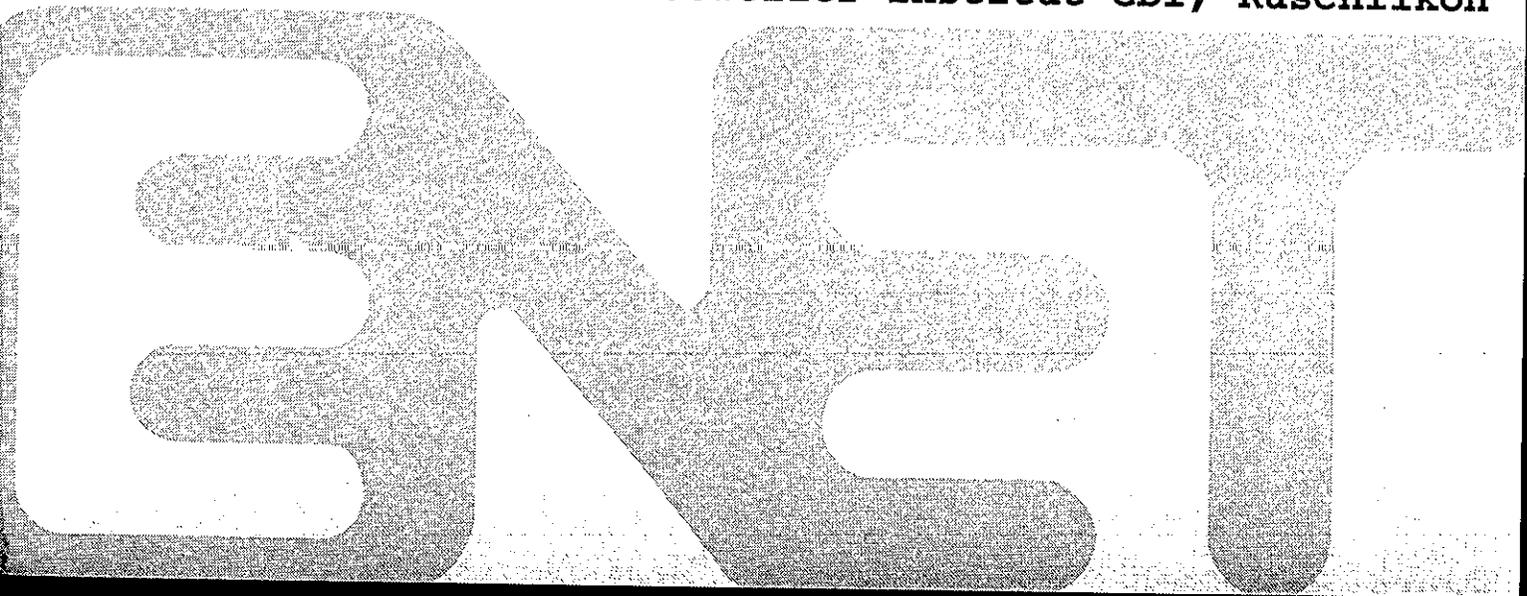


Biotreibstoffe

Tagungsband zur Veranstaltung
vom 22. Juni 1999
am Gottlieb Duttweiler Institut GDI, Rüslikon



Inhaltsverzeichnis

Referate

Biotreibstoffe <i>Markus Real</i>	7
Autofahren mit Energie aus Abfällen <i>Walter Schmid</i>	21
Produktion von Alkohol, Proteinkonzentrat und technischen Fasern <i>Stefan Grass</i>	25
BIOMETH – Methanol aus Holz <i>Samuel Stucki</i>	29
Ethanol aus Holz <i>Mark Aegler</i>	37
Ökologische und ökonomische Beurteilung von Biotreibstoffen <i>Fredy Dinkel</i>	39
Ethanol: A “green” option to gasoline <i>José Goldemberg</i>	51
BIODIESEL in der Praxis <i>Klaus Scharmer</i>	57
Biofuels within TOTAL <i>Eric Rosemberg</i>	69
Biofuels potential in Europe <i>A. Fromentin, F. Biollay, A. Dauriat, H. Lucas Porta</i>	77
Sind die Biotreibstoffe nachhaltig und volkswirtschaftlich sinnvoll? <i>Urs Gantner, Laurent Nyffenegger</i>	85

Konferenz über

Biotreibstoffe



Repro Design GmbH, Frauenfeld

Die Photomontage zeigt die Vielfalt von möglichen Treibstoffen. Biotreibstoffe sind in der dargestellten virtuellen Tankstelle in der Überzahl, aber die mineralischen Kraftstoffe dominieren weltweit mit über 99% den Markt. Ausnahmen sind Brasilien mit 25% oder die USA mit 1% Marktanteil. Das grosse Potential wird in der Schweiz erst im Promillebereich genutzt.

Real Markus, Dr. , Dipl. El. Ing. ETH
Alpha Real AG
Feldeggstrasse 89
8008 Zürich
email alphareal@access.ch
Tel +41 1 383 02 08

Biotreibstoffe

Einleitung

In den vergangenen Jahren wurden verstärkte Anstrengungen unternommen um aus Biomasse Treibstoffe herzustellen, welche im Wesentlichen die Eigenschaften der konventionellen Treibstoffe auf Erdölbasis besitzen:

- hohe Energiedichten, welche einen grossen Aktionsradius erlauben
- schnelle Auftankzeiten
- gute Lagerbarkeit
- Verwendung der bestehenden Verteilsysteme
- Verwendung der heutigen Motorentechnologie (teilweise mit geringfügigen Anpassungen)

In der Schweiz sind folgende Biotreibstoffe von Interesse:

- Methan aus biogenen Abfällen
- Öle und deren Ester aus Ölsaaten
- Ethanol aus stärke- oder zuckerhaltigen Pflanzen
- Methanol aus Altholz, Kunststoffabfällen und Verpackungsmaterialien

Die Gründe für die Nutzung von Treibstoffen aus Biomasse sind vielfältig. Zum Beispiel werden die folgenden Ziele angestrebt:

- Reduktion der Umweltbelastung im eigenen Land
- Beitrag zur Erfüllung von internationalen Vereinbarungen, wie z. B. Kioto Protokoll zur Reduktion von treibhauswirksamen Emissionen
- Schaffung von Arbeitsplätzen in der Landwirtschaft
- Reduktion der Abhängigkeit von Erdöl, speziell auch im Hinblick auf die Zukunft

Im Rahmen dieser Studie wurde abgeklärt, welche von den möglichen Treibstoffen aus Biomasse optimal zur Reduktion der Umweltbelastungen beitragen und welche Herstellungslinien eine hohe Effizienz haben. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Herstellungslinien bezüglich ihrer Umweltauswirkungen

- Treibhauspotential
- Säurebildungspotential
- Ozonbildungspotential
- Eutrophierungspotential
- Energieeffizienz

untersucht.

Im Vergleich zu anderen Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen haben Treibstoffe den Vorteil eines praktisch unbeschränkten Absatzmarktes, falls sie bestehende Motorentechnologien und Verteilsysteme, eventuell mit gerinfügigen Anpassungen, nutzen können. Andererseits müssen sie mit eingeführten Energieträgern konkurrieren, welche auf dem Weltmarkt zu Preisen unter 5 Rp pro kWh gehandelt werden und auch dann noch sehr billig sind, wenn sie mit Steuern und Zöllen belastet sind. Da die ökonomische Konkurrenzfähigkeit und technische Machbarkeit entscheidend ist für die Realisierung, müssen auch die folgenden Aspekte mitanalysiert werden:

- Kosten und Rendite
- Stand der Technik
- Anwendung und Logistik

Die ökonomische Untersuchung hat ergeben, dass mit der Produktion von Treibstoffen aus Biomasse Gewinn erwirtschaftet werden kann. Dies ist erreichbar,

- wenn es sich bei den verwendeten Rohstoffen um Abfälle handelt, welche einer Entsorgung zugeführt werden müssen, für welche bezahlt wird oder
- Koppelprodukte mit einem ökonomischen Wert anfallen oder
- die landwirtschaftlichen Rohstoffe durch Förderbeiträge oder Subventionen weiterhin unterstützt werden.

Verwertung von biogenen Abfällen zu Methan

Die Herstellung von Methan aus biogenen Abfällen ist in der Schweiz im Industriemasstab realisiert. Die Verwertung von biogenen Abfällen zu Methan ist aus ökologischer Sicht wesentlich sinnvoller als die reine Kompostherstellung, da bei der Methanherstellung sowohl Energie wie auch Kompost gewonnen wird. Zudem bewirkt diese Verwertung von biogenen Abfällen eine wesentliche Reduktion der Umweltbelastungen bezüglich aller untersuchten Indikatoren. Auf Grund der Abfallentsorgungskosten, welche bei den anderen Verwertungs- und Entsorgungswegen anfallen, ist die Herstellung von Methangas betriebswirtschaftlich interessant.

Die Verwendung in herkömmlichen Motoren ist durch eine kleinere Anpassung möglich. Allerdings sind dazu Gastanks im Auto erforderlich. Mercedes, Peugeot, Audi und Fiat bieten solche Autos auf dem Markt an. Als Verteilnetz kann das bestehende Erdgasnetz verwendet werden.

Öl und deren Ester aus Ölsaaten

Erfahrungen zur Herstellung von Ölen und Estern als Treibstoffe bestehen im In- und Ausland vor allem mit Raps. Aus ökologischer Sicht ist die Herstellung und Verwendung von Rapsmethylestern (RME) eher problematisch, da die Reduktion der treibhauswirksamen Gase sowie das energetische Substitutionspotential im Vergleich zu anderen Biotreibstoffen aus landwirtschaftlich angebauten Pflanzen, sehr gering sind. Die Herstellung von Rapsölen ist etwas besser zu beurteilen, da der Veresterungsschritt und die damit verbundenen

Umweltauswirkungen wegfallen. Jedoch ist auch hier die Energieeffizienz und Reduktion des Treibhauspotentials geringer als bei anderen Treibstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen. Zudem ist der Anbau, wie andere intensive Ackerkulturen auch, mit relativ hohen Auswirkungen bezüglich Eutrophierung und Säurebildung verbunden. Betriebswirtschaftlich ist die Herstellung von RME und Rapsölen nur mit Subventionen lohnend. In der Schweiz werden zur Zeit SFr 3'000 / ha bezahlt.

Die Verwendung von RME als Treibstoff ist mit geringen Anpassungen in Dieselmotoren möglich und erprobt. Die Verwendung von reinem Rapsöl ist nur in Spezialmotoren möglich. Als Mischungen mit Spezialbenzinen und Alkoholen ist die Verwendung in konventionellen Dieselmotoren möglich.

Verwertung von Altholz, Verpackungsabfällen und Kunststoffen zu Methanol

Die Verwertung von Altholz zu Methanol steht in Konkurrenz zur direkten Wärmenutzung mit oder ohne Wärmekraftkopplung und der damit möglichen Stromgewinnung. Bei der Herstellung von Methanol fällt ebenfalls Wärme und Strom an, ein Teil davon wird für den Prozess genutzt, der Überschuss kann in das Stromnetz eingespiessen und als Prozesswärme abgegeben werden. Zudem besteht die Möglichkeit die Methanolausbeute durch Zugabe von Wasserstoff rund um den Faktor drei zu erhöhen. Damit wird Methanol zum einfach handhabbaren Wasserstoffspeicher, z. B. für Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen. Bezüglich der Umweltauswirkungen kann die Herstellung von Methanol als Treibstoff empfohlen werden. Je nach Kosten, welche für die Entsorgung von Altholz anfallen, kann die Herstellung von Methanol betriebswirtschaftlich interessant sein.

Die Anwendung in Motoren ist bis zu Beimischungen von ca. 5% zu Benzin ist möglich. Sie ist sogar sinnvoll, da dadurch eine bessere Verbrennung erreicht werden kann (Reduktion der CO Emissionen). Die Verwendung von reinem Methanol oder Gemischen mit 80% oder mehr Methanol bedingt einfache Anpassungen der Motoren. Im Moment werden Motoren zur Serienreife entwickelt, welche die Verwendung von Methanol und Benzin zulassen (Flexi Fuel Vehicles).

Herstellung von Ethanol aus zucker- oder stärkehaltigen Pflanzen

Heute bestehen Erfahrungen zur grosstechnischen Herstellung von Ethanol aus Zuckerrohr in Brasilien und Mais in den USA. Zudem gibt es gewerbliche Produktionen und Pilotanlagen für Getreide, Zuckerhirse, Zuckerrübe und Gras. Es hat sich gezeigt, dass in der Schweiz die Herstellung von Ethanol aus Gras sowohl aus energetischer Sicht wie auch bezüglich der Umweltauswirkungen die höchsten Reduktionspotentiale beinhaltet. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist die Herstellung wirtschaftlich, wenn die bestehenden Flächenbeiträge von bei 1'500.- SFr pro ha beibehalten werden und die Koppelprodukte Protein und Fasern verkauft werden können.

Die Anwendung in Motoren ist bis zu Beimischungen von ca. 20% zu Benzin nicht nur problemlos machbar (in Brasilien im grossen Massstab realisiert), sondern sogar wünschbar, da dadurch eine bessere Verbrennung erreicht werden kann (Reduktion der CO Emissionen). Die Verwendung von reinem Ethanol oder Gemischen mit 80% oder mehr Ethanol bedingt Anpassungen der Motoren, welche jedoch auf dem Markt erhältlich sind. Im Moment werden

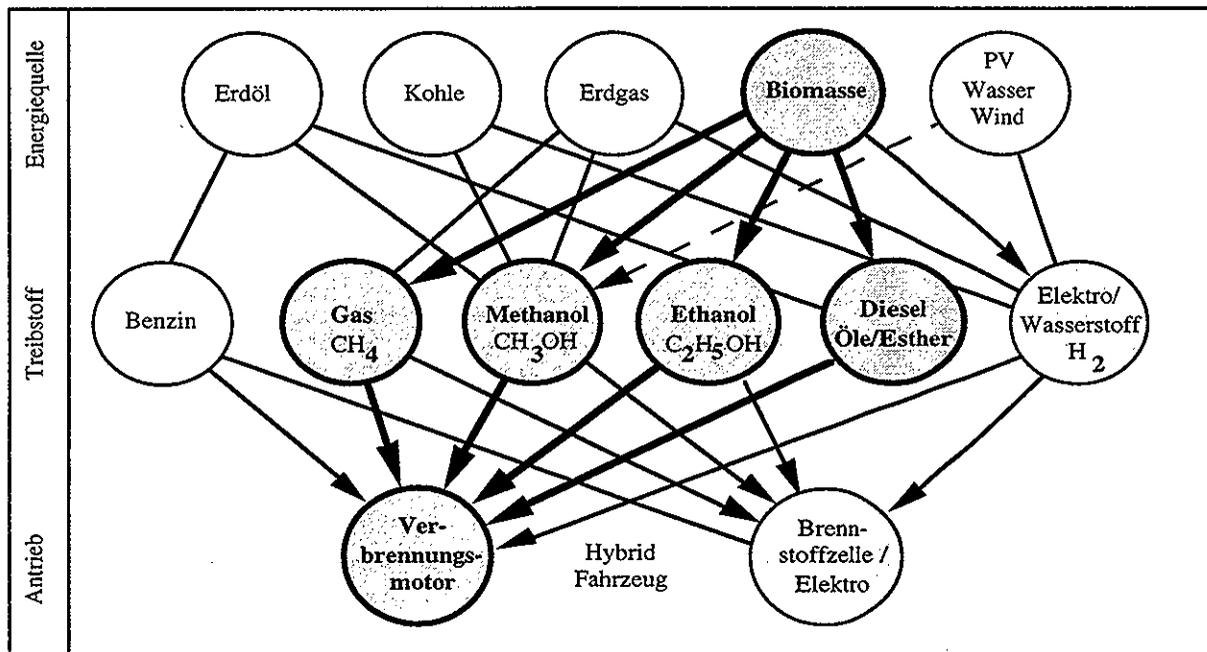
Motoren zur Serienreife entwickelt, welche die Verwendung von Ethanol und Benzin zulassen (Flexi Fuel Vehicles).

Treibstoffe - eine Übersicht

Der Begriff Treibstoff wird unterschiedlich definiert. Hier steht der Begriff für speicherbare Energieträger, die in Fahrzeugen eingelagert (getankt) werden können und den Antrieb mit Energie versorgen. Wegen der Anforderung an hohe spezifische Energiedichten kommen dazu nur Energieträger in Frage, die Energie in chemischer Form speichern (wie Kohlenwasserstoffverbindungen, Wasserstoff oder elektrochemisch).

Anforderungen und Möglichkeiten

Figur 1 zeigt eine Übersicht über die komplexe Vielfalt möglicher Energieträger, Treibstoffe und Antriebe. Dabei hat sich Erdöl in den Formen von Benzin und Diesel durchgesetzt, wobei je nach Land und gesetzlichen Anforderungen diese Treibstoffe in verschiedenen Zusammensetzungen mit zum Teil unterschiedlichsten Additiven angeboten werden, welche die Motorleistung, das Kaltstartverhalten, den Wirkungsgrad und andere Eigenschaften von Verbrennungsmotoren beeinflussen.



Figur 1 illustriert die Komplexität möglicher Energiequellen, Treibstoffen und möglichen Antrieben für Fahrzeuge. Der heute fast ausschliesslich verwendete Energieträger für Treibstoffe ist Erdöl, der in seinen Varianten Benzin und Diesel eingesetzt wird. Die in dieser Studie untersuchten Möglichkeiten der Biomasse-Nutzung als Energiequelle zur Herstellung von Treibstoffen sind als Pfeile fett markiert.

Als Energiequellen für Treibstoffe kommen gemäss Figur 1 verschiedene Energiequellen, basierend auf Kohle, Erdöl, Erdgas, Biomasse und elektrischer Stromquellen wie Wasser-, Photovoltaik- und Windkraftwerke in Frage. Dabei stehen in der Figur 1 links von der Biomasse die Energieträger, die auf nicht erneuerbaren Energiequellen basieren. Biomasse und die Energien aus PV-, Wasser- und Windkraftwerken dagegen basieren auf der erneuerbaren Solarstrahlung und haben das Potential, den Anforderungen an eine nachhaltige

Energieversorgung zu genügen. Ob ihre Energiebilanz positiv ist und die mit dem Anbau, der Verwertung und Nutzung zusammenhängenden Belastungen den Einsatz rechtfertigen und den Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung genügen, ist zum Teil aus den vorliegend erarbeiteten Resultaten ableitbar.

Obwohl die heute gebräuchlichen Treibstoffe durch Benzin und Diesel dominiert werden, gibt es eine Reihe von anderen Treibstoffen, die zum Teil bei ähnlichen Energiedichten bezüglich Nutzung Vorteile bieten. Methanol und Ethanol haben in ihrer Verbindung zudem Sauerstoff, welcher die Verbrennungstemperatur senkt und insbesondere den Schadstoffanteil bei Motoren von Kohlenmonoxid drastisch reduziert. Ethanol und Methanol werden deshalb auch als Zusatzstoffe für Benzin eingesetzt.

Die Treibstoffe Gas, Methanol, Ethanol, Diesel, Wasserstoff und Elektrizität können prinzipiell aus den nicht erneuerbaren Energiequellen Kohle, Erdöl, Erdgas wie aus der erneuerbaren Biomasse gewonnen werden. Wird Methanol aus Biomasse gewonnen, besteht zudem die Möglichkeit, grosse Mengen von Wasserstoff, der aus der erneuerbaren Solarenergie gewonnen werden kann, einzulagern.

Auch die Herstellung von Wasserstoff bzw. von Elektrizität kann grossmasstäblich aus den Energiequellen Kohle, Erdöl, Erdgas, Biomasse wie auch aus Photovoltaik-, Wasser- oder Windkraftwerken erfolgen.

Die Nutzung der Treibstoffe erfolgt entweder in herkömmlichen Verbrennungsmotoren oder allenfalls in Brennstoffzellen bzw. Elektroautos. Zusätzlich sind Kombinationen von Verbrennungsmotoren und Elektroantrieben in Hybridfahrzeugen möglich. Bei den Verbrennungsmotoren wird zudem unterschieden zwischen Motoren mit Selbstzündung (Dieselmotoren) und Motoren mit Fremdzündung (Otto-Motoren). Elektromotoren können direkt aus der in Batterien eingelagerten Elektrizität oder mittels Brennstoffzellen betrieben werden. Die Brennstoffzellen ihrerseits können mit Wasserstoff betrieben werden, der entweder in Reinform als Wasserstoff in Tanks auf den Fahrzeugen mitgeführt wird oder in Kohlenwasserstoffkombinationen in Benzin, Gas, Methanol oder Ethanol an Bord im Tank mitgeführt wird. Bei den letzteren Treibstoffen ist ein Reformer notwendig, welcher den eingelagerten Wasserstoff aus der chemischen Verbindung herauslöst und für die Brennstoffzelle als Antriebsenergie zuführt.

Auf der Suche nach einem Erdölersatz ist es wichtig, sich die hohen Energiedichten dieses in Raum und Zeit praktisch verlustlos verschiebbaren Energieträgers zu vergegenwärtigen. Ein einfaches Bild mag dies wie folgt illustrieren: Beim Auftanken eines Fahrzeuges entspricht die Leistung des Treibstoffflusses rund 30 - 50 MW. Leistungsmässig ist dies ungefähr, wie wenn der gesamte Rheinfluss bei Schaffhausen während der Betankungszeit in den Füllstutzen hinein brodeln würde. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass in rund einer Minute Betankungszeit eine Fahrleistung von 300 - 500 km von einem PW erreicht werden kann.

Beim Betanken eines Fahrzeuges, z.B. mit Strom zum Laden eines elektrochemischen Speichers (Batterie), sind die Leistungsdichten mehr als drei Zehnerpotenzen kleiner als beim Betanken mit einem chemischen Energieträger, woraus sich die entsprechend höheren Betankungszeiten ergeben. Zudem hat die kleinere Energiedichte der elektrochemischen Speicher gegenüber der reinen chemischen Speicherung in Kohlenwasserstoffen einen bedeutend kleineren Autonomieradius zur Folge.

Die folgende Tabelle zeigt einige der charakteristischen Eigenschaften der untersuchten Treibstoffe.

	Heizwert [MJ / kg]	Dichte [kg / l]	Oktanzahl ROZ	Verbrauch *	C Gehalt [Gew. %]	S Gehalt [Gew. %]	WGK **
Diesel	42.7	0.835		90%	86.6	0.045	2
Benzin	43.5	0.755	91	100%	86.6	0.024	3 (2) abh. vom Benzolgehalt
Rapsöl	37.2	0.918		85 - 100%	77.6	0.005	0 ohne Additive
RME	37.3	0.88		86 - 94%	77.3	0.010	1 ohne Additive
Ethanol	26.7	0.785	109	80%	52.2	0.000	0 ohne Vergällung
E5	41.9	0.757		100%	84.8	0.023	3
Methanol	20.0	0.785	109	80%	37.5	0.000	0 ohne Additive
Methan	54.1	0.000795	110	80%	75	0.000	0

* Verbrauch bezogen auf den Heizwert, wobei Benzin als 100% genommen wurde. Diese Werte gelten für Motoren, welche für den entsprechenden Treibstoff optimiert wurden, [aus: Die Stellung der Biomasse; S. 261].

** Wassergefährdungsklasse: 0 keine Gefährdung, 3 hohe Gefährdung

Tabelle 1 zeigt die charakteristischen Eigenschaften der wichtigsten Biotreibstoffe im Vergleich zu den herkömmlichen Treibstoffen Diesel und Benzin.

Auch das Betanken mit Wasserstoff dürfte gemäss dem heutigen Stand der Technik komplizierter sein und mehr Zeit beanspruchen, da sich Wasserstoff auch in Zukunft kaum als Flüssigkeit tanken und einlagern lassen wird.

Treibstoffe, die aus nachwachsender Biomasse gewonnen werden, unterscheiden sich in ihrer chemischen Zusammensetzung und damit in ihren Eigenschaften kaum von ihren "Vorbildern", wie sie heute bei Energieträgern, die auf fossilen Treibstoffen basieren, verwendet werden. Die Herstellung von Methan, Methanol, Ethanol und dieselähnlichen Ölen und deren Estern ist aus Biomasse möglich. Die verschiedenen Produktionslinien werden in bezug auf ihre ökonomischen, ökologischen und energetischen Parameter untersucht.

Kostensituation

Die Treibstoffkosten sind seit 1970 starken Variationen unterworfen gewesen. Tendenziell sind die Kosten für das Ausgangsmaterial Rohöl seit 1970 gesunken, indexberichtigt 1998 sogar tiefer als 1970. Im Gegenwind dieser tiefen Treibstoffpreise haben es alternative Treibstoffe, die aus erneuerbarer Biomasse hergestellt werden zur Zeit schwer, ohne fördernde

Massnahmen Marktanteile zu gewinnen bzw. zu halten. Der Preiszerfall des Erdöls liegt im Trend mit dem Preisverfall praktisch sämtlicher Rohstoffe, die heute dank verbesserten Förder- und Verteilmassnahmen günstiger zum Endverbraucher befördert werden können.

Trotzdem hat der Endverbraucher von diesem Preiszerfall nicht viel gemerkt. So ist zum Beispiel unverbleites Benzin seit 1996 praktisch konstant geblieben, obwohl die Futures für unverbleites Benzin während dieser Zeit um über 40 % gefallen sind. Der Markt für Treibstoff ist zur Zeit vollständig überverkauft, und die Preise für Rohöl so günstig wie noch nie (Stand Jahreswende 98/99).

Eine Politik, die allenfalls die Förderung von Biotreibstoffen zur Erreichung einer nachhaltigen Entwicklung einschliessen möchte, müsste deshalb auch die weitere Preisentwicklung des Ausgangsstoffes Erdöl in Betracht ziehen. Preisausschläge nach oben dürften jederzeit wieder möglich sein, auch wenn Verknappungen in den nächsten Jahren noch kaum zu einem markanten, nachhaltigen Preisanstieg führen werden.

Treibstoffe aus Biomasse

In der Folge wird unter dem Begriff Biomasse die Gesamtheit der lebenden, toten und zersetzten Organismen, einschliesslich der von ihnen produzierten organischen Substanz verstanden. Die Optik ist dabei auf die energetischen Aspekte im Zusammenhang mit der Bereitstellung, Logistik, Verarbeitung und Nutzung sowie deren allfälligen ökologischen Auswirkungen ausgerichtet. Die spezifischen Biomasseanteile werden jeweils bei Behandlung der einzelnen Biotreibstofflinien detailliert.

Die aus Biomasse erzeugten Treibstoffe werden im Folgenden gemäss ihrer Herkunft folgend auch als Biotreibstoffe definiert. Im Rahmen dieser Studie wird unterschieden, ob die Ausgangsbiomasse als Abfälle vorliegen oder speziell in entsprechenden Landwirtschaftskulturen als nachwachsende Rohstoffe angebaut werden:

- speziell zur energetischen Nutzung angebaute Biomasse aus landwirtschaftlicher oder forstwirtschaftlicher Produktion und
- die energetische Nutzung biogener Reststoffe, z.B. aus der Lebensmittelproduktion, von Speiseresten, aber auch zellulosehaltige biogene Abfälle wie Altholz oder bei der Ernte anderer landwirtschaftlicher Produkte zurückgelassene Produkte wie Stroh, Stengel etc.

Biomasse Energetische Nutzung	
Landwirtschaftlicher Anbau	Biogener Abfall
Konkurrenzierende Nutzung Agrarflächen: z.B. Food versus Fuel, Anbau von Produkten die erdöhlhaltige Produkte konkurrenzieren	Konkurrenzierende Nutzung des Abfalls: Methanol versus Wärme, Methan versus Kompostierung etc

Figur 2 Biogene Rohstoffe zur energetischen Nutzung, unterschieden nach ihrer Herkunft (Abfälle und landwirtschaftlicher Anbau nachwachsender Rohstoffe) und ihrer möglichen Konkurrenzsituation mit andersartiger Nutzung.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten zur Herstellung von Biotreibstoffen. Die Prozesse zur Überführung von Biomasse in Biotreibstoff sind im wesentlichen Vergären, Vergasen und Pyrolyse.

Biomasse	Verfahren	Treibstoff	Koppelprod	Stand Technik	Anwendung
Bioabfälle	Vergären	Gas	Kompost	erprobt	CH
Raps	Abpressen, Verestern	Öl, Diesel	Protein	erprobt	CH, BRD, A
Gras, Klee	SSF	Ethanol	Protein/Fase rn	Pilot	neu
Getreide	Vergären	Ethanol	Protein	gewerblich	D
(Alt-)Holz	Vergasen	Methanol	Wärme, Strom	Planung	Pilot in F
Kartoffel	Vergären	Ethanol	Protein	gewerblich	D
Mais	Vergären	Ethanol		Grossmstb	USA
Zuckerrohr	Vergären	Ethanol	Bagasse	Grossmstb	Brasilien
Zuckerrübe	Vergären	Ethanol		Grossmstb	F
Zuckerhirse	Vergären	Ethanol	Bagasse	Planung	
Holz	SFS	Ethanol		Labortests	USA NREL
Mikroalgen	Vergären	Öle, Ester		Studien	Holland, USA

Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die verschiedenen Biomassen, die Umwandlungsverfahren und den daraus resultierenden Treibstoff. Ferner sind aufgeführt, ob und welche Koppelpro-

dukte aus dem Prozess entstehen, der Stand der Technik, ob und wo bereits Anlagen in Betrieb sind sowie der energetische Erntefaktor (Substitutionspotential / Energie für die Bereitstellung).

Prinzipiell können für sämtliche Biomassen die drei Verfahren Vergären, Vergasen und Pyrolyse angewendet werden. Die in der Schweiz verfolgten vier Hauptlinien, welche entweder in Betrieb, in der Pilot- oder in der Planungsphase sind, können nach der folgenden «Daumenregel» eingeteilt werden:

- trockene, feste (zellulosehaltige) Stoffe werden mit Vorteil vergast oder pyrolysiert und
- nasse, stark feuchte oder sogar bereits leicht flüssige Biomasse wird mit Vorteil vergärt.

So setzt zum Beispiel die Vergasung zur Erzeugung von Synthesegasen trockene Biomasse voraus, mit einem maximalen Nässegehalt von 20 %. Stroh und Miscanthus sind ausreichend trocken, während frisch geerntetes Holz zu feucht ist, da es bis zu 60 % Wasser enthält und zuerst durch längere Lagerung getrocknet werden muss, bevor es zur Vergasung verwendet werden kann. Miscanthus sowie Stroh müssen hingegen aus Gründen der Logistik durch Pelletierung bzw. Brikettierung verdichtet werden.

Auch die Varianten, die vorwiegend ausserhalb der Schweiz angewendet bzw. untersucht werden, folgen dieser Daumenregel, mit Ausnahme der Forschungsarbeiten am National Renewable Energy Laboratory (NREL), wo neue Hefestämme zur effizienteren Vergärung von Holz gesucht werden. Diese Verfahren wird auch durch die Cellulose Attisholz AG in Luterbach seit Jahren angewendet.

Der Stand der Technik ist bei den einzelnen in Tabelle 2 aufgeführten Verfahren zum Teil recht unterschiedlich. Grossmasstäblich entwickelt sind vor allem die Verfahren zur Produktion aus Ethanol aus stark zucker- und stärkehaltigen Pflanzen.

Bei der energetischen Nutzung der Biomasse spielen auch übergeordnete Gesichtspunkte eine wichtige Rolle. Sie betreffen zum Beispiel auch Fragen, wieweit die Treibstoffproduktion aus Biomasse die Möglichkeiten der Nahrungsmittelproduktion konkurrenziert. Die Nutzung der biogenen Abfälle für die Bereitstellung von Treibstoff wird dabei von dieser Fragestellung kaum tangiert (siehe Tab. 2). Beim landwirtschaftlichen Anbau nachwachsender Rohstoffe ergibt sich dagegen zwangsweise eine Konkurrenzsituation in bezug auf die Nutzung der Produktionsflächen zur Erzeugung von Nahrungsmitteln. Dabei ergibt sich eine mögliche Diskrepanz der Optik zwischen dem aktuellen Stand und einer möglichen zukünftigen Entwicklung. Im Moment ist die Landwirtschaft in verschiedenen europäischen Ländern, insbesondere auch in der Schweiz, geprägt durch Überproduktion an landwirtschaftlichen Produkten. Dabei betreffen die Überschüsse sowohl Produkte aus dem Ackerbau (z. B. Getreide) wie auch Produkte aus der Viehwirtschaft (wie Fleisch- und Milchprodukte). Sie sind das Resultat der Ertragssteigerungen bei Getreide, steigenden Milchleistungen bei Kühen und vermehrter Produktion von Fleisch durch verbesserte Züchterfolge und verbesserte Nahrungszusammensetzung.

Zudem nahm die offene Ackerbaufläche von 245'000 ha im Jahr 1970 auf 310'000 ha im Jahr 1990 zu. Gegenläufig ging die Nachfrage in verschiedenen Bereichen wie Getreide, Fleisch und Milchprodukte zurück. Gemäss der Agrarreform soll dieser Trend durch Umstrukturierung in der Nutzung von rund 100'000 bis 150'000 ha Wies- und Ackerland erfolgen, die allenfalls für

anderweitige Nutzung wie für die Erzeugung von Biomasse für energetische Zwecke zur Verfügung stehen wird. Ähnliche Entwicklungen zeigen sich zum Beispiel auch in Holland, wo von den 2,2 Mio. ha landwirtschaftlich nutzbaren Flächen rund 500'00 ha für nachwachsende Rohstoffe mit energetischer Nutzung ausscheidbar wären. Diese Frage ist äusserst komplex und bedarf sicher einer weitergehenden Analyse.

Allenfalls muss zwischen den verschiedenen Biomasse-Rohstoffen unterschieden werden. Zum Beispiel wird bei der energetischen Nutzung von Gras auf Wiesland zwar der energiereiche Teil der Kohlenwasserstoffverbindungen durch die Ethanol-Abspaltung dem Ausgangsstoff entzogen, aber die wertvollen Proteine werden dabei in konzentrierter Form zurückbehalten und können den importierten Soyaschrot, der als Futterbeisatz verwendet wird, ersetzen. Soja seinerseits ist als Nahrungsmittel für den Menschen äusserst wertvoll und müsste dann mit der Verwertung von Gras im Wiederkäuer verglichen werden.

Marktentwicklung

In den vergangenen Jahren wurde in diesem Bereich weltweit ein neuer - wenn auch noch kleiner - Markt für die Landwirtschaft, die Dienstleistungen der Entsorgung der biogenen Grünabfälle, der Verarbeiter, der traditionellen Treibstoffhändler und der Automobilhersteller erschlossen. In Konkurrenz zu noch sehr günstigen Erdölprodukten wurden, zum Teil mit Hilfe der traditionellen Unterstützung für die Landwirte, eine bereits signifikante Zahl neuer Arbeitsplätze geschaffen. Je nach Prozess werden dabei diesel- oder benzinähnliche Treibstoffe gewonnen. Dabei können diese als Ersatz für konventionelle Kraftstoffe verwendet oder als Zusätze beigemischt werden. In der Schweiz ist die Nutzung des Potentials der Biotreibstoffe gegenüber anderen Ländern bis heute zurückgeblieben. Hier eröffnet sich in der Land- und Forstwirtschaft ein beachtliches Wachstumspotential.

In der Schweiz existiert ein umfangreiches Wissen über die verschiedenen Verfahren der Umwandlung von Biomasse in Treibstoff. In gut funktionierenden Demonstrationsanlagen werden die vielfältigen Arten der Biomasse zu Pflanzenölen und Biodiesel, zu Methan und zu Alkohol umgewandelt. Interessant ist, dass praktisch alle Sorten von Biomassen für die Treibstoffherstellung verwendet werden können. Grünabfälle eignen sich hervorragend, ebenso Holz oder Ackerpflanzen. In den letzten Jahren wurde sogar ein Prozess entwickelt, der Gras in Treibstoff umwandeln kann.

So produziert die Firma Compogas aus Küchen- und Gartenabfällen in kommerziellen Fermentationsanlagen Methan für erdgasbetriebene Fahrzeuge. Verschiedene Firmen wie zum Beispiel Agrogen in Freiburg nutzen vorab Raps zur Herstellung von Pflanzenöl, das entweder direkt in leicht angepassten Dieselmotoren oder nach einer Umwandlung als Biodiesel in herkömmlichen Motoren verwendet wird. Die Firma 2BAG aus Dübendorf hat in diesem Jahr erfolgreich die Nutzung von Gras zur Produktion von Alkohol demonstriert.

Im Ausland ist die Nutzung zum Teil sehr viel weiter vorangeschritten als in der Schweiz. Je nach Gegebenheit der lokalen Landwirtschaft werden unterschiedliche Biotreibstoffe hergestellt. In Deutschland und Österreich ist es vor allem Dieselöl, der vorwiegend aus Ölpflanzen gewonnen wird. In Brasilien und den USA wird Alkohol im grossen Stile aus angebautem Zuckerrohr oder Mais produziert.

In Brasilien etwa werden an den Tankstellen reiner Alkohol und eine Mischung Alkohol mit mineralischem Benzin angeboten. In den USA wird der Alkohol entweder als Mischung E95 verwendet oder umgeformt in ein Benzinadditiv, das die früher vom Bleizusatz erfüllte Funktion der Erhöhung der Oktanzahl übernimmt. In Deutschland wird Rapsöl meist zu einem dieselähnlichen Stoff umgeformt, während in der Schweiz zum Teil auch direkt Rapsöl in den Dieselmotoren verwendet wird. Es stellt sich die Frage, ob langfristig besser die Biotreibstoffe den Anforderungen an die Motoren - die auf mineralische Treibstoffe optimiert wurden - angepasst werden oder umgekehrt die Motoren an die Eigenschaften der neuen Biotreibstoffe. Die meisten Fahrzeughersteller haben positiv auf die Möglichkeiten der Biotreibstoffnutzung reagiert und bieten bereits modifizierte Fahrzeuge an. Viele dieser Fahrzeuge schalten automatisch um, je nachdem ob Biotreibstoff oder herkömmlicher mineralischer Kraftstoff getankt wurde.

Nachhaltigkeit durch Erneuerbarkeit der Treibstoffe

Nachhaltigkeit und Erneuerbarkeit der Energieträger hat einen Wert, aber leider (noch) keinen Preis. Zudem werden die externen Kosten bei der Nutzung mineralischer Treibstoffe dem Benutzer nicht belastet. Vor dem Hintergrund dieser Preisverzerrung rechtfertigt sich die Befreiung der Biotreibstoffe von der Mineralölsteuer und die vermehrte Unterstützung.

Biotreibstoffe können einen Beitrag auf dem Weg zur Nachhaltigkeit leisten. Sie können allerdings keine Antwort auf einen andauernden verschwenderischen Umgang mit der Ressource Treibstoff sein. Ihr Anteil kann vor allem dann signifikant werden, wenn der Gesamtverbrauch durch verbesserte Effizienzsteigerung im Fahrzeugbereich sinkt.

Tabelle 3 zeigt eine Zusammenfassung des Potentials für die Biotreibstoffe Methan (Kompostgas), Methanol aus Synthesegas, Methanol aus Synthesegas mit Wasserstoffanreicherung, Ethanol aus Gras und RME aus Raps. Beim letzteren kann als Ersatz auch das unveresterte Rapsöl als Beimischung zu Diesel verwendet werden, was aber im Potential ohne nennenswerte Auswirkung ist.

	E-Dichte MJ/Liter	Fahrleitung in % Benzin	Verbrauch l / 100 km	Potential in ha oder Mio. To	Ausbeute Liter/ha To Abfall	Fahrleistung in Mio. km
Methan	0.043		6.25	1.5 Mio To	38.5	900
Methanol	15.7	0.6	15.4	1 Mio To	320	2'100
Meth + H ₂					946	18'500
Ethanol	21	0.8	11.5	100'000 ha	2000	5'200
RME	32.7	1.11	8.3	2'000 ha	1100	79
Benzin	32.8	1	9.1			

Tabelle 3 zeigt die Zusammenfassung der Potentialabschätzung, gegliedert nach den verschiedenen Biotreibstoffen. Das Potential wird in der letzten Kolonne als Summe der möglich gefahrenen Kilometer dargestellt (in Millionen km). Dabei wird der heutige Stand der Technik zugrundegelegt (Flottenverbrauch-Durchschnitt 9 l/100 km).

Vergleicht man nun das Potential der Biotreibstoffe mit dem Import an Benzin, ergibt sich eine Deckung von rund 10 %. Legt man einen effizienteren Umgang mit dem Rohstoff Benzin zugrunde, und geht man davon aus, dass der Flottenverbrauch von heute durchschnittlich 9.0 Liter auf 100 km auf 3.5 Liter sinken würde, steigt der Deckungsanteil auf rund 30%. Zu beachten bei dieser Potentialabschätzung ist, dass bei allen Biomasseressourcen sich konkurrenzierende Nutzung vorliegt. Holz kann verbrannt werden oder in Biotreibstoff umgewandelt werden, die Kühe konkurrenzieren die Ethanolproduktion aus Gras, Klee graswiesen könnten durch ökologisch anderwertige Naturwiesen verdrängt werden ect. Auf der anderen Seite dürften auch hier Fortschritte in der Umsetzung zu besseren Ausnützung der Biomasse führen, was sich positiv auf die Potentialentwicklung von Biotreibstoffen auswirken wird.

Wie bei allen Überlegungen zur Erreichung einer nachhaltigen Entwicklung zeigt sich, dass ein Ausbau der erneuerbaren Ressourcen vor allem dann zu hohen Deckungsanteilen führt, wenn gleichzeitig der Gesamtverbrauch durch effizienteren Umgang gesenkt werden kann. Dabei wird unterstellt, dass der mittlere Verbrauch der Flotte aller Personenwagen in der Schweiz durch Umstellung auf bessere Technologien wie Magrmotoren, Brennstoffzellen und/oder Hybridautos möglich sein wird. Ein markanter Rückgang bedingt jedoch auch eine Umstellung auf leichtere Fahrzeuge. Die dazu notwendige Technologie ist vorhanden.

Flottendurchschnitt	Fahrleistung in Mio km 9.10 Liter pro 100 km	Fahrleistung in Mio km 3.5 Liter pro 100 km	Benzinersatz in Millionen Liter
Methan	900	2'700	81.9
Methanol	2'100	6'240	1'89.3
Meth + H ₂	6'150	18'500	567.5
Ethanol	1'740	5'200	158.5
RME	26.5	79	2.5

Tabelle 4 zeigt das Substitutionspotential der einzelnen Biotreibstoffe, ausgedrückt in Millionen km bei einem Flottendurchschnitt von 9.1 bzw. 3 Liter pro 100 km und in Millionen Liter Benzinersatz.

Bei einem Durchschnittspreis von rund 40 Rp/Liter, der für den Import als Devisenverlust in Rechnung steht, können dabei rund 200 bis 300 Millionen Franken eingespart werden. Unter der Annahme, dass ein Arbeitsplatz im Bereich der vermehrten Nutzung von landwirtschaftlichen Produkten für Anwendungen ausserhalb der eigentlichen Nahrungsmittelproduktion rund 40'000 Franken kostet, könnten sich dabei pro Jahr rund 5'000 neue Arbeitsplätze in diesem Gebiet schaffen.

Schmid Walter
W. Schmid AG, Umwelttechnik
Rohrstrasse 36
8152 Glattbrugg

Autofahren mit Energie aus Abfällen

Der Vorrat der Erde an fossilen Energieträgern wird vom Menschen aufgebraucht. Ihre Verbrennung ist mit der Emission von Kohlendioxid und anderen Schadstoffen verbunden, was das Klima und die Biosphäre belastet. Deshalb hat sich das vom Bund lancierte Aktionsprogramm Energie 2000 zum Ziel gesetzt, die CO₂-Emissionen wieder auf das Niveau von 1990 zu senken. Zusätzlich sollen die erneuerbaren Energien vermehrt genutzt werden. Deshalb unterstützt der Bund Kompogasanlagen. Ohne die Umwelt zusätzlich zu belasten, wird aus organischen Abfällen Biogas gewonnen, das als Treibstoff genutzt werden kann. 100 Kilogramm Biomüll reichen für eine 100 Kilometer lange Autofahrt.

Mankind is depleting the world's supplies of fossil fuels. The burning of these fuels releases carbon dioxide and other pollutants into the atmosphere, thus harming our climate and biosphere. For this reason the Swiss government has launched its Energy Action Programme 2000 which aims to reduce CO₂ emissions to 1990 levels and to increase the use of renewable energy sources. The government is, therefore, supporting Kompogas plants. These plants produce biogas from organic waste which can be used as a fuel. 100 kilograms of organic waste provides enough power for a 100 kilometre car journey.

KOMPOGAS - Erneuerbare Energie aus Biomüll

Auf der Suche nach dem Treibstoff der Zukunft zählt Gas zu den vielversprechendsten Alternativen zu herkömmlichen Treibstoffen wie Benzin und Diesel. Die Vorteile von Gasautos im Umweltbereich sind bewiesen. So bestätigt die erst kürzlich vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) durchgeführte Untersuchung "Oekopofile von Treibstoffen", dass die Emissionen von Erdgasfahrzeugen gegenüber Benzin-betriebenen Personenwagen bei den Stickoxiden (NO_x) um 53 Prozent und die Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC) um 73 Prozent tiefer liegen. Bei Lastwagen sind gegenüber Diesel die NO_x um 85, die NMHC um 92 und die Partikel um 75 Prozent reduziert. Das Fazit der Studie: Erdgas kann die Schadstoffemissionen im Strassenverkehr deutlich senken.

CO₂-neutral - 100 kg Biomüll auf 100 km

Wird ein Gasauto statt mit normalem Erdgas mit Gas betrieben, das in einer Kompogas-Anlage gewonnen und zu Erdgasqualität aufbereitet wurde, ergibt sich ein zusätzlicher Umweltvorteil. Alle so betriebenen Fahrzeuge fahren CO₂-neutral. Durch ihre Auspuffrohre wird also nur jene Menge Kohlendioxid (CO₂) ausgestossen, welche die Pflanzen etc., also der spätere Biomüll, für ihre wachstumsfördernde Photosynthese der Luft entzogen haben. Das Nehmen und Geben kommt in Einklang, der natürliche Kreislauf schliesst sich. Für 100 Kilometer braucht ein Mittelklasseauto die Energie, die in 100 Kilogramm Biomüll steckt.

Damit Kompogas als Treibstoff für Fahrzeugmotoren verwendet werden kann, wird es zu Erdgasqualität aufbereitet, auf 250 bar verdichtet und einer nachgeschalteten Schnellbetankungsanlage zugeführt. Hier kann ein Gasauto innerhalb von nur drei Minuten vollgetankt werden. Eine Kompogasanlage mit einer Jahreskapazität von 10 000 Tonnen liefert die Energie für rund 1 000 Personenwagen, die pro Jahr rund 10 000 Kilometer weit fahren. Würden in der Schweiz alle organischen Abfälle vergärt, könnte mit dem so gewonnenen Kompogas 10 Prozent des Schweizer Fahrzeugbestands mit sparsamen Mittelklasseautos betrieben werden.

Interessant sind mit Kompogas betriebene Autos auch deshalb, weil sich mittlerweile auch die Erdgasindustrie für das Gasauto stark macht und den Aufbau eines eigenen Tankstellennetzes beabsichtigt. Mancherorts besteht bereits ein Verbund zwischen Erdgas und Kompogas. Das heisst: Aufbereitetes Kompogas wird ins Erdgasnetz eingespeist und kann an jeder Erdgas-Tankstelle bezogen werden.

Wer mit Kompogas im Tank unterwegs ist, fährt über 40 Prozent billiger als mit Benzin. Das Kilogramm Kompogas kostet lediglich 95 Rappen. Umgerechnet entspricht das den Kosten von 64 Rappen pro Liter Benzin. Der Grund: Als erneuerbarer Treibstoff ist Kompogas von der Mineralölsteuer befreit. Zusätzlich werden Kompogas-Projekte auch von Bund (Aktionsprogramm Energie 2000) und Kanton Zürich unterstützt.

Gasautos ab der Stange

Heute bietet die Autoindustrie (BMW, Honda, Mercedes, Opel, Renault, Volvo, VW etc.) bereits ab Werk umweltfreundliche Erdgasautos (CNG/komprimiertes Naturgas) an. Auch bei den schweren Nutzfahrzeugen setzt sich CNG als Treibstoff immer stärker durch. Mittlerweile gibt es kaum ein Hersteller (Mercedes, Iveco, MAN, Volvo, Scania etc.) der nicht mindestens einen Gasmotor im Angebot hat.

Alle Hersteller von gasbetriebenen Fahrzeugen nutzen das gleiche, einfache Prinzip: Die Umschaltung von Benzin auf Gasantrieb erfolgt per Knopfdruck. Dies garantiert hohe Flexibilität, da sich die Reichweite im Gasbetrieb (ca. 250 km) zur Reichweite mit konventionellem Antrieb addiert. Unfallstatistiken aus Ländern mit hohem Gasauto-Bestand (Italien, Argentinien, USA, Kanada, Neuseeland) zeigen, dass der Treibstoff Gas kein zusätzliches Risiko darstellt. Seine Entzündtemperatur (650°C) liegt deutlich höher als bei Benzin (300°C), und auch die Gefahr, dass bei einem Unfall eine Flasche bersten könnte, wird praktisch ausgeschlossen. Das Sicherheitsrisiko ist kleiner als bei einem Benzin- oder Dieseltank.

Wie funktioniert die Kompogas-Anlage?

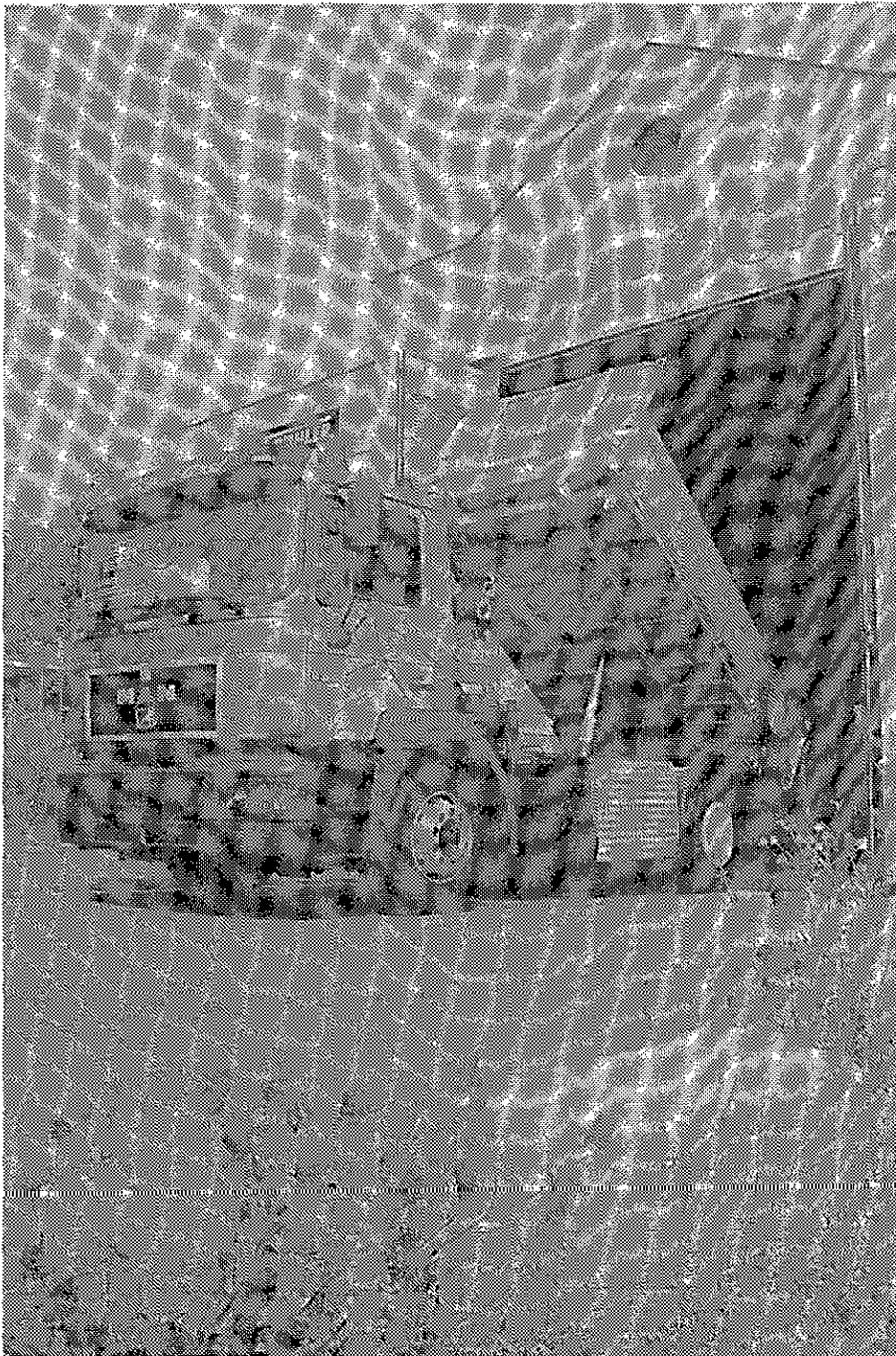
Je nach Land und Zivilisationsgrad sind zwischen 30 bis 60 Prozent aller Abfälle organischer Natur (in der Schweiz ein Drittel oder jährlich 2,6 Millionen Tonnen) und kann wiederverwertet werden. Um aus Biomüll Energie zu gewinnen werden die organischen Abfälle vergärt. So entstehen Gas sowie hochwertiger Kompost. Eine voll ausgelastete Anlage mit einer Jahreskapazität von 10 000 Tonnen verwertet die organischen Abfälle von bis zu 100 000 Einwohnern. Tag für Tag fallen so 2600 m³ Biogas mit dem Energieinhalt von 1700 Litern Benzin an.

Zwei weitere Vorteile, die zum weltweiten Siegeszug von Kompogas beitragen: Im Gegensatz zur herkömmlichen Kompostierung mit Sauerstoff arbeitet das Kompogas-Verfahren

geruchsneutral. Zudem werden unerwünschte Keimlinge und Unkrautsamen zuverlässig eliminiert.

Weltweiter Durchbruch

Das Verfahren Kompogas ist standardisiert. Standard bedeutet unter anderem, dass Kosten, Leistungen, Ertrag und Kapazität exakt definiert sind. In der Schweiz sind fünf Anlagen in Bachenbülach, Otelfingen, Rümmlang, Uzwil und Samstagern in Betrieb. Vier weitere sind im Bau oder es bestehen Baubewilligungen. Auch in Deutschland und Österreich laufen bereits mehrere Kompogasanlagen. Zudem haben zehn japanische Konzerne, darunter Takuma, Kawasaki und Hitachi, sowie der französische Grosskonzern Vivendi (früher: Société Générale des Eaux) und die deutsche Lurgi-Gruppe, der führende Anbieter für mechanisch-biologische Entsorgungsanlagen, Vereinbarungen zum Bau von Kompogasanlagen unterschrieben.



Grass Stefan, dipl. Ing. Agr. ETH
2B AG, Biomasse und Bioenergie
Neugutstrasse 66, 8600 Dübendorf
Telefon: +41-1-820 19 62, Fax: +41-1-820 19 50
E-MAIL: gotyoubabe@compuserve.com

Produktion von Alkohol, Proteinkonzentrat und technischen Fasern

Kurzfassung:

2B AG hat eine Technologie entwickelt zur Produktion von Alkohol, Proteinkonzentrat und technischen Fasern aus kostengünstiger, faserhaltiger Biomasse z.B. Gras. Die Technologie beinhaltet eine Vorbehandlung mit Dampf, darauf die gleichzeitige Verzuckerung und Fermentation, die Produktion von Cellulase-Enzymen und die Aufbereitung der Endprodukte. Die Technologie ist wirtschaftlich und umweltfreundlich. Im Frühjahr 1998 hat 2B AG eine industrielle Demonstrations- und Produktionsanlage in der Ostschweiz in Betrieb genommen. Die 2B AG Technologie eröffnet folgende Möglichkeiten / Vorteile: 1. Sie ist wirtschaftlich interessant für die Landwirte, Anlagebetreiber und Investoren. 2. Rohstoffherstellung, Verarbeitungsprozess und Endprodukte sind umweltfreundlich. 3. Sie unterstützt ländliche Strukturen und eröffnet der Landwirtschaft neue Absatzmöglichkeiten.

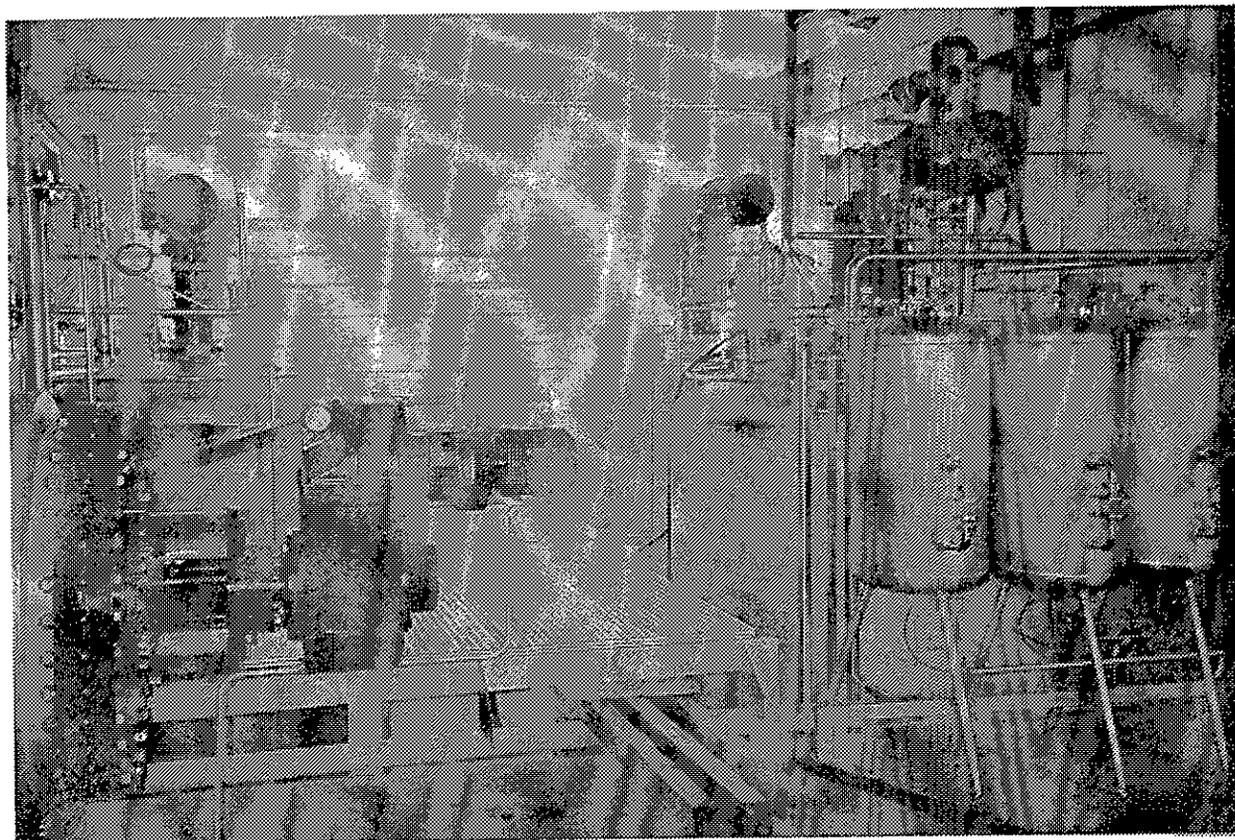
Abstract:

2B AG has developed a technology to produce ethanol, protein concentrate and technical fibers from cheap and plentiful fibrous material e.g. grass. The technology comprises steam pre-treatment of the raw material, simultaneous saccharification and fermentation, production of cellulase - enzymes and end product recovery. It is economically interesting and fully environmentally sustainable. In spring 1998, 2B AG has taken into operation an industrial demonstration and production plant in the eastern part of Switzerland. The 2B AG technology offers the following benefits: 1. It is economically interesting for farmers, plant operators and investors . 2. The technology is clean and all its products are environmentally beneficial. 3. It supports rural structures and development .

1. Technologie und Produkte

Basis für die Alkoholproduktion aus Gras sind die in Gras reichlich vorhandenen freien Zucker, sowie die in oligomeren und polymeren gebundenen Zucker. Dazu gehören Saccharose, Glukose, Fruktose, Cellulose, Fruktan und Stärke. Diese Zuckerverbindungen könne mit Enzymen in monomere und direkt von Hefe zu Alkohol vergärbare Zucker gespalten werden.

Die 2B AG Technologie beinhaltet eine Dampfbehandlung des Rohmaterials mit nachfolgender enzymatischer Spaltung verschied. oligomerer und polymerer Zuckerverbindungen. Die monomeren Hexosezucker werden gleichzeitig zu Ethanol umgesetzt unter Verwendung von Hefen in einem SSF Prozess (Simultaneous Saccharification and Fermentation). Der Prozess erlaubt eine Fraktionierung des Rohmaterials mit folgenden Endprodukten: Ethanol, Proteinkonzentrat und technischen Fasern.



Die zur Verzuckerung verwendeten Enzyme werden durch die 2B AG hergestellt mit Gras und anderer Biomasse als Substrat. Die so hergestellten Enzyme sind speziell geeignet für die Verzuckerung verschiedener oligomeren und polymeren Zucker, welche im Gras enthalten sind.

Unsere industrielle Lösung beinhaltet eine innovative, kontinuierliche und energieeffiziente Vorbehandlung. Auf Bild 1 sind die verschiedenen Prozessschritte dargestellt. Das Patent für die 2B AG Technologie wurde international angemeldet.

Alle Pflanzenkomponenten werden zu Produkten umgesetzt und kein Feststoffabfall verlässt den Prozess. Die Studie eines unabhängigen Instituts zeigt ein ausgezeichnetes Verhältnis zwischen Energie Output zu Input von 4:1.

Ethanol hat Märkte in der Pharma- und Chemieindustrie und als Treibstoff. Das Proteinkonzentrat ersetzt Sojaschrot in der Schweine- und Hühnerfütterung. Die Fasern finden u.a. als Isolationsmaterial Verwendung. Alle erwähnten Produkte wurden durch offizielle Institute geprüft und erfüllen die in diesen Märkten verlangten Qualitätskriterien.

Die Ausbeute aus einer Tonne Trockensubstanz Klee/Gras ist:

150 – 200 Liter Ethanol,
150 – 250 kg Proteinkonzentrat
200 – 250 kg Fasern

(alle Werte auf Basis Trockensubstanz).

2. Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit des Prozesses hängt hauptsächlich ab von:

1. Kapazität der Anlage und jahreszeitliche Auslastung
2. Vorhandensein geeigneter Infrastrukturen (Gebäude, Energie, Logistik)
3. Marktwert der Endprodukte im jeweiligen Land
4. Kosten der Rohmaterialien

Die 2B AG Anlagen erlauben Renditen auf der Investition von über 10 %. Diese Rendite setzt eine Anlagengrösse von 5'000 Trockensubstanz pro Jahr und Schweizer-Marktpreise voraus.

3. Status von Technologie Entwicklung und Kommerzialisierung

Über die letzten 4 Jahre hat die 2B AG den Prozess entwickelt und demonstriert inklusive Ausbeuten und Qualitäten der Endprodukte. Kunden für die Endprodukte wurden gefunden und die Rohmaterialverfügbarkeiten wurden ermittelt. Im Frühjahr 1998 hat die 2B AG eine industrielle Pilot- und Demonstrationsanlage in der Ostschweiz in Produktion genommen. Diese Anlage verarbeitet verschiedene Qualitäten von Gras und von Klee/Gras (frisch, angewelkt oder siliert) sowie andere Biomasse (z.B. Biertreber). Mit einem Teil der Anlage werden die Cellulase-Enzyme produziert. Alle Anlagekomponenten sind im industriellen Massstab und die Verarbeitungskapazität ist zur Zeit 2 Tonnen Trockensubstanz pro Tag (10 Tonnen nasses Gras).

Im Jahr 2000 wird die erste kommerzielle Industrieanlage mit einer jährlichen Kapazität von 5'000 Tonnen Trockensubstanz in der Schweiz realisiert.

Das Geschäft der 2B AG ist die Lizenzierung der Technologie und der Verkauf von Anlagen, deren Komponenten und Engineering. Die 2B AG führt auch Feasability-Studien für potentielle Anlagestandorte und neue Rohmaterialien durch.

4. Potential der Technologie

Die 2B AG Technologie ermöglicht die wirtschaftliche Produktion von Ethanol und weiteren Produkten aus kostengünstiger und reichlich vorhandener Biomasse mit einem Prozess, der umweltfreundlich und nachhaltig ist.

Zukunftstrends und die 2B AG Technologie:

- Die Produktion von erneuerbarer Energie aus lokal vorhandenem und billigem Rohmaterial.
- Ein Beitrag zur Reduktion von landwirtschaftlicher Überproduktion durch eine neue, wirtschaftliche Nutzung von Grasland und Ackerland. Dies stabilisiert ländliche Regionen und erhält Arbeitsplätze.
- Eine neue Grasnutzung ist geeignet zur Verbesserung von Fruchtfolgen und Reduktion von Grundwasserbelastungen in intensiven Ackerbaugebieten.

- Das Recycling von Abfällen aus der Ernährungs- und Getränkeindustrie, Biertreber, Zuckerrohr-Bagasse aus Naturschutzflächen, (Schilf), etc. durch die Produktion von verwertbaren Nebenprodukten statt diese als Abfälle mit entsprechenden Kosten entsorgen zu müssen.

Auf Grund der Rohstoffverfügbarkeit in der Schweiz besteht ein Produktionspotential von 200 Mio Litern Ethanol entsprechend 160 Mio Litern Benzin-Ersatz. Dies bedeutet ein Potential von ca. 200 Anlagen Ethanol aus Gras.

REFERENZEN

Zeitungsausschnitte:

1. Neue Zürcher Zeitung: Artikel „Alkohol-Treibstoff aus Gras“ 18. Juni 1997
2. Bioworld: grünes Erdöl, 4/98
3. Die Grünen: Ethanol und Protein aus Gras, 4. Juni 1998
4. Landfreund: Wir brauchen 3'000 TS Gras, 8. Dezember 1998
5. Wädenswiler Zeitung: Schweizerisches Pionierprojekt bei der Gastrocknung in Wädenswil, 13. April 1999

Konferenz:

Stefan Grass / Peter H. Müller / Graeme Hansen (1998) Production of Ethanol from Grass. Proceedings, 1998 Biomass Congress Würzburg, page 631-633.

BIOMETH - Methanol aus Holz

Einleitung

Der Schweizer Wald ist eine erneuerbare Rohstoffressource, deren Potential heute nicht in dem Umfang genutzt wird, wie es nachhaltig möglich wäre. Gemäss Landesforstinventar sind die stehenden Vorräte im Schweizer Wald die höchsten in ganz Europa (1) und das nachhaltig nachwachsende Produktionspotential wird nur zu 70% genutzt. Eine vermehrte Nutzung wäre also möglich und im Interesse der Ziele der Forstwirtschaft. Um für Energieholz aus dem Wald einen Absatzmarkt zu finden, sind in Zukunft weitere Investitionen in Holzfeuerungen zur Wärmeerzeugung notwendig. Langfristig sollten jedoch für die energetische Nutzung von Holz Technologien eingesetzt werden, welche eine bessere exergetische Verwertung ermöglichen als die Verbrennung zu Heizzwecken. Im Vordergrund stehen einerseits die Verstromung in Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen, andererseits die stoffliche Umwandlung des Holzes in einen chemischen Energieträger. Die thermische Vergasung und die Umsetzung des Gases zu Methanol bietet die Möglichkeit, Holz im grossen Massstab energetisch und stofflich zu nutzen.

Aus den oben erwähnten Überlegungen resultierte die Idee zum Projekt BIOMETH. Es sollte nachgewiesen werden, ob mit Hilfe von an und für sich bekannter Verfahrenstechnik aus einheimischen nachwachsenden Rohstoffen und Abfällen Methanol hergestellt und damit ein System demonstriert werden kann, welches einen Beitrag sowohl zur Bereitstellung erneuerbarer Energien für den Strassenverkehr, als auch zur Entlastung der Luft in den Agglomerationen zu leisten vermag.

Die BIOMETH-Studie

Am Beginn des Projekts stand die Frage, ob holzartige Biomasse mit heute verfügbarer Technik und vertretbarem Aufwand zum flüssigem Treibstoff und Benzinersatz Methanol umgewandelt werden kann und ob und unter welchen Randbedingungen eine solche Anlage heute in der Schweiz kostendeckend betrieben werden kann. Um diese Frage beantworten zu können, wurde vom PSI eine vom Bundesamt für Energie mitfinanzierte Studie zusammen mit externen Spezialisten und der interessierten Industrie in Angriff genommen (Abb. 1).

Die eingehende Analyse der heute zur Verfügung stehenden Technologien ergab als technische Lösung ein Verfahrensbild, wie es in Abb. 2 dargestellt ist (2). Der Gesamtprozess vom Holz bis zum Methanol wurde in einem Prozessmodell abgebildet. Die technische Analyse wurde durch Laboruntersuchungen ergänzt. In der 100 kW Wirbelschicht-Holzvergasungsanlage des PSI konnte nachgewiesen werden, dass die in der Literatur für Grossanlagen publizierten und als Basis verwendeten Daten für die Rohgasqualität

(Zusammensetzung hinsichtlich Hauptkomponenten und Nebenprodukten) sowohl für unbelastetes Holz, als auch für Altholz erreicht werden können.

Die in einer zweiten Phase des Projekts geplante BIOMETH-Demonstrationsanlage ist auf eine Kapazität von 100 Tagedonnen Trockenmasse Holz (30 000 Jahrestonnen) oder äquivalente feste Brennstoffe ausgelegt. Das weiter Verfahren produziert daraus neben Strom und Prozesswärme ca. 7500 Tonnen reines Methanol (Verfahrensbeschrieb siehe unten) .

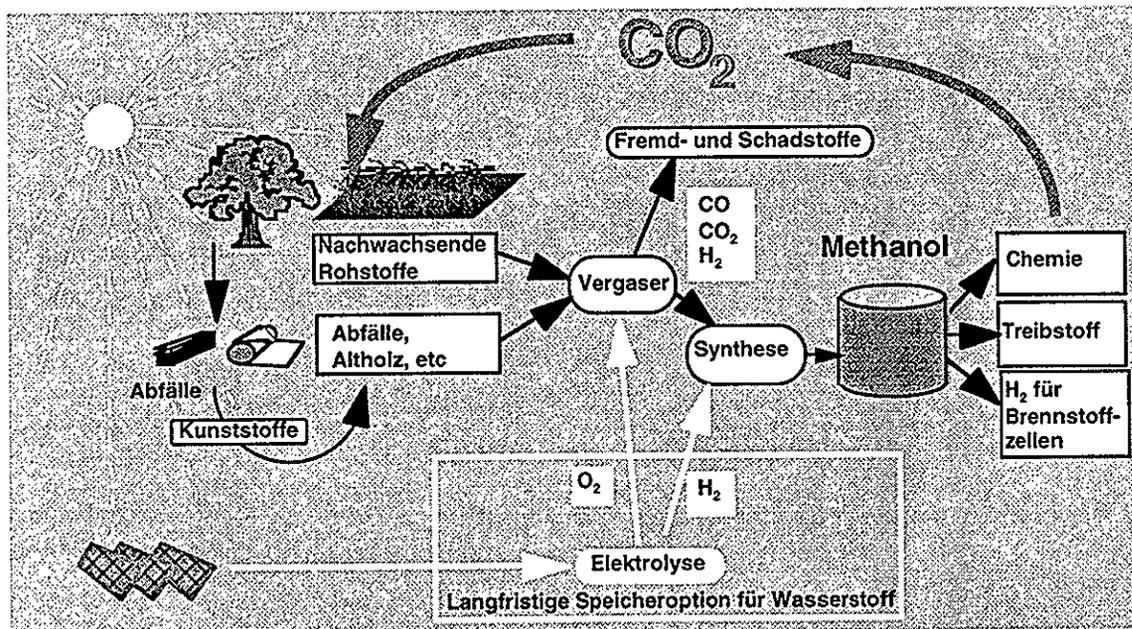


Abb.1: Kohlenstoff-Recycling durch Methanolproduktion aus Holz und Abfällen. Das BIOMETH-Verfahren kann ein breites Spektrum von festen Rohstoffen zu einem einheitlichen Produkt verarbeiten. Methanol findet Anwendung als Treibstoff, bzw. als Treibstoffadditiv, als Chemierohstoff und als Wasserstoffträger. Langfristig ergibt sich die Möglichkeit, solaren Wasserstoff in den BIOMETH-Prozess einzukoppeln. Durch Zudosierung von Wasserstoff zum Rohgas aus dem Vergaser kann die Ausbeute für Methanol um einen Faktor 3 gesteigert werden. Ein Teil des Sauerstoffs aus der Elektrolyse kann als Vergasungsmedium genutzt werden.

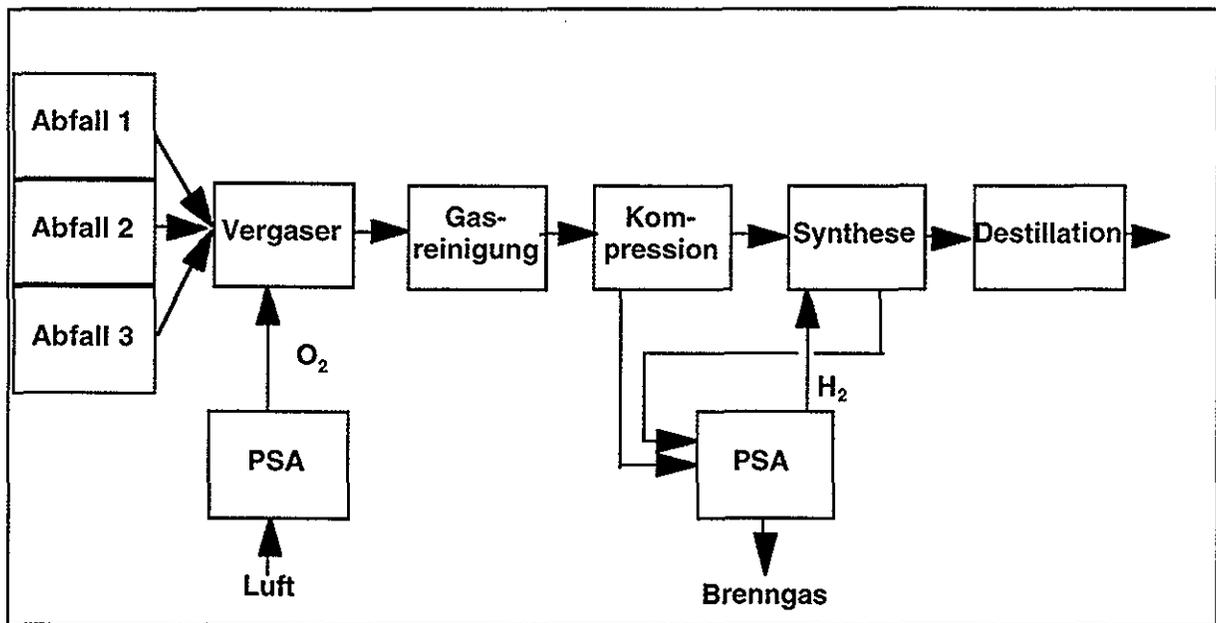


Abb. 2: Verfahrensbild der Methanolproduktion aus Holzabfällen

Abb. 2 zeigt schematisch das Verfahren, nach welchem Das Holz vergast und anschliessend zu Methanol umgesetzt wird. Im Vergaser, welcher nach dem Prinzip der zirkulierenden Wirbelschicht (ZWS) funktioniert, wird der Rohstoff mit einem Gemisch von Sauerstoff und Dampf bei 800 bis 900°C umgesetzt. Der Sauerstoff für die Vergasung wird an Ort und Stelle über eine Druckwechseladsorptionsanlage (PSA) aus Luft gewonnen. Das heisse Rohgas wird über einen Wärmetauscher mit Dampferzeuger abgekühlt, bei ca 300°C gefiltert und anschliessend in einer Serie von Wäschern von Fremdanteilen (Ammoniak, Salzsäure, Teere, Schwefel etc.) gereinigt. Der gesamte Vergasungsprozess entfernt alle nicht verwendbaren Anteile im Rohstoff und produziert dabei feste (Asche, Filterstaub) und flüssige (Waschwasser) Rückstände, welche entsorgt werden müssen. Das zu ungefähr gleichen Teilen aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid mit zusätzlich ca. 10 Vol.-% Methan bestehende Reingas wird in einem Verdichter auf den Synthesedruck von 25 bar komprimiert. Im katalytischen Synthesereaktor entsteht aus Wasserstoff und CO, bzw. CO₂ Methanol. Methan wird nicht umgesetzt. Damit der Syntheseprozess optimal läuft, muss der Wasserstoff in der Gasmischung vorgängig angereichert werden. Diese Anreicherung wird im BIOMETH-Verfahren über eine Wasserstoff-PSA und eine geeignete Kreislaufführung erzielt. Diese Verfahrensweise hat zur Konsequenz, dass nicht umsetzbares Gas mit einem relativ hohen Brennwert als Nebenprodukt anfällt. Mit diesem Gas wird in einem Gasmotor Strom erzeugt, welcher zum Teil zum Betrieb der Anlagen gebraucht wird und zum Teil ans Netz abgegeben werden kann. Die Methanolausbeute kann auf Kosten der Stromausbeute durch Optimierung der Kreislaufführung maximiert werden. Das aus dem Synthesekreislauf auskondensierte Methanol wird in einer Destillationskolonne von Nebenprodukten, vor allem von Wasser, gereinigt.

Neben der technischen Analyse wurden auch Marktabklärungen zu einerseits der Rohstoffbasis (Altholz, Verpackungsabfälle, unbelastete Holzabfälle) und andererseits der Produkte (Methanol als Treibstoff bzw. als Chemierohstoff, Strom, Abwärme) durchgeführt.

Es war von Anfang an klar, dass die heute in Grossanlagen in der unmittelbaren Nähe von billigen Erdgasvorkommen stehenden Methanolanlagen (Produktionskapazitäten von >1000 Tonnen pro Tag) Methanol zu einem Preis produzieren können, mit dem eine Anlage auf der Basis fester Brennstoffe nicht konkurrenzfähig ist. Methanol aus einer kleinen, mit festen Brennstoffen versorgten Anlage kann nicht mit Weltmarkt-Methanol konkurrieren. Aus diesem Grund ging die Studie davon aus, dass die Referenz für die Wirtschaftlichkeit nicht der Welthandelspreis von Methanol, sondern der Tankssäulenpreis von Benzin (d.h. nach Steuern) ist.

Die Studie kam zu den folgenden Ergebnissen (2):

- Methanol kann aus Altholz mit verfügbaren Technologien mit optimierten Verfahren produziert werden.
- Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen muss die Anlage auf eine Mindestkapazität von ~100 to Trockenmasse Holzinput pro Tag ausgelegt werden. Kleinere Anlagen werden übermässig teuer und einige Anlagenteile sind für kleine Anlagen nicht verfügbar.
- Eine erste Demonstrations-Anlage könnte wirtschaftlich betrieben werden, wenn für deren Erstellung Subventionen in der Grössenordnung von 30 Mio CHF (entspricht 50% der Anlagenkosten) gesprochen werden, und wenn das produzierte Methanol im Treibstoffmarkt ohne fiskalische Belastung durch die Treibstoffsteuer abgesetzt werden kann.

Methanol als Treibstoff

Methanol ist ein bei Raumtemperatur flüssiger Alkohol mit der chemischen Formel CH_3OH . Methanol wird heute vorwiegend aus Erdgas gewonnen und als chemischer Rohstoff bzw. als Lösungsmittel eingesetzt. Sauerstoff aufgebaut ist (chemische Formel: CH_3OH). Wegen des hohen Sauerstoffgehalts (50 Gew.%) hat Methanol einen Heizwert, welcher nur knapp halb so hoch ist wie derjenige von Benzin (kein Sauerstoff). Methanol wird grosstechnisch aus Synthesegas hergestellt. Die wirtschaftlichste und mit 75% weitaus wichtigste Quelle für Synthesegas ist heute Erdgas.

Als flüssiger Energieträger kann Methanol direkt, in reiner Form oder als Zumischung zu Benzin in Verbrennungsmotoren eingesetzt werden. Methanolmotoren unterscheiden sich in Details (Zündeinstellungen, Materialwahl bei Dichtungen, Tankauskleidung etc.) von Motoren, welche mit konventionellen Treibstoffen betrieben werden und zeichnen sich, wegen des hohen Sauerstoffanteils im Molekül, durch niedrige Schadstoffemissionen (vor allem bezüglich Partikel, CO, NOx) aus.

Die Verwendung von Methanol als Treibstoff wurde als Massnahme gegen die Smogprobleme in Kalifornien vorgeschlagen. In Kalifornien wurde in den achtziger Jahren ein Tankstellennetz mit M85 Treibstoff errichtet (M85 = 85% Methanol, Rest Benzin). Die Automobilindustrie entwickelte für den diesen Markt sog. Flexi-Fuel-Vehicles (FFV), d.h. Fahrzeuge, welche, als Übergangslösung gedacht, sowohl mit M85, als auch Benzin betankt werden können. Die kalifornische FFV-Flotte bestand jedoch vorwiegend aus Fahrzeugen der öffentlichen

Verwaltung - breite Akzeptanz für den Methanol-Aufpreis der Fahrzeuge wurde nicht erreicht, das FFV-Projekt hat sich nicht durchsetzen können. Der lufthygienische Vorsprung der FFV-Technologie wurde durch Verbesserungen der Benzinformulierungen und der Fahrzeugtechnik eingeholt. Aus ähnlichen Gründen blieben die Versuche der Badener und der Basler Verkehrsbetriebe mit Methanol-betankten Bussen (1991-93) ohne Folgen für den Einsatz von Methanol als Treibstoff. Aus Kostengründen und wegen der in der Zwischenzeit realisierten deutlichen Verbesserungen der Emissionen von Dieselmotoren wurden die Versuche Anfang der neunziger Jahre abgebrochen. Allein die lufthygienischen Vorteile von Methanol reichten in der Vergangenheit nicht aus, diesen Stoff als Treibstoff zu etablieren.

Umsetzungsversuche und Umsetzungs Hindernisse

Auf der Basis der in der Studie ausgewiesenen Ergebnisse versuchte das PSI in mehreren Anläufen, die BIOMETH-Idee einer neuen Verwertungsschiene für Altholz und ähnliche Materialien umzusetzen, d.h. die Voraussetzungen zu schaffen, eine Demonstrationsanlage in der Schweiz zu realisieren. Bis heute ist es uns jedoch nicht gelungen, für eine Anlage der vorgestellten Grösse eine Trägerschaft und die notwendige finanzielle Unterstützung zu finden. Einerseits zeigt es sich, dass die Verfügbarkeit der in der Studie zu Grunde gelegten Abfallsortimente (Altholz) für die BIOMETH-Anlage innerhalb eines sinnvollen Perimeters der Anlage in ausreichender Menge nicht gesichert ist: für die Verwertung von Altholz gibt es in der Zwischenzeit eine Reihe konkurrierender Pfade, von der rein thermischen Nutzung in Feuerungen oder KVA's bis hin zur Nutzung als Rohmaterial für (ökologisch fragwürdige) Spanplattenproduktion im Ausland. Andererseits besteht auf dem Treibstoffmarkt bis heute kein Bedarf für neue Treibstoffe, welche eine neue Tankstelleninfrastruktur bedingen würden. Die Argumente der Erneuerbarkeit und der Auslandsunabhängigkeit von Methanol aus Biomasse reichen, für sich allein genommen, in der gegenwärtigen Situation nicht aus, in eine Demonstrationsanlage und in die notwendige Infrastruktur auf der Ebene Fahrzeug und der Ebene Treibstofflogistik zu investieren.

Warten auf das Brennstoffzellenauto?

Die Chancen für die Einführung von Methanol als Treibstoff könnte sich in nächster Zukunft verbessern, wenn sich die Erwartungen, welche von der Automobilindustrie in die Brennstoffzellentechnik gesetzt werden, erfüllen lassen. Die Entwicklung von Brennstoffzellen für den Antrieb von Fahrzeugen mit einem absoluten Minimum an Schadstoffemissionen macht rasche Fortschritte. Brennstoffzellen produzieren bei niedrigen Temperaturen abgasfrei direkt elektrische Antriebsenergie aus Wasserstoff und Luft. Brennstoffzellenfahrzeuge benötigen zum Betrieb reinen Wasserstoff. Wasserstoff ist jedoch ein Gas und es besteht heute keine Infrastruktur für dessen Verteilung. Aus diesem Grund setzt die Automobilindustrie auf Treibstoffe für Brennstoffzellen, welche dem Benzin ähnlich sind und den Wasserstoff chemisch an Kohlenstoff gebunden enthalten. Der gebundene Wasserstoff wird dann an Bord des Fahrzeugs aus dem Treibstoff chemisch abgetrennt. Wasserstoff kann im Prinzip durch sog. partielle Oxidation in geeigneten katalytischen Reaktoren aus praktisch allen flüssigen Treibstoffen freigesetzt werden. Die technischen Probleme der Wasserstoffabspaltung sind jedoch aus chemischen Gründen für Benzin sehr viel grösser als für Methanol.

Die Diskussion über die Treibstoffversorgung der von der Automobilindustrie in einem

Zeithorizont von 5 bis 10 Jahren angekündigten Brennstoffzellenfahrzeuge ist in vollem Gang (3). Obwohl heute das Rennen zwischen gasförmigem oder verflüssigtem Wasserstoff (mit sehr hohen technischen und wirtschaftlichen Risiken auf der Logistikseite) auf der einen Seite und Benzin (mit sehr hohen technischen Risiken auf der Fahrzeugseite) auf der anderen offen ist, ist zu erwarten, dass sich nach einer Experimentierphase ein einziges Treibstoffkonzept für das Brennstoffzellenfahrzeug durchsetzen wird. Methanol gilt als Kompromiss zwischen dem Wasserstoff-System und dem Benzin-System und spielt in der Diskussion um zukünftige Treibstoffversorgung für Brennstoffzellen eine zentrale Rolle. Weltweit laufen auch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur direkten elektrochemischen Umsetzung von Methanol (statt Wasserstoff) in einer sog. Direkt-Methanol-Brennstoffzelle. Falls diese Arbeiten erfolgreich zum Abschluss gebracht werden können und es gelingt, Module mit hohem Wirkungsgrad und hoher Leistungsdichte zu realisieren, dann ist Methanol der ideale Treibstoff schlechthin.

Wie oben angedeutet, ist heute noch offen, ob Brennstoffzellenfahrzeuge eines Tages mit Wasserstoff, Benzin oder Methanol betankt werden sollen. Egal welche Treibstoffinfrastruktur sich langfristig durchsetzen wird: grundsätzlich können alle diese Alternativen thermisch aus Holz hergestellt werden. Der zentrale Prozess ist dabei die Vergasung zu Synthesegas. Dieses kann, mit allerdings unterschiedlichem technischem Aufwand, zu Benzin, Methanol oder Wasserstoff umgewandelt werden. Die Verfahren dazu sind aus der Umwandlung von Kohle und Gas bekannt, müssen aber für Synthesegas aus Biomasse angepasst und optimiert werden. Optimiert werden müssen die Verfahren einerseits hinsichtlich der für Biomasse typischerweise auf den 100 Tagestonnen-Massstab begrenzten Anlagengrößen, und andererseits auf die unterschiedlichen typischen Zusammensetzungen von Synthesegas.

- **Umwandlung zu Wasserstoff:**
Wasserstoff ist eine der Hauptkomponenten von Synthesegas. Durch bekannte Verfahren können auch die anderen brennbaren Anteile des Synthesegases (CO und Methan) zu Wasserstoff konvertiert werden, auch wenn die kostengünstigsten und effizientesten Prozesse dazu noch zu entwickeln sind.
- **Synthese von Kohlenwasserstoffen:**
Mit entsprechendem Aufwand kann Synthesegas mit Hilfe der Fischer-Tropsch-Synthese zu Kohlenwasserstoffgemischen aufbereitet werden, welche den heutigen Benzin-Formulierungen ähnlich sind, bzw. es können Mischungen synthetisiert werden, welche sich für die Wasserstoffherzeugung an Bord des Fahrzeugs besonders eignen ("Designer-fuels").

Schlussfolgerungen

Die Produktion von Methanol als Treibstoff aus Holzabfällen ist technisch möglich. Die Demonstration des Verfahrens scheitert bisher daran, dass die Wirtschaftlichkeit nur bedingt gegeben ist und dass Methanol heute keine Bedeutung als Treibstoff hat. Die Automobilindustrie kündigt die Einführung des Brennstoffzellenautos in nicht allzu ferner Zukunft an. Falls diese Ankündigungen ernst gemeint sind, steht eine Entscheidung, auf welchen Treibstoff diese neuen Fahrzeugantriebe ausgelegt werden sollen, unmittelbar an. Die

Vergasung von Holz ist die zentrale Technologie für die Versorgung von Brennstoffzellenfahrzeugen mit Biotreibstoff.

Für die Forschung ergeben sich die folgenden Schlussfolgerungen: Von zentraler Bedeutung ist einerseits die Weiterentwicklung der Vergasungstechnologie verschiedenartiger biogener Rohstoffe zu Synthesegas, andererseits Verfahren zur Konversion von Synthesegas zu denjenigen Energieträgern, für welche in Zukunft eine Versorgungsinfrastruktur zur Verfügung stehen wird.

Literaturverzeichnis

1. Brassel, P.; Brändli, U.-B. (Red.) 1999: Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern, Stuttgart, Wien. ISBN 3-258-05897-0
2. Bundesamt für Energiewirtschaft: BIOMETH Methanolproduktion aus Biomasseabfällen in der Schweiz Phase 1: Machbarkeitsstudie, Schlussbericht der Projektleitung, August 1996.
3. s. z.B. die Artikelserie in "vdi Nachrichten", Ausgabe 1.4.99

Ethanol aus Holz

Ethanol lässt sich aus Holz mit verschiedenen Verfahren gewinnen. Die Verwendung des Rohstoffes Holzes nur zur Ethanolerzeugung erweist sich sowohl ökologisch als auch ökonomisch als wenig sinnvoll. Vielmehr müssen die Bestrebungen in der Richtung laufen, dank geeigneten Produktkombinationen auf allen Stufen der Versorgungskette des Holzes wirtschaftlich sinnvolle Wertschöpfungen zu erreichen, und damit einen Beitrag zur Nachhaltigkeit zu leisten. Die Cellulose Attisholz AG als ein Glied im Stoffkreislauf Holz produziert bereits heute Ethanol, das als Biotreibstoff verwendbar wäre. Inwieweit die ökologischen Vorteile die Verteuerung des Treibstoffes rechtfertigen, muss letztlich von der Gesellschaft entschieden werden.

Ethanol can be obtained from wood by different processes. The utilisation of the raw material wood only for ethanol production proves to make little sense in ecological and economical terms. Efforts should be taken to obtain an economical meaningful added value by smart combinations of products on all levels of the supply chain of wood and by doing so provide a system based on sustainability. Cellulose Attisholz AG as a part in the wood cycle is producing Ethanol which could be utilised as a Biofuel. If the ecological advantages justify the rise in fuel prices needs to be determined by each society.

Herstellung von Ethanol bei der Cellulose Attisholz AG

Die Cellulose Attisholz AG nützt den Rohstoff Restholz in optimaler Weise aus, um damit verschiedene Produkte herzustellen. Holz besteht hauptsächlich aus den Gerüstsubstanzen Cellulose und Hemicellulose sowie der Kittsubstanz Lignin. Zur Isolierung der Cellulose bzw. zur Entfernung der Hauptmenge des Lignins und anderer Nebenbestandteile werden die Holzschnitzel in einer wässrigen Lösung von Calciumbisulfit bei circa 130°C gekocht. Nach dieser Kochung enthält die Lösung die Abbauprodukte des Lignins und der gelösten Hemicellulosen (verschiedene Zucker). Diese Substanzen dienen einerseits zur Herstellung von Ligninsulfonaten, als Substrat für Nähr- und Futterhefe und als Rohstoff für die Ethanolproduktion. Vom verwendeten Holz fallen circa 5.5% als vergärbare Zucker an, die zu 110'000 hl/y Ethanol verarbeitet werden. Die Maische mit einem Ethanolgehalt von circa 1.6% wird auf 15% aufkonzentriert. Dieses alkoholische Konzentrat dient als Zwischenprodukt zur Herstellung von verschiedenen Ethanolqualitäten. Mittels einfacher oder mehrstufiger Rektifikation lässt sich je nach Bedarf qualitativ hochwertiger Alkohol für den Einsatz in Spirituosen, Kosmetika und Pharma als auch Industrialkohol und Brennsprit herstellen. Die momentan total verfügbare Produktionskapazität beträgt 140'000 hl/Jahr.

Marktübersicht: Rohstofflieferanten und Kunden

Insgesamt werden jährlich knapp 900'000 Ster Restholz in der Cellulose Attisholz AG verarbeitet, dabei handelt es sich zu ~80% um Fichtenholz und zu ~20% um Buchenholz. Eingesetzt wird Restholz aus dem Wald, das sich für Sägereien wegen zu geringem Durchmesser nicht eignet und

Abfallholz bzw. Hackschnitzel aus den Sägewerken. Bereits auf dieser Verarbeitungsstufe wird versucht, das Holz optimal einzusetzen und nur Holz, das als Kuppelprodukt anfällt, für unsere Produktion zu verwenden. Das Restholz aus dem Wald stammt zu 99%, das Abfallholz aus den Sägereien zu 82% aus der Schweiz. Der Rest, sowie circa die Hälfte der zugekauften Hackschnitzel, stammen aus den grenznahen Gebieten von

Frankreich und Deutschland. Es wird ausschliesslich Holz von Lieferanten bezogen, die eine nachhaltige Forstwirtschaft betreiben.

Der Ethanolmarkt in der Schweiz wird von der Eidgenössischen Alkoholverwaltung als Monopolistin kontrolliert. Wir verkaufen unsere gesamte Produktionsmenge, die circa einen Drittel des schweizerischen Bedarfes deckt, an die alcosuisse in Bern. Auch im Falle eines Einsatzes von Ethanol als Biotreibstoff hätte der Handel bis zur vollständigen Liberalisierung ausschliesslich über die alcosuisse zu erfolgen. Die Verkaufspreise werden durch das europäische Preisniveau bestimmt, und entsprechen den Preisen in der EU für die entsprechenden Ethanolqualitäten.

Herausforderungen für Ethanol als Biotreibstoff

Holz als Basis für die Gewinnung von Biotreibstoffen ist vor allem für Multiproduktanlagen sinnvoll. Als grosser Vorteil ist zu berücksichtigen, dass für die Rohmaterialgewinnung keine landwirtschaftlichen oder andersartig wertvollen Landflächen verbraucht werden. Für das verwendete Rohmaterial Rest- und Abfallholz gibt es neben dem Einsatz für Heizzwecke, Holzspanplatten oder Papier kaum sinnvolle Alternativen. Des weiteren ist die Nachhaltigkeit, bei einer Waldbewirtschaftung wie sie in der Schweiz betrieben wird, garantiert. Soweit erscheint die Idee des Biotreibstoffes Ethanol aus Holz sinnvoll.

Abzuklären bleibt, wie gross der Anteil von Ethanol aus Holz aus auf der Nachhaltigkeit verpflichteten Produktionsmethoden am gesamten Biotreibstoffmarkt überhaupt sein könnte. Die grösste Herausforderung für eine erfolgreiche Einführung dürfte der sehr teure Herstellungspreis von circa 1.00 CHF/hl 100% Ethanol sein. Dieser Preis ist nicht nur im Vergleich zu herkömmlichen Treibstoffen hoch, sondern auch im Vergleich zu Weltmarktpreisen von bereits eingesetztem Bioethanol für Treibstoffalkohol. Es ist aber zu berücksichtigen, dass die dargestellte ökologische und ökonomische Produktionsmethode zur kleinen Minderheit von weltweit ~10% der Ethanolproduzenten gehören, die keinerlei direkten oder indirekten Subventionen konsumieren. Die Frage, wie gross der ökologische Nutzen dank Biotreibstoff sein kann, und wie hoch die Bereitschaft ist, den dafür notwendigen Preis auch zu bezahlen, bleibt offen.

Dinkel Fredy Dr. sc. nat.
Carbotech AG,
Eulerstr. 68
CH-4051 Basel
++41 (0)61 206 95 22
f.dinkel@carbotech.ch

Ökologische und ökonomische Beurteilung von Biotreibstoffen

Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war es, abzuklären, welche der folgenden für die Schweiz relevanten Linien zur Herstellung von Treibstoffen aus Biomasse ökologisch und ökonomisch sinnvoll sind.

- Methan aus biogenen Abfällen
- Öle und deren Ester aus Ölsaaten
- Ethanol aus stärke-, zellulose oder zuckerhaltigen Pflanzen
- Methanol aus Altholz, Kunststoffabfällen und Verpackungsmaterialien

Zur Ermittlung der Auswirkungen auf die Umwelt wurde eine Ökobilanz durchgeführt und die Umweltauswirkungen berechnet. Zudem wurde der Stand der Technik und die Anwendung in die Betrachtungen mit einbezogen.

Die ökologische Beurteilung hat ergeben, dass bei verschiedenen Linien hohe Einsparpotentiale bestehen, wobei grosse Unterschiede zwischen den untersuchten Linien auftraten. Die ökonomische Betrachtung ergab, dass gewisse Biotreibstoffe konkurrenzfähig produziert werden können. Eine grobe Potentialabschätzung zeigt, dass durch die Nutzung der vorhandenen Anbauflächen und Abfallmengen rund 10 % des Treibstoffbedarfs der Schweiz ersetzt werden könnte.

Einleitung

Der Einsatz von Autos ist aus der heutigen Gesellschaft praktisch nicht mehr wegzudenken. Die steigende Mobilität führt trotz verbesserter Technologie wie zum Beispiel dem Katalysator zu immer höheren Belastungen der Umwelt durch den Individualverkehr. Im Bestreben die Umweltauswirkungen des Verkehrs oder die Abhängigkeit vom Erdöl zu reduzieren erwachte in den siebziger und achtziger Jahren das Interesse an Treibstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen. Grössere Forschungsprojekte wurden vor allem in Brasilien und Europa initialisiert um Biotreibstoffe herzustellen. Auch in der Schweiz laufen Forschungsprojekte auf diesem Gebiet seit den achtziger Jahren. Unter dem Begriff Biotreibstoffe werden dabei alle Art von Treibstoffen für Fahrzeuge verstanden, welche aus Biomasse aus landwirtschaftlicher oder forstwirtschaftlicher Produktion wie auch aus biogenen Abfällen hergestellt werden.

Aus zucker- oder stärkehaltigen Pflanzen wie z. B. Zuckerrübe, Zuckerhirse, Zuckerrübe, Mais, Getreide und Gras kann Ethanol hergestellt werden. Dieses kann in speziellen Motoren direkt genutzt oder bis zu 15% ohne Probleme dem Benzin beigemischt werden. Eine Zumischung verbessert zudem die Verbrennungseigenschaften im Motor.

Aus ölhaltigen Pflanzen wie z. B. Raps, Hanf, Flachs, Sonnenblumen können dieselähnliche Öle hergestellt werden. Diese können in speziellen Motoren direkt verbrannt, zu Methylester weiterverarbeitet oder konventionellen Treibstoffen beigemischt werden.

Aus biogenen Reststoffen z.B. aus der Lebensmittelproduktion, von Speiseresten, aber auch zellulosehaltige biogene Abfälle wie Altholz oder bei der Ernte anderer landwirtschaftlicher Produkte zurückgelassene Produkte wie Stroh, Stengel etc., kann durch Vergären, Vergasen oder mit Pyrolyse Biogas, Methan oder Methanol hergestellt werden. Die Art der Nutzung von Methanol ist vergleichbar mit derjenigen von Ethanol. Die Nutzung von Methan in Gasfahrzeugen ist problemlos möglich.

Für die meisten Treibstoffe aus Biomasse wie z. B. Methanol, Ethanol, Methan oder dieselähnlichen Öle sind heute schon Motoren auf dem Markt erhältlich. Verschiedene Autohersteller bieten sogar schon Flexible Fuel Fahrzeuge an, mit welchen sowohl Benzin wie auch Ethanol oder Methanol verwendet werden kann. Gasbetriebene Fahrzeuge besitzen heute schon in verschiedenen Ländern eine relevante Verbreitung.

Neben verschiedenen euphorischen Stimmen zu diesen Projekten hört man auch Fragen und Kritiken wie z. B.:

Das Wort Biotreibstoff tönt zwar sehr umweltfreundlich, doch sind sie es wirklich?

Sind Biotreibstoffe nicht nur eine Alibiübung für reiche Länder wie die Schweiz?

Andere Länder können sich diesen Luxus doch gar nicht leisten und im übrigen wird das Potential so oder so verschwindend sein.

Das hier vorgestellte Projekt hatte zum Ziel, eine Antwort auf solche Fragen zu geben, indem es einen Überblick verschafft über den Stand der Technik, die ökologischen Auswirkungen sowie die Ökonomie bei der Konversion von Biomasse zu Treibstoffen.

Ökologische Beurteilung

Bevor die aus Biomasse gewonnenen Treibstoffe als Nutzenergie eingesetzt werden können, ist für den Anbau, das Ernten, die Verteilung und Verarbeitung der Biomasse Energie in verschiedenen Formen und graue Energie durch die Herstellung von Hilfsstoffen und Infrastrukturen aufzuwenden. Für die ökologische Beurteilung wurde daher die Methode der Ökobilanzierung über den gesamten Lebensweg verwendet.

Grundlagen der Beurteilung

Systemgrenzen für Biomassen aus Abfällen

Je nach Eigenschaft der Abfälle können diese Abfälle in verschiedenen Formen genutzt werden. Für diese Studie wurde angenommen, dass die nächst beste Verwertung für organische Abfälle das Kompostieren ist. Aus diesem Grunde wurde die Kompostierung in die Systemgrenzen eingeschlossen, indem der Methanherstellung eine entsprechende Gutschrift für die Aufwände und Emissionen, welche bei der Kompostierung auftreten, gewährt wurde. Damit entfällt auch das Problem der Bewertung des Kompostes, welcher auch bei der Methanproduktion anfällt. Bei der Methanolherstellung aus Holz wurde bei der Definition der Systemgrenzen angenommen, dass der Strom ins Netz eingespeisen werden kann und entsprechend wurde eine Gutschrift für die Stromherstellung nach europäischem Durchschnitt berechnet. Für die Wärme wurde keine Gutschrift gewährt. Damit wird diese Linie eher zu schlecht bewertet, da eine teilweise Nutzung der Abwärme möglich ist. Da es sich bei den Rohstoffen dieser Linien um Abfälle handelt, wurde nur die Sammlung berücksichtigt.

Systemgrenzen für Biomassen aus landwirtschaftlichem Anbau

Diese Rohstoffe werden speziell angebaut, daher müssen die Aufwände zur Produktion (Düngerherstellung, Maschineneinsatz, Emissionen der Pflanzen beim Anbau etc.) berücksichtigt werden.

Weiter werden die Transporte, Energiebereitstellung die Verarbeitung und die Nutzung berücksichtigt. Zudem wird für diese Rohstoffe land- oder forstwirtschaftliche Fläche benötigt. Diese stellt somit bezüglich des möglichen Potentials die limitierende Grösse dar.

Referenzsystem - Diesel und Benzin

Als Referenzsystem wurde die Herstellung und Verbrennung derjenigen Menge Benzin bzw. Diesel betrachtet, welche notwendig ist, um dieselbe Fahrleistung zu erhalten. Als alternative Flächennutzung wurde eine ökologische Ausgleichsfläche gewählt (extensive Wiese). Die Emissionen der Treibstoffherstellung und Nutzung sowie die Pflege der extensiven Wiese werden denjenigen der Treibstofflinien aus Biomasse gegenübergestellt, indem den Biotreibstofflinien aus landwirtschaftlichem Anbau eine Gutschrift für die Auswirkungen durch die Pflege der extensiven Wiese gewährt wurden.

Die Ergebnisse beantworten somit die Frage, wie gross ist die Reduktion oder Mehrbelastung der Umwelt, falls auf einer gegebenen Fläche Pflanzen angebaut und zu Biotreibstoffen verarbeitet werden im Vergleich zur Schaffung einer ökologischen Ausgleichsfläche und der Verwendung von Diesel oder Benzin aus Erdöl.

Nebenprodukte und Allokation

Bei allen Linien fallen Nebenprodukte an, welche teilweise verbrannt und als Prozesswärme genutzt (z. B. Methan aus Abfällen, Ethanol aus Zuckerrüben) oder als Wertstoffe verkauft werden (z. B. Ethanol aus Gras - Futtermittel und Fasern oder RME - Futtermittel). Bei der Bewertung der Nebenprodukte wurden jedoch nur diejenigen bewertet, für welche eine Verwertung realisiert ist. Die Allokation erfolgte soweit möglich und sinnvoll durch Substitution. In verschiedenen Fällen war nur eine monetäre Allokation sinnvoll.

Funktionelle Einheit

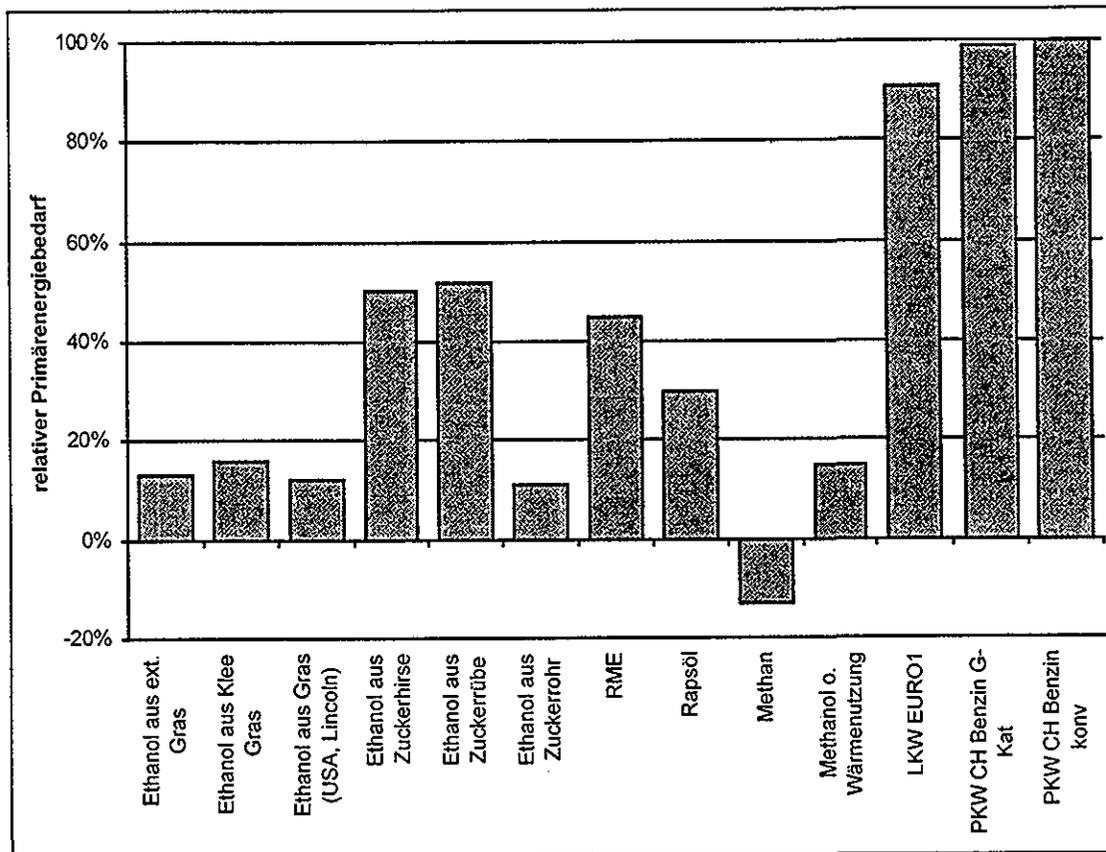
Da die unterschiedlichen Treibstoffe verschiedene Wirkungsgrade in Motoren aufweisen, ist für die Vergleichbarkeit die gefahrenen Kilometer pro Treibstoffmenge, bzw. die Arbeit in kWh an der Welle entscheidend. Daher wurde als funktionelle Einheit die Fahrleistung in km bzw. Leistung an der Welle gewählt.

Datenqualität

Im Rahmen dieser Studie wurden verschiedene Literaturen ausgewertet. Dabei hat es sich gezeigt, dass die Angaben sehr starken Schwankungen unterworfen sind. Die wesentlichen Unsicherheiten wurden abgeschätzt und in die Berechnungen mit einbezogen.

Energetische Effizienz

Die Abschätzung der energetischen Effizienz zeigt, wieviel an nicht erneuerbaren Energien eingesetzt werden müssen, um mittels Biotreibstoffen den gleichen Nutzen für den Konsumenten zu erreichen. Die folgende Abbildung zeigt die benötigten Mengen an nicht erneuerbaren Energien, um dieselbe Fahrleistung zu erhalten. Für diese Darstellung wurde der Energiebedarf zur Herstellung von Benzin auf 100% normiert, so dass direkt abgelesen werden kann, welcher Bruchteil an Energie die Biotreibstoffe im Vergleich zu Benzin benötigen. Verständlicherweise zeigen die zwei Linien Methan und Methanol einen geringen Energiebedarf, da bei deren Herstellung aus Reststoffen der landwirtschaftliche Anbau entfällt.



Figur 1 zeigt die Zusammenstellung des Primärenergiebedarfs für die Herstellung von Biotreibstoffen bei gleicher Fahrleistung im Vergleich mit der direkten Nutzung von Benzin im Fahrzeug.

In der Tabelle 1 sind einige Energiekennwerte der verschiedenen Szenarien dargestellt (siehe auch Anhang und Kapite). Es handelt sich dabei um durchschnittliche Zahlen. Abweichungen 20% und mehr sind je nach Anbauintensität, Verwertung der Nebenprodukte und Produktionstechnik möglich.

Biotreibstoffe	1 [GJ]	2 [GJ]	3 [GJ]	4	5 [GJ]	6	7 [MJ]
Ethanol aus Klee Gras	46	13.5	32.5	3.4	82	6.1	71
<i>ohne Bew. Fasern</i>	46	24	22	1.9	82	3.4	125
Ethanol aus ext. Gras	11	2.5	8.5	4.4	19	7.6	55
<i>ohne Bew. Fasern</i>	11	8	3	1.4	19	2.4	184
Ethanol aus Gras (USA)	137	28	109	4.9	183	6.5	69
<i>in der CH</i>	88	14	74	6.3	118	8.4	54
Ethanol aus Zuckerhirse	71	63	8	1.1	124	2.0	218
Ethanol aus Zuckerrübe	91	84	7	1.1	160	1.9	227
Ethanol aus Zuckerrohr	140	27	113	5.2	250	9.3	46
Methanol ohne Wärme- gutschrift							64
RME	34	23	11	1.5	52	1.6	193
Rapsöl	33	16	17	2.1	52	3.3	130
Methan							-56
Diesel (Verbrauch: 8.2 Liter)							392
Benzin							430

Tabelle 1 zeigt einige Energiekennwerte der verschiedenen Szenarien
 $3 = 1 - 2$ $4 = 1 / 2$ $6 = 5 / 2$

Kennwert	Beschreibung
1 Energieinhalt Treibstoffe pro ha	Energieinhalt derjenigen Menge Treibstoffe, welche aus dem Ertrag einer ha gewonnen werden kann.
2 Energetischer Ressourcenverbrauch pro ha	Verbrauch an nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen (z.B. Erdöl, Kohle) um die Biomasse auf einer ha anzubauen und zu Treibstoffen zu verarbeiten.
3 Nettoenergie pro ha	Differenz zwischen Energieinhalt der Treibstoffe und dem energetischen Ressourcenverbrauch
4 Erntefaktor	Energieinhalt Treibstoff / energetischer Ressourcenverbrauch
5 Substitutionspotenti- al pro ha	Diejenige Menge an nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen, welche mit dem entsprechenden Treibstoff ersetzt werden kann. Energieinhalt derjenigen Menge Benzin bzw. Diesel um dieselbe Fahrleistung zu erhalten plus die benötigte Energie um das Benzin oder den Diesel bereitzustellen.
6 Substitutionspot. Primärenergie	Quotient aus dem Substitutionspotential und dem energetischen Ressourcenverbrauch zur Herstellung.
7 Primärenergie Herstellung Treibstoff für 100 km	Benötigte Primärenergie zur Herstellung derjenigen Menge biogenem Treibstoff, um mit einem PKW 100 km zu fahren.

Bei den Biotreibstoffen aus landwirtschaftlicher und forstwirtschaftlicher Produktion in Europa weist die Ethanolherstellung aus Gras mit Abstand den geringsten Energieaufwand aus, vergleichbar mit den Angaben zur entsprechenden Produktion in den USA. Geringerer Input an Energie benötigt nur die Ethanolherstellung aus Zuckerrohr in Brasilien.

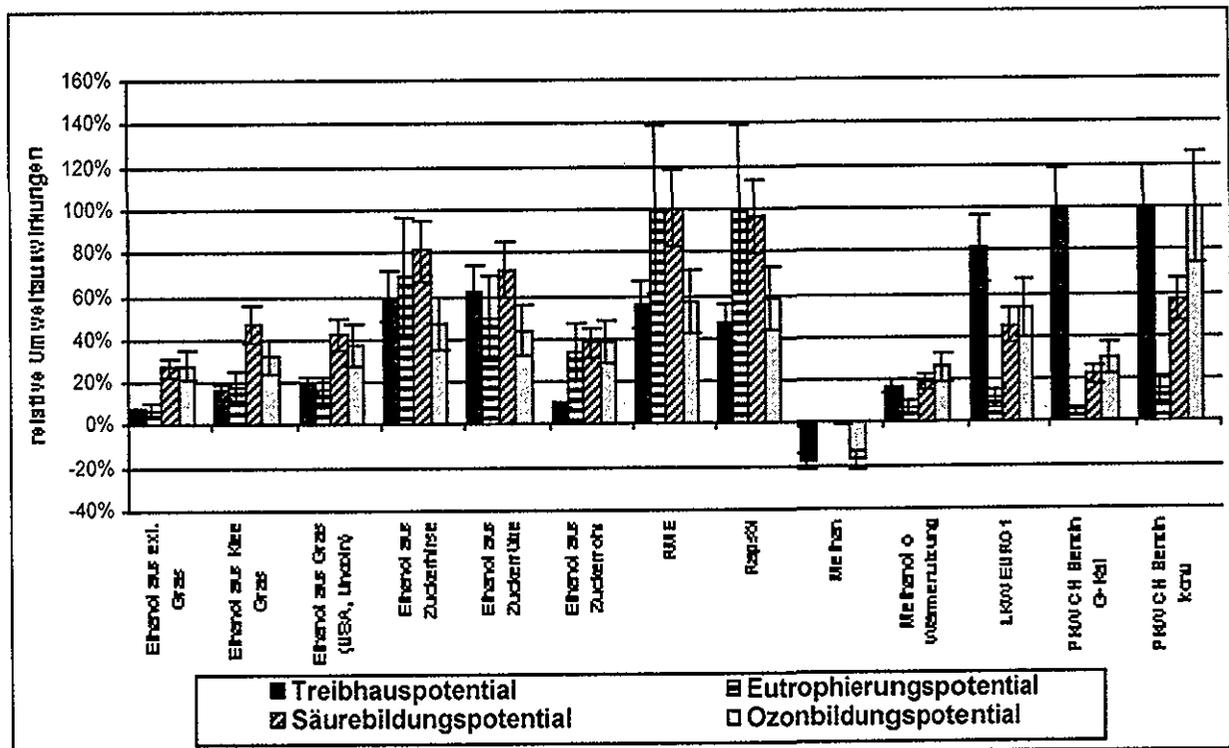
Auswirkungen auf die Umwelt

Auf Grund der Aktualität und der Relevanz wurden im Rahmen dieser Studie die folgenden Auswirkungen betrachtet:

- Treibhauspotential
- Säurebildungspotential
- Eutrophierungspotential
- Ozonbildungspotential (Sommersmog)

Umweltauswirkungen der untersuchten Biotreibstofflinien

Die folgende Darstellung (Figur 2) zeigt die Umweltauswirkungen über den gesamten Lebensweg der verschiedenen Treibstoffe. Dies beinhaltet sowohl die Herstellung wie auch den Gebrauch der Biotreibstoffe im Vergleich zu den fossilen Treibstoffen. Um eine gute Vergleichbarkeit zu ermöglichen wurde jeweils die höchste Wirkung auf 100 % normiert.



Figur 2 zeigt einen Vergleich der verschiedenen Treibstoffe in bezug auf ihre ökologischen Auswirkungen. Dargestellt sind die kumulierten Auswirkungen, die entstehen bei der Herstellung und dem Gebrauch, wobei jeweils die höchste Auswirkung auf eins normiert wurde. Die Fehlerbalken geben eine Abschätzung der Vertrauensgrenze der Ergebnisse an.

Bei den fossilen Treibstoffen wird das Treibhauspotential durch die CO₂ Emissionen bei der Nutzung bestimmt und zu einem geringen Teil durch die CO₂ Emissionen bei der Herstellung. Bei den Treibstoffen aus landwirtschaftlicher Produktion sind die Lachgas (N₂O) und Methan-Emissionen beim Anbau sowie CO₂ Emissionen bei der Verarbeitung und Hilfsmittelherstellung entscheidend für das Treibhauspotential.

Die Eutrophierung durch NO_x Emissionen beim Gebrauch ist bei allen Treibstoffen vergleichbar. Bei den Treibstoffen aus landwirtschaftlicher Produktion sind die Düngergaben verantwortlich

für das hohe Eutrophierungspotential im Vergleich zu den fossilen Treibstoffen. Ein geringes Eutrophierungspotential weisen daher nur Kulturen aus wenig intensivem oder extensivem Anbau aus.

Die Säurebildung durch SO_2 und NO_x Emissionen im Gebrauch, sind bei den Biotreibstoffen etwas geringer als beim Diesel. Jedoch ist bei den Treibstoffen aus landwirtschaftlicher Produktion die Säurebildung durch Ammoniak in Folge von Düngergaben beim landwirtschaftlichen Anbau in den meisten Fällen viel relevanter.

Zu beachten ist, dass die Belastungen beim Anbau auch bei anderen landwirtschaftlichen Nutzungen auftreten und kein spezifisches Problem der Treibstoffe aus Biomasse darstellen.

Im Rahmen der Aussagegenauigkeit ist die Ozonbildung bei allen Linien, ausgenommen denjenigen aus biogenen Abfallstoffen vergleichbar. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die relevanten Emissionen beim Gebrauch auftreten, wobei Ethanol etwas geringere ozonbildende Emissionen verursacht als Diesel oder Pflanzenöle und -ester.

Die verschwindenden oder teilweise negativen Emissionswerte der Methanherstellung resultieren aus der Gutschrift 'Kompostieren'. Eine vergleichbare Säurebildung wie der Gebrauch von Diesel weisen bei den Biotreibstoffen aus landwirtschaftlicher Produktion nur die Ethanollinien aus Gräsern aus. Dies ist bedingt durch die relativ geringen Düngergaben im Vergleich zu den anderen Ackerkulturen.

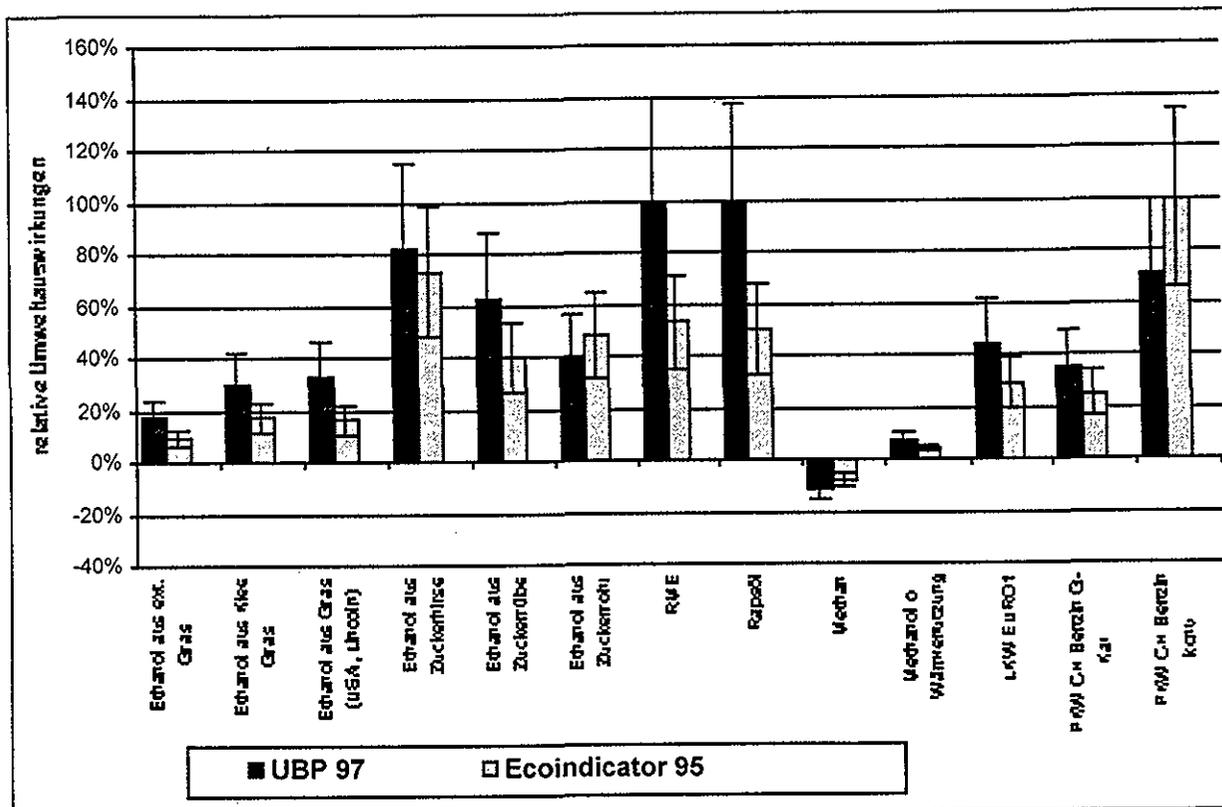
Diskussion und Gesamtbeurteilung der Umweltauswirkungen

Die Darstellung der Umweltauswirkungen zeigen, dass bei den Treibstoffen aus land- und forstwirtschaftlicher Produktion in Europa die Ethanol aus Graslinien die Ziele am besten erfüllt werden. Dies gilt speziell auch für die mit dem landwirtschaftlichen Anbau (Düngung) verbundenen Umweltauswirkungen Eutrophierung und Säurebildung, da es sich bei diesen Kulturen nicht um einen intensiven Anbau handelt. Dies wirkt sich auch auf die belebte Natur (Flora, Fauna) positiv aus.

Ob die Herstellung aus Klee-Gras oder ev. noch intensiveren Graskulturen oder aus extensivem Gras erfolgen soll, hängt von den Zielsetzungen ab, bzw. von der Gewichtung der Energie gegenüber den Umweltproblemen Eutrophierung und Säurebildung sowie den Einflüssen auf die belebte Natur.

Die Linien Ethanol aus Zuckerhirse und Zuckerrübe sowie die Linie Rapsmethylester erfüllen die Bedingungen bezüglich Ökologie zu wenig, als dass sie empfohlen werden könnten. Die Linie Rapsöl kann aus energetischer Sicht als akzeptabel bis gut beurteilt werden.

Als weitere Entscheidungshilfe wurden die beiden gesamtaggregierenden Methoden Umweltbelastungspunkte (UBP) und Eco Indicator '95 für die Gesamtbewertung verwendet. Die Ergebnisse dieser Methoden zeigt die folgende Abbildung.



Figur 3 zeigt einen Vergleich der verschiedenen Treibstoffe in bezug auf ihre ökologischen Auswirkungen bewertet mit den zwei Methoden Umweltbelastungspunkte (UBP Stand 1998) und Eco Indicator 95. Dargestellt sind die kumulierten Auswirkungen, die entstehen bei der Herstellung und dem Gebrauch, wobei jeweils die höchste Auswirkung auf eins normiert wurde. Die Fehlerbalken geben eine Abschätzung der Vertrauensgrenze der Ergebnisse an.

Beide Methoden zeigen für die Linien Ethanol aus Gräsern eine tendenziell geringere Umweltbelastung als diejenige durch konventionelle Treibstoffe. Nur bei den Treibstoffen aus biogenen Abfällen ist die Aussage signifikant. Die Linien Ethanol aus Zuckerrüben und Zuckerrohr werden vergleichbar und die anderen Linien als tendenziell schlechter bewertet. Zu beachten ist dabei, dass die Methode Eco Indicator die Energie nicht explizit bewertet und die UBP's die Luftbelastung und die Eutrophierung sehr stark bewerten.

Die Ergebnisse der Berechnungen der energetischen Effizienz und der Umweltauswirkungen zeigen, dass die folgenden Linien aus ökologischer und energetischer Sicht am meisten zu empfehlen sind:

- Ethanol aus Gras
- Methanol
- Methan

Wirtschaftlichkeit

Im Rahmen dieses Projektes wurden die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen der folgenden vier in der Schweiz realisierten oder zumindest geplanten und/oder als Pilotanlage existierenden Möglichkeiten der Herstellung von Treibstoffen aus Biomasse ermittelt oder abgeschätzt.

- Methan aus biogenen Abfällen (realisiert)
- Rapsmethylester (realisiert)
- Ethanol aus Gras (Pilotanlage)
- Methanol aus Altholz (Pilotprojekt)

Die Wirtschaftlichkeit der beiden Linien Ethanol aus Zuckerrüben und Zuckerhirse wurde der Literatur entnommen (Hartmann sowie Kaltschmitt und Wiese). Diese Angaben beziehen sich auf Produktionsverhältnisse in Deutschland.

Tabelle 2 gibt einen kurzen Überblick über die wichtigsten betriebswirtschaftlichen Resultate. Die Resultate werden im Bezug auf Deselequivalent¹ verglichen.

Verglichen werden der Bruttoerlös, Rohstoffkosten respektive —Beiträge, Nettoerlös, Produktionskosten und betriebswirtschaftlicher Gewinn.

Die vier untersuchten Treibstoffe können im Bezug auf die Rohstoff Beschaffung in zwei Kategorien unterteilt werden:

- basierend auf Abfallstoffen (Kompogas und Methanol) und
- basierend auf Landwirtschaftlichen Produkten (Ethanol und RME/Rapsöl).

Bei der ersten Gruppe spielt für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Beitrag an die Entsorgung der Abfallstoffe eine wichtige Rolle. Bei der zweiten Gruppe sind die landwirtschaftlichen Subventionen unter dem Titel der nachwachsenden Rohstoffe von Bedeutung.

In Tabelle 2 sticht der hohe Gewinn der Kompogalinie heraus. Dieser resultiert vor allem durch den grossen Beitrag, welcher durch die Abnahme der Abfälle generiert wird. Die Rohstoffkosten sind nicht nur gratis, sondern bilden einen wesentlichen Teil der Gewinnrechnung.

Die zwei Ethanol Linien (pro Anlage und pro ha Klee gras) erscheinen betriebswirtschaftlich interessant. Es ist zu beachten, dass diese Linie sowohl mit wie auch ohne Subventionen von 1'500.- SFr gewinnbringend realisiert werden kann. Dies ist auf einen guten Erlös der entstehenden Koppelprodukte zurückzuführen.

Die Daten der Methanol Linie beziehen sich auf eine Pilotanlage, diese ist nur dann wirtschaftlich rentabel, wenn der Bau der Anlage subventioniert wird. Der Wert dieser Linie beruht vor allem in der Möglichkeit einer sinnvollen Verwertung von Abfällen indem nicht nur Wärme und Strom gewonnen wird sondern auch Treibstoffe. Darüberhinaus bietet sie die Möglichkeit einer zukunftsgerichteten Technologien, (Speicherung von solarem Wasserstoff).

Die beiden auf Raps basierenden Treibstoffe zeigen zwar betriebswirtschaftlich einen sehr interessanten Gewinn, der allerdings hauptsächlich auf den Subventionen von 3'000.- SFr. für nachwachsende Rohstoffe beruht. Ohne Subventionen ist diese Linie betriebswirtschaftlich nicht rentabel.

¹ Ein Liter des entsprechenden Treibstoffes entspricht im Bezug auf die Motorleistung X-Liter Diesel. Dies ist wegen des unterschiedlichen Wirkungsgrades in vergleichbaren Motoren nicht identisch mit der enthaltenen Wärmeenergie.

	Brutto-erlös [Fr]	davon Subvention [Fr]	Rohstoff- beitrag [Fr]	Netto-erlös [Fr]	Produktions- kosten [Fr]	Gewinn [Fr]
Kompogas	0,40	-	4,71	5,11	2,81	2,29
Ethanol aus Gras	1,09	0,16	0,09	1,18	0,91	0,27
ohne Subventionen	1,09	-	-0,07	1,02	0,83	0,19
Methanol	1,21	-	0,26	1,46	1,32	0,14
RME (pro ha Raps)	4,69	2,99	-	4,69	3,48	1,22
ohne Subventionen	1,70	-	-	1,70	3,48	-1,78
Rapsöl (pro ha Raps)	4,63	2,95	-	4,63	3,25	1,38
ohne Subventionen	1,68	-	-	1,68	3,25	-1,57
Ethanol aus Zuckerhirse*	1,09	1,43	-	2,52	1,43 DM	
Ethanol aus Zuckerrüben*	1,09	1,13		2,22	2,48 - 2,77 DM	

Tabelle 2 zeigt den betriebswirtschaftlichen Vergleich der verschiedenen Biotreibstoffe auf der Vergleichsbasis von 1 kg Dieselölequivalent. Der Gewinn dieser betriebswirtschaftlichen Abschätzung zeigt, wie gross dieser bei der Herstellung einer Menge Biotreibstoff ist, die der Fahrleistung aus 1 kg Diesel entspricht.

* Angaben aus Deutschland, [Hartmann, Kaltschmitt und Wiese]. Die Angaben für Zuckerhirse sind Schätzungen. Es ist anzunehmen, dass die Produktionskosten in der Schweiz höher liegen.

Tabelle 3 zeigt wie hoch die Produktionskosten sind, um eine Tonne CO₂ einzusparen. Die betriebswirtschaftliche Analyse macht in diesem Zusammenhang nur beschränkt Sinn, da das vermiedene Kilo CO₂ nicht vergütet wird oder in Form von Zertifikaten gehandelt werden kann. Hier zeigt sich, dass um eine Tonne CO₂ zu vermeiden die Kompogaslinie die niedrigsten Produktionskosten aufweist und Raps ca. 10 mal höhere Produktionskosten pro t CO₂ Reduktion verursacht.

	Produktionskosten pro eingesparte Tonne CO ₂ in Fr
Kompogas	512
Ethanol (pro ha Klee gras)	1.262
Methanol	1.175
RME (pro ha Raps)	6.797
Rapsöl (pro ha Raps)	5.598

Tabelle 3 zeigt wie hoch die Produktionskosten sind um eine Tonne CO₂ einzusparen.

Substitutionspotential

Tabelle 4 zeigt eine Zusammenfassung des Potentials für die Biotreibstoffe Methan (Kompogas), Methanol aus Synthesegas, Methanol aus Synthesegas mit Wasserstoffanreicherung, Ethanol aus Gras und RME aus Raps. Beim letzteren kann auch das unveresterte Rapsöl in Gemischen mit Spezialbenzinen und Alkoholen als Dieseleratz verwendet werden, was aber im Potential ohne nennenswerte Auswirkung ist. Die Potentialangaben für Methan und Methanol beruhen auf Abschätzungen über das sinnvoll nutzbare Potential an Grünabfällen, bzw. Altholz sowie dem

Potential an speicherbarem Wasserstoff. Die Ergebnisse der vorigen Kapitel zeigen, dass die Produktion von Ethanol aus Gras die effizienteste Art ist um Biotreibstoffe aus landwirtschaftlicher Produktion herzustellen. Aus diesem Grunde wurde für die Ermittlung des maximalen Potentials angenommen, dass die gesamte frei werdende Fläche von rund 100'000 ha auf diese Weise genutzt wird. Eine Ausnahme bilden die 2'000 ha für die RME-Produktion, da es sinnvoll ist, die bestehende Anlage in Etoy auszulasten.

	Energie Dichte MJ / l	Fahrleistung % Benzin	Verbrauch l / 100 km	Potential in ha oder Mio. To	Ausbeute Liter/ha To Abfall	Fahrleistung Mio. km	Benzinersatz Mio. Liter
Methan	0.043	*	6'250	1.5 Mio To	38'500	900	81.9
Methanol	15.7	60	15.4	1 Mio To	320	2'100	1'89.3
Meth + H ₂		60	15.4	3 Mio To	946	6'150	567.5
Ethanol	21	80	11.5	100'000 ha	2'000	1'740	158.5
RME	32.7	111	8.3	2'000 ha	1'100	26.5	2.5
Benzin	32.8	100	9.1				

Tabelle 4 zeigt die Zusammenfassung der Potentialabschätzung, gegliedert nach den verschiedenen Biotreibstoffen. Das Potential wird in der letzten Kolonne als Summe der möglich gefahrenen Kilometer dargestellt (in Millionen km). Dabei wird der heutige Stand der Technik zugrundegelegt Flottenverbrauch-Durchschnitt 9 l/100 km).

Vergleicht man das Potential der Biotreibstoffe mit dem Import an Benzin, ergibt sich eine Deckung von rund 10 %. Legt man einen effizienteren Umgang mit dem Rohstoff Benzin zugrunde, und geht man davon aus, dass der Flottenverbrauch von heute durchschnittlich 9.1 Liter auf 3.5 Liter sinken würde, steigt der Deckungsanteil auf rund 30%.

Bei einem Durchschnittspreis von rund 40 Rp/Liter, der für den Import als Devisenverlust in Rechnung steht, können dabei rund 200 bis 300 Millionen Franken eingespart werden. Unter der Annahme, dass ein Arbeitsplatz im Bereich der vermehrten Nutzung von landwirtschaftlichen Produkten für Anwendungen ausserhalb der eigentlichen Nahrungsmittelproduktion rund 40'000 Franken kostet, könnten sich dabei pro Jahr rund 5'000 neue Arbeitsplätze in diesem Gebiet schaffen.

Schlussfolgerungen

Heute gibt es verschiedene Herstellungs- und Nutzungsmöglichkeiten von Biotreibstoffen, welche sowohl aus ökologischer wie auch aus ökonomischer Sicht zu empfehlen sind.

Teilweise besteht noch Entwicklungsbedarf um die Verfahren industriell anzuwenden oder die Ausbeute zu optimieren. So zeigt es sich z.B. bei der grossmassstäblichen Ethanolproduktion in Brasilien, dass die Ausbeute aufgrund der Lernkurve innert rund 10 Jahren auf beinahe das Doppelte gesteigert werden konnte.

Vor allem besteht ein Informationsbedarf für Benutzer, Hersteller und politische Entscheidungsträger über die Möglichkeiten, die Vor- und allfälligen Nachteile der verschiedenen Möglichkeiten. Nur so können die notwendigen Rahmenbedingungen geschaffen werden, um die Biotreibstoffe zu fördern. Für die unterzuchten Biotreibstoffe konnte gezeigt werden, welche Linien sinnvoll sind. Deren Umsetzung sollte gefördert werden. Ein wesentlicher Aspekt ist auch, dass damit neue Arbeitsplätze geschaffen werden können.

Wie bei allen Überlegungen zur Erreichung einer nachhaltigen Entwicklung zeigt sich, dass ein Ausbau der erneuerbaren Ressourcen vor allem dann zu hohen Deckungsanteilen führt, wenn gleichzeitig der Gesamtverbrauch durch effizienteren Umgang gesenkt werden kann. Dabei wird unterstellt, dass der mittlere Verbrauch der Flotte aller Personenwagen in der Schweiz durch Umstellung auf bessere Technologien wie Magermotoren, Brennstoffzellen und/oder Hybridautos möglich sein wird. Ein markanter Rückgang bedingt jedoch auch eine Umstellung von heute durchschnittlich rund 2000 kg schweren Autos auf leichtere Fahrzeuge. Die dazu notwendige Technologie ist vorhanden.

Literatur

Für weitergehende Informationen und die verwendete Literatur wird auf den Bericht und die darin enthaltenen Literaturstellen verwiesen

F. Dinkel, M. Real: 'Treibstoffe aus Biomasse' im Auftrag des Bundesamtes für Energie, 1998, Erschienen in der Reihe 'Programm Biomasse'.

Prof. José Goldemberg
(former Minister of Science and Technology)
University of São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado no 925
05508-900 São Paulo, Brazil

ETHANOL: A "GREEN" OPTION TO GASOLINE

Abstract

The launching of the Alcohol Program from sugarcane in Brazil in the mid 70's was an attempt to face the "oil crisis" of 70's as well as a solution to the problem of the fluctuating sugar prices in the international market. The technical characteristics of ethanol as a fuel are given as well as a discussion of the evolution of the cost of production, environmental and social consequences.

Ethanol production cost was close to 100 dollars a barrel in the initial stages of Program in 1980 falling rapidly due to economies of scale and technological progress half less than half that value in 1990, followed by a further decline to 25 barrels per barrel in recent years.

The main attractiveness of the Program –the reduction of CO₂ emissions as compared to fossil fuels- is stressed, mainly as a solution for industrialized countries to fulfill their commitments with the United Nations Framework Climate Change Convention.

I. Technical Facts

In Brazil, ethanol is used in one of two ways:

- As octane enhancer in gasoline in the form of 22 percent anhydrous ethanol at 99.6 Gay-Lussac (GL) and 0.4 percent water as mixture is called "gasohol" or
- in neat-ethanol engines in the form of hydrated ethanol at 95.5 GL

Ethanol makes an excellent motor fuel: it has a motor octane number which exceeds that of gasoline and has a lower vapor pressure than gasoline which results in lower evaporative emissions. Ethanol's flammability in air is also much lower than that of gasoline which reduces the number and severity of vehicle fires (Table 1).

Ethanol's properties (as a fuel) have led to the development of dedicated engines and modified engines for the ethanol-gasoline mixture in Brazil. Until 1988 developments were made by manufacturers (GM, Ford, Volkswagen, Fiat) for carburetor-based systems; electronic fuel injection systems are now available for all engines.

Table 1
FUEL PROPERTIES AND CHARACTERISTICS

	GASOLINE	ETHANOL
Specific caloric value (kJ/kg)	34900	26700
Octane number (RON/MON)*	91/80	109/98
Latent heat of vaporization (kJ/kg)	376 ~ 502	903
Ignition temperature (°C)	220	420
Stoichiometric Air Fuel ratio	14.5	9

*RON – research octane number

MON – motor octane number

1. The impact of alcohol engines on air pollution

The introduction of gasohol has had an immediate impact on the air quality of the large cities particularly São Paulo. Initially lead additives were reduced as the amount of alcohol in the gasoline was increased and they were completely eliminated in 1991. The aromatic hydrocarbons (such as benzene) which are particularly toxic were also eliminated and the sulphur content was reduced as well.

In pure ethanol cars sulphur emissions were eliminated which allowed the use of catalyzers dividend. Due to the high levels of sulphur in Brazilian gasoline catalysers would be rapidly contaminated; Consequently, the use of ethanol made viable, in an indirect way, the introduction of catalyzers in Brazil. In addition to that, carbon monoxide emissions were drastically reduced: before 1980, when gasoline was the only fuel in use, CO emissions were higher than 50 g/km; and they went down to less than 5.8 g/km in 1995 (Table 2).

One of the drawbacks of the use of pure ethanol is the increase in aldehyde emissions as compared to gasoline or gasohol. It can be argued however that the acetaldehyde from alcohol use is less aggressive to human health and the environment than formaldehyde produced when gasoline is used.

Table 2
LIGHT – VEHICLE EMISSIONS IN BRAZIL

YEAR	FUEL	POLLUTANT (grams per kilometer)			
		CO	HC	NOx	Aldehydes
Before 1980	Gasoline	54	4.7	1.2	0.05
1986	Gasohol	22	2	1.9	0.04
	Ethanol	16	1.6	1.8	0.11
1990	Gasohol	13.3	1.4	1.4	0.04
	Ethanol	10.8	1.3	1.2	0.11
1995	Gasohol	4.7	0.6	0.6	0.025
	Ethanol	4.6	0.7	0.7	0.042

Source: Szwarc,A,1996 – “Ethanol e Gasolina: Impactos Ambientais e na Saúde – Produção e Uso”. O Álcool e a Nova Ordem Econômica Mundial, Frente Parlamentar Sucroalcooleira, Brasília.

2. Global environmental issues

The net contribution to atmospheric CO₂ accumulation from the sugarcane agro-industry in Brazil is summarized in Table 3.

The net contribution of sugarcane, abating 8,99 million tonnes of C equivalent per year is an impressive result and corresponds to approximately 18% of all emissions in Brazil excluding deforestation.

Table 3
NET CARBON (EQUIV) EMISSIONS DUE SUGARCANE USED FOR ETHANOL
PRODUCTION IN BRAZIL (1996) (MEASURED AS tC)

	Million tC (equiv)/year
Fossil fuel utilization in the agro-industry	+0.82
Methane emissions (sugarcane burning)	+0.04
N ₂ O emissions	+0.15
Ethanol substitution for gasoline	-9.13
Bagasse substitution for fuel oil (food and chemical industry)	-0.87
Net contribution	-8.99

3. Energy Balance

Energy use for ethanol production can be measured by subtracting energy inputs from the energy produced, and dividing this difference by the energy content of the feedstock:

$$\text{Energy Ratio} = \frac{\text{Energy in products} - \text{External energy inputs}}{\text{Energy in feedstock}}$$

Under average conditions, the ratio of energy in ethanol/energy for fossil fuel spent (for both agriculture and industry) was 5.9; under best conditions the number rose to 8.2. (The energy content of surplus bagasse not needed as fuel is not included in these figures). The net energy ratios for corn-derived ethanol are much lower because almost all corn-processing operations need fossil fuels to produce ethanol, whereas sugarcane-derived ethanol can be produced using bagasse for fuel (-0,02 to 0,11%).

II. The ethanol program in Brazil: an experiment in real time

Sugarcane was introduced in the northeast region of Brazil in the 17th century to break the world monopoly of France on sugar supply which was produced in the Caribbean Islands. Since then it has been an important agricultural activity in the country.

In 1970 some 30 million tons of sugarcane were produced yielding approximately 5 million tons of sugar; in 1996 sugarcane production has reached 273 million tons yielding 13.5 million tons of sugar and 13.9 million liters of alcohol (ethanol). Some 35% of the sugarcane is used to produce sugar (1 ton of sugar requiring approximately 8.5 tons of sugarcane) and

65% to produce alcohol (1m³ requiring 12.5 tons of sugarcane). Total land area covered by sugarcane plantations is approximately 4.2 million hectares (60% in the State of São Paulo where sugarcane has replaced, to a large extent, traditional coffee plantations). Average productivity of sugarcane crops in Brazil is 65 tons/hectare (Table 4) and figure 1.

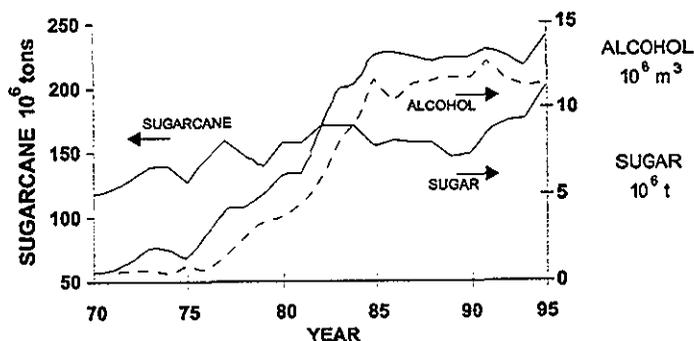
Table 4
ETHANOL AND SUGAR PRODUCTION FROM SUGARCANE – 1996/97

	SUGARCANE	SUGAR	ETHANOL
Area cultivated (million hectares)	4.2	1.51	2.69
Total production (million tonnes)	273	13.55	13.90
Productivity	65 tons/há	7.6 tonnes/há	5170 liters/há
Yield (per tonne of sugarcane)		0.138 tonnes	79.5 liters

Source: Datagro 1997, no 2; Datagro 1997, no 4; Datagro 1996, no 10; Datagro 1996, no 6.

FIGURE 1

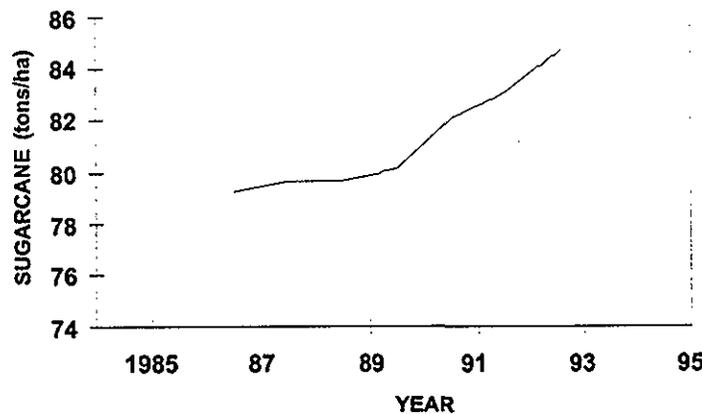
SUGARCANE, SUGAR AND ALCOHOL PRODUCTION IN BRAZIL



Technological development and its transfer to Brazilian alcohol and sugar factories was initially hampered by the low average technical level that prevailed during the mid-1970's among the nearly 400 existing industrial units. Other drawbacks include differences in the scale of production which might vary from 2,000 to 32,000 tonnes of cane a day, and in the technological level (overall conversion efficiencies from raw cane to refined cane sugar might differ by 20 percent). As production grew, technology improved considerably both in the agricultural and industrial areas.

Figure 2 indicates the increased in cane productivity obtained in the period 1985-1995 in tons of cane/hectare.

FIGURE 2
AVERAGE SUGARCANE YIELD



Such increase was due to improvements in

- * selected varieties of sugarcane
- * juice extraction - 45% more than in 1975, with a decline in the amount of energy used per tonne of millable cane.
- * treatment of the juice and fermentation - thanks to continuous fermentation and biological control
- * distillation - due to improvements in the equipment and changes in the alcohol content of the mixture

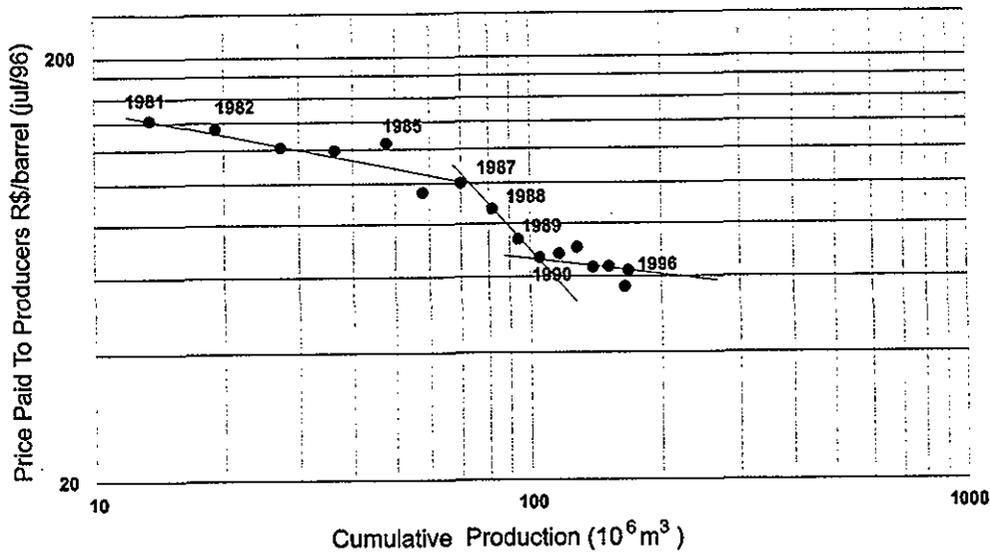
Further cost reductions of about 23 percent could be achieved within the next few years simply by adopting available technologies, some of which are already in use.

It is likely therefore that the average rate of cost reduction (approximately 4 percent annually over the past decade) could be maintained for several years.

The resulting decline in ethanol costs is not unexpected. Usually prices of any given manufactured product decline as sales increase according to an "experience curve" (or "learning curve") which reflect gains due to technological progress, economies of scale and organizational learning. Experience shows that such decline is exponential as production grows. An indicator called progress ratio (PR) is in general used to describe it. For example a PR of 80% means that the cost declines 20% for each doubling of production. The lower the PR the faster the decline in cost.

Data for the cost of ethanol up to 1995, given shown in Figure 3, indicates that in period 1981-87 the alcohol prices did not declined very rapidly (PR of approximately 80%) but in the period 1987-1990 decreased very rapidly (PR of 50%) followed by a period of stagnation (PR of 90%).

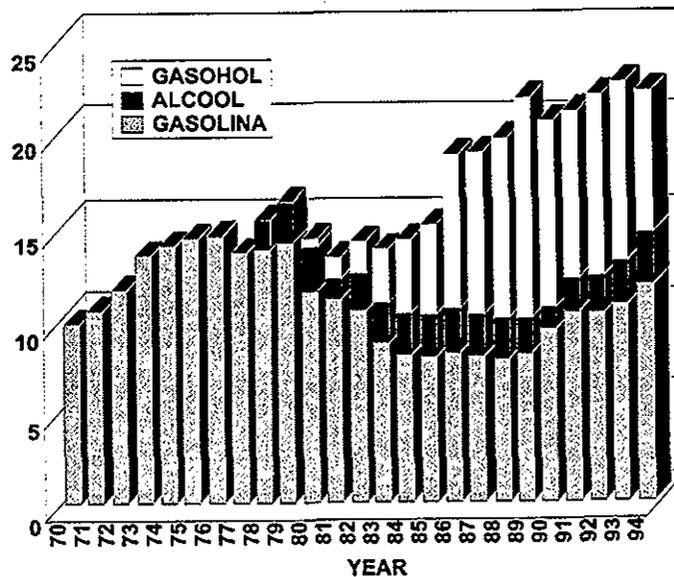
Figure 3
Cost Evolution of Ethanol in Brazil



One can interpret this behavior as an indication that the initial period of the alcohol program up to 1987 was characterized by a great expansion in the yearly production but sluggish technological progress, which accelerated rapidly in the period 1987-1990. After that, the level of production stagnated, technological progress was reduced and the cost of ethanol declined more slowly.

The success of the Program can be judged by the fact that today 240,000 barrels of ethanol are used per day, reducing the amount of gasoline that would be needed to run the Brazilian fleet of 16 million automobiles by 50% (figure 4).

FIGURE 4
EVOLUTION OF FUEL CONSUMPTION IN BRAZIL



BIODIESEL in der Praxis

In Deutschland wird BIODIESEL heute an über 750 Tankstellen verkauft. Vorausgegangen war dieser Markteinführung ein großes Versuchsprogramm, bei dem zahlreiche Fahrzeuge in Flottentests und Prüfstandversuchen untersucht wurden. Die Umweltdiskussion hat breiten Raum eingenommen und Motorenhersteller haben zahlreiche Modellreihen BIODIESEL-fest ausgerüstet und zur Verwendung freigegeben.

Die Umweltvorteile von BIODIESEL, speziell im Bezug auf die CO₂-Bilanz, die Einsparung fossiler Energien und die niedrige Wassergefährdung sind allgemein akzeptiert und Hersteller bieten BIODIESEL in hervorragender Qualität entsprechend der deutschen Norm an. Auch Großbetriebe haben inzwischen ihre Fahrzeugflotten auf BIODIESEL umgestellt, z.B. das Trinkwasserversorgungsunternehmen Gelsenwasser AG aufgrund der Vorzüge von BIODIESEL bei Unfällen im Wassergewinnungsgebiet. Über die Einführung von BIODIESEL in dem Nahverkehrsbetrieb Kreiswerke Heinsberg GmbH und den dort gemachten positiven Erfahrungen wird berichtet.

Actually about 750 filling stations offer BIODIESEL in Germany. This positive market introduction was only possible due to extensive engine and vehicle tests. Controversial discussions on the ecological benefits which finally led to commonly accepted merits and cooperative engine manufacturers who are offering a large scale of vehicles fit for use with BIODIESEL.

Commonly accepted are the merits of BIODIESEL in its potential of reducing consumption of fluid hydrocarbons, less emissions of climatic dangerous gases and definitely lower danger to watersheds and soil. Rigorous standardisation of the quality criteria led to reliable supply of this fuel at similar price as diesel fuel, due to the legal exemption of mineral oil taxes valid in Germany. Large enterprises have accepted BIODIESEL as fuel for their engine fleet, i.e. Gelsenwasser AG, a major supplier of drinking water, is using only BIODIESEL in the areas where drinking water is produced. Recently, a regional public transport enterprise, Kreiswerke Heinsberg GmbH, have decided to use BIODIESEL exclusively in their 130 busses transport fleet with excellent success.

1. Was ist BIODIESEL?

Die heutige Generation der Dieselmotoren ist technisch ausgereift und stellt hohe Qualitätsanforderungen an den Kraftstoff und das Motorenschmieröl. Alle Versuche, solche Motoren mit Pflanzenöl zu betreiben, bzw. mit Mischungen von Pflanzenöl und Fossildiesel, können als gescheitert gelten. Spezialentwicklungen (Elsbett, Thüringer Motorenwerke, KHD, Schönebeck u.a.) haben nur einen sehr kleinen Markt gefunden, im wesentlichen in stationären Aggregaten. Durch den höheren Preis dieser Sonderanfertigungen und durch die nach wie vor unbekannte Lebensdauer schwinden die Preisvorteile zwischen reinem Rapsöl - das für solche Aggregate ja auch eine Mindestqualität aufweisen muß und den geringen Mehrkosten, die die Umesterung von Pflanzenölen zu BIODIESEL verursacht.

Durch eine einfache chemische Reaktion können die Triglyzeride, aus denen Pflanzenöle bestehen - hier sind drei Fettsäuren an ein Glycerin-Molekül gebunden - in Pflanzenölfettsäuremethylester umgewandelt werden, wobei jeweils drei Methylalkohol-Moleküle das Glycerin-Molekül ersetzen mit dem Ergebnis, daß das Produkt in seinen physikalischen Eigenschaften den Fossilkraftstoffen, die heute den Markt beherrschen, sehr ähnlich wird. Insbesondere kann hierdurch die Viskosität um fast einen Faktor 10 abgesenkt werden und da das Fettsäuremethylester-Molekül dem Cetan sehr ähnlich ist, erfolgt die Verbrennung im Motor ähnlich - manche Autoren sagen auch deutlich besser - als bei dem fossilen Kraftstoff.

Abbildung 1 zeigt das Prinzipschema der Herstellung von Rapsölmethylester. Aus dem Edukt Rapssaat wird zunächst Futtermittel und Öl in der Ölmühle hergestellt. Das Öl wird dann mit Methanol zu BIODIESEL und Glycerin umgesetzt.

Aus diesem Schema lassen sich auch die wichtigsten Einflüsse ableiten, die die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens bestimmen. Die Verkaufserlöse für Futtermittel, BIODIESEL und Glycerin müssen die Kosten für Rapssaat und die Verarbeitungsprozesse abdecken. Da alle diese Produkte auf dem Weltmarkt gehandelt werden und dort starken Preisfluktuationen unterliegen, die nicht notwendigerweise den Preisschwankungen für Erdöl parallel laufen, gehorcht auch der BIODIESEL-Markt anderen Gesetzen als der Mineralölmarkt. In Deutschland wird heute BIODIESEL zu etwa den gleichen Preisen (manchmal 5 Pfg. billiger) wie fossiler Dieselkraftstoff verkauft. Dieses ist dadurch möglich, daß in Deutschland auf BIODIESEL keine Mineralölsteuer angerechnet wird.

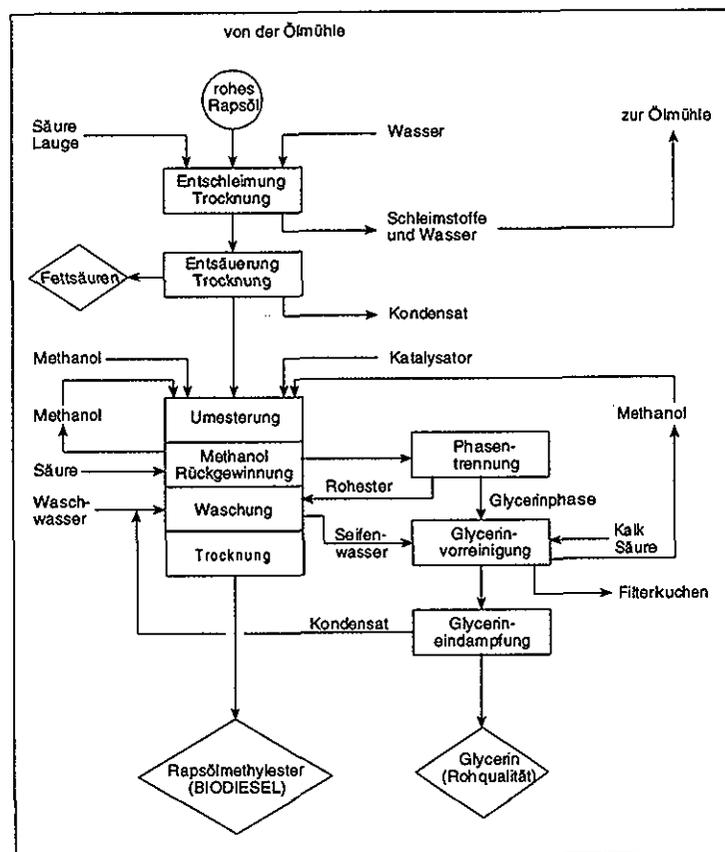


Abbildung 1: Prinzipschema der Herstellung von Rapsölmethylester

2 Die Umweltvorzüglichkeit

Lange Jahre wurde die Umweltvorzüglichkeit von BIODIESEL kontrovers und teilweise polemisch diskutiert. Die Verfechter von BIODIESEL sehen hierin die Möglichkeit, CO₂ einzusparen und die Emissionen von Fahrzeugen drastisch zu reduzieren, zusätzlich sorgen die schnelle biologische Abbaubarkeit des Produktes für Vorzüge bei der Reduzierung von Belastungen im Wasser und im Boden, z.B. bei Unfällen.

Exponent der Gegenseite war das deutsche Umweltbundesamt, das anführte, daß bei der Herstellung von Rapssaat auf dem Acker enorme Mengen von N₂O erzeugt würden, was zur Klimaverschlechterung beitrage und das bei den nicht-limitierten Abgasemissionen Stoffe in höherem Maße erzeugt würden, die gesundheitsschädlicher seien, als dies bei Dieselkraftstoff der Fall ist.

Im Rahmen einer großen Umweltbilanzierung haben unterschiedliche Autoren (G.A. Reinhardt, G. Zemanek /1/, K. Scharmer, G. Gosse /2/) gezeigt, daß BIODIESEL gegenüber fossilem Diesel doch enorme Vorteile besitzt.

Abbildung 2 gibt eine Übersicht über das Bilanzierungsschema /2/, wobei zwei genau definierte Szenarien miteinander verglichen werden, einmal der Verbrauch von fossilem Diesel, Import von Sojaschrot und Verbrauch von synthetisch erzeugtem Glycerin, zum anderen die Erzeugung von Rapssaat, Zurückdrängen des Sojaimportes und der Glycerinsynthese sowie Ersatz von fossilem Diesel durch BIODIESEL.

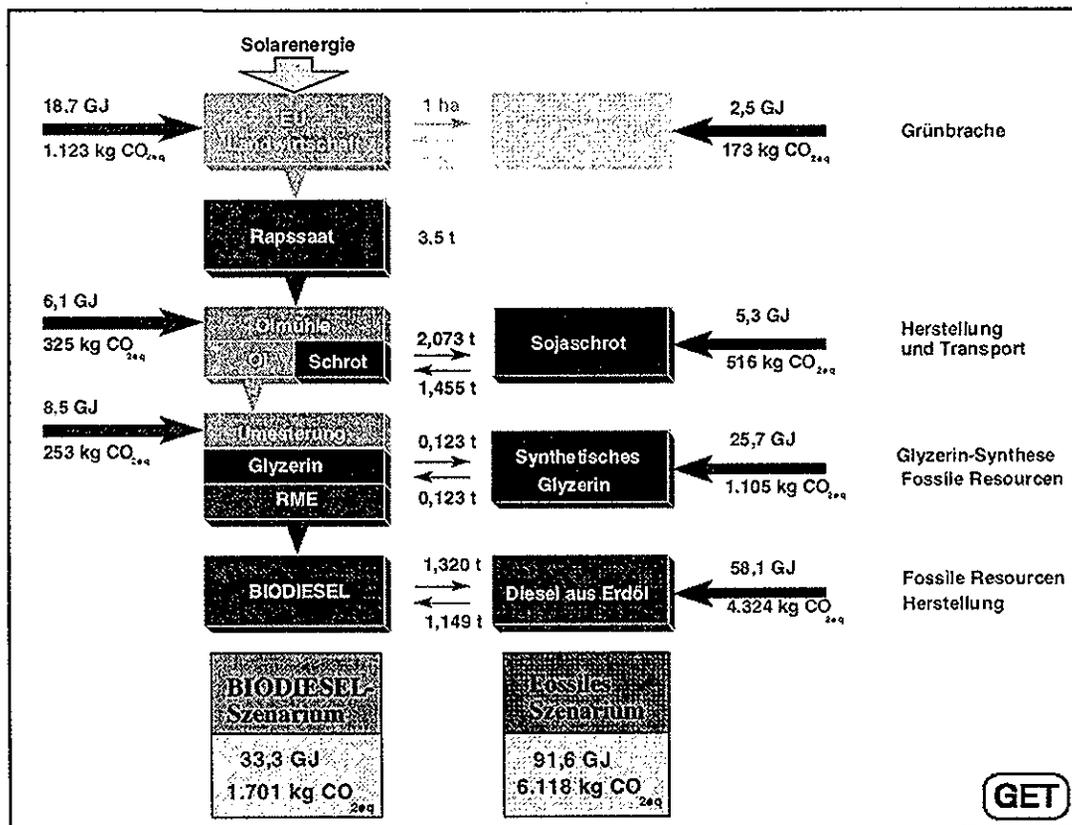


Abbildung 2: Übersicht über das Bilanzierungsschema

Hieraus ergeben sich folgende Zahlen:

- Einsparung fossiler Energieträger beim Ersatz von 1 l Fossildiesel durch BIODIESEL 42,9 MJ/l
- Einsparung an Klimagasemissionen pro l ersetzttem Fossildiesel 3,4 kg CO_{2eq}/l

In dieser Zahl sind die tatsächlich durch Messungen nachgewiesenen N₂O-Emissionen der landwirtschaftlichen Herstellung sowie während der gesamten Prozeßkette mit berücksichtigt.

Interessant ist es, die Kosten der CO₂-Einsparung abzuschätzen. Unterstellt man, daß BIODIESEL zum gleichen Preis an den Endverbraucher verkauft wird wie Fossildiesel und daß dem Staat hierbei lediglich die Mineralölsteuer von 0,62 DM/l entgeht (Stand 1998), so ergeben sich:

- 191,-- DM/t vermiedene CO₂-Emissionen.

Hierbei ist nicht berücksichtigt, daß durch die BIODIESEL-Strategie im erheblichen Maß Arbeitsplätze neu geschaffen, bzw. erhalten, werden (pro 1 Mio. Hektar Rapsanbaufläche, deren Produktion im BIODIESEL-Sektor verarbeitet wird, sind dies nach Abschätzung der ADEME/Frankreich insgesamt 18.000 Arbeitsplätze). Schließlich erzeugt die BIODIESEL-Aktivität Rückflüsse durch Steuern auf Löhne, Gehälter und umgesetzte Waren sowie eine Verbesserung der Außenhandelsbilanz. Abschätzungen in Frankreich, Belgien und Deutschland haben gezeigt, daß dadurch der tatsächliche Einnahmeausfall des Staates auf ca. 0,20 DM/l nicht verkauften Fossildiesels sinkt. Damit werden die Nettokosten der CO₂-Einsparung auf lediglich

62,-- DM/t vermiedenes CO₂

abgesenkt. Zusätzliche Vorteile bestehen in der schnellen biologischen Abbaubarkeit, der geringen Wassergefährdungsklasse (WGK 1), dem hohen Flammpunkt und der Ungiftigkeit des Produktes.

Aufgrund dieser Überlegungen setzt die deutsche Gelsenwasser AG - eine der größten Trinkwasserproduzenten - auf die 100 %ige Verwendung von BIODIESEL in den Trinkwassererzeugungsgebieten. Mit großem Erfolg wird dort der gesamte Maschinenpark seit 1988 mit BIODIESEL betrieben. Auch die Hydrauliköle wurde auf voll biologisch abbaubare Produkte umgestellt und seit 1994 wird mit Erfolg ein biologisch abbaubares Motoren- und Getriebeöl eingesetzt. Die Abbaubarkeitsrate liegt nach CEC/L-33-T-82 bei 87 % (Hersteller: Burmah Oil). Motorschäden wurden bislang nicht beobachtet. Auch die peripheren Aggregate laufen einwandfrei.

Die Akzeptanz von BIODIESEL bei den Nutzern

Die Markteinführung von BIODIESEL wäre unmöglich gewesen, wenn nicht von einem frühen Zeitpunkt an, zahlreiche Motorenhersteller sich diesem Problem zugewandt hätten. Insbesondere VW und Mercedes haben ausführliche eigene Versuche gefahren und zahlreiche Fahrzeuge werden heute bereits „BIODIESEL-fest“ auf dem Markt angeboten. Eine Liste der Freigaben kann unter <http://www.ufop.de> abgerufen werden. Besonders bei älteren Fahrzeugen, die auf BIODIESEL umgestellt werden, muß darauf geachtet werden, daß Elastomere, die mit BIODIESEL in Berührung kommen gegen diesen beständig sein müssen. Das ist bei vielen konventionellen Kunststoffen nicht der Fall. Dort wird z.B. der

Weichmacher herausgelöst und durch BIODIESEL ersetzt, der dann, wenn wieder Fossildiesel getankt wird, herausgelöst wird, so daß die Elastomere brüchig werden. Gummi wird vollständig aufgelöst und einige andere Materialien schwellen und neigen dazu, ihre Festigkeit zu verlieren.

Die Motorverträglichkeit von BIODIESEL ist nie ernsthaft infrage gestellt worden, wenn die Qualitätskriterien eingehalten werden. Bei Versuchen, die wir im Auftrages des Bundesministers für Forschung und Technologie zusammen mit Dr.-Ing. h.c.F. Porsche AG durchgeführt haben, hat sich gezeigt, daß sich auch bei erhöhten Glyzeridgehalten keine ungewöhnlichen Ablagerungen im Motor gezeigt haben und auch die Abgaswerte in dem gesetzlich festgeschriebenen Bereich blieben.

In der Frühzeit wurde oft der negative Geruch von BIODIESEL-Abgasen als Hinderungsgrund für die Markteinführung angegeben. Der extrem niedrige Schwefelgehalt erlaubt es jedoch, Oxidationskatalysatoren einzusetzen, die den Geruch vollständig entfernen. Solche Fahrzeuge sind am Geruch praktisch nicht mehr zu erkennen. Zahlreiche Messungen haben zudem gezeigt, daß die Emissionen von HC und Ruß deutlich abgesenkt werden. Auch die Partikelemission nimmt bei den meisten Fahrzeugtypen ab. Fahrzeuge mit Katalysatoren haben ca. 40 % HC-Absenkung und teilweise über 60 % weniger Partikel im Abgas. Auch die nicht-limitierten Schadstoffe, insbesondere die als stark krebserzeugend eingestuft, sinken drastisch. Einige Messungen zeigen allerdings um 20 - 30 % erhöhte Formaldehyd-Emissionen. Diese liegen jedoch deutlich unter dem gesundheitsgefährdenden Bereich.

Diese Entwicklung hat dazu geführt, daß in Deutschland BIODIESEL an z.Z. über 750 Tankstellen verkauft wird und daß zahlreiche größere Betriebe ihre Fahrzeuge auf BIODIESEL umgestellt haben.

4 Die Normung

In Österreich, Deutschland, Frankreich und Italien hat bereits vor geraumer Zeit die Normung von BIODIESEL eingesetzt. Vorbild waren hier die Werte, die in der EN 590 für Fossildieselmotoren limitiert werden. Zusätzlich mußten die esterspezifischen Werte definiert und festgelegt werden.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über den Stand der nationalen Normen.

Tabelle 1: Vergleich der BIODIESEL-Normen in Europa (Quelle: ALTENER (DG XVII: The non Technical Barriers Network, Update July 1998)

			Österreich	Frankreich	Deutschland	Italien	Schweden
Standard/ Standard	Kondition en	Einheit	ON C1191	Journal Officiel	DIN E 51606	UNI 10635	SS 15 54 36
Datum			1. Juli 1997	14. Sep. 1997	Sep. 1997	21 Apr. 1997	27 Nov. 1996
Anwendung			FAME*	VOME*	FAME*	VOME*	VOME*
Dichte	15 °C	g/cm ³	0,85 - 0,89	0,87 - 0,90	0,875 - 0,90	0,86 - 0,90	0,87 - 0,90
Viskosität	40 °C	mm ² /s	3,5 - 5,0	3,5 - 5,0	3,5 - 5,0	3,5 - 5,0	3,5 - 5,0
Destillation	I.B.P.	°C	-	-	-	≥ 300	-
Destillation	95 %	°C	-	≤ 360	-	≤ 360	-
Flashpoint		°C	≥ 100	≥ 100	≥ 110	≥ 100	≥ 100
CFPP		°C	≤ 0/-15	-	≤ 0/-10/-20	≤ 0/-15	≤ -5
Pourpoint	Sommer	°C	-	≤ -10	-	-	-
Gesamt Schwefel		% Masse	≤ 0,02	-	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,001
CCR	100 %	% Masse	-	-	-	-	-
CCR	10 %	% Masse	≤ 0,05	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,5	-
Sulfatasche		% Masse	≤ 0,02	-	≤ 0,02	-	-
(Oxid) Asche		% Masse	-	-	-	≤ 0,01	≤ 0,01
Wassergehalt		mg/kg	-	≤ 200	≤ 300	≤ 700	≤ 300
Gesamtverunreinigungen		mg/kg	-	-	≤ 20	-	≤ 20
Cetanzahl		-	≥ 49	≥ 49	≥ 49	-	≥ 48
Neutralisationszahl		mgKOH/g	≤ 0,8	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,6
Methanolgehalt		% Masse	≤ 0,20	≤ 0,1	≤ 0,3	≤ 0,2	≤ 0,2
Estergehalt		% Masse	-	≥ 96,5	-	≥ 98	≥ 98
Monoglyceride		% Masse	-	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 0,8
Diglyceride		% Masse	-	≤ 0,2	≤ 0,4	≤ 0,2	≤ 0,1
Triglyceride		% Masse	-	≤ 0,2	≤ 0,4	≤ 0,1	≤ 0,1
Freies Glycerin		% Masse	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,05	≤ 0,02
Gesamtglycerin		% Masse	≤ 0,24	≤ 0,25	≤ 0,25	-	-
Iodzahl			≤ 120	≤ 115	≤ 115	-	≤ 125
Phosphor		mg/kg	≤ 20	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Alkaligehalt	Na/K	mg/kg	-	≤ 5/5	≤ 5	-	≤ 10/10

* FAME: Fatty Acid Methyl Ester (Fettsäuremethylester) - * VOME: Vegetable Oil Methyl Ester (Pflanzenölmethylester)

Hieraus ist ersichtlich, daß es an einigen Stellen deutliche Unterschiede bestehen, z.B. beim Wassergehalt. Während man in Österreich der Meinung ist, daß BIODIESEL dann im Motor verwendbar ist, wenn er kein abgesetztes Wasser zeigt, wurde dieser Wert in Frankreich auf 200 ppm begrenzt, da dort BIODIESEL zu 5 % dem Fossildiesel beigemischt wird und dieser auf 200 ppm im Wasser limitiert ist. In Deutschland ist dieser Wert auf 300 ppm begrenzt.

Im Oktober 1997 wurde von der Europäischen Kommission ein Mandat zur Erstellung einer Europäischen Norm ausgesprochen. Diese Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen. Der Normenentwurf soll im Dezember d.J. vorgelegt werden. Genormt werden soll BIODIESEL als Kraftstoff in reiner Verwendung (100 %) sowie als 5 %-Beimischung zum Fossilkraftstoff. Da in Italien und Frankreich ein Großteil der BIODIESEL-Produktion im Heizölsektor eingesetzt wird, wird auch für diese Anwendung eine Norm erarbeitet. Die Normungsarbeit umfaßt zusätzlich zur Festlegung der Eigenschaften, die limitiert werden sollen, die Normung der Nachweismethoden, wobei zunächst die Methoden geprüft werden, die derzeit für fossilen Dieselmotorkraftstoff verwendet werden sowie die Methoden, die zum Nachweis der pflanzenölspezifischen Parameter wie Säuregehalt, Glycerin- und Glyceridekonzentration, Estergehalt, etc. vorgeschlagen sind. Hierzu sind umfassende Ringversuche notwendig.

5 Markteinführung in Deutschland

Aufgrund der steuerlichen Gesetzgebung kann BIODIESEL in Deutschland nur als Alleinkraftstoff eingesetzt werden, wenn er nicht der Mineralölsteuer unterliegen soll. In Frankreich, Italien und Schweden wurden Ausnahmeregelungen für Mischungen steuerlich geregelt, so daß dort auch von den Mineralölfirmen mit BIODIESEL versetzte Kraftstoffe auf dem Markt angeboten werden können. Die UFOP - Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. hat in Deutschland stark zur Promotion von BIODIESEL beigetragen und insbesondere den Aufbau des Tankstellennetzes vorangetrieben. Eine Karte dieses Netzes kann bei der UFOP e.V. angefordert werden.

In zahlreichen Städten wurden Flottenversuche durchgeführt, insbesondere unterstützt im Rahmen des EURO-BIODIESEL-Projektes, bei dem mit Förderung der Europäischen Union Unternehmen in Deutschland, Frankreich und Italien an Verfahren zur Herstellung von BIODIESEL, dem Bau von Demonstrationsanlagen und der Erprobung zusammengearbeitet haben.

Beispielhaft möchte ich von einem Vorhaben der Kreiswerke Heinsberg GmbH berichten, die ihre kommunalen Verkehrsbetriebe mit 130 Bussen komplett auf BIODIESEL umgestellt haben. Unsere Firma wurde mit der Vorbereitung und Begleitung dieses Vorhabens beauftragt. Ausgangspunkt war eine Auflage der Berufsgenossenschaft, Anlagen zu installieren, die die Emissionen bei den Tankanlagen der Kreiswerke durch Nachrüstung von Absaugsystemen vermindern sollten. Durch eine Abschätzung der Emissionswerte konnten wir nachweisen, daß dies dann nicht notwendig sein würde, wenn die Busse auf BIODIESEL umgestellt würden, was dann auch von dem Aufsichtsrat der Kreiswerke genehmigt wurde. Diese Entscheidung wurde unterstützt durch die Überzeugung, daß BIODIESEL unter gesamtökologischen Gesichtspunkten eine sinnvolle Alternative darstelle.

Als erster Schritt wurden in einem einjährigen Praxistext 30 Fahrzeuge umgestellt

BIODIESEL-Flotte des 1. Projektjahres			
Standard-Linienbusse		Standard-Gelenkbusse	
2 MB O 405	(EURO 0)	1 MB O 405 G	EURO I
2 MB O 407	(EURO 0)	1 MB O 405 G	EURO II
11 MB O 405	EURO I	4 MAN SG 312	EURO II
9 MB O 405	EURO II		

Alle Fahrzeuge wurden mit Abgas-Oxidationskatalysatoren ausgerüstet und alle mit BIODIESEL in Berührungen kommenden Schläuche und Dichtungen wurden durch BIODIESEL-festes Material ersetzt. Die Kosten für die Umrüstung eines Busses betragen etwa 6.000,-- DM.

Ein wichtiger Diskussionspunkt war der Einfluß von BIODIESEL auf die Schmierölcharakteristika, denn die Ölwechselintervalle von ca. 60.000 km sollten nach Möglichkeit nicht verkürzt werden. Hierzu wurden detaillierte Untersuchungen der Schmierölqualität während der Laufzeit durchgeführt.

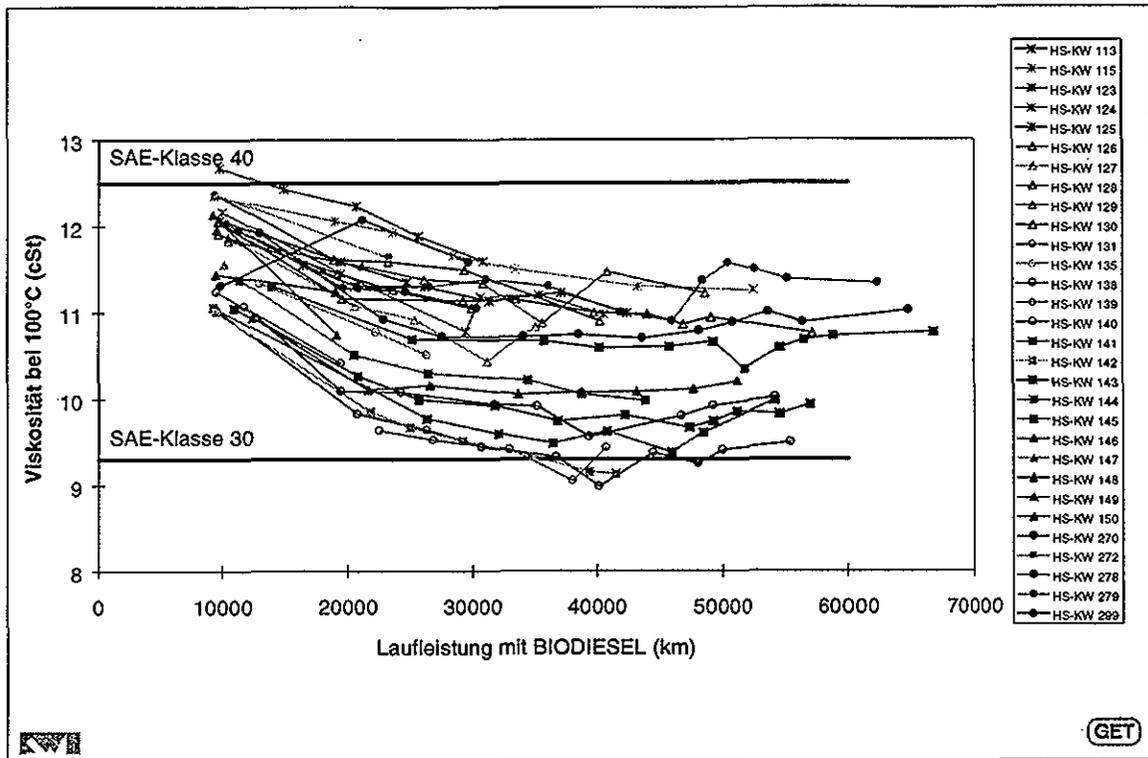


Abbildung 2: Öluntersuchungen/Viskosität bei 100 °C (Motorenöl SAE 10W-40)

Der Verlauf zeigt deutlich, daß die Viskosität des Schmieröls im Toleranzbereich liegt. Auch die Fe-Konzentration zeigte in keinem Fall unübliche Verschleißwerte.

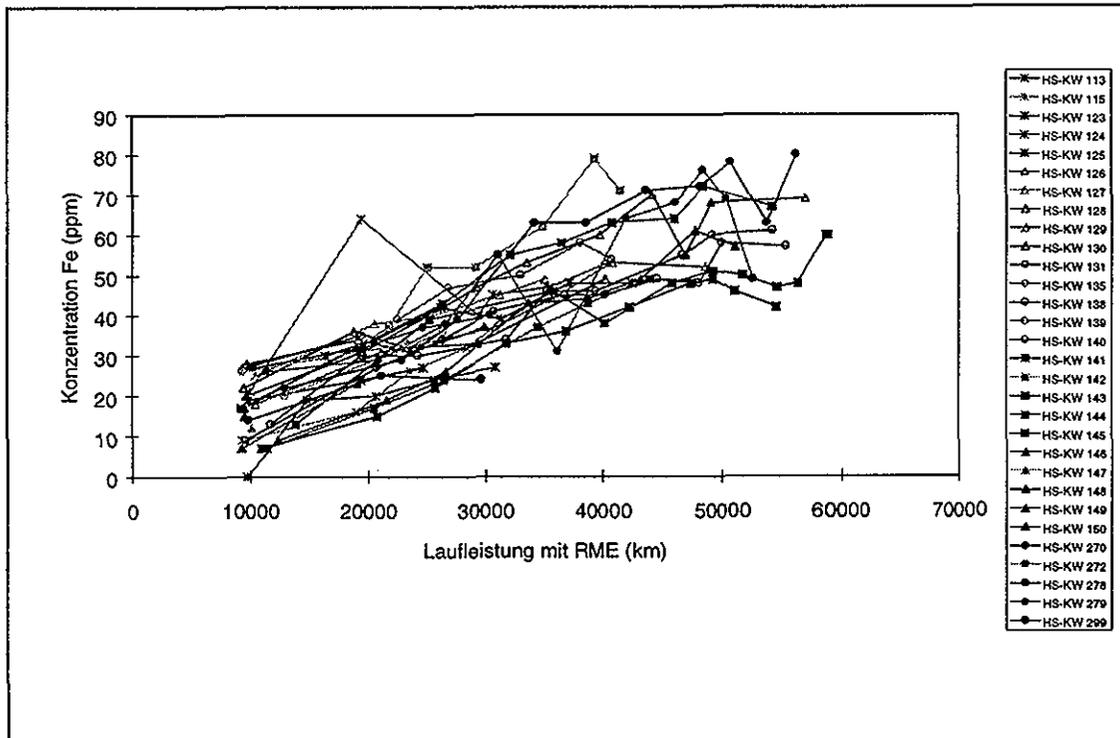


Abbildung 3: Öluntersuchungen/Fe-Anteil

Nachdem diese erste Phase erfolgreich abgeschlossen wurde und nachdem erneute Messungen der Berufsgenossenschaft keine erhöhten Abgaswerte bei der Betankungsanlage feststellen konnten, wurde Zug um Zug der Rest der Flotte umgestellt.

Wichtig für einen Verkehrsbetrieb sind natürlich die Kosten.

Abbildung 4 zeigt den Kraftstoffverbrauch der Standardlinienbusse im Vergleich zu dem Verbrauch an Fossildiesel und Abbildung 5 die Kraftstoffkosten, die dabei anfielen. Es zeigte sich, daß im gesamten Bereich die Kraftstoffkosten für BIODIESEL niedriger lagen. Lediglich im vergangenen Jahr gab es einige Monate, wo BIODIESEL sehr teuer war und damit die Kraftstoffkosten höher lagen. Dies ist gegenwärtig jedoch nicht mehr der Fall.

