

# Biokraftstoffe



**Pflanzen  
Rohstoffe  
Produkte**



## Herausgeber

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e. V. (FNR)  
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow  
info@fnr.de • www.fnr.de  
www.bio-kraftstoffe.info

## Bioenergieberatung der FNR

Tel.: 038 43/69 30-199  
www.bio-energie.de  
info@bio-energie.de

Mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums  
für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft

Gedruckt mit Farben auf Leinölbasis



Bundesministerium für  
Verbraucherschutz, Ernährung  
und Landwirtschaft





## Impressum



### Herausgeber:

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)  
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow  
info@fnr.de • www.fnr.de  
www.bio-energie.de

Mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums  
für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft

### Text:

Nicole Paul, FNR

### Bilder:

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR),  
Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP),  
DaimlerChrysler, Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement  
Biodiesel e.V. (AGQM), obs/Ford-Werke GmbH, BERU AG,  
Vereinigte Werkstätten für Pflanzenöltechnologie, AGRAVIS  
Raiffeisen AG, IBG Monforts, Fuchs Petrolub AG

### Gestaltung und Realisierung:

WPR COMMUNICATION GmbH & Co. KG

2005

## Inhaltsverzeichnis

Warum Biokraftstoffe?	4
Biokraftstoffe – was ist das eigentlich?	6
Haben wir genug Biomasse?	9
Politische und rechtliche Rahmenbedingungen	12
Pflanzenöl	14
Biodiesel	19
Bioethanol	25
Methan aus Biogas	29
Synthetische Biokraftstoffe (BTL)	32
Biokraftstoffe im Überblick	36
Ausblick	39
Weiterführende Links	42

## Warum Biokraftstoffe?

Noch nie war die Menschheit so mobil wie heute. Mobilität ist einer der zentralen Pfeiler der modernen Gesellschaft. Warenströme in und aus aller Welt sorgen für einen hohen Lebensstandard, das eigene Auto ist Sinnbild für Freiheit und Lebensqualität. Doch das Zeitalter des Verkehrs steht auf einem wackligen Fundament. Denn die Antriebsenergie für unseren beständig wachsenden Fuhrpark – immerhin 28 Millionen Tonnen Diesel und 27 Millionen Tonnen Ottokraftstoffe verfahren wir jedes Jahr auf deutschen Straßen – wird aus Erdöl gewonnen. Doch die Vorräte an Erdöl, das wie Kohle und Erdgas zu den fossilen Energiequellen zählt, sind begrenzt – Alternativen zu entwickeln ist ein Gebot der Vernunft.

Wann der letzte Tropfen Erdöl aus den Pipelines fließt, kann niemand genau sagen. Einig sind sich die meisten Experten jedoch darüber, dass das billige Erdöl knapp wird, und zwar schon jetzt. Gleichzeitig wird das „schwarze Gold“ weltweit immer stärker nachgefragt. Zu dem unvermindert hohen Verbrauch durch die Industrienationen gesellt sich mehr und mehr auch der Bedarf der bevölkerungsreichen und energiehungrigen Schwellenländer Asiens und Südamerikas. Die Folgen der Verknappung spiegeln sich nicht zuletzt in deutlich steigenden Rohölpreisen

wider. Zudem konzentrieren sich die bedeutendsten Ölvorkommen in wenigen, zumeist als politisch instabil geltenden Regionen.

Sorgen bereitet den Fachleuten aber nicht nur die Verknappung der Ölvorkommen. Auch die Verstärkung des Treibhauseffekts und die damit verbundene Erwärmung der Erdatmosphäre setzen Grenzen, deren Überschreiten in kaum vorher-sagbare Veränderungen von Klima und Lebensbedingungen auf der Erde mündet. Hervorgerufen werden diese anthropogenen Einflüsse durch die von der Verbrennung fossiler Rohstoffe verursachten Emissionen von Kohlendioxid und anderen Treibhausgasen.

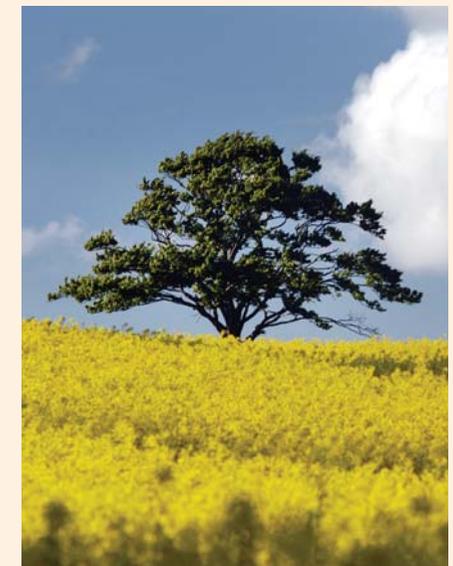
Dass wir Alternativen zu den fossilen Energieträgern benötigen, ist im Grundsatz also unumstritten. Während aber erneuerbare Energien bei der Wärme- und Stromerzeugung inzwischen schon erhebliche Marktanteile erreicht haben, werden Kraftstoffe heute noch fast vollständig aus Erdöl gewonnen. Zudem steigerte der Verkehrssektor, noch vor den privaten Haushalten und der Industrie Deutschlands größter Energieverbraucher, den Ausstoß von Klimagasen seit 1990 entgegen dem Trend um zehn Prozent, wengleich auch hier inzwischen eine Trendwende eingetreten ist.



Biokraftstoffe aus Pflanzenölen, Getreide, Holz und anderen nachwachsenden Rohstoffen, so zeichnet es sich ab, bieten Alternativen und werden künftig maßgeblich zu einer nachhaltigen Mobilität beitragen. Im Verkehrsbereich offerieren pflanzliche Rohstoffe aus heutiger Sicht die wichtigste technisch erprobte und schnell umsetzbare Option, fossile Energieträger zu substituieren. Denn Wasserstoff wird voraussichtlich frühestens in zwei bis drei Jahrzehnten marktrelevante Anteile erreichen. Erdgas ist, da fossilen Ursprungs, keine dauerhaft nutzbare und klimaschonende Energiequelle.

Neben dem Einsatz alternativer Kraftstoffe muss der Verbrauch fossiler Energieträger auch durch effizientere Nutzungskonzepte reduziert werden. Der Einspar-Strategie wird neben den Biokraftstoffen in den nächsten Jahren größte Bedeutung zukommen. Umfangreiche Marktpotenziale und vertretbare Kosten gekoppelt mit den bestehenden Steuererleichterungen

sprechen dafür, dass Biokraftstoffe ihre Möglichkeiten auch ausreizen werden. Bei der Entwicklung erneuerbarer Kraftstoffe spielt Deutschland, das bei Öl und Gas fast vollständig von Importen abhängig ist, schon jetzt weltweit eine Vorreiterrolle. Dank einer sehr erfolgreichen Kooperation von Wissenschaft und Industrie und erheblicher Unterstützung durch Politik und Verbände ist es bereits gelungen, alternative Kraftstoffe in merklichem Umfang in den Markt einzuführen. Darüber hinaus werden zurzeit die Voraussetzungen für gänzlich neue Kraftstoffkonzepte auf pflanzlicher Basis geschaffen, die nachhaltige Mobilität auch noch in fünfzig Jahren versprechen.



## Biokraftstoffe – was ist das eigentlich?

Um konventionelle Antriebskonzepte auf Erdölbasis mittelfristig zu ersetzen, werden im Grunde genommen zwei alternative Trends verfolgt, die sich wesentlich in ihrer Motorenphilosophie unterscheiden. Ein langfristiger Ansatz favorisiert den Umstieg auf den von Brennstoffzellen angetriebenen, de facto emissionsfrei arbeitenden Elektromotor. Hierbei sind jedoch noch eine Vielzahl von technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen zu meistern. Das andere, kurzfristig realisierbare Konzept baut auf die Weiterentwicklung des heutigen Verbrennungsmotors und den Einsatz alter-

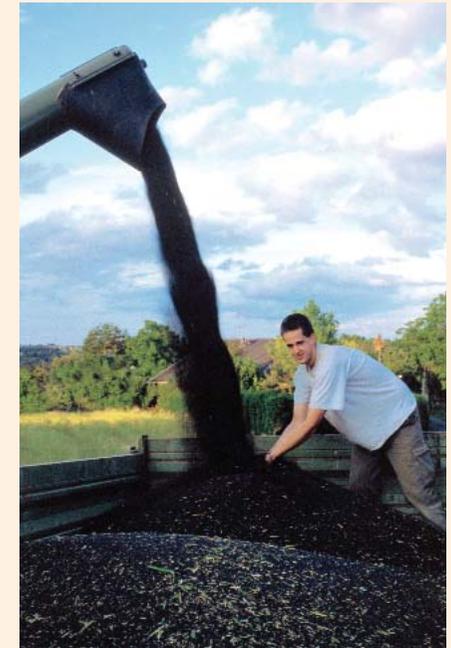
nativer Kraftstoffe. Daneben sind natürlich vielfältige Mischvarianten denkbar.

Allen Konzepten gemeinsam ist, dass sie auf lange Zeit nur mit erneuerbaren Energieträgern funktionieren werden, die hohen technischen und logistischen Anforderungen genügen und sich der modernen Motorenentwicklung anpassen. Zudem müssen sie zu vertretbaren Kosten bereitstellbar sein, erheblich zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen und ein hohes Substitutionspotenzial für herkömmliche Kraftstoffe aufweisen.



Diesen Ansprüchen werden Biokraftstoffe wie Biodiesel, Rapsöl, Ethanol, Methan aus Biogas oder die in der Entwicklung befindlichen Synthese- oder BTL-Kraftstoffe (vom englischen: biomass-to-liquid) bestens gerecht. BTL-Kraftstoffe kommen der Automobil- und Mineralölindustrie insofern entgegen, als dass sie Benzin und Diesel in vielen Parametern ähneln und in hochentwickelten Verbrennungsmotoren mit verhältnismäßig einfachen Anpassungsmaßnahmen eingesetzt werden können. Abgesehen vom Biomethan, das Erdgas chemisch stark ähnelt, sind Biokraftstoffe flüssig und damit leicht zu speichern und über das bestehende Tankstellennetz verteilbar. Sie verfügen über eine ähnlich hohe Energiedichte wie konventionelle Kraftstoffe und engen die Reichweite der Fahrzeuge demzufolge nicht ein. Letztlich erweisen sich Biokraftstoffe in Lagerung und Umgang als sicher handhabbar und sind auch aus Kostengesichtspunkten eine ernsthafte Alternative mit hoher gesellschaftlicher Akzeptanz. Damit sind hohe Investitionen in neue Technik und Infrastruktur bei der Verwendung von Biokraftstoffen nicht zwingend erforderlich.

Und: Biokraftstoffe sind, da sie aus pflanzlichen Rohstoffen gewonnen werden, in großen Mengen verfügbar. Als Rohstoffbasis dient eine breite Palette von Ölpflanzen, Getreide, Zuckerrüben oder -rohr, speziellen Energiepflanzen, Wald- und Restholz sowie Holz aus Schnellwuchsplantagen.



Schließlich tragen Biokraftstoffe zum Klimaschutz bei, da bei ihrer Verbrennung nur das Kohlendioxid frei wird, das die Pflanzen zuvor im Wachstum gebunden haben. