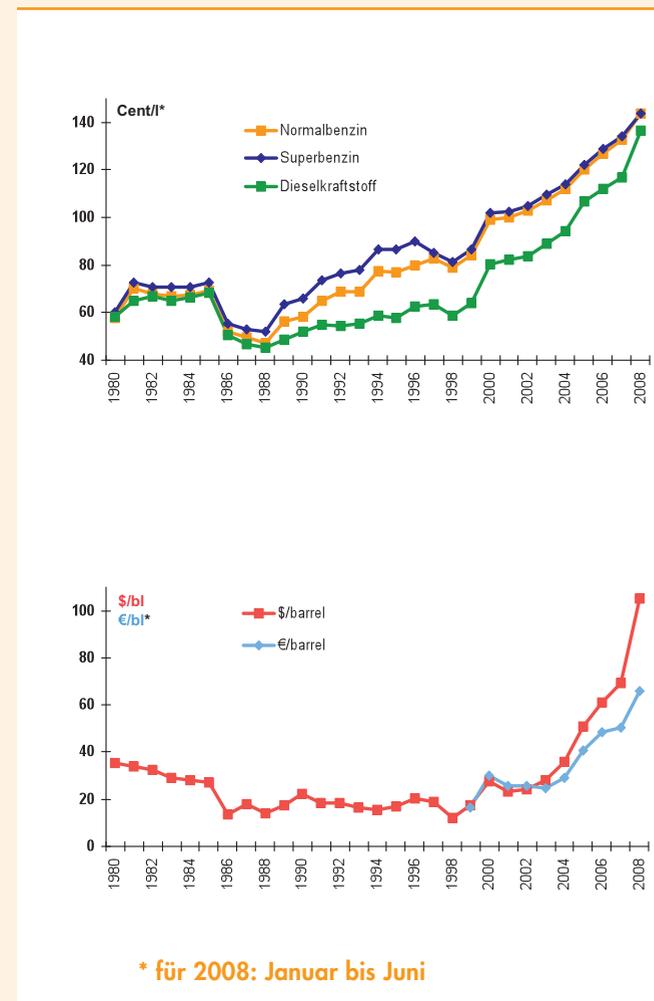
Standortes durch hocheffiziente Zwischenfrüchte wie Markstammkohl, Sommer- und Winterfutterraps, Einjähriges und Welsches Weidelgras sowie Grobleguminosen. Problematisch ist der TM-Gehalt dieser Kulturen, wodurch die Transportwürdigkeit eingeschränkt wird. Von geringerer Bedeutung ist dies bei Grünland-Aufwüchsen.

Grundsätzlich lassen sich durch die Gestaltung von Biomasse-Fruchtfolgen unerwünschte Umweltwirkungen des Pflanzenbaues vermeiden. Die häufigen Erntevorgänge erhöhen allerdings die

Kosten. Diese können nur durch hohe und steigende Biomasseerträge des gesamten Anbausystems aufgefangen werden. Die Pflanzenzüchtung sollte deshalb auch das Spektrum der C3-Pflanzen für die Biomassenutzung berücksichtigen. Vielseitige Fruchtfolgen dürften wegen der Nutzung von Vorfrucht-Nachfrucht Beziehungen (Intensität der Bodenbearbeitung, Nährstofflieferung, Gesundheit u. a.) zukünftig von zunehmender Bedeutung sein. Generell trägt nur eine Vielzahl von verschiedenen Biokraftstoffpfaden in der Summe zu vielfältigen Fruchtfolgen bei.

7. Auswirkungen steigender Rohölpreise

7.1 Steigende fossile Kraftstoff- und Rohölpreise erhöhen tendenziell die Wettbewerbsfähigkeit von Biokraftstoffen



Quelle: MWV, meó

Die Rohölpreise und damit die fossilen Kraftstoffpreise sind stark angestiegen.

Insbesondere in 2008 gab es starke Preissteigerungen, die allerdings aufgrund des im Vergleich zum US\$ starken Euro ein wenig abgefedert wurden.

Prinzipiell erhöhen steigende fossile Kraftstoffpreise die Wettbewerbsfähigkeit der Biokraftstoffe.

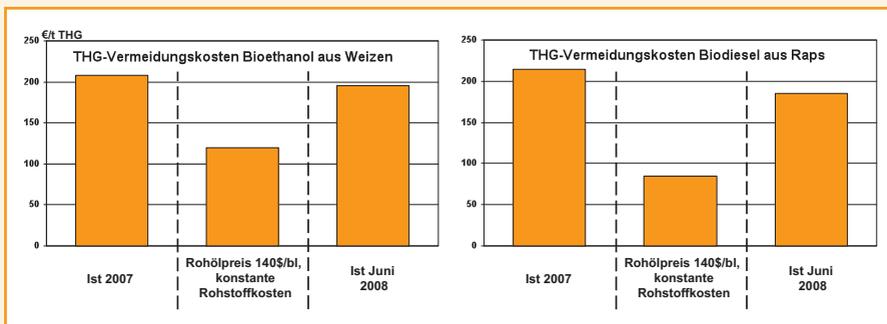
Jedoch sind mit den Rohölpreisen auch die Preise landwirtschaftlicher Rohstoffe, die 50 bis 80 % der Produktionskosten bei Biokraftstoffen ausmachen gestiegen. Steigende Rohöl- und Energiepreise erhöhen ebenfalls die Kosten der landwirtschaftlichen Produktion und Konversion.

Auch heute sind Biokraftstoffe aus Europa noch nicht wettbewerbsfähig. Jedoch konnte die Wettbewerbsfähigkeit in den letzten Monaten teilweise gesteigert werden.

Bei Reinbiokraftstoffen kann es ggfs. zu Absatzsteigerungen kommen, bzw. die sinkende Wettbewerbsfähigkeit kann aufgrund der zunehmenden Besteuerung teilweise kompensiert werden.

Die Wettbewerbsfähigkeit brasilianischen Ethanol ist weiter gestiegen, da sich die Rohstoffkosten der Hersteller dort nicht entsprechend erhöht haben.

7.2 Bei steigenden fossilen Kraftstoffpreisen und konstanten Rohstoffkosten sinken die THG-Vermeidungskosten von Biokraftstoffen



Ist 2007:

Bei Rohölpreisen von ca. 70 \$/bl und durchschnittlichen Rohstoffkosten für Weizen bzw. Raps der Jahre 2006/07 entstehen THG-Vermeidungskosten von ca. 210 €/t THG für Bioethanol aus Weizen und von ca. 215 €/t THG für Biodiesel aus Raps.

Rohölpreis 140 \$/bl, konstante Rohstoffkosten:

Bei Rohölpreisen von ca. 140 \$/bl (Juni 2008) und konstanten Biokraftstoffproduktionskosten (Rohstoffkosten entsprechen durchschnittlichen Weizen- bzw. Rapspreisen 2006/2007) entstehen THG-Vermeidungskosten von ca. 120 €/t THG für Bioethanol aus Weizen und ca. 85 €/t THG für Biodiesel aus Raps.

Ist Juni 2008:

Bei Rohölpreisen von ca. 140 \$/bl und durchschnittlichen Rohstoffkosten für Weizen und Raps von Juni 2008 entstehen THG-Vermeidungskosten von ca. 195 €/t THG für Bioethanol aus Weizen und ca. 185 €/t THG für Biodiesel aus Raps.

8. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

8.1 Mittel- und langfristig entstehen neue viel versprechende Biokraftstoffoptionen, die allerdings einer weiteren politischen Förderung bedürfen

8.1.1 Marktreife, Wettbewerbsfähigkeit und Fördernotwendigkeit

- Heute bestehen verschiedene Biokraftstoffoptionen sowohl für den Dieselmotor als auch für den Ottomotor. Herkömmliche Biokraftstoffe wie Pflanzenöl, Biodiesel und Bioethanol aus Zucker und Stärke sind als Biokraftstoffe heute schon im Markt. V.a. Biodiesel, v.a. aus Raps- und Sojaöl hat bereits einen relativ hohen Marktanteil erreicht. Pflanzenöl ist aufgrund seiner Eigenschaften nicht uneingeschränkt in zukünftigen Motoren mit moderner Abgasnachbehandlungstechnik einsetzbar.
- Biogas als Treibstoff spielt nur eine untergeordnete Rolle, da primär die Verstromung von Biogas betrieben wird und es lediglich in Erdgasfahrzeugen eingesetzt werden kann. Jedoch besitzt Biogas aufgrund seiner Rohstoffbasis hohes Potential und der Einsatz wird mit zunehmender Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz zunehmen.
- Mit dem Einsatz von Bio-Wasserstoff ist aufgrund der hohen relativen Kosten erst längerfristig zu rechnen. Die Infrastruktur für die voraussichtlich ab 2015 im Markt erscheinenden Fahrzeuge ist technologisch nicht abhängig

von der Herkunft des Wasserstoffes. Wasserstoff (Energieträger) stellt durch die Flexibilität der Herstellung einen wichtigen Beitrag zur Lösung von Energieproblemen dar. Wasserstoff kann im Gegensatz zu Elektrizität Energie jeglicher Herkunft speichern. Bio-Wasserstoff besitzt ein großes Potential.

- Herkömmliche Biokraftstoffe, insbesondere Pflanzenöl aber auch Biodiesel und Bioethanol sind am kostengünstigsten. Jedoch haben die steigenden Rohstoffpreise zu höheren Produktionskosten geführt.
- Mittelfristig sollen die noch nicht kommerziell produzierten Biokraftstoffe BtL, Bioethanol aus Lignozellulose und v.a. HVO ähnliche und bessere Kostenpositionen erreichen wie die Biokraftstoffe der ersten Generation.
- Die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Biokraftstoffe zu fossilen Kraftstoffen ist bei heutigen Rohölpreisen nicht gegeben und wird von der weiteren Entwicklung der Rohölpreise und der landwirtschaftlichen Rohstoffpreise abhängen.
- Werden Biokraftstoffe wie mineralölbasierte Produkte besteuert, dann sind sie aufgrund ihrer höheren Produktionskosten nicht wettbewerbsfähig.

Zur Verbesserung oder Beibehaltung der Marktposition besteht daher weiterhin Förderbedarf (Biodiesel, Pflanzenöl, Bioethanol), teilweise auch noch im F&E-Bereich und bei Pilot- und Demonstrationsprojekten (Bio-Wasserstoff, BtL, Bioethanol aus Lignozellulose, Biokraftstoff aus Algen).

- Bei der internationalen Wettbewerbsfähigkeit von Bioethanol aus Zucker und Stärke ist Brasilien das Benchmark. Brasilien produziert zu weniger als der Hälfte der Kosten im Vergleich zu Deutschland. Die Erreichung brasilianischer Produktionskosten ist auch in Zukunft in Deutschland kaum möglich. Allerdings ist nicht damit zu rechnen, dass Brasilien sämtliche deutsche Verwendung durch Exporte abdecken wird, da auch außerhalb Europas eine

wachsende Nachfrage für brasilianisches Bioethanol besteht.

- Bei Biodiesel besteht eine erhebliche internationale Konkurrenz beim Rohstoff Pflanzenöl. Soja- und Palmöl ist als Rohstoff tendenziell kostengünstiger als Rapsöl. Mittelfristig wird der Import steigen und auch der Import von Biodiesel selbst könnte weiter zunehmen.
- Die internationale Wettbewerbsfähigkeit einer deutschen BtL-Produktion ist evtl. langfristig gegeben, wenn Deutschland hier einen Technologievorsprung aufweist (ermöglicht auch Technologieexporte) und die Rohstoffversorgung (nationales Biomasseangebot, Importe) kostengünstig erfolgen kann.

8.2 Der Nachweis des Einsatzes nachhaltig produzierter Biokraftstoffe gewinnt an Bedeutung

8.2.1 In Deutschland und der EU sollen nur noch nachhaltig produzierte Biokraftstoffe auf die Biokraftstoffziele anrechenbar sein

- Nachdem Biokraftstoffe in jüngster Vergangenheit zunehmend in die Kritik geraten sind, verlangen aktuelle Vorschläge zur Neuausrichtung der Biokraftstoffpolitik auf deutscher und europäischer Ebene einen Nachweis der Nachhaltigkeit der eingesetzten Biokraftstoffe.
- Neben der Sicherstellung einer nachhaltigen Produktion der Biomasse für die Bioenergieerzeugung steht das Ziel

der Treibhausgaseinsparung im Vordergrund. Die Tendenz geht dahin, nicht mehr reine Mengenvorgaben für die Verwendung von Biokraftstoffen zu machen. Vielmehr zeichnen sich zunehmend Vorgaben über die zu erzielende Menge an THG-Einsparungen oder zumindest über einen zu erzielenden prozentualen Mindestwert an THG-Einsparungen für Biokraftstoffe ab, die durch Beimischungsquoten oder Steuerentlastungen gefördert werden können.

- Generell wird die Verwendung von Biokraftstoffen daher in Zukunft verstärkt von deren Nachhaltigkeit und

insbesondere der Treibhausgasbilanz abhängen. Dies wird auch einen Einfluss auf die Importstrukturen Deutschlands und Europas bei Biokraftstoffen bzw. deren Rohstoffen haben.

8.2.2 Die Verwendung von Biokraftstoffen kann einen Beitrag zur Treibhausgaseinsparung leisten

- Bei allen Biokraftstoffen sind die Energie- und Treibhausgasbilanzen positiv.
- Bei allen Biokraftstoffoptionen besteht Potential zu einer Verbesserung der Energie- und Treibhausgasbilanzen, insbesondere durch die energetische Nutzung anfallender Reststoffe und die Entwicklung hin zu energieautarken Anlagen.
- Für die Zukunft wird hier aufgrund der voraussichtlich neuen politischen Rahmenbedingungen, die einen Nachhaltigkeitsnachweis und bestimmte THG-Einsparungen verlangen, mit

deutlichen Fortschritten gerechnet.

- Jedoch sind einige methodische Fragen der THG-Bilanzierung nicht abschließend geklärt. Daher kann es je nach Anwendung unterschiedlicher Methodiken zu deutlichen Abweichungen der Ergebnisse für identische Biokraftstoffoptionen kommen.
- Insbesondere stellt die aktuelle Diskussion um die durch die Biokraftstoffproduktion hervorgerufenen direkten und insbesondere indirekten Landnutzungsänderungen die THG-Bilanzierung vor große Herausforderungen.
- Insbesondere bei Berücksichtigung indirekter Landnutzungsänderungen können, wie erste Studien zeigen, die THG-Bilanzen erheblich schlechter ausfallen. Dies kann, je nach dem wie stark die für einzelne Biokraftstoffoptionen verwendeten Rohstoffe andere Produktionsformen verdrängen, für die einzelnen Biokraftstoffe zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

8.3 Die Flächenverfügbarkeit für einen nachhaltigen Anbau begrenzt das Biokraftstoffpotential. Effekte für die deutsche Landwirtschaft sind gering

8.3.1 Potentiale

- Die Mengenpotentiale von Biokraftstoffen aus deutschen Rohstoffen und in Deutschland produziert sind generell aufgrund von Flächenkonkurrenz und Konkurrenz in der Nutzung angebauter Biomasse beschränkt. Optimierungspotential besteht jedoch im Pflanzendesign (bspw. Fruchtfolgen-

anpassung, Ertrag, Stärke- und Ölgehalt, Gentechnik). Forschungsbedarf besteht zur nachhaltigen Ertragssteigerung von Energiepflanzen (z. B. Entwicklung von Hybriden, Krankheitsresistenz) und zur Optimierung von Anbausystemen.

- Die Restriktionen in der Anbaufläche sind bei Bioethanol aus Zucker und Stärke deutlich geringer als bei Bio-

diesel aus Raps. Es besteht auch noch Marktpotential aufgrund der steigenden Beimischungsquoten und der weiteren Förderung von E85.

- Der Einsatz hydrierter Pflanzenöle wird zunehmen und ist eine attraktive Kraftstoffoption, jedoch ist der Einsatz zunächst auf 3 % beschränkt.
- Die Rohstoffbasis für Biodiesel und Bioethanol wird sich in Zukunft erweitern, jedoch besteht insbesondere bei den lignozellulosehaltigen Pflanzen als Basis für Bioethanol noch Forschungsbedarf.
- Bioethanol aus Lignozellulose und BtL beruhen auf einer breiten Rohstoffbasis und werden in Zukunft an Bedeutung gewinnen. Die Rohstoffbasis steht nicht in direkter Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion, teilweise besteht auch keine Flächenkonkurrenz. BtL weist hohe Hektarerträge auf. Konzepte zur Rohstoffversorgung können aus der stofflichen und energetischen Nutzung übertragen werden.
- Weitere Biokraftstoffe (Biobutanol, Biokraftstoffe aus Algen) befinden sich in der F&E-Phase, weisen jedoch durchaus Potentiale auf.
- Generell begrenzt die globale Verfügbarkeit von Flächen, auf denen nachhaltig Biomasse angebaut werden kann das Mengenpotential für Biokraftstoffe. Für eine auch zukünftig nachhaltige Biokraftstoffverwendung wird daher entscheidend sein, die Flächenausdehnung zu begrenzen und auf Rohstoffe auszuweichen, die nicht unmittelbar um landwirtschaftliche Flächen konkurrieren.

8.3.2 Effekte in der Landwirtschaft

- Derzeit sind Energiepflanzen der Hauptrohstoff für die Biokraftstoffproduktion. Zukünftig wird der Einsatz von Rest- und Abfallstoffen steigen und lignozellulosehaltige Pflanzen werden an Bedeutung gewinnen.
- Für die deutsche Landwirtschaft entstehen, sofern Biokraftstoffe in Deutschland und aus deutschen Rohstoffen produziert werden, v. a. alternative und nur wenig zusätzliche Absatzmöglichkeiten. Zu zusätzlicher Beschäftigung wird es nur begrenzt kommen, jedoch findet eine Beschäftigungssicherung statt. Eine zusätzliche Nachfrage kann zudem preis- und einkommenssteigernde Effekte haben.
- Im Forstsektor wird es erst mittelfristig (mit Einführung von BtL-Kraftstoffen) durch zunehmende Holznutzung Effekte geben.
- Die u. a. durch die zunehmende Biokraftstoffproduktion ausgelösten Preissteigerungen bei landwirtschaftlichen Rohstoffen kann zu steigenden Einkommen v. a. im landwirtschaftlichen Sektor und im ländlichen Raum führen. Dem stehen jedoch dann auch Belastungen der Bevölkerung durch höhere Nahrungsmittelpreise gegenüber.

9. Anhang

Auf den folgenden Seiten werden die Eigenschaften von Diesel-, Benzin- und Gas-substituten im Vergleich (2007) tabellarisch aufgelistet.

9.1 Eigenschaften Dieselsubstitute im Vergleich (2007)

	Biodiesel aus Rapsöl	Biodiesel aus Palmöl	Biodiesel aus Sojaöl	Biodiesel aus tier. Fetten	Biodiesel aus Jatropha*	Reines Pflanzenöl (Rapsöl)	BtL**	Hydrierte Öle***
Kraftstoffäquivalente	0,91	0,90	0,90	0,91	0,92	0,96	0,97	0,95
Heizwert (MJ/l)	32,65	32,36	32,36	32,68	32,90	34,59	33,45	34,30
Biomasse (t/ha)	3,5	20,0	2,9	n.a.	2,5	3,5	15,0	k.A.
Biokraftstoff (l/t Biomasse)	455	222	222	n.a.	244	440	269	k.A.
Biokraftstoff (l/ha)	1592	4440	637	n.a.	610	1539	4028	2857
l Kraftstoffäquivalente/ha	1445	3997	573	n.a.	559	1481	3907	2726
Kraftstofftrag (GJ/ha)	52	144	21	n.a.	20	53	135	98
GJ/ha (netto)	38	75	20	n.a.	k.A.	35	114	35
€/l Biokraftstoff	0,78	0,63	0,70	0,79	0,39	0,70	1,05	0,80
€/l Kraftstoffäquivalente	0,86	0,70	0,78	0,87	0,43	0,73	1,08	0,84
€/MJ	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02
€/GJ	24	19	22	24	12	20	31	23
Kostendifferenz (energetisch) Biokraftstoffe – fossil (€)	0,45	0,29	0,37	0,46	0,02	0,32	0,67	0,43
Einsparung kg CO ₂ ^e /l Biokraftstoff	1,9	2,0	1,6	2,6	k.A.	1,9	2,5	1,9
Einsparung kg CO ₂ ^e /l Kraftstoffäquivalente	2,1	2,2	1,8	2,9	k.A.	2,0	2,6	2,0
Einsparung t CO ₂ ^e /ha	3,0	8,9	1,0	n.a.	k.A.	3,0	10,2	5,5
€/t CO ₂ ^e	214	131	205	159	k.A.	159	258	214
Marktanteil (% am relevante Kraftstoffmarkt in D)	7	< 1	< 2	< 1	0	2	0	< 0,2

* Erträge beziehen sich auf karge Böden. Auf höherwertigen Flächen sind erheblich größere Erträge möglich.

** Angaben für erste Sigma-Anlage, basierend auf Dena-Studie (2006) und Choren.

*** Die Werte beziehen sich auf das stand-alone Verfahren. Für das co-processing liegen noch keine belastbaren Daten vor. Es wird aber davon ausgegangen, dass diese ähnlich sind.

9.2 Eigenschaften Benzinsubstitute im Vergleich (2007)

BE = Bioethanol

	Bioethanol aus Getreide	Bioethanol aus Zuckerrüben	Bioethanol aus Zuckerrohr (BRA)	Bioethanol aus Mais (USA)	Bioethanol aus Cassave (Asien)	Bioethanol aus Lignozellulose (Stroh)*	BE aus lignozelluloseh. Restströmen*
Kraftstoffäquivalente	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Heizwert (MJ/l)	21,17	21,17	21,17	21,17	21,17	21,17	21,17
Biomasse (t/ha)	7	58	73	9	19	3	1
Biokraftstoff (l/t Biomasse)	387	108	88	400	200	342	371
Biokraftstoff (l/ha)	2531	6252	6381	3740	3700	985	223
l Kraftstoffäquivalente/ha	1651	4079	4163	2440	2414	640	145
Kraftstofftrag (GJ/ha)	55	132	135	79	78	21	5
GJ/ha (netto)	52	120	116	40	k.A.	18	k.A.
€/l Biokraftstoff	0,55	0,53	0,20	0,34	0,40	0,64	0,67
€/l Kraftstoffäquivalente	0,84	0,81	0,31	0,52	0,61	0,98	1,03
€/MJ	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
€/GJ	26	25	9	16	19	30	32
Kostendifferenz (energetisch) Biokraftstoffe – fossil (€)	0,46	0,43	- 0,07	0,14	0,23	0,60	0,65
Einsparung kg CO ₂ ^e /l Biokraftstoff	1,5	1,5	1,6	0,5	k.A.	1,6	1,9
Einsparung kg CO ₂ ^e /l Kraftstoffäquivalente	2,2	2,3	2,5	0,8	k.A.	2,4	2,9
Einsparung t CO ₂ ^e /ha	3,7	9,4	10,2	1,9	k.A.	1,5	0,4
€/t CO ₂ ^e	208	187	- 30	182	k.A.	248	227
Marktanteil (% am relevante Kraftstoffmarkt in D)	0	> 0	ca. 30 in BRA	ca. 2 in USA	keine relevanten Anteile in Asien	0	0

* Beim Rohstoffanbau für die Produktion von Bioethanol aus Lignozellulose fallen auf der Fläche zusätzlich Produkte an, die in der Nahrungsmittel- oder Ethanolproduktion verwendet werden können. Die THG-Einsparungen/ha sind ebenfalls relative gering, fallen aber zusätzlich zu möglichen Einsparungen durch die Nutzung des Hauptproduktes an.

9.3 Eigenschaften Gassubstitute im Vergleich (2007)

	Biogas (Angaben für Biomethan)	Bio-Wasserstoff*
Kraftstoffäquivalente	1,40	3,51
Heizwert (MJ/l)	50	120
Biomasse (t/ha)	45	15
Biokraftstoff (l/t Biomasse)	79	90
Biokraftstoff (l/ha)	3555	1350
l Kraftstoffäquivalente/ha	4977	4739
Kraftstoffertrag (GJ/ha)	178	162
GJ/ha (netto)	130	120
€/l Biokraftstoff	1,05	3,12 – 4,44
€/l Kraftstoffäquivalente	0,75	0,89 – 1,26
€/MJ	0,02	0,026 – 0,037
€/GJ	21,06	26 – 37
Kostendifferenz (energetisch) Biokraftstoffe – fossil (€)	0,36	0,6 – 0,97
Einsparung kg CO ₂ ^e /l Biokraftstoff	2,08	k.A.
Einsparung kg CO ₂ ^e /l Kraftstoffäquivalente	1,49	k.A.
Einsparung t CO ₂ ^e /ha	7,4	k.A.
€/t CO ₂ ^e	240,0	k.A.
Marktanteil (% am relevante Kraftstoffmarkt in D)	0	0

* Der Wirkungsgrad von Wasserstoff in BZ-Fahrzeugen ist ca. doppelt so hoch wie bei konventionellen Antriebssystemen. Die Biowasserstofferträge schwanken je nach Verfahrensoptimierung stark.

10. Quellen

- Baitz, M. et al. (2004): Vergleichende Ökobilanz von SunDiesel (Choren-Verfahren) und konventionellem Dieselmotorkraftstoff. Auftraggeber: Volkswagen AG und DaimlerChrysler AG. September 2004.
- Biodiesel – The Official Site of the National Biodiesel Board of the US. www.biodiesel.org.
- BMELV (2007): Agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung 2007 und frühere Jahrgänge.
- BMELV (2005): Biokraftstoffe. Strategie für Mobilität von morgen, Berlin.
- BMU (2007): Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Endbericht. Vorgelegt von: Institut für Energetik und Umwelt.
- BMU (2007): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklungen. Internet Update, November 2007.
- BMU (2006): Erneuerbare Energien. Innovationen für die Zukunft.
- Das Erdgasfahrzeug. www.erdgasfahrzeuge.de.
- Deutsche Bundesregierung (2007): Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Erzeugung von Biomasse zur Verwendung als Biokraftstoff (Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung – BioNachV).
- Deutsche Energie-Agentur (dena) (2006): Biomass to Liquid – BtL, Realisierungsstudie (Zusammenfassung).
- E4tech (2005): The Economics of a European Hydrogen Automotive Infrastructure. A study for Linde AG by E4tech, 14th February 2005. Final report.
- EUCAR/JRC/CONCAWE (2007): Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. <http://ies.jrc.cec.eu.int/wtw.html>.
- Europäische Kommission (2008): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen.
- European Biodiesel Board. www.ebb.eu.org
- European Commission (2007). Directorate-General for Agriculture and Rural Development. The impact of a minimum 10 % obligation for biofuel use in the EU27 in 2020 on agricultural markets.
- Fachverband Biogas. www.biogas.org.
- FAOSTAT data, 2007.
- Fargione, J. et al. (2008): Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. Scienceexpress. 7 February 2008.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hrsg.) (2007): Basisdaten Biokraftstoffe. Stand: August 2007, FNR, Gülzow.
- FNR (Hrsg.) (2007): Wasserstoff aus Biomasse, Gülzower Fachgespräche, Band 25.
- FNR (Hrsg.) (2007): Biokraftstoffe – Pflanzen, Rohstoffe, Produkte.
- FNR (Hrsg.) (2006): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. 3. überarbeitete Auflage, Gülzow.

- F.O.Licht (2007): World Ethanol & Bio-fuels Report. Different numbers.
- Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (2006): Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis. Schwerpunkt: Bioogene Kraftstoffe – Kraftstoffe der Zukunft? Nr. 1, 15. Jg., April 2006.
- Gärtner, S. O., H. Helms, G. Reinhardt, N. Rettenmaier (2006): An Assessment of Energy and Greenhouse Gases of NExBTL. IFEU, on behalf of Neste Oil Corporation, Porvoo, Finland, Heidelberg.
- Gibgas. Fahren mit Erdgas. www.gibgas.de.
- Henke, J.M. (2006): Biokraftstoffe – eine weltwirtschaftliche Perspektive. Zeitschrift für angewandte Umweltforschung (ZAU), 17(2) 161-180.
- Henke, J.M., G. Klepper, N. Schmitz (2005): Tax exemption for biofuels in Germany: Is bioethanol really an option for climate policy? ENERGY, 30 (14) 2617-2635.
- Hofmann, F., A. Plättner, S. Lulies, F. Scholwin (2005): Evaluierung der Möglichkeiten zur Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz. Endbericht. Insitut für Energetik und Umwelt. Forschungsvorhaben im Auftrag der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).
- HyWeb. Das Wasserstoff und Brennstoffzellen Informations-System. www.hyweb.de
- IE (Institut für Energetik und Umwelt) (2007): Schlüsseldaten Klimagasemissionen. Welchen Beitrag kann die Biomasse zum Klimaschutz leisten? Leipzig.
- IE und ifeu (Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg) (2007): THG-Minderungsmengen und -kosten bei einer Nutzung nachwachsender Rohstoffe im energetischen Bereich. Studie für die FNR.
- IE et al. (2006): Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Untersuchung im Auftrag von BGW und DVGW. Band 1: Gesamtergebnisse und Schlussfolgerungen (Wuppertal Institut). Endbericht. Wuppertal et al., 2006.
- IEA (2004): Biofuels for Transport – An International Perspective. International Energy Agency, Paris.
- Indonesian Palm Oil Commission: Indonesian Palm Oil Statistics. Different Numbers.
- Kojima, M., D. Mitchell, W. Ward (2007): Considering Trade Policies for Liquid Biofuels. ESMAP, Worldbank, Washington, D.C.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (2006): Energiepflanzen. Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus
- KTBL (2005): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 13. Auflage, Darmstadt.
- Lèbre La Rovere, Emilio (2004): The Brazilian Ethanol Program – Biofuels for Transport. [http://www.renewables2004.de/ppt/Presentation4-SessionIVB\(11-12.30h\)-LaRovere.pdf](http://www.renewables2004.de/ppt/Presentation4-SessionIVB(11-12.30h)-LaRovere.pdf).
- Leible, L., S. Kälber, G. Kappler (2005): Entwicklungen von Szenarien über die Bereitstellung von land- und forstwirtschaftlicher Biomasse in zwei baden-württembergischen Regionen zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen. Mengenszenarien zur Biomassebereitstellung. Studie im Auftrag der DaimlerChrysler AG. Abschlussbericht, Juni 2005. Erstellt durch: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS).
- Leible, L. et al. (2007): Kraftstoff, Strom und Wärme aus Stroh und Waldrestholz – Eine systemanalytische Untersuchung – Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse. Wissenschaftliche Berichte FZKA 7170.
- Linder, H. (2007): Erzeugung und Einsatz von Biodiesel aus tierischen Fetten (FME). Unter besonderer Berücksichtigung der ökologischen Wirkungen. Schriftenreihe Agrarwissenschaftliche Forschungsergebnisse. Band 29, Hamburg.
- Macedo, Isaías de Carvalho, Manoel Regis Lima Verde Leal, João Eduardo Azevedo Ramos da Silva (2004): Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil. Government of the State of São Paulo, Secretariat of the Environment.
- Malaysian Palm Oil Board: Malaysian Oil Palm Statistics. Different Numbers.
- Mineralölwirtschaftsverband. www.mwv.de.
- Mueller, M., T. Yelden, H. Schoonover (2007): Food versus Fuel in the United States. Can Both Win in the Era of Ethanol? Institute for Agriculture and Trade Policy, September 2007.
- National Hydrogen Association. www.hydrogenus.com.
- Nexant (2007): The Feasibility of Second Generation Biodiesel Production in the UK. Executive Report. Prepared for National Non Food Crops Centre (NNFCC).
- Odebrecht, Richella, Henning Tomforde (@ Linde AG, Abteilung SUA) (2004): Fueling the Future. Preparing a Hydrogen Society. Diplomarbeit Fachhochschule Pforzheim, Hochschule für Gestaltung, Technik und Wirtschaft.
- OECD/FAO (Organisation for Economic Co-Operation and Development/ Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2007): OECD-FAO Agricultural Outlook 2007-2016.
- OECD (2006): Agricultural Market Impacts of Future Growth in the Production of Biofuels. Working Party on Agricultural Policies and Markets.
- Oil World (2007): The Independent Forecasting Service for Oilseeds, Oils & Meals Providing Primary Information – Professional Analysis – Unbiased Opinion. www.oilworld.de.
- Pölz, Werner; Stefan Salchenegger (2005): Biogas im Verkehrssektor. Technische Möglichkeiten, Potential und Klimarelevanz. Umweltbundesamt, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Berichte 283, Wien.
- Quirin, Markus., Sven O. Gärtner, Martin Pehnt, Guido A. Reinhardt (2004): THG-neutrale Wege zukünftiger Mobilität durch Biokraftstoffe. Eine Bestandsaufnahme. Endbericht. Ifeu, Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (UFOP) und Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV). Heidelberg, Mai 2004.

- Rechler, Georg (2004): Neue Fragestellungen bei der Einführungsstrategie einer Wasserstoffinfrastruktur. Diplomarbeit and der Fachhochschule München, Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen, in Zusammenarbeit mit der Firma Linde AG.
- Reijerkerk, C.J.J. (2001): Hydrogen Filling Stations Commercialisation. Final Project of C.J.J. Reijerkerk. University of Hertfordshire in conjunction with Fachhochschule Hamburg.
- Reinhardt, G., S. Gärtner, A. Patyk, N. Rettenmaier (2006): Ökobilanzen zu BTL: Eine ökologische Einschätzung. IFEU, on behalf of FNR, Heidelberg.
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten.
- Sao Paulo Sugarcane Agroindustry Union. www.unica.com.br.
- Schmidhuber, J. (2006): Impact of an increased biomass use on agricultural markets, prices and food security: a longer-term perspective.
- Schmitz, N. (Hrsg.) (2005): Innovationen bei der Bioethanolerzeugung und ihre Auswirkungen auf Energie- und Treibhausgasbilanzen. Neue Verfahren, Optimierungspotenziale, internationale Erfahrungen und Marktentwicklungen. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 26, Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Schmitz, N. (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.
- Schöpe, M. (2006): Volkswirtschaftliche Effekte der Erzeugung von Bioethanol zum Einsatz im Kraftstoffbereich. Ifo Schnelldienst, 21/2006, München.
- Schwarz, W. H., M. Slattery, J. R. Gapes (2007): The ABC of ABE. BioWorld EUROPE, 02-2007, 8-10.
- Searchinger, t. et al. (2008): Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land Use Change. Scienceexpress. 7 February 2008.
- Smeets, E., M. Junginger, A. Faaij, A. Walter, P. Dolzan (2006): Sustainability of Brazilian bioethanol. Utrecht University, State University of Campinas. Study commissioned by SenterNovem.
- Sriroth, K., B. Lamchaiyaphum, K. Piyachomkwan (2006): Present situation and future potential of cassava in Thailand.
- Sriroth, K., et al. (2003): Development of raw material management plan for ethanol industry in Thailand Solare Wasserstoffwirtschaft mit Biomasse. www.bio-wasserstoff.de/h2/index.
- Stotz, Kathrin, Edgar Remmele (2005): Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland. Berichte aus dem TFZ 3, Technologie und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing, Januar 2005.
- Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. www.ufop.de.
- United Nations Conference on Trade and Development (2006): The Emerging Biofuel Market: Regulatory, Trade and Development Implications. New York, Geneva.
- United States Department of Agriculture (USDA) (2007): USDA Agricultural Projections to 2016.
- United States Department of Energy (USDE) (2007): Ethanol – the complete energy lifecycle picture, 2nd rev. Edition, March 2007.
- VIEWLS: Clear Views on Clean Fuels. www.viewls.org.
- Weitz, Michael (2003): Biokraftstoffe – Potenzial, Zukunftsszenarien und Herstellungsverfahren im wirtschaftlichen Vergleich. Diplomarbeit, Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften.
- WWF (2007): Regenwald für Biodiesel? Ökologische Auswirkungen der energetischen Nutzung von Palmöl.
- Zah, R., H. Böni, M. Gauch, R. Hirschier, M. Lehmann, P. Wäger (Empa) (2007): Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, des Bundesamtes für Umwelt und des Bundesamtes für Landwirtschaft, Bern.
- ZMP. Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft GmbH. www.zmp.de.

11. Abkürzungsverzeichnis

A

AFS	Alternative Fuel Standard
AME	Altfettmethylester
atro	absolut trocken

B

bspw.	beispielsweise
B100, B5	Biodiesel. Die Ziffer gibt den jeweiligen Biodieselanteil an
BRA	Brasilien
BtL	Biomass to Liquid
BZ	Brennstoffzelle
bzgl.	Bezüglich
bzw.	beziehungsweise

C

ca.	Circa
CNG	Compressed Natural Gas
CTL	Coal to Liquid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid (chemische Formel)
CO ₂ -equiv.	Kohlenstoffdioxidäquivalente
C ₂ H ₅ OH	Bioethanol (chemische Formel)

D

DDGS	Distillers' Dried Grains with Solubles
DK	Dieselmotoren
DME	Dimethylether

E

EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
ETBE	Ethyl-Tertiär-Butyl-Ether
etc.	et cetera
evtl.	eventuell
E5, E85	Bioethanol. Die Ziffer gibt den jeweiligen Bioethanolanteil an

F

FAEE	Fetty Acid Ethyl Ester
FAME	Fetty Acid Methyl Ester
FAPRI	Food and Agricultural Policy Research Institute
F&E	Forschung und Entwicklung
FFVs	Flexible Fuel Vehicles
FME	Fettmethylester
FNR	Fachagentur Nachhaltende Rohstoffe e.V.
FT	Fischer-Tropsch

G

ggfs.	gegebenenfalls
GJ	Giga Joule
GTL	Gas to Liquid

H

Ha	Hektar
HTU	Hydro Thermal Upgrading
H ₂	Wasserstoff (chemische Formel)
H ₂ O	Wasser (chemische Formel)

J

J.	Jahr
----	------

K

k.A.	keine Angabe
kg	Kilogramm
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung

L

l	Liter
LPG	Liquified Petroleum/Natural Gas
Gas	

M

m ³	Kubikmeter
Mio.	Millionen
MJ	Mega Joule
Mrd.	Milliarden
MTBE	Methyl-Tertiär-Butyl-Ether

N

Nawaro	Nachwachsende Rohstoffe
--------	-------------------------

O

O	Sauerstoff (chemische Formel)
OK	Ottokraftstoff

R

RFS	Renewable Fuel Standard
RME	Rapsmethylester
rP	reines Pflanzenöl

S

S.	Seite
----	-------

T

t	Tonne
TAAE	Tertiär Amyl Ethyl Ether
TAME	Tertiär Amyl Methyl Ether
THG	Treibhausgas
TM	Trockenmasse

U

u. a.	unter anderem
usw.	und so weiter
UFOP	Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen

V

v. a.	vor allem
vgl.	vergleiche

Z

z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
z. Z.	zur Zeit



Teil 2

Biokraftstoffe

Daten und Fakten

1. Biokraftstoffe in Deutschland

1.1 Kraftstoffverbrauch

Tabelle 1: Biokraftstoffverbrauch in Deutschland 2007 [1.000 t]

Quelle: BAFA/FNR

	Verbrauch [1.000 t]	Verbrauch [Mio. l]	Energiegehalt [MJ/l]	Verbrauch energie-äquivalent [TJ]	Anteil energie-äquivalent [%]
Diesekraftstoff	27.635	33.295	35,87	1.194.298	52,48 %
Ottokraftstoff	20.837	28.158	32,48	914.575	40,18 %
Biodiesel	3.318	3.775	32,65	123.245	5,42 %
Pflanzenöl	838	911	34,59	31.507	1,38 %
Bioethanol	461	584	21,06	12.289	0,54 %
Gesamtkraftstoffverbrauch	53.089	66.722	–	2.275.915	100,00 %

Primärkraftstoffverbrauch Deutschland 2007

Quelle: BAFA/FNR

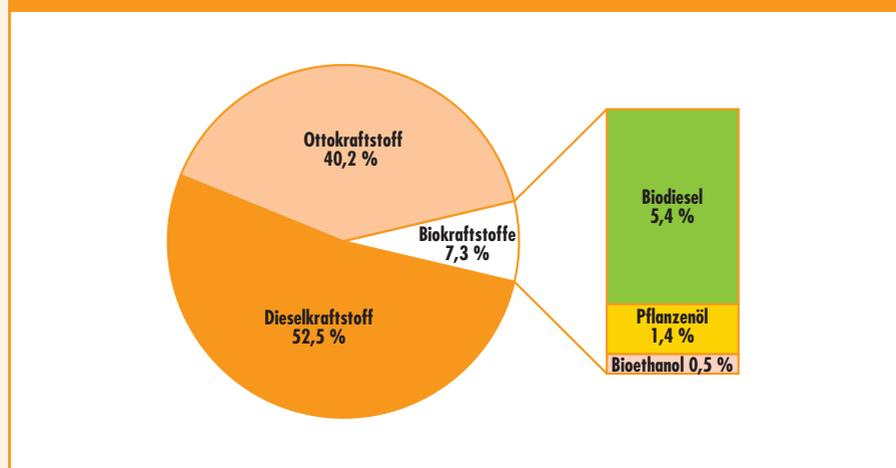


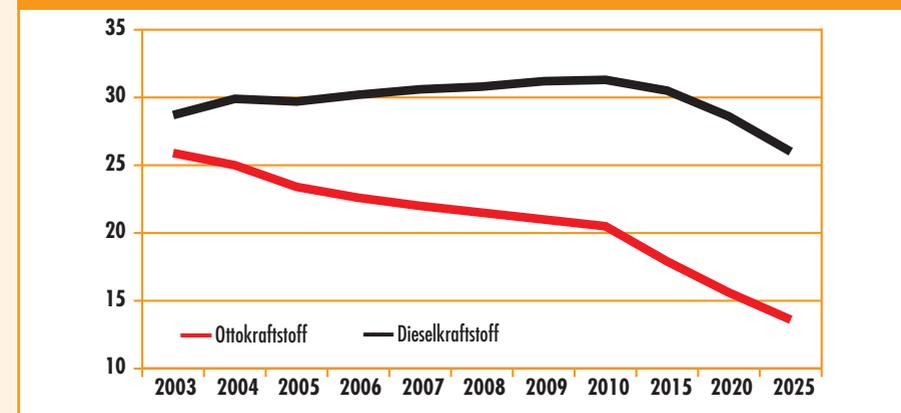
Tabelle 2: Prognose Kraftstoffabsatz Deutschland [Mio. t]

Quelle: MWV: Ölprognose 2005

Jahr	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2015	2020	2025
Ottokraftstoffe	25,9	25,0	23,4	22,6	22,0	21,5	21,0	20,5	17,9	15,6	13,6
Diesekraftstoffe	28,7	29,9	29,7	30,2	30,6	30,8	31,2	31,3	30,5	28,6	26,0
Gesamt	54,6	54,9	53,1	52,8	52,6	52,3	52,2	51,8	48,4	44,2	39,6

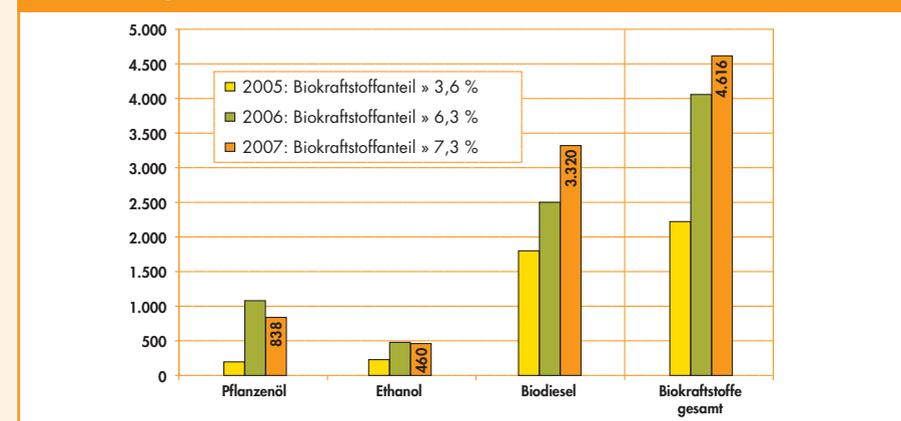
Prognose Inlandsabsatz Deutschland [Mio. t]

Quelle: MWV



Entwicklung Biokraftstoffverbrauch in Deutschland [1.000 t]

Quelle: BMF/BAFA/FNR



1.2 Rohstoffe

Tabelle 3: Entwicklung Rohstoffträge

Quelle: BMELV, FAPRI (2008)

Rohstoffträge (t/ha)	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007*	2008*
Raps	3,4	3,6	3,3	3,7	3,0	2,9	4,1	3,8	3,7	3,5	3,8
Getreide insg.	6,3	6,7	6,5	7,1	6,3	5,8	7,4	6,7	6,5	6,2	7,1
Winterweizen	7,2	7,6	7,3	7,9	6,9	6,6	8,2	7,5	7,2	7,0	8,1
Mais (USA)	8,4	8,4	8,6	8,7	8,1	8,9	10,1	9,3	9,4	k.a.	k.a.
Zuckerrüben	53,2	56,4	61,7	55,2	58,3	53,3	61,7	60,2	57,4	64,2	k.a.
Zuckerrohr (BRA)	62,0	62,8	55,2	64,4	66,5	71,1	72,1	68,9	70,4	71,4	k.a.

*Schätzung

Tabelle 4: Entwicklung Rohstoffträge Winterraps

Quelle: BMELV/Ufop

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Anbaufläche in 1000 ha	1.218	1.267	1.323	1.410	1.539	1.365
Ernte in 1000 t	3.556	5.237	5.005	5.297	5.301	5.142
Ertrag in t/ha	2,92	4,13	3,78	3,76	3,45	3,77

Entwicklung Rohstoffträge Winterraps

Quelle: BMELV/Ufop

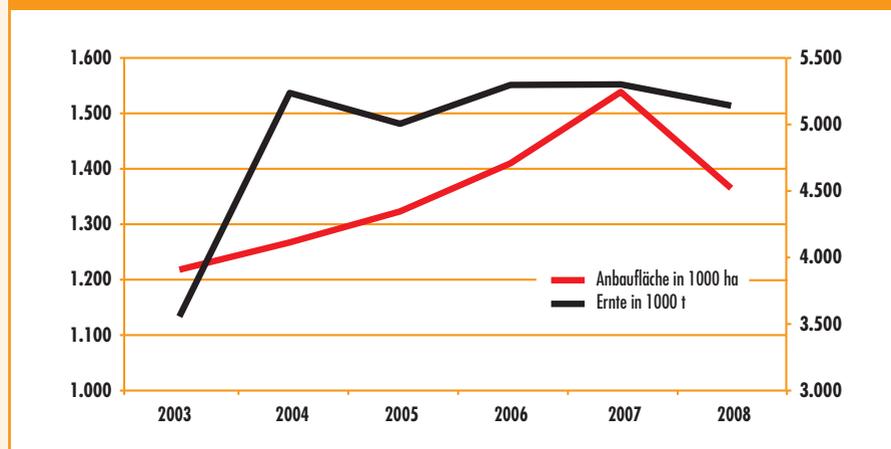


Tabelle 5: Verarbeitung Raps/ Rübsen in Deutschland [Mio. t]

Quelle: OVID

	2002	2004	2005	2006	2007
Verarbeitung Raps/ Rübsen	4,5	4,9	5,6	6,1	6,6

1.3 Pflanzenöl

Tabelle 6: Pflanzenölkraftstoff Entwicklung Absatz [1.000 t/a]

Quelle: BMF/BMU/FNR

	2004	2005	2006	2007
Absatz	5	196	1.084	838

Tabelle 7: Anzahl dez. Herstellungsanlagen Pflanzenöl

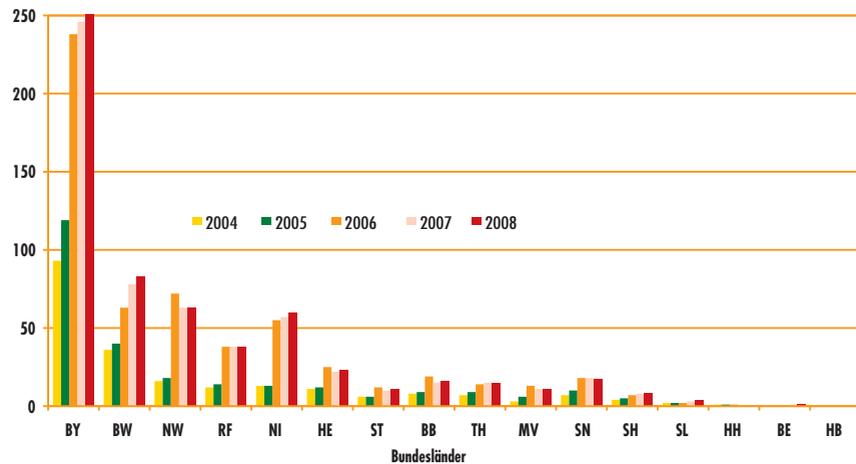
Quelle: KTBL/TFZ

	Stand	1999	2004	2005	2006*	2007**	2008***
Bayern	BY	35	93	119	238	246	251
Baden-Württemberg	BW	22	36	40	63	78	83
Nordrhein-Westfalen	NW	0	16	18	72	63	63
Rheinland-Pfalz	RF	2	12	14	38	38	38
Niedersachsen	NI	1	13	13	55	57	60
Hessen	HE	6	11	12	25	22	23
Sachsen-Anhalt	ST	1	6	6	12	10	11
Brandenburg	BB	0	8	9	19	15	16
Thüringen	TH	5	7	9	14	15	15
Mecklenb.-Vorpommern	MV	0	3	6	13	11	11
Sachsen	SN	1	7	10	18	18	17
Schleswig-Holstein	SH	1	4	5	7	8	8
Saarland	SL	2	2	2	2	3	4
Hamburg	HH	1	1	1	1	0	0
Berlin	BE	1	0	0	0	1	1
Bremen	HB	1	0	0	0	0	0
Gesamt		79	219	264	577	585	601

* Stand März 2007; ** Stand August 2007; *** Stand November 2008 – Aufgrund von wirtschaftlichen Schwierigkeiten ist nicht eindeutig, wie viele Ölmöhlen 2008 vorübergehend bzw. komplett stillgelegt worden sind

Anzahl dezentrale Ölmühlen in Deutschland

Quelle: KTBL/TFZ



1.4 Biodiesel

Verwendung von Biodiesel nach Nutzergruppen 2007

Quelle: AGQM

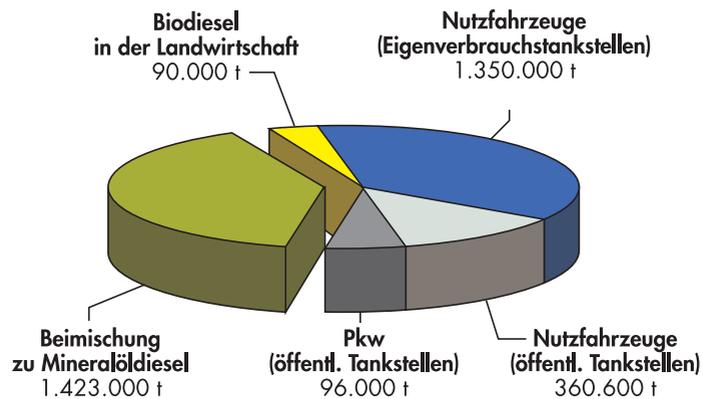


Tabelle 8: Kapazitäten, Produktion und Absatz Biodiesel in Deutschland [1.000 t/Jahr]

Quelle: Ufop, FNR, VDB

Jahr	Gesamtkapazität	Biodieselsabsatz	Produktion
2000	266	340	220
2001	507	450	227
2002	850	550	450
2003	1.106	700	750
2004	1.238	1.000	980
2005	1.976	1.500	1.450
2006	3.552	2.500	2.400
2007	4.390	3.320	2.800

Entwicklung Biodiesel in Deutschland

Quelle: Ufop, FNR, VDB

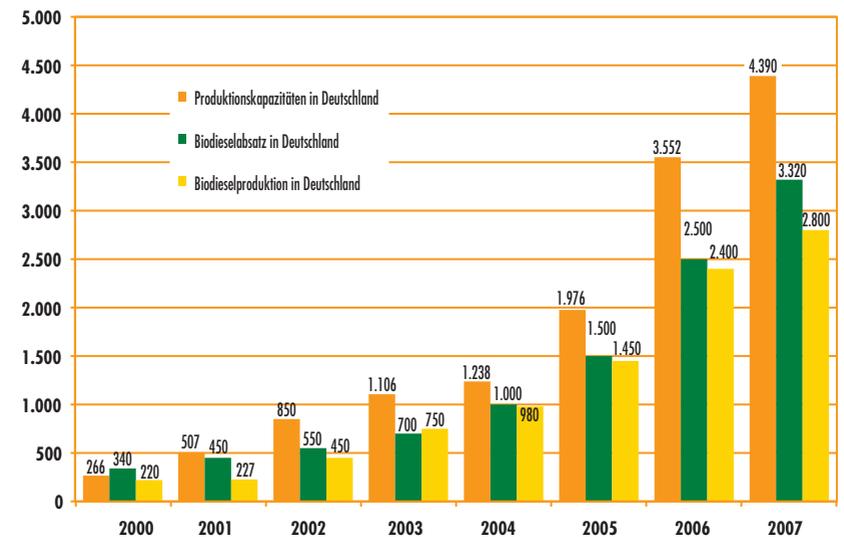


Tabelle 9: Biodieselproduktionskapazitäten in Deutschland

Quelle: UFOP, AGQM, FNR

Betreiber / Werk	Ort	Bundesland	Kapazität (t/Jahr)	Produktionsbeginn
ADM Oelmühle Hamburg AG (Werk Hamburg)	Hamburg	HH	580.000	seit 9/2001
ADM Soya Mainz GmbH	Mainz	RP	275.000	seit 11/2006
Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH	Magdeburg	ST	255.000	seit 3/2003
Cargill	Höchst	HE	250.000	
NEW Natural Energy West GmbH	Marl	NW	245.000	seit 4/2002
BIOPETROL INDUSTRIES AG (Werk Rostock)	Rostock	MV	200.000	seit 12/2006
G.A.T.E. Global Altern. Ernergy GmbH	Wittenberg	ST	200.000	
MUW Mitteldeutsche Umesterungswerke GmbH & Co. KG	Bitterfeld	ST	180.000	seit 9/2001
BIOPETROL INDUSTRIES AG	Schwarzheide	BB	150.000	seit 10/2002
Rheinische Bioester GmbH	Neuss	NW	150.000	seit 4/2003
NUW Nordbrandenburger Umesterungswerke GmbH & Co. KG	Schwedt	BB	150.000	Ende 2005
Marina Biodiesel GmbH	Brunsbüttel	SH	150.000	2. Hälfte 2005
Campa Biodiesel (Werk Straubing)	Straubing	BY	150.000	Jul 07
Biodiesel Wittenberge GmbH	Wittenberge	BB	150.000	seit 8/1999
Campa Biodiesel GmbH & Co. KG	Ochsenfurt	BY	150.000	seit 1/2000
EOP Biodiesel AG	Falkenhagen	BB	132.000	seit 2/2003
ADM Ölmühle Hamburg (Werk Leer)	Leer	NI	120.000	Sep 95
KL Biodiesel GmbH & Co. KG	Lülsdorf	NW	120.000	
Petrotec GmbH	Südlohn	NW	115.000	seit 5/2002
Oelmühle Hamburg (Werk Leer)	Leer	NI	100.000	seit 9/1995
ecoMotion GmbH (Werk Sternberg)	Sternberg	MV	100.000	seit 05/2006
ecoMotion (Werk Lünen)	Lünen	NW	100.000	seit 10/2006
Südstärke GmbH	Schrobenhausen	BY	100.000	
Mannheim Biofuel GmbH	Mannheim	BW	100.000	seit 2006
Vital Fettrecycling GmbH (Werk Emden)	Emden	NI	100.000	Okt 07
Emerald GmbH	Ebeleben	TH	100.000	

Betreiber / Werk	Ort	Bundesland	Kapazität (t/Jahr)	Produktionsbeginn
BDK Biodiesel Kyritz GmbH	Kyritz	BB	80.000	seit 10/2003
Premicon GmbH & Co. in Lubmin	Lubmin	MV	60.000	
G.A.T.E. Global Altern. Ernergy GmbH	Halle	ST	58.000	2005
TME Thüringer-Methylesterwerke GmbH & Co.	Harth-Pöllnitz	TH	55.000	seit 1/2002
Emerald Biodiesel (Werk Neubrandenburg)	Neubrandenburg	BB	45.000	Dez 07
ecodasa GmbH	Burg	BB	50.000	seit 2003
Emerald Biodiesel Neubrandenburg GmbH	Neubrandenburg	BB	40.000	seit 12/2006
Rapsveredelung Vorpommern GmbH & Co. KG	Malchin	MV	38.000	seit 5/2004
Ullrich Biodiesel GmbH / IFBI	Kaufungen	HE	35.000	
BKNBiokraftstoff Nord AG (vormals BioDiesel Bokel)	Bokel	NI	35.000	seit 9/2002
Nehlsen GmbH	Grimmen	MV	33.000	seit 09/2006
KFS-Biodiesel GmbH	Cloppenburg	NI	30.000	seit 8/2004
BioWerk Sohland GmbH	Sohland	SN	25.000	seit 7/2002
Hallertauer Hopfen-Verwertungsgesellschaft	Mainburg	BY	24.000	seit 4/1995
Kartoffelveredelung Cordes & Stoltenburg GmbH & Co. KG	Schleswig	SH	15.000	seit 5/2003
ecoMotion GmbH (Werk Malchin)	Malchin	MV	12.000	seit 10/2001
Landwirtschaftl. Produktverarbeitungs GmbH	Henningsleben	TH	6.500	seit 4/1998
BioWerk Kleisthöhe GmbH	Uckerland	BB	5.000	seit 2/2003
BKK Biodiesel GmbH	Rudolstadt	TH	4.000	seit 12/2001
Delitzscher Rapsöl GmbH & Co. KG	Wiedemar	SN	4.000	seit 1/2003
Vogtland Bio-Diesel GmbH	Großfriesen	SN	2.000	seit 1996
voraussichtl. Gesamtkapazität Ende 2008			5.078.500	

BW = Baden-Württemberg; BY = Bayern; BB = Brandenburg; HH = Hamburg; HE = Hessen; MV = Mecklenburg-Vorpommern; NI = Niedersachsen; NW = Nordrhein-Westfalen; RP = Rheinland-Pfalz; SN = Sachsen; ST = Sachsen-Anhalt; SH = Schleswig-Holstein; TH = Thüringen

1.5 Bioethanol

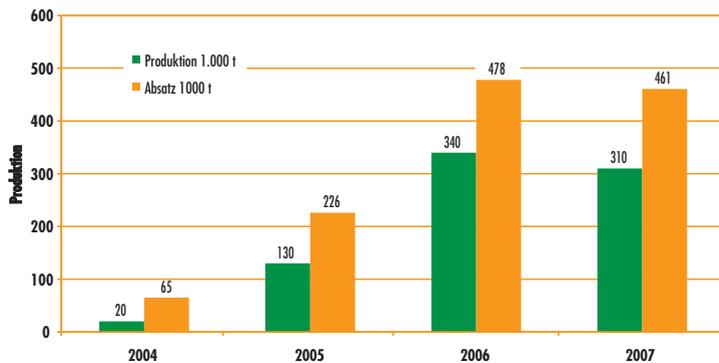
Tabelle 10: Bioethanolproduktion Deutschland

Quelle: LAB, FNR

	2004	2005	2006	2007
Produktion 1.000 m ³	30	170	430	400
Produktion 1000 t	20	130	340	310
Absatz 1000 t	65	226	478	461

Entwicklung Bioethanol in Deutschland

Quelle: LAB



Ethanolabsatz in Deutschland 2007

Quelle: BAFA, FNR

Gesamtabsatz 460.900 t

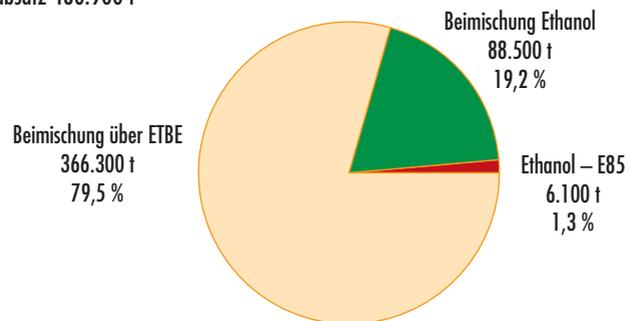


Tabelle 12: Bioethanolanlagen Deutschland

Quelle: FNR

	Kapazität		Rohstoff
	in Mio. l	in 1.000 t	
Verbio AG (Zörbig)	100	80	Getreide
Verbio AG (Schwedt)	230	200	Getreide, Zuckerrüben
CropEnergies AG (Zeitz)	360	284	Getreide, Zuckerrüben
Fuel 21 (Klein Wanzleben)	130	100	Zuckerrüben
Danisco (Anklam)	55	45	Zuckerrüben
WABIO Bioenergietechnik GmbH & Co. (Bad Köstritz)	13	10	Getreide
Bioethanolanlage Leppersdorf (Sachsenmilch AG Leppersdorf)	10	8	Melasse
KWST (Hannover)	40	32	
SASOL (Herne)	76	60	Absolutierung
Gesamt	1.014	819	

1.6 Preise

Biodiesel und Pflanzenölpreise [Cent/l]

Quelle: ZMP, UFOP

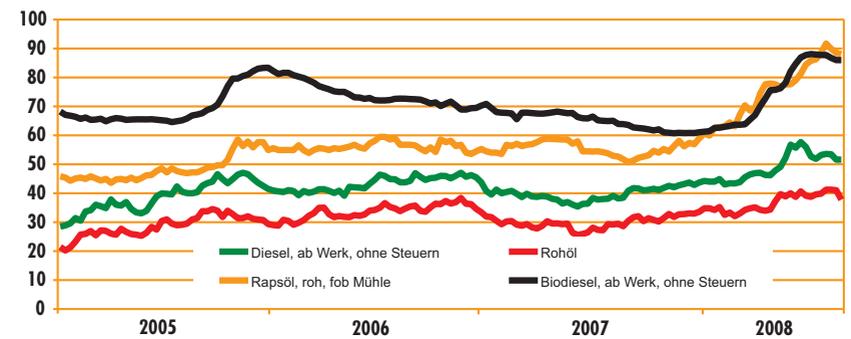


Tabelle 13: Entwicklung Pflanzenölpreise [EUR/t]

Quelle: ZMP

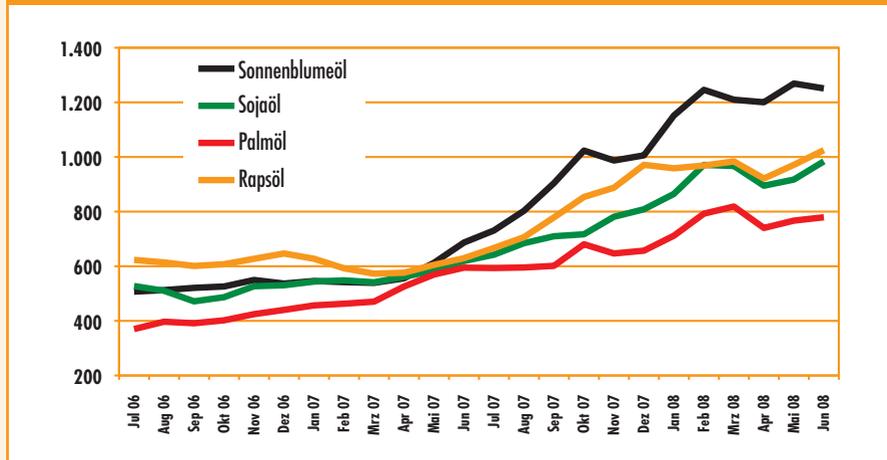
	Sonnenblumeöl	Sojaöl	Palmöl	Rapsöl
Jan 07	545,96	543,80	456,60	627,40
Feb 07	541,84	548,25	462,76	592,50
Mrz 07	539,16	541,25	470,33	572,75
Apr 07	555,75	561,00	525,73	576,25
Mai 07	612,59	584,60	569,65	605,00
Jun 07	686,75	619,00	594,75	629,50
Jul 07	731,00	642,25	593,50	667,00
Aug 07	802,91	684,40	595,40	706,40
Sep 07	904,14	709,75	601,41	778,75
Okt 07	1.023,50	717,00	680,54	853,60
Nov 07	987,09	781,00	646,71	887,50
Dez 07	1.005,98	808,50	656,99	971,25
Jan 08	1.151,87	864,80	711,80	958,60
Feb 08	1.245,83	971,00	792,54	968,75
Mrz 08	1.209,68	967,00	818,58	983,75
Apr 08	1.200,40	894,80	740,15	921,20
Mai 08	1.268,88	917,36	766,97	971,24
Jun 08	1.251,06	984,00	779,29	1.025,00

Tabelle 14: Fossile Kraftstoffpreise (Verbraucherpreise Tankstelle, [Cent/l]) Quelle: MWV

	Diesel	Super	Normalbenzin	Rohölpreis
Jan 05	96,4	109,9	107,8	44,23
Mrz 05	101,7	115,1	112,9	52,91
Mai 05	104,5	119,4	117,1	48,56
Jul 05	111,5	126,6	124,3	57,58
Sep 05	112,9	136,2	133,9	62,91
Nov 05	110,6	123,5	121,5	55,17
Jan 06	110,3	126,9	124,5	63,05
Mrz 06	111,9	126,8	124,8	62,09
Mai 06	113,7	135,1	132,7	69,83
Jul 06	115,9	138,2	136,2	73,66
Sep 06	110,3	124,5	122,5	61,71
Nov 06	108,3	120,9	118,9	58,92
Jan 07	108,3	123,7	121,4	53,68
Mrz 07	112,0	130,1	127,6	62,15
Mai 07	114,5	139,0	137,0	67,23
Jul 07	116,5	138,2	136,2	77,01
Sep 07	118,4	136,5	135,0	76,87
Nov 07	131,3	141,9	141,0	92,61
Jan 08	126,3	137,5	137,2	92,00
Mrz 08	133,4	141,8	141,8	103,66
Mai 08	145,8	148,6	148,6	122,73
Jul 08	149,2	152,9	152,9	133,18
Sep 08	136,9	146,6	146,6	98,13
Nov 08	120,8	121,8	121,6	52,51

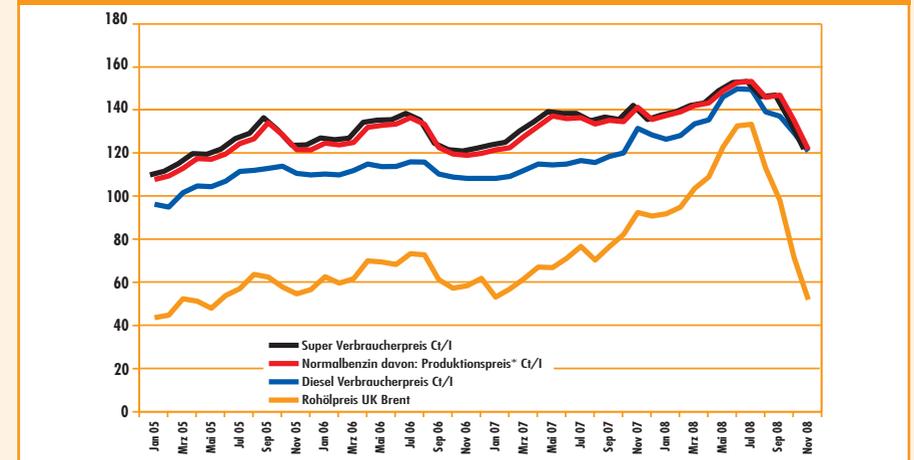
Entwicklung Pflanzenölpreise [EUR/t]

Quelle: ZMP



Fossile Kraftstoffpreise (Verbraucherpreise Tankstelle, [Cent/l])

Quelle: MWV



1.7 Aktuelle Rahmenbedingungen Deutschland

Tabelle 15: Energiesteuergesetz (EnergieStG)

Jahr	Biodiesel	Pflanzenöl
	(Energiesteuer in Cent/l)	
Aug. 2006	9	0
2007	9	2,15
2008	15	10
2009	21 18,3*	18
2010	27 24,5*	26
2011	33 30,4*	33
2012	45 42,2*	45
2013	45 45,0*	45

*Gesetzesentwurf Okt. 2008

Tabelle 16: Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG) ab 2007

Jahr	Quote Dieselkraftstoff	Quote Ottokraftstoff	Gesamtquote		
2007	4,4%	1,2%	–		
2008	↓	2,0%	–		
2009		2,8%	6,25%	5,25 %*	
2010		3,6%	2,8 %*	6,75%	6,25 %*
2011				7,00%	
2012				7,25%	
2013			7,50%		
2014			7,75%	6,25 %*	
2015	4,4%	3,6%	8,00%	3,00 %*	

*Gesetzesentwurf Okt. 2008

Die Qualitäts-Norm für Dieselkraftstoff DIN EN 590 begrenzt die **Zumischung von Biodiesel¹⁾ auf 5%**, die DIN 51628 auf 7%.

Für Ottokraftstoffe ist laut DIN EN 228 die **Beimischung von bis zu 5% Bioethanol²⁾ bzw. 15% ETBE** erlaubt.

1) Biodiesel/FAME nach DIN EN 14214

2) unvergällt > 99 % (Bioethanol nach Entwurf DIN EN 15376)

2. Biokraftstoffe EU27

2.1 Biodiesel

Tabelle 17: Biodieselkapazitäten EU 27

Quelle: EBB,Ufop (2008)

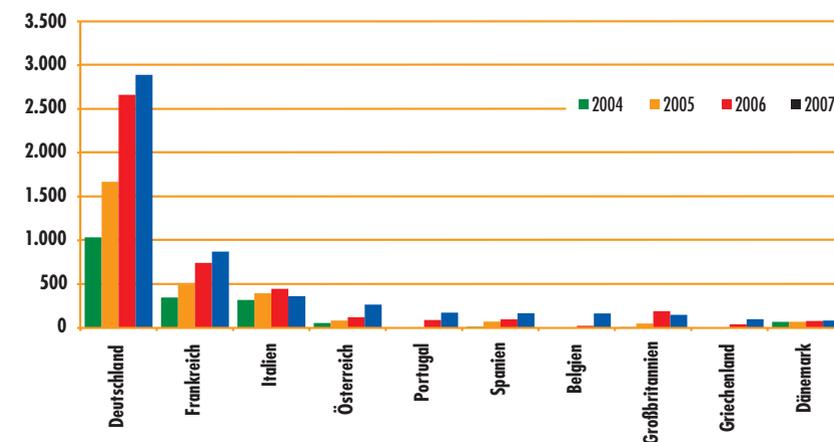
Land	Biodieselkapazität in 1.000 t				
	2004	2005	2006	2007	2008
Deutschland	1.088	1.903	2.681	4.361	5.079
Frankreich	502	532	775	780	1.980
Italien	419	827	857	1.366	1.566
Spanien	70	100	224	508	1.267
Großbritannien	15	129	445	657	726
Belgien	0	55	85	335	665
Niederlande	0	0	0	115	571
Griechenland	0	35	75	440	565
Österreich	100	125	134	326	485
Polen	0	100	150	250	450
Portugal	0	6	146	246	406
Bulgarien	0	0	0	65	215
Schweden	8	12	52	212	212
Slowakei	0	89	89	99	206
Tschechien	0	188	203	203	203
Ungarn	0	0	12	21	186
Finnland	0	0	0	0	170
Litauen	0	10	10	42	147
Dänemark	44	81	81	90	140
Estland	0	10	20	35	135
Lettland	0	5	8	20	130
Rumänien	0	0	0	81	111
Irland	0	0	0	6	80
Slowenien	0	17	17	17	67
Malta	0	2	3	8	8
Zypern	0	2	2	6	6
Luxemburg	0	0	0	0	0
EU 27	2.246	4.228	6.069	10.289	15.776

Tabelle 18: Biodieselproduktion in den EU 27 Quelle: Europäischer Biodieselverband (EBB), 2008

Land	Biodieselproduktion in 1.000 t			
	2004	2005	2006	2007
Deutschland	1.035	1.669	2.662	2.890
Frankreich	348	492	743	872
Italien	320	396	447	363
Österreich	57	85	123	267
Portugal		1	91	175
Spanien	13	73	99	168
Belgien		1	25	166
Großbritannien	9	51	192	150
Griechenland		3	42	100
Dänemark	70	71	80	85
Niederlande			18	85
Polen		100	116	80
Schweden	1,4	1	13	63
Tschechien	60	133	107	61
Slowakei	15	78	82	46
Finnland			0	39
Rumänien			10	36
Litauen	5	7	10	26
Slowenien		8	11	11
Lettland		5	7	9
Bulgarien			4	9
Ungarn			0	7
Irland			4	3
Malta		2	2	1
Zypern		1	1	1
Estland		7	1	0
Luxemburg			0	0
Weitere Länder	1.551	2.676	4.201	-
EU 27	1.933	3.184	4.890	5.713

Biodieselproduktion EU 27 [1.000 t]

Quelle: EBB, 2008



2.2 Bioethanol

Tabelle 19: Bioethanol Produktion EU

Quelle: ebio

Land	2004	2005	2006	2007
Frankreich	101	144	293	539
Deutschland	25	165	431	394
Spanien	254	303	396	348
Polen	48	64	161	155
Schweden	71	153	140	70
Italien	0	8	78	60
Tschechien	0	0	15	33
Slowakei	0	0	0	30
Ungarn	0	35	34	30
Niederlande	14	8	15	14
Litauen	0	8	18	20
Großbritannien	0	0	0	20
Lettland	12	12	12	18
Finnland	3	13	0	0
Gesamt	528	913	1.593	1.731

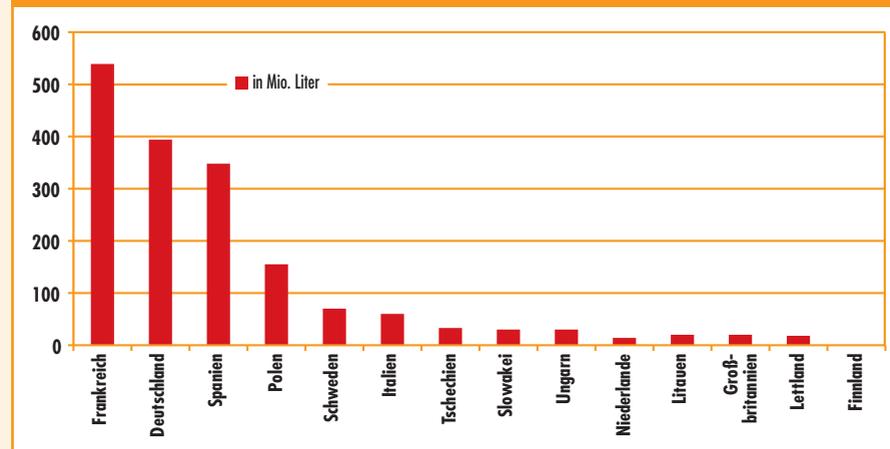
Tabelle 20: Bioethanol Produktionskapazität EU 2008

Quelle: ebio

Land	in Mio. Liter
Frankreich	1.325
Deutschland	989
Spanien	553
Italien	302
Österreich	240
Ungarn	210
Belgien	182
Schweden	155
Polen	136
Großbritannien	70
Tschechien	65
Finnland	47
Niederlande	35
Litauen	31
Rumänien	18
Lettland	12
Bulgarien	10

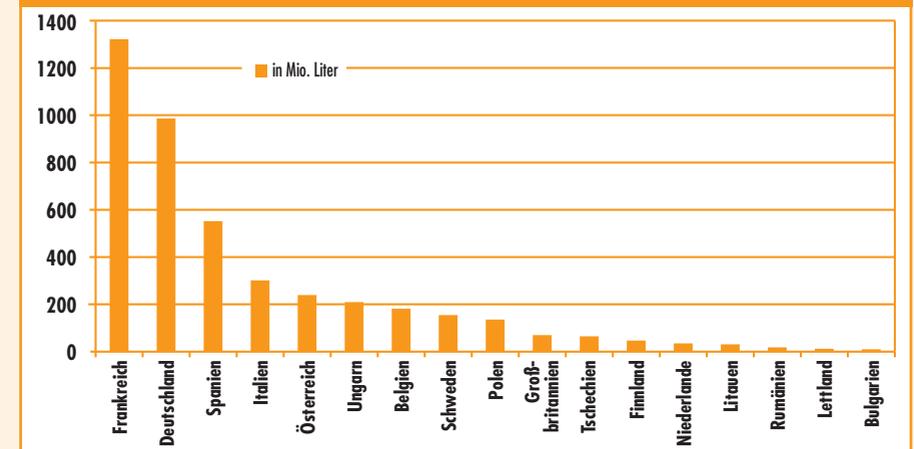
Bioethanol Produktion EU 2007

Quelle: ebio



Produktionskapazität Bioethanol 2008 EU

Quelle: ebio



2.3 Rahmenbedingungen EU27

Tabelle 21: Mineralöl- bzw. Energiesteuer und MwSt. auf Kraftstoffe

Quelle: MWV

Mineralöl- bzw. Energiesteuer und Mehrwertsteuer auf Kraftstoffe			
	Ottokraftstoff	Diesekraftstoff	Mehrwertsteuer (auf Diesel- & Ottokraft- stoffe in %)
	EURO je 1.000 l		
Belgien	592,19	331,11	21,0
Dänemark	540,96	366,19	25,0
Deutschland	654,50	470,40	19,0
Estland	287,60	245,42	18,0
Finnland	587,88	319,71	22,0
Frankreich	602,30	425,80	19,6
Griechenland	313,00	260,00	15,0
Großbritannien	708,74	708,74	15,0
Irland	442,68	368,06	21,0
Italien	564,00	416,00	20,0
Lettland	295,28	251,48	18,0
Litauen	288,17	245,89	18,0
Luxemburg	462,09	290,35	15,0
Malta	309,81	245,52	18,0
Niederlande	664,90	380,40	19,0
Österreich	426,57	335,32	20,0
Polen	424,50	306,97	22,0
Portugal	582,95	364,41	21,0
Schweden	544,50	400,30	25,0
Slowakei	455,05	425,69	19,0
Slowenien	400,03	323,30	20,0
Spanien	395,69	302,00	16,0
Tschechien	419,29	352,36	19,0
Ungarn	426,34	352,18	20,0
Zypern	301,69	246,81	15,0

Tabelle 22: EU-Mengenziele für den Biokraftstoffanteil 2006 – 2010

Quelle: EU-Kommission, Stand 01/2007

Anhang 2: Nationale Richtwerte für den Biokraftstoffanteil 2006 – 2010					
Land	2006	2007	2008	2009	2010
Österreich	2,50	4,30	5,75	5,75	5,75
Belgien	2,75	3,50	4,25	5,00	5,75
Zypern					
Tschechien	1,78	1,63	2,45	2,71	3,27
Dänemark	0,10				
Estland	2,00				5,75
Finnland					
Frankreich			5,75		7,00
Deutschland	2,00				5,75
Griechenland	2,50	3,00	4,00	5,00	5,75
Ungarn					5,75
Irland	1,14	1,75	2,24		
Italien	2,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Lettland	2,75	3,50	4,25	5,00	5,75
Litauen					5,75
Luxemburg	2,75				5,75
Malta					
Niederlande	2,00	2,00			5,75
Polen	1,50	2,30	3,45	4,60	5,75
Portugal	2,00	3,00	5,75	5,75	5,75
Slowakei	2,50	3,20	4,00	4,90	5,75
Slowenien	1,20	2,00	3,00	4,00	5,00
Spanien					
Schweden					5,75
Großbritannien			2,00 ¹	2,80 ²	3,50 ³
EU					5,45 ⁴

Quelle: Fortschrittsbericht Biokraftstoffe KOM (2006) 845

¹ 2,5 % nach Volumen bei 100 % Biodiesel ² 3,75 % nach Volumen bei einem Biodieselanteil von 66 % am Gesamtbiokraftstoffabsatz ³ 5 % nach Volumen ⁴ Anteil für diejenigen Mitgliedsstaaten, die einen Richtwert für 2010 mitgeteilt haben

Tabelle 23: Verwendung von Biokraftstoffen in den EU 25

Anhang 1: Fortschritte bei der Verwendung von Biokraftstoffen in den Mitgliedsstaaten 2003 – 2005				
Land	Biokraftstoff-anteil 2003 (in %)	Biokraftstoff-anteil 2004 (in %)	Biokraftstoff-anteil 2005 (in %)	Nationales Richtziel 2005 (in %)
Österreich	0,06	0,06	0,93	2,50
Belgien	0,00	0,00	0,00	2,00
Zypern	0,00	0,00	0,00	1,00
Tschechien	1,09	1,00	0,05	3,70 ¹
Dänemark	0,00	0,00	k.A.	0,10
Estland	0,00	0,00	0,00	2,00
Finnland	0,11	0,11	k.A.	0,10
Frankreich	0,67	0,67	0,97	2,00
Deutschland	1,21	1,72	3,75	2,00
Griechenland	0,00	0,00	k.A.	0,70
Ungarn	0,00	0,00	0,07	0,60
Irland	0,00	0,00	0,05	0,06
Italien	0,50	0,50	0,51	1,00
Lettland	0,22	0,07	0,33	2,00
Litauen	0,00	0,02	0,72	2,00
Luxemburg	0,00	0,02	0,02	0,00
Malta	0,02	0,10	0,52	0,30
Niederlande	0,03	0,01	0,02	2,00 ¹
Polen	0,49	0,30	0,48	0,50
Portugal	0,00	0,00	0,00	2,00
Slowakei	0,14	0,15	k.A.	2,00
Slowenien	0,00	0,06	0,35	0,65
Spanien	0,35	0,38	0,44	2,00
Schweden	1,32	2,28	2,23	3,00
Großbritannien	0,026 ²	0,04	0,18	0,19 ³
EU-25	0,5 %	0,7 %	1,0 % (Schätzung)	1,4 %

Quelle: Nationale Berichte gemäß Biokraftstoffrichtlinie, Fortschrittsbericht Biokraftstoffe KOM (2006) 845

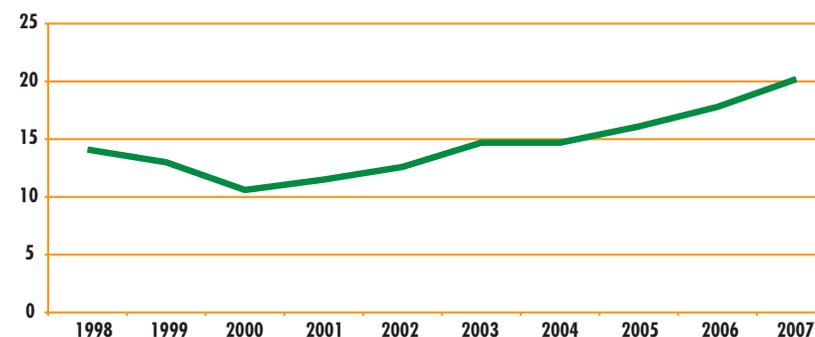
¹ 2006 ² 0,03% nach Volumen – entspricht 0,26% bezogen auf den Energiegehalt bei 100% Biodiesel

³ 0,03% nach Volumen – entspricht 0,19% bezogen auf den Energiegehalt bei einem 50:50 Verhältnis Bioethanol – Biodiesel

3. Kenngrößen Biokraftstoffe in Brasilien

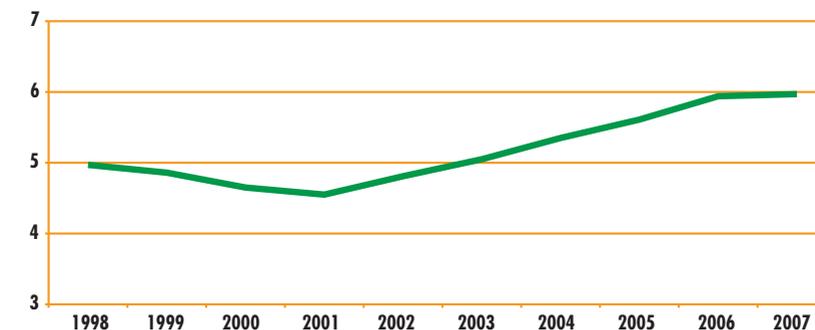
Ethanolproduktion Brasilien [Mio. m³]

Quelle: F.O.Licht, 2007



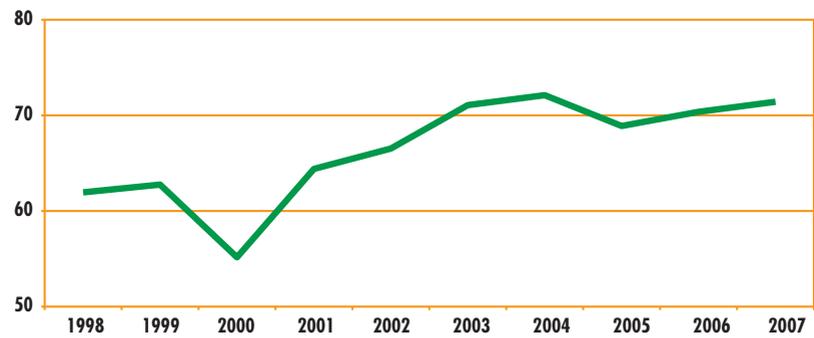
Anbauflächen Zuckerrohr in Brasilien [Mio. ha]

Quelle: FAPRI, 2008



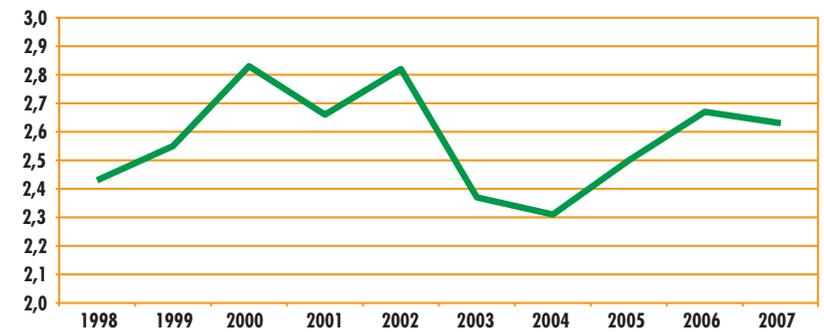
Durchschnittliche Erträge Zuckerrohr Brasilien [t/ha]

Quelle: FAPRI, 2008



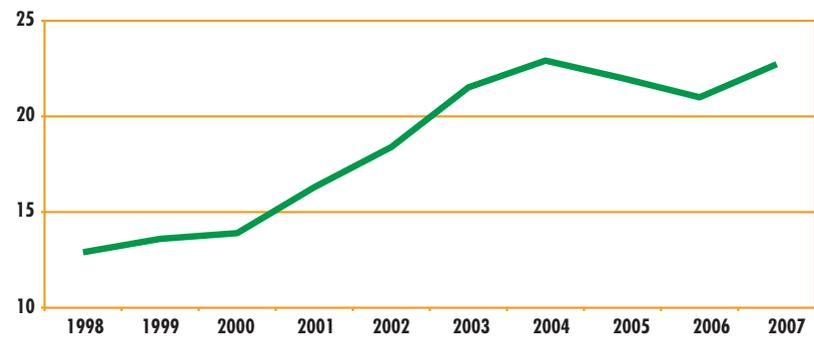
Durchschnittliche Erträge Soja in Brasilien [t/ha]

Quelle: FAPRI, 2008



Anbaufläche Soja in Brasilien [Mio. ha]

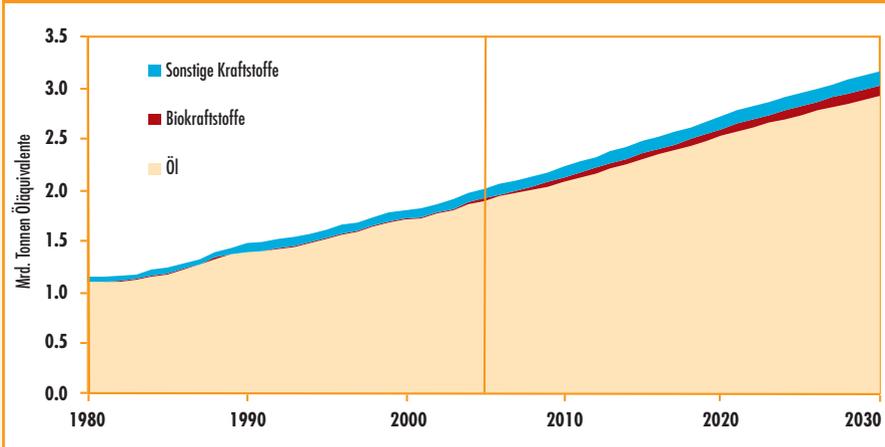
Quelle: FAPRI, 2008



4. Energieversorgung weltweit nach IEA

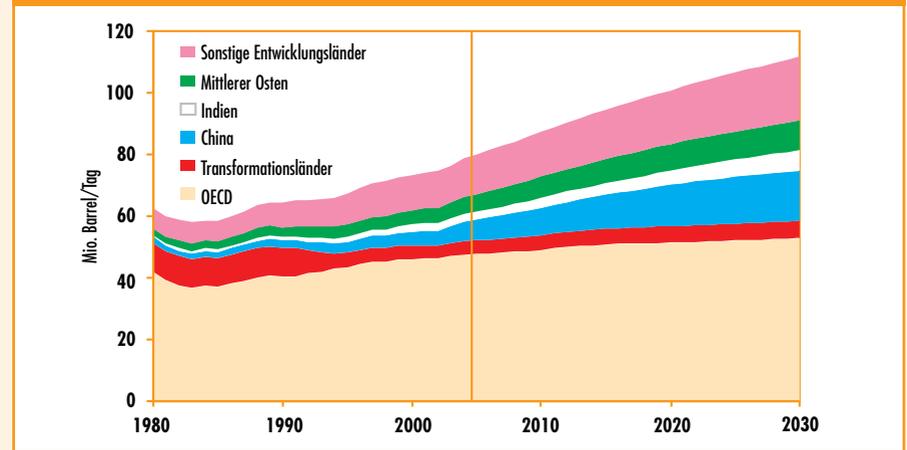
Öl wird auch in Zukunft die Energieversorgung des Transportsektors dominieren. Biokraftstoffe werden laut IEA weiterhin eine marginale Rolle spielen

Quelle: IEA, World Energy Outlook 2007



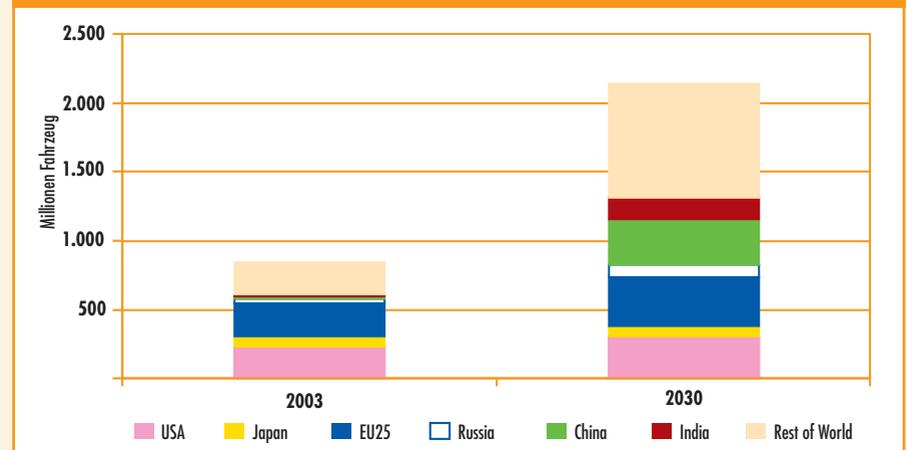
In China, Indien und anderen Entwicklungsländern steigt die Ölnachfrage am stärksten

Quelle: IEA, World Energy Outlook 2007



Der Fahrzeugbestand wächst in den Entwicklungsländern am stärksten (Referenzszenario)

Quelle: IEA, World Energy Outlook 2007







Herausgeber

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V. (FNR)
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow
Tel.: 0 38 43 / 69 30-0
Fax: 0 38 43 / 69 30-1 02
info@fnr.de • www.fnr.de

Mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums
für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Gedruckt auf Papier aus Durchforstungsholz
mit Farben auf Leinölbasis