Detaillierte Befragungen haben gezeigt, daß vom Publikum und den Fahrern der Busse, BIODIESEL als Kraftstoff gern angenommen wurde. Beschwerden über Geruchsbelästigungen traten nicht auf und vom Betrieb her gab es keinerlei unangenehme Zwischenfälle.

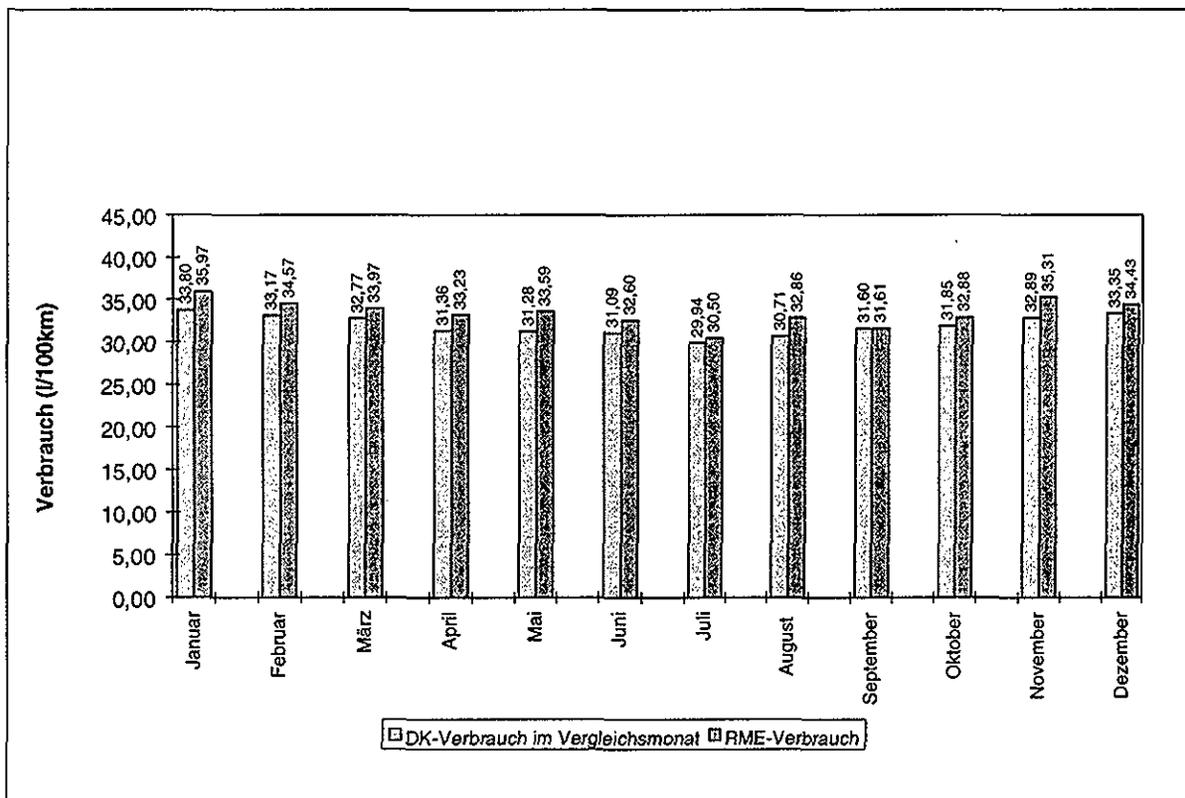


Abbildung 4: Kraftstoffverbrauch Standard-Linienbusse - Flottendurchschnitt

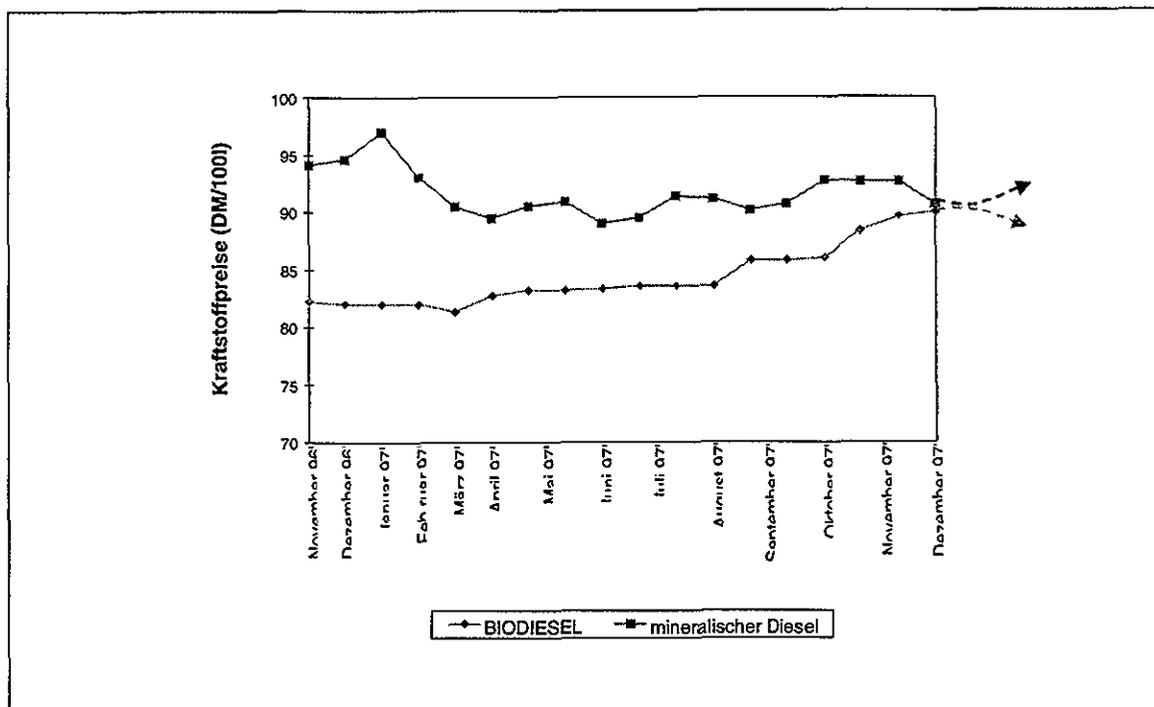


Abbildung 5: Preise für BIODIESEL im Vergleich zu Diesel während des 1. Projektjahres

Positiv für die Kreiswerke Heinsberg GmbH sind die niedrigeren Kosten des Betriebs, die vermiedenen Kosten für die Investitionen an den Tankanlagen und die gute Akzeptanz in der Bevölkerung zu werten.

6 Zukunftsaussichten

Die viel diskutierte Agenda 2000, die die Zuschüsse der Landwirtschaft und den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf Stilllegungsflächen regelt, gibt uns die Möglichkeit, Energieraps - zumindest bis zum Jahr 2006 - auf der obligatorischen 10 %igen Flächenstilllegung zu erzeugen. Nachdem die Pflanzenölpreise auf dem Weltmarkt wieder ein „normales“ Niveau erreicht haben - während die Mineralölpreise haussieren - können wir damit rechnen, daß BIODIESEL auch in der Zukunft zu marktgerechten Preisen angeboten werden kann. Besonders die Schwefelfreiheit von BIODIESEL und seine exzellente Schmierfähigkeit, eröffnen die Möglichkeit stark schwefelreduzierten fossilen Diesel mit 2 - 5 % BIODIESEL zu mischen, um damit die sonst notwendigen Lubricity-Additive zu vermeiden. In Schweden werden hierzu umfangreiche Praxisversuche durchgeführt. Untersuchungen zur Abgasminimierung an stark schwefelreduziertem Dieseldieselkraftstoff zeigen, daß auch mit EURO-II-Motoren bei entsprechender Abgasbehandlung die Abgaswerte, die in der EURO-IV festgeschrieben sind, erreicht werden können, ohne daß Änderungen am Motor vorgenommen werden müssen /3/. Auch hier liegt ein großer Vorteil für den schwefelfreien BIODIESEL.

Literatur

- /1/ G.A. Reinhardt, G. Zemanek (1999), Erste ökologische Gesamtbewertung des Vergleichs „Raps - Biodiesel versus Dieselmotortreibstoff“. Fuels 1999. 2nd. International Colloquium, 20 - 21 January 1999. Technische Akademie Esslingen
- /2/ K. Scharmer, G. Gosse, et al. (1995), Energy balance, ecological impact and economics of vegetable oil methylester production in Europe as substitute for fossil diesel. EU-Studie ALTENER 4.1030/E/94-002-1, Dezember 1995
- /3/ D. Goerke (1999), Auf dem Weg zu EURO IV - Schadstoffarmer Betrieb von ÖPNV-Fahrzeugen. Der Nahverkehr 4/99

Eric ROSEMBERG
Petroleum Products Marketing Manager
TOTAL RAFFINAGE DISTRIBUTION S.A
51, Esplanade Charles de Gaulle
92907 PARIS LA DEFENSE 10

Biofuels within TOTAL

TOTAL has a large experience with Biofuels. We have marketed leaded premium blended with ethanol and are still marketing diesel fuel containing RME (Rapeseed oil Methyl Ester) and producing ETBE (Ethyl Tertio Butyl Ether) which is blended to unleaded premium. Biofuels are renewable resources and contribute to limit the greenhouse effect, they deserve tax credits to make their incorporation to fossil fuels possible.

Biofuels within TOTAL

I have much pleasure to present TOTAL experience with biofuels. I will enlarge the theme to our vision of the future and start with a short presentation of TOTAL FINA as we are in the process of merging the 2 companies.

I - The TOTAL FINA group

I will limit this introduction to refining and marketing in Europe.

TOTAL FINA will be the 3rd refiner and 4th marketer in Europe :

- 7 refineries, capacity 60 Mt/year
- 8300 service stations.

The map, figure 1, shows the refineries and the markets where TOTAL FINA is active.

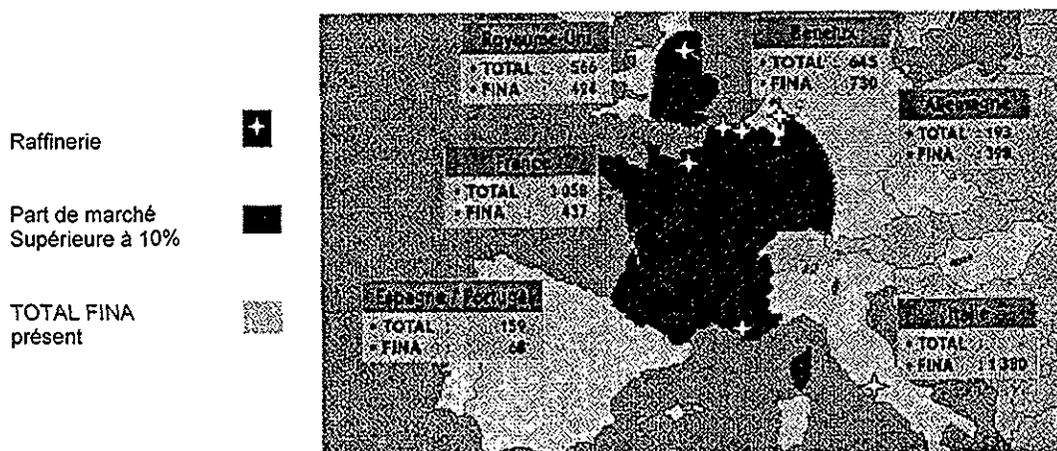


Figure1 Stations Service et raffineries de TOTAL FINA en Europe

II - TOTAL experience with biofuels

TOTAL was already marketing biofuels before being TOTAL. The companies which merged into TOTAL were selling gasoline containing ethanol as early as the thirties. I will limit my presentation to the last twenty years and to France although our subsidiary in the United States blended significant amounts of ethanol.

During this period :

- we have marketed leaded premium with ethanol
- we have marketed diesel fuel containing RME (Rapeseed oil Methyl Ester)
- we have produced ETBE and marketed premium unleaded containing ETBE.

II.1 - Ethanol in leaded premium

In line with European and French regulations, ethanol content was limited to 5% volume.

To comply with the demand of French car manufactures ethanol was only added to leaded premium.

The test started during year 1982. From 1988 to 1993 we had 5 service stations marketing leaded premium with 5% ethanol beside plain leaded premium.

In 1993, because of the new European common agricultural policy the interest for biofuels increased. We decided to add 30 service stations located in the vicinity of our Reims depot. All the leaded premium marketed in these service stations contained 5% of ethanol.

The ethanol had been blended to leaded premium at the loading rack of the depot. Utmost care was taken to avoid any water in the blend. The experience went to an end in June 1994 when the French administration cancelled the waiver we had on vapour pressure.

We do not think that pure ethanol has a future as a gasoline component :

- ethanol increase the vapour pressure of gasoline while the European directive puts very stringent limits on gasoline volatility
- water is normally present in the gasoline distribution system and ethanol does not accept water. Thus ethanol induces blending in depot and specific care in the distribution system which means extra costs at best, unfeasibility at worst.

The French authorities take into account these problems and pure alcohol is only eligible for the exemption of the gasoline excise tax of 329,5 FF/hl when transformed as ETBE. Neat ethanol in gasoline is no longer eligible.

II.2 - Rape Seed Oil Methyl Ester in Diesel Fuel

II.2.1 - Ester production

FMAE (Fatty Acid oil Methyl Ester) are produced very simply from fatty acid and methanol :



However great care should be taken to guarantee the purity of FAME.

II.2.2 - French regulations

The French regulations allow the blending of FAME in diesel fuel and heating gas oil.

The blending induces a fuel tax credit of 230 FF/hl of FAME.

It is possible to blend 5% volume of FAME in regular diesel fuel and regular heating gas oil.

In France it is also possible to market diesel fuel with a higher content for dedicated fleets.

TOTAL has been going along the two routes.

II 2.3 - Diesel fuel with high RME content

In 1993, when the first production of industrial Rape seed oil Methyl Ester (RME) was available in France we started to market blends of 5,10 and 30% RME in diesel fuels for fleets, mainly operated by local authorities. The products are available from 11 depots covering the whole French territory (map fig 2).

The annual output is currently 40 000 m³ of which 6 000m³ of RME.

We had some technical problems :

- some buses were equipped with leaded tanks. RME attacks the lead layer and lead accumulates in the fuel filter,
- some fuel gauges and filters were seized or clogged by sticky deposits, consisting mainly of glycerol. To overcome these problems, it was decided to put a more stringent limit on glycerol in the French specifications for FAME (0,02% instead of 0,05%).

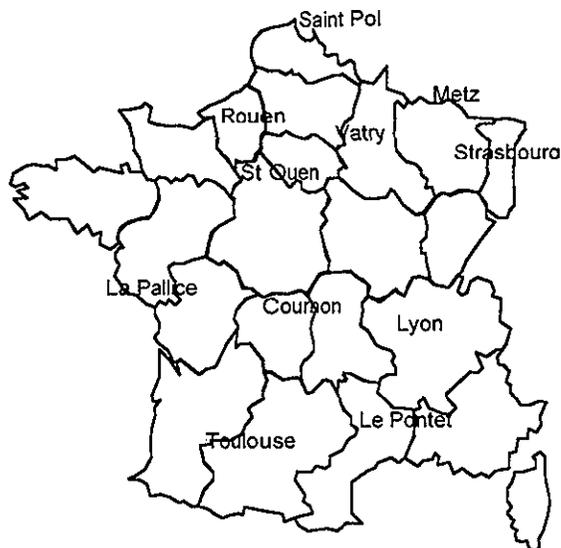


Figure 2 TOTAL depots for RME

II 2.4 - RME in regular diesel fuel

The fleet demand for diesel fuel with a high RME content is significantly lower than the French production of RME (250 000 m³ in 1998). It was decided use RME in refineries as a blend stock for diesel and heating gas oil.

The first blend was done in year 1996 in our Normandy refinery.

Now 60 000m³ per year of RME are routinely blended in this refinery. The typical content is 1 to 2%.

II 2.5 - RME and emissions

RME has a significant impact on emissions when the content is high. When blended at 30% it reduces particulate emissions (typically 20 %) but increases slightly NOx emissions.

II 2.6 - RME as a blending component

Table 1 compares the properties of diesel fuel and RME

Propriété	European diesel		RME
	2000	2005	
Cetane number	>51		49
density @ 15°C	kg/m3	<845	880
95% distilled	°C	<360	<360
soufre	mg/kg	<350	<50
			30?

Table 1 Some properties of diesel fuels and RME

The new diesel specifications tend to decrease density and the end point. They will make more difficult to blend RME. Sulphur could also come a constraint if the sulphur content of diesel fuel is lowered down to the limits put forwards by the car manufacturers : 30 ppm or less. On the other hand, RME improve the lubricity of diesel fuel.

II.3 - ETBE

ETBE (Ethyl Tertio Butyl Ether) is produced from ethanol and isobutylene (a refinery stream) through a simple reaction which takes place at moderate pressure and temperature :



It presents several advantages versus ethanol. The ETBE gasoline blends are stable when water is present and ETBE does not increase the volatility of gasoline.

In fact ETBE is an excellent blend stock to produce unleaded gasoline especially unleaded super premium. It has a high octane number with a low volatility (figure 3).

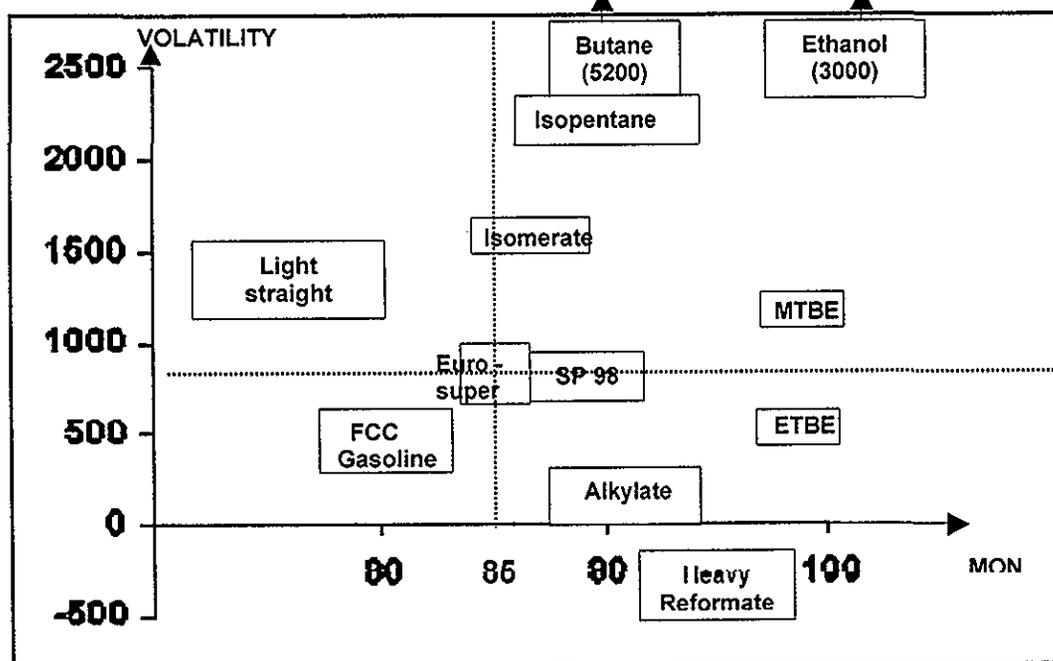


Figure 3 ETBE a good blend stock

Moreover it distillates at intermediate temperature and entails no aromatic penalty at a time when the regulations limit the aromatic content and plan more severe specifications.

II.3.1 - ETBE in TOTAL refineries

Since 1996 TOTAL operates 2 ETBE units in Normandy and Flanders Refineries. These units are owned by TOTAL, ethanol producers and farmers unions (table 2). Each unit produces 65 000 to 70 000 t/y ETBE. These investments were made possible because of the tax credit implemented by the French legislation.

ETBE is blended routinely in unleaded premiums, mainly in super premium 98. No specific problem has been encountered since the beginning of the operation.

	Dunkerque	Le Havre
TOTAL	40%	40%
ETHANOL HOLDING		40%
ERIDIANA BEGHIN SAY	23%	
BENP	17%	
CGB	10%	10%
AGPB	10%	10%
	100%	100%

Table 2 ETBE units share holders

II 3.2 - ETBE and the environment

As all oxygenates, ETBE tends to decrease CO and HC emissions and has marginal impact on NOx emissions. More recent cars are less sensitive than older ones.

ETBE like other oxygenates increases aldehyde emissions which are very reactive and promote ozone formation.

Nowadays the main problems are NOx and particulates in cities, and ozone. ETBE is not a solution to clean air although being a good component for the refiner.

III - The future of biofuels

III.1 - The advantages of biofuels

The main advantage of biofuels relates to the greenhouse gas effect. They are an efficient mean to recycle carbon dioxide. When including all the production debits :

- RME produces 3 to 5 times less greenhouse gases than diesel fuel
- ethanol produces 30 to 50 % less greenhouse gases than gasoline

Biofuels are renewable energies. Biofuels are a new outlet for farmers and ethanol producers.

III.2 - The disadvantages of biofuels

- The main disadvantage is cost, biofuels are not competitive with fossil fuels produced from oil.
- Some concern arises from water pollution by MTBE and California is in discussion to ban MTBE from gasoline from year 2003. In fact the problem is a consequence of the leaks which have not been fitted in underground gasoline tanks. This could put some pressure on MTBE and perhaps ETBE in Europe.

III.3 - CONCLUSIONS

- Biofuels will develop their market share in Europe if the tax credit system is confirmed or extended to new countries.
- They deserve tax credits because they reduce the greenhouse effect and are a mean to consolidate agriculture.
- We have projects for 2 new ETBE units in France, one in TOTAL Provence refinery.
- These projects are made possible, like the previous one, by good co-operation between the farmers, the French administration and the oil industry.
- If you consider all existence relevant for biofuels market share, know-how in producing ethanol ETBE and FAME, France appears as a world leader in Biofuels.

Biofuels potential in Europe

When dealing with biofuels, the question of biomass potential has first to be addressed. Do we have enough biomass, or do we create competition with food production ? This paper is trying to bring a rough overview of the biomass potential in the world and in Europe. Nowadays, the fraction of the world biomass production used for food is less than 2%, while the primary energy demand represents only one eighth of it. Apart from Asia, all the continents will most likely have enough arable land to produce both food and energy. In Europe, which is faced with a huge agricultural overproduction, biofuels could satisfy half of the total primary energy demand for transportation. Unfortunately, due to high production costs, biofuels only represent a few percent of this demand. However, criteria like environmental issues, energy autarky and/or job conservation (in the agricultural sector) could lead to a noticeable expansion of biofuels, if a true political willingness exists.

1. Introduction

According to various scenarios, the world energy demand will keep on increasing in the future. At the same time, the non-renewable energy sources (mainly fossil, which today represent 85% of our consumption) will only last 50 to 100 more years. Another major problem is the environmental impact of this massive hydrocarbon combustion ; and even if the greenhouse issue is still not totally proved, its threat is too important not to be considered seriously.

These are two reasons why we should now look for other renewable energy sources, like biomass. Biomass could indeed represent a valuable solution towards a more sustainable world development.

An important question, which has to be solved first when talking about the use of biomass for energy purposes, is its quantitative potential : « do we have a conflict with food production » ? This also is an ethical problem which, with the current trend towards a worldwide globalisation of trades, has to be evaluated first on a global scale. The possibility that developing countries could produce energy crops rather than food, in order to gain more hard foreign currency, is simply not sustainable. But as it will be shown below (c.f. §2.1), in most cases, it is possible to produce enough food, feed and even energy from biomass.

It is difficult to find accurate data on biomass potential, mainly because most of it (e.g. wood) does not appear in national/international energy balances. This is due to the fact that its principal use occurs mostly in short and local economic circuits (auto-consumption, household, etc.) which are not well known. Therefore, in this paper, only rough estimations will be presented. However, this overview is sufficient to show that biomass really represents an interesting solution to the energy problem, at least from a quantitative point of view.

2. Biofuels potential

Biofuels, as described in the next few paragraphs, are defined as all fuels and fuel additives derived from biomass. They include solids (e.g. wood, charcoal), liquids (e.g. biodiesel, bioethanol, biomethanol), as well as gases (e.g. biogas, syngas), although in this paper, the part concerning biofuels will mainly refer to the liquid ones.

2.1. The world situation

The world total amount of biomass produced every year (including marine biomass) is believed to approach 200×10^9 t/yr [El Bassam, 1998]. A conservative estimation concerning the amount of primary biomass used for food and feed (only domestic animals) leads to a figure of about 4×10^9 t/yr, i.e. 2% of the total biomass production. It is agreed that another 2% are already used for energy purposes (mainly wood in developing countries), and maybe 10% for other uses like furniture, paper, construction, etc. Therefore, at least 86% of the total biomass annually produced is "not used" by the humanity. However, it does not mean that the remaining 86% are available to produce energy. Nature is rather complex and all the vegetation is taking part in the "great natural biomass cycle" whereby plants serve as feed for animals or rot to become a substrate for new plants, etc. Nothing is wasted, and the big question is « how much biomass could we "steal" from this cycle without disturbing it irreparably » ? The answer is not known yet, but as an order of magnitude, the current world primary energy consumption is equivalent to only 10-15% of the total biomass production.

The United States and Europe (c.f. §2.2) are faced with huge agricultural surpluses. According to the European Commission [Berna, 1997], Africa currently utilises only 20% of its available agricultural land, a figure which is not going to exceed 25% in 2025. Latin America appears to be in an even better situation and forecasts predict that only 23% of the arable lands will be used in 2025 for food production. Asia is the only continent where "food against energy" problems could occur. These figures mostly concern agronomic resources. The largest potential, however, concerns lignocellulosic resources which will probably represent the most promising future for biofuels, when coupled with emerging improved transformation-techniques. The annual wood harvest, indeed, is 3.3×10^9 m³, while the yield is around 12.5×10^9 m³ [Hall, 1993]. Therefore, the world annual unused wood is of the order of 9×10^9 m³, which represents an energy value of 2 Gtoe (i.e. about 20% of today's total primary energy consumption). The same author also assesses that if ambitious but not implausible targets are fixed for energy biomass production (e.g. fast growing trees, etc.), this amount could even reach 6.5 Gtoe by the middle of the next century.

2.2. Potential in Europe

2.2.1. General situation

As mentioned before, Europe is faced with huge agricultural production surpluses. In the European Union (EU), the volume of agricultural production has increased by 2% every year from 1973 to 1988. During the same period, the domestic consumption has increased by only 0.5% a year. In 1994, the storage of surpluses in the EU involved a cost of the order of US\$150 millions per week, and since European production costs are generally relatively high, these surpluses can hardly be traded (without subsidies) on the world market. One way to overcome these surpluses is to remove surfaces from production ; this is the present solution

adopted by the Common Agricultural Policy (CAP) of the EU. Against financial compensation indeed, farmers are obliged to set-aside part of their domain. Under certain conditions, however, they can use these surfaces for non-food production.

It is believed that, within the early 2000's, about 10 Mha of arable lands and 15-20 Mha of marginal lands may be abandoned and consequently made available for energy crop cultivation [Berna, 1997]. Assuming an average annual yield of 4'000 l/ha of ethanol (as an example, the yield is 6'400 l/ha with sugar beet), one can reach an annual potential of 25×10^6 ha \times 4'000 l/ha, that is 100'000 Ml of ethanol per year, which is equivalent to 65 Mtoe/yr. This represents almost a third of the total fuel used for transportation in the EU (225 Mtoe in 1996). If we include the forest potential, this figure almost doubles. In Europe (without the former USSR), the energy content of wood annual net growth is estimated at 180 Mtoe [Asplund, 1994], about 50 Mtoe of which is in the EU area only. Opportunities to increase the use of wood for energy purposes are clearly considerable in many EU countries.

2.2.2. Liquid biofuels situation in Europe

Today, Europe produces 4'600 Ml of ethanol per year, which represents 14% of the world production [Laville, 1998]. In the EU, this figure drops to 2'000 Ml, from which 70% come from biomass. France is the largest producer, followed by Germany, the United Kingdom, Italy and Spain. Bioethanol is produced mostly from sugar beet or wheat, but also from wine overcapacity, cheese whey, etc. Yet another trend (mainly in Scandinavian countries, but also in the Netherlands and Spain) is the production of bioethanol from lignocellulosic biomass, although this practise is still at a pilot plant stage. Nowadays, only 6% of the total ethanol production is used for energy purposes.

As far as biodiesel is concerned, the current world production capacity is around 1'500 Ml/yr [Körbitz, 1998], 85% of biodiesel plants being situated in Europe (mostly in France, Italy, Belgium and Austria), which clearly shows its leadership in this field. The biodiesel produced in Europe, which today still represents less than 1% of the diesel market, is not only used for transportation but also for heating as well as electricity generation.

For methanol, it seems that all the production comes from hydrocarbon [Poitrat, 1999]. There is no real industrial biomethanol production in Europe. Some pilot plants, like the one in PSI (Switzerland), are under investigation, but only at a preliminary stage.

Therefore, the total liquid biofuels production in Europe today does not exceed one percent of the European biofuels potential. France seems to be the most advanced country in this field, and nevertheless, the market share of biofuels (including bioethanol and biodiesel) does not exceed 1% (c.f. Table 1).

Table 1. Biofuels¹ production in some European countries [Poitrat, 1999]

Country	Production [toe]	Percentage of transportation fuel
France (1997)	341'000	0.87
Italy	72'000	0.19
Austria (1995)	15'200	0.29
Sweden (1996)	13'000	0.20

¹ Including bioethanol and biodiesel.

For the future, the EU proposed, in its "White Paper on Renewable Energy" [European Commission, 1997], a 2% market share for liquid biofuels by the year 2010 (to compare with 0.3% at present), while some scenarios even suggest 12% by the year 2020.

2.2.3. The French bioethanol case

Within the EU, there has been much discussion about bioethanol, but only limited developments. France is a major producer of sugar beet and wheat and, as such, is undoubtedly the most advanced country in Europe in terms of bioethanol, and certainly the country which has seen the most progress in biofuel production.

The development of biofuels in France is partly responding to the new CAP (May 1992). In an attempt to control costly agricultural surpluses, the government has been suggesting that farmers turn their attention to non-food uses for land taken out for food production. The main objective was to offer new perspectives to the agricultural production and to contribute to a reduction of the energy bill.

Experimental bioethanol production started modestly in 1987. Part of the output was sold to captive fleets, the remainder being marketed at service stations at the same price as conventional super [Club de Bruxelles, 1993]. The year 1993 showed the beginning of "large-scale" production of ETBE² which is added as an oxygenate in conventional gasoline (at 15% vol.). Finally, in November 1996, the French parliament approved a draft law on clean air, that made the use of oxygenated components in fuel, mandatory by 2000.

Today, the three existing units are producing more than 260 million litres per year of ETBE (which corresponds to 96% of the installed capacity), using more than 120 million litres of bioethanol [Marion, 1996]. All of them have resulted from a partnership between European oil groups (e.g. Elf, Total, Agip, Fina, Shell France, etc.) and farmers associations. Another three ETBE projects are presently in the offing and could boost the demand for ethanol by about 150 million litres per year, in other words, double the demand. For comparison, the production of biodiesel amounts to 340 million litres per year [AGRICE, 1998], and covers 300'000 ha (i.e. 1.7% of arable lands).

The most important single agricultural feedstock for the production of bioethanol in France is sugar beet, from which roughly 75% of the total is manufactured [Berg, 1998], the remaining being produced from wheat as well as from by-products of the starch industry.

As a general rule, biofuels are more expensive to produce than conventional gasoline obtained from crude oil, for the "simple" reason that agricultural raw materials are still very expensive. It is believed that the production price of biofuels in France exceeds that of gasoline by US\$0.35 per litre. In order to clear this gap, it was agreed in March 1992, to partially exonerate biofuels from the domestic tax on petroleum products (TIPP) for use as a fuel. To measure the significance of the subject, it is worth reminding that in 1996, the fiscal exoneration, which ethanol benefited from, amounted to US\$44.0 millions (76 million litres). However, this measure is indispensable to insure the economic equilibrium of the whole scheme. In the long term, the rate of exemption on the TIPP is believed to decrease, considering the evolution of the economic context, as well as gains in productivity and economy of scale.

² Ethyl tertiary butyl ether (ETBE), (CH₃)₃COC₂H₅. A colourless, flammable oxygenated hydrocarbon blend formed by the catalytic etherification of isobutylene with ethanol.

Ethanol, at present, costs about US\$0.50 per litre against US\$0.18 for gasoline. Ongoing research and industrial scale effects are expected to reduce the gap to US\$0.20 by 2005 [ADEME, 1998]. This difference should be compensated by externalities (e.g. reduced contribution to the greenhouse effect) and socio-economic advantages such as :

- ♦ retaining employment in rural areas and creating jobs in the processing industry ;
- ♦ reducing dependency on imported fuels ;
- ♦ improving the national trade balance (e.g. cattle food imports).

The possibility for farmers to grow crops for non-food use on set-aside land (under the new CAP reform), together with the fiscal facilities offered to the various industries involved, made biofuels competitive with respect to conventional gasoline and undoubtedly boosted the interest in the new scheme. However, the future of such oxygenated compounds in France will depend on a number of political and environmental constraints, including the agricultural policy and the continuation of the current tax system.

2.2.4. The Swiss bioethanol potential

The only industrial bioethanol producer in Switzerland today is Attisholz, who's producing paper pulp from wood as well as 10 Ml of bioethanol as a by-product, annually. A pilot plant in Märwil (2BAG) also produces bioethanol from grass.

In Switzerland, agricultural costs tend to make the use of energy crops economically not profitable. For instance, one tonne of sugar beet costs US\$85 and can produce 100 litres of ethanol. The cost per litre can be estimated at US\$1.4. Similarly, one tonne of sweet corn will cost US\$450 and produce 270 litres of ethanol, with a cost per litre of about US\$2.0.

The use of wastes (e.g. scrap paper, cheese whey) or plants growing on uncultivated land (e.g. extensive grass, wood) looks a lot more interesting from the economic point of view, and should appear as the solution of choice. Sugar beet, however, seems to be the most indicated energy crop, today in Switzerland, for bioethanol production, and its potential is also considered, in order to allow the comparison with the rest.

Table 2. Maximum theoretical potential of bioethanol in Switzerland

Raw material	Potential surface [ha]	Potential [t/yr]	Ethanol yield [l/t]	Ethanol quantity [Ml/yr]
Sugar beet	29'000	1'827'000	100	180
Grass	113'865	900'000	230	200
Wood	-	2'000'000	400	800
Scrap paper	-	250'000	400	100
Cheese whey	-	1'387'000	33	45
Total	-	-	-	1'315

- ♦ The potential of sugar beet includes the land actually used for beet cultures, together with the surface which could accept sugar beet, taking into account climatic as well as topographic constraints [CBS, 1998].

- ♦ The potential of grass includes all artificial meadows, natural meadows and pastures being left for farming [*OFS, 1998*].
- ♦ As far as wood is concerned, we consider the theoretical potential of wood as an energy carrier, less the quantity used for heating, but including the quantity recoverable from disposed furniture and packaging [*OFEFP, 1998*].
- ♦ For scrap paper, we estimated the part of collected scrap paper which does not represent any interest for recycling [*Office de l'Industrie, 1998*].
- ♦ The potential of cheese whey includes the entire amount of whey which could be obtained from the 1'500 cheese-dairies in Switzerland [*Marison et al., 1999*].

For comparison, the current gasoline consumption (90% unleaded, 10% leaded) reaches about 5'000 Ml/yr. As a result, it appears that the Swiss biofuels potential represents roughly a quarter of this amount.

3. Remarks, discussion and conclusions

From this rough overview (which, once again, does not have the pretentiousness to be exhaustive), it appears that biofuels do have a significant potential. In Europe, they could possibly cover around half the primary energy demand for transportation ! At present, however, they represent less than one percent of this potential. Why ?

The main reason is of course the cost. In France, bioethanol production cost is around US\$0.50 per litre, compared to US\$0.22 per litre in Brazil (the oil price being around US\$0.18 per litre). In Switzerland, the real cost (i.e. without subsidies) of rape methyl ester (RME) is over US\$2.0 per litre and should be over US\$1.0 per litre (forecast) for bioethanol from sugar beet. It is then clear that nowadays, without subsidies and/or tax reductions, biofuels are not economically viable in Europe. If the learning curve (c.f. case of Brazil) and the introduction of new technologies (e.g. bioethanol from lignocellulose) tend to bring the cost down, this will take a long time. Support from the governments is clearly needed. As a matter of fact, the European Commission is beginning to show some encouraging signs, mainly due to the environmental issues and the agricultural overcapacities.

Another significant limitation is the reluctance of oil companies. They do not see straight advantages in supporting and encouraging this technology, as biofuels would decrease their trading shares. Their participation can not be avoided though, if one wants a substantial development of biofuels. And we can not fight against them. We need to persuade them.

Marketing could be an argument of choice. In Switzerland, for instance, we sell "green electricity" at a price 500% higher than the normal price, and some people seem ready to pay more for "green" or "ecological" products. Another legal way is to force oil companies to sell oxygenated fuel. But there again, we have to oblige them to use biofuels as an additive, and not MTBE, for example, which comes from natural gas and is cheaper than ETBE.

The acceptance by customers is yet another issue. Nowadays, labels such as "bio" or "green" are fashionable. But if problems or drawbacks start to emerge, which is often the case when dealing with new technologies, this idealistic image could change rapidly. In this

situation, quality assurance (e.g. Austrian and German biodiesel standards) is seen as key to a successful marketing strategy.

Presently, the Laboratory of Energy Systems (LASEN) of the Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL) is developing a program named "BioethCH" to simulate the effect of the introduction of bioethanol in the Swiss energy system. This model should allow to test various scenarios which, ideally, should satisfy all the different actors.

We must head towards a better integration of the different actors. Fortunately, this trend has been observed over the last few years, where the degree of co-operation between oil companies, agricultural organisations, processing industries, car manufacturers and scientific institutions across the EU has increased, partly due to various programmes. And even if the overall market shares are low at present, they are expected to expand with the help of tax incentives and new sustainable regulations, the production cost going down at the same time.

Do not forget that even in Europe, the potential for biofuels does exist. One half of the primary energy demand for transportation could theoretically be produced from biomass. Just do it !

References

ADEME, Agency for Environment and Energy Management, "Agriculture et bioénergies : Rapport d'activité", 1998.

AGRICE, Agriculture pour la Chimie et l'Energie, "Rapport d'activité - 1994-1997", 1998.

Asplund, D.A. et al., "Wood as a potential energy source in Europe", in 8th EC Conference on Biomass, Vienna, Oct. 1994.

Berg, C., "World ethanol production and trade : a review", International Molasses and Alcohol Report, F.O. Licht, 1998.

Berna, G., "Integrated biomass system", European Commission, EUR 17541, 1997.

CBS, Centre Betteravier Suisse, Personal communication, 1998.

Club de Bruxelles, "Biofuels in Europe and other non-food uses of agricultural products", 1993.

El Bassam, N., "Energy plant species : their use and impact on environment and development", James & James (Science Publishers) Ltd, London, 1998.

European Commission, "Energy for the future : renewable sources of energy", White paper for a Community and action plan, COM(97)599, Dec. 1997.

Hall, D.O. et al., "Biomass for energy : supply prospects", in Renewable Energy, Island Press, 1993.

Körbitz, W., "From the field to the fast lane : Biodiesel", in Renewable Energy World Magazine, Nov. 1998.

Laville, M., "Votre voiture roulera-t-elle au bioéthanol ?", in Communica, RFA, 1998.

Marion, M.C., Forestière, A., Chodorge, J.A., "ETBE production : the French experience", 1996.

Marison, I., Yang, J., "Bioethanol production from cheese whey in Switzerland", EPFL, LGCB, 1999.

Office de l'Industrie, Personal communication, 1998.

OFEFP, Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage, Direction Fédérale des Forêts, 1998.

OFS, Office Fédéral de la Statistique, "Annuaire statistique de la Suisse", 1999.

Poitrat, E., Agency for Environment and Energy Management (ADEME), France, "Biocarburants", Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique, Jan. 1999.

Poitrat, E., Agency for Environment and Energy Management (ADEME), France, Oral communication, 1999.

Poitrat, E., Agency for Environment and Energy Management (ADEME), France, "The potential of liquid biofuels in France", in Renewable Energy, Vol. 16, pp. 1084-1089, 1999.

Abbreviations

ADEME	Agency for Environment and Energy Management
AGRICE	Agriculture for Chemistry and Energy
CAP	Common Agricultural Policy
CBS	Swiss Sugar Beet Board
EPFL	Swiss Federal Institute of Technology
ETBE	Ethyl Tertiary Butyl Ether
EU	European Union
LASEN	Laboratory of Energy Systems
LGCB	Laboratory of Chemical and Biological Engineering
MTBE	Methyl Tertiary Butyl Ether
OFEFP	Swiss Federal Office of Environment, Forests and Landscape
OFS	Swiss Federal Office of Statistics
PSI	Paul Scherrer Institute
RFA	Swiss Alcohol Board
RME	Rape Methyl Ester
TIPP	Domestic Tax on Petroleum Products

ha	hectare
l	litre
m ³	cubic metres
t	tonnes
toe	tonne of oil equivalent
yr	year
G	billion (Giga, 10 ⁹)
M	million (Mega, 10 ⁶)

Sind die Biotreibstoffe nachhaltig und volkswirtschaftlich sinnvoll?

Die Landwirtschaft ist multifunktional. Die Produktion nachwachsender Rohstoffe kann eine Funktion der Landwirtschaft sein. Im Rahmen einer Studie wurden verschiedene Produktlinien untersucht und gezeigt, dass diese nicht-erneuerbare Ressourcen schonen; das Problem hingegen liegt in der fehlenden Wirtschaftlichkeit und im zwiespältigen Eindruck bei Energie- und Stoffflüssen. Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist der Einstieg in nachwachsende Rohstoffe vorgängig sorgfältig zu prüfen. Vorsicht! Die Öffentlichkeit (der Staat) sollte sich im Bereich der privaten Güter nicht oder höchstens begrenzt in Niveau und Dauer engagieren.

Die EU fördert die Verwendung von Biotreibstoffen. Nach AEBIOM (Agence européenne pour la Biomasse) scheitern jedoch die Biotreibstoffe an der wirtschaftlichen Realität: „...the conditions for the market introduction of biomass haven't become better, but worse.“

L'agriculture est multifonctionnelle. La production de matières premières renouvelables peut être l'une des fonctions de l'agriculture. Diverses filières de production ont été examinées dans le cadre d'une étude, et il en résulte qu'elles ménagent les ressources non renouvelables. Le problème réside dans le manque de rentabilité et dans une situation contradictoire en matière de flux d'énergie et de substances. Du point de vue économique, le passage aux matières premières renouvelables doit être précédé d'un examen minutieux. Attention! La collectivité publique (l'Etat) ne devrait pas intervenir dans le domaine des biens privés ou, tout au plus, d'une manière restreinte et limitée dans le temps.

L'UE encourage l'utilisation de carburants biologiques. Selon l'AEBIOM (Agence européenne pour la Biomasse), ceux-ci seraient toutefois incompatibles avec la réalité économique: „...the conditions for the market introduction of biomass haven't become better, but worse.“.

Biotreibstoffe: Nachhaltig und volkswirtschaftlich?

Disposition:

1. Was heisst Nachhaltigkeit?
2. Was heisst Multifunktionalität?
3. Wie sind Biotreibstoffe zu beurteilen?
4. Sind Biotreibstoffe volkswirtschaftlich sinnvoll?
5. Sind Biotreibstoffe öffentliche oder private Güter?
6. Wie engagiert sich der Bund bei nachwachsenden Rohstoffen insbes. bei Biotreibstoffen?

7. Was meint die EU-Kommission?

8. Schlusswort

1. Was heisst Nachhaltigkeit?

Nachhaltige Entwicklung heisst (idealerweise)

- den **ökonomischen Aspekt** (einzelbetriebliche Einkommen, Sektoreinkommen) stärken
- **erneuerbare Ressourcen** höchstens im Rahmen ihres Zuwachses nutzen und weniger nicht-erneuerbare Ressourcen verwenden (z.B. Erdöl); Emissionen innerhalb der lokalen Aufnahmefähigkeit
- höhere **soziale/gesellschaftliche** Nachhaltigkeit anstreben
- **die Vielfalt des Lebens** und des Landschaftsbildes erhalten oder verbessern.

Untersuchungen^{1,2} zeigen, dass die Biotreibstoffe – unter den aktuellen Rahmenbedingungen – **nicht in all diesen Aspekten einen positiven Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung leisten**. Die wenigstens Untersuchungen beinhalten die ganze Breite dieser Aspekte.

Fazit: Untersuchungen sind so zu konzipieren, dass sie eine Antwort auf die Frage geben können, ob Biotreibstoffe nachhaltig sind.

2. Was heisst Multifunktionalität?

Nach Artikel 104 der Bundesverfassung sorgt der Bund dafür, dass die Landwirtschaft durch eine nachhaltige und auf den Markt ausgerichtete Produktion einen wesentlichen Beitrag leistet zur:

- sicheren Versorgung der Bevölkerung
- Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen und Pflege der Kulturlandschaft
- dezentralen Besiedlung des Landes

Der Bund richtet die Massnahmen so aus, dass die Landwirtschaft ihre multifunktionalen Aufgaben erfüllen kann.

Fazit: Die Landwirtschaft ist multifunktional. Die energetische Versorgung durch Biomasse kann eine Funktion der Landwirtschaft sein.

¹ Bundesamt für Energiewirtschaft, Treibstoffe aus Biomasse, ausgearbeitet durch: Arbeitsgemeinschaft alpha real AG, Zürich und Carbotech AG, Basel, 1998

² Bundesamt für Landwirtschaft, Beurteilung nachwachsender Rohstoffe in der Schweiz, ausgearbeitet durch: FAT und Carbotech AG, 1997

3. Wie sind Biotreibstoffe zu beurteilen?

Die Bewertung von Biotreibstoffen ist – wie die folgende Übersicht zeigt – komplex; die Erfahrung in Anbau und Ernte, die technische Machbarkeit in der Verwertung, Energie- und Stoffflüsse, die belebte Umwelt und wirtschaftliche Gesichtspunkte sind zu berücksichtigen.

Zusammenfassende Darstellung ausgewählter Kriterien		Raps für Treibstoffe (RME) anstatt Grünbrache und Diesel	Wenig intensive Wiese (WigWasA) Vergären zu Biogas anstatt Extensive Wiese und Strom/Heizöl	Chinaschilf zur Verbrennung anstatt Extensive Wiese (EgWasA) und Heizöl
		Landwirtschaft: Erfahrung in Anbau & Ernte		
Technische Machbarkeit Verwertung				
Energie- und Stoffflüsse	Ausschöpfung der Energieressourcen			
	Flächenbedarf			
	Treibhauseffekt			
	Ozonbildung			
	Versauerung			
	Eutrophierung			
	Toxizität I			
	Toxizität II			
	Abfälle			
	Bodenfruchtbarkeit			
Belebte Umwelt	Flora			
	Fauna I Ansatz 1			
	Fauna II Ansatz 2			
Wirtschaft	Deckungsbeitrag I			
	Deckungsbeitrag II			
	Nutzungskosten II (NWR-Vergleichs-Szen.)			
	Mehrkosten für Staatshaushalt			
	Volkswirtschaft: DRC			
	Volkswirtschaftlicher Gewinn			

= sehr gut
 = gut
 = negativ
 = sehr negativ

Quelle: Beurteilung nachwachsender Rohstoffe in der Schweiz in den Jahren 1993 – 1996, FAT, Carbotech AG, 1997, S. 221 ff., modifiziert

Im Rahmen von Produktlinienanalysen wurde zum Beispiel der Anbau von Raps für RME (Raps-Methyl-Ester) verglichen mit der Alternative Grünbrache und Verwendung von Diesel. Die Ergebnisse dieser Arbeiten zeigen im Quervergleich jeweils Vor- und Nachteile für die nachwachsenden Rohstoffe. Es weist jedoch keines der untersuchten Szenarien in allen Bereichen eine Verbesserung (oder Verschlechterung) aller untersuchten Indikatoren auf. Ohne weiter auf Details einzutreten - es wird auf die Studie „Beurteilung nachwachsender Rohstoffe in der Schweiz in den Jahren 1993 - 1996, FAT, Carbotech, , 1997“ verwiesen – ist festzuhalten:

Fazit: Die untersuchten Produktlinien schonen nicht-erneuerbare Ressourcen. Das Problem liegt in der fehlenden Wirtschaftlichkeit und im zwiespältigen Eindruck bei Energie- und Stoffflüssen.

Dabei ist auf die folgenden Randbedingungen hinzuweisen:

- Die untersuchten Szenarien befinden sich in einer Entwicklungsphase; es ist davon auszugehen, dass noch ein Optimierungspotential vorhanden ist.
- Die politischen Rahmenbedingungen können vermehrt fördernd wirken, insbesondere in der Agrar-, Umwelt- und Energiepolitik .

4. Sind Biotreibstoffe volkswirtschaftlich sinnvoll?

Es soll auf die Frage eingegangen werden, ob die Gesellschaft mit den wertvollen, knappen Ressourcen richtig umgeht, um die Wohlfahrt im Staat zu fördern.

Für eine wohlfahrtstheoretische Betrachtung nachwachsender Rohstoffe bietet sich die Policy Analysis Matrix (PAM) an. In dieser Matrix werden Budgets eines agrarwirtschaftlichen Gütersystems konstruiert, in dem die privaten und sozialen Kosten, Erträge und Gewinne einander gegenübergestellt werden. Die PAM ist ein Hilfsmittel, um agrarpolitische Massnahmen ökonomisch zu interpretieren. Die Matrix besteht aus einer privatwirtschaftlichen und einer volkswirtschaftlichen Ebene. Ein Vergleich zwischen privaten und sozialen Grössen lässt eine Aussage zu, wie stark der Markt in Abhängigkeit von verschiedenen agrarpolitischen Massnahmen verzerrt wird. Untersuchungen der PAM geben auch Aufschluss darüber, welches Agrarprodukt in Abhängigkeit von Region und Betriebsform den effizientesten Einsatz der Ressourcen verspricht.

Wenn verschiedene Produkte bezüglich ihrer relativen Effizienz verglichen werden sollen, kann der Domestic Resource Cost Ratio (DRC) = $(G / (E - F))$ zur Bewertung der komparativen Kostenvorteile herangezogen werden. Der DRC vergleicht die Opportunitätskosten der nicht handelbaren Ressourcen (G) mit ihrer zu Weltmarktpreisen bewerteten Wertschöpfung (E - F). Als Mass für die internationale Wettbewerbsfähigkeit einer bestimmten Güterproduktion eines Landes kann er wie folgt interpretiert werden:

- Ein DRC zwischen 0 und 1 bedeutet, dass mit der Produktion Devisen eingespart werden können. Es ist für die Volkswirtschaft günstiger, das Produkt selber herzustellen. Das weist auf die internationale Konkurrenzkraft und auf komparative Kostenvorteile dieses Produktionssystems hin.
- Bei einem DRC grösser 1 oder kleiner 0 verliert die Volkswirtschaft mit der inländischen Produktion Devisen.
- Ein DRC gleich 1 bedeutet, dass die Volkswirtschaft im Gleichgewicht ist, da die Ersparnisse von Devisen durch Importsubstitution, bzw. der Verdienst durch den Export den Opportunitätskosten der inländischen Ressourcen entspricht.

Tabelle 1: Policy Analysis Matrix (PAM)

	Erlöse	Kosten		Gewinne
		Handelb. Faktoren	Nicht handelb. Faktoren	
Privatwirtschaft. Werte	A	B	C	D
Volkswirtschaft. Werte	E	F	G	H
Effekte politischer Massnahmen	I	J	K	L

Quelle: wie Fussnote 2

Tabelle 2: Ergebnisse

	DRC
Rapsproduktion und die Verarbeitung zu Rapsmethylester	-63.34
Verbrennung von Dürrfutter auf wenig intensiv genutzter Wiese auf stillgelegtem Ackerland	5.36
Chinaschilfproduktion für Verbrennung	3.21

Quelle: wie Fussnote 2

Es kommt deutlich zum Ausdruck, dass die Produktion der betrachteten nachwachsenden Rohstoffen aus volkswirtschaftlicher Sicht als negativ zu beurteilen sind. Es scheint, dass die nachwachsenden Rohstoffe in der ökonomischen Dimension allgemein schlechter abschneiden als konventionelle landwirtschaftliche Produkte. Die Gründe für dieses schlechte Abschneiden sind bei den unterschiedlichen Eigenschaften des Nahrungsmittel- und des Rohstoffmarktes zu suchen. Die Produktion des Massengutes Rohstoff zu energetischen Zwecken ist allgemein mit einer sehr tiefen Wertschöpfung verbunden.

Im Schlussbericht „Treibstoffe aus Biomasse“ wird gefolgert, „... dass mit der Produktion von Treibstoffen aus Biomasse Gewinn erwirtschaftet werden kann, wenn

- es sich bei den verwendeten Rohstoffen um Abfälle handelt, welche einer Entsorgung zugeführt werden müssen, für welche bezahlt wird oder
- Koppelprodukte mit einem ökonomischen Wert anfallen oder ...“

Dieses betriebswirtschaftliche Ergebnis lässt hoffen, dass einzelne Produktlinien auch volkswirtschaftlich günstig sein können.

Fazit: Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist der Einstieg in nachwachsende Rohstoffe vorgängig sorgfältig zu prüfen. Vorsicht!

5. Sind Biotreibstoffe öffentliche oder private Güter?

Öffentliche Güter zeichnen sich dadurch aus, dass keine Rivalität beim Konsum besteht und dass kein Ausschluss von Nichtzahlenden möglich ist. Da keine private Nachfrage nach zum Beispiel einer gepflegten Landschaft besteht, wird das öffentliche Gut Landschaft ohne öffentliche Einflussnahme in zu kleiner Menge angeboten; es liegt sogenanntes Marktversagen vor. Analoge Überlegungen lassen sich bei weiteren öffentlichen Gütern anstellen. Ein privates Gut wird in einer Marktwirtschaft von privaten Anbietern direkt angeboten. Bei diesen Gütern besteht eine Rivalität im Konsum; sie unterliegen dem Ausschlussprinzip. Biotreibstoffe sind offensichtlich private Güter. Da in diesem Bereich kein Marktversagen vorliegt, sollte sich der Staat mit Massnahmen zurückhalten.

	Beschreibung	Beispiele	Konsequenzen
Öffentliche Güter	Nicht-Rivalität beim Konsum kein Ausschluss (Trittbrettfahrer)	gepflegte Landschaft, Lawinenverbauungen	zu kleines Angebot an öffentlichen Gütern
Private Güter	Rivalität beim Konsum, ..alle Güter für die ein Markt besteht ...	Brot, Pony reiten Treibstoff	Angebot = Nachfrage

Fazit: Die Öffentlichkeit (der Staat) sollte sich im Bereich der privaten Güter nur begrenzt und zeitlich limitiert engagieren.

6. Wie engagiert sich der Bund bei nachwachsenden Rohstoffen insbesondere bei Biotreibstoffen?

Förderung im Rahmen der Agrarpolitik

Der Bund fördert den Anbau nachwachsender Rohstoffe mit Anbauprämien von Fr. 1500.- pro ha. Diese sind kumulierbar mit den allgemeinen Direktzahlungen und der Rohstoffverbilligung. Die Rohstoffverbilligung beträgt bei den Ölsaaten Fr. 20.- pro dt und bei landwirtschaftlicher Biomasse max. Fr. 200.- pro hl reines Ethanol oder 4 Rp. pro kWh.

Förderung im Rahmen der Wirtschafts-, Umwelt und Energiepolitik

Verschiedene Bundesstellen fördern die Entwicklung neuer umweltschonender Produkte mit öffentlichen Mitteln und durch Anpassung ökonomischer und rechtlicher Rahmenbedingungen, um so die Verwendung nachwachsender Rohstoffen durch Industrie, Handel und Verbraucher zu erleichtern.

Kommission für Technologie und Innovation (KTI): Die KTI unterstützt den effizienten Know-how- und Technologietransfer zwischen Forschungsstätten und Unternehmen sowie die rasche Umsetzung von neuestem technischen Wissen in innovative Produkte und Verfahren, die am Markt erfolgreich sind³.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL): Die seit 1. Juli 1997 rechtskräftige Revision des Umweltschutzgesetzes (USG) hat dem BUWAL die Möglichkeit eröffnet, die Entwicklung von neuen Technologien künftig in allen Umweltbereichen zu unterstützen. Die Förderung von Anlagen und Verfahren, mit denen die Umweltbelastung vermindert werden kann, ist vorgesehen. In Vordergrund steht die finanzielle Unterstützung von Pilot- und Demonstrationsanlagen. Der Anteil der beantragten Fördermittel darf 50 Prozent der Gesamtkosten in der Regel nicht überschreiten.

Ein Beispiel für die Technologieförderung durch das BUWAL ist ein biotechnisches Verfahren zur Herstellung von Ethanol, Proteinkonzentrat und Fasern. Ausgangstoffen bilden das Schnittgut von Klee graswiesen und ökologischen Ausgleichsflächen sowie Streue aus Flachmooren und Uferzonen. Die umwelttechnologische Neuerung bringt in mehreren Umweltbereichen Vorteile und fügt sich gut in das Konzept der nachhaltigen Entwicklung ein⁴.

Bundesamt für Energie (BFE): Das Aktionsprogramm Energie 2000 will den Energieverbrauch und den CO₂-Austoss stabilisieren und den Anteil an erneuerbaren Energien erhöhen.

³ Kommission für Technologie und Innovation (KTI), Effingerstr. 27, Postfach 7023, 3001 Bern

⁴ BUWAL, Sektion Ökonomie und Technologie, 3003 Bern

Energie 2000 setzt auf innovative Lösungen, welche betriebswirtschaftlich interessant, volkswirtschaftlich sinnvoll und ökologisch vorbildlich sind. Im Rahmen des Aktionsprogrammes werden neue Technologien und Anwendungen im Energiebereich gefördert⁵.

7. Was meint die EU-Kommission?

Im Energiebereich sieht die EU-Politik im Weissbuch für erneuerbare Energie vor, dass diese bis ins Jahr 2010 verdoppelt wird, d.h. von heute 6% auf 12% (8.5% Biomasseenergie). Erreicht werden soll dieses Ziel durch die Förderung von verschiedenen Energieträgern. Den grössten Zuwachs wird die Biomasse verzeichnen. Energie aus Biomasse soll europaweit bis zum Jahr 2010 um 83.8% auf 5653 PJ ansteigen (Vergleich heutiger CH-Gesamtenergieverbrauch (Endenergie): 808 PJ).

Die Verdoppelung der erneuerbaren Energien wird begründet mit umweltpolitischen Zielen, wie sie in Rio (1992) bzw. Kjoto (1997) festgelegt wurden, sowie mit der Endlichkeit der fossilen Ressourcen.

Während das Weissbuch der EU die Verdoppelung erneuerbarer Energien vorsieht, ist die Umsetzung umstritten. Allerdings wäre dafür eine Fläche von etwa 14 Mio. Hektaren für den Anbau notwendig. Die geplante Agrarpolitik der EU (Agenda 2000) sieht jedoch keine Stilllegungsflächen mehr vor und unterstütze die Bauern nicht ausreichend – so der deutsche Bauernverband.

Im Rahmen der EU-Gemeinschaftsaufgaben sowie im Rahmen der Förderprogramme der Wirtschaftsministerien der Mitgliedländern können Investitionsbeihilfen und zinsgünstige Darlehen für die Errichtung von Verarbeitungsanlagen gewährt werden.

Der Anbau und die Verwendung von Biomasse zur energetischen Verwendung stösst gemäss einer Stellungnahme der **AEBIOM** (Agence européenne pour la Biomasse) auf Schwierigkeiten: « ...the conditions for the market introduction of biomass haven't become better, but worse :

- The use of biomass for heat production is declining in many countries, mostly because the oil hasn't been as cheap as in 1998 ever before in real terms.
- The readiness of electricity supply companies to use biomass for electricity production isn't very high, because the pressure of the liberalisation and the tendency to reduce costs.
- The liquid fuel production from biomass is declining. There are big uncertainties and closing of enterprises, because of the missing of a long-term concept for raw material supply.

8. Schlusswort

- Biotreibstoffe sind private Güter. Bei privaten Gütern sollte sich der Staat aus ordnungspolitischer Sicht zurückhalten.
- Biotreibstoffe haben für eine nachhaltige und multifunktionale schweizerische Landwirtschaft einen begrenzten Stellenwert.
- Biotreibstoffe sind volkswirtschaftlich (Policy Analysis Matrix) fragwürdig.
- Die staatliche Stützung muss entsprechend begrenzt sein in Niveau und Dauer.

⁵ BFE, Abteilung Energietechnik, 3003 Bern

- Die relative Konkurrenzkraft von Gütern wie Biotreibstoff wird zunehmen,
 - sobald eine ökologische Steuerreform kommt
 - sobald die endlichen Rohstoffe knapper werden
 - sofern vergleichsweise grössere technisch-biologischer und organisatorische Fortschritte erzielt werden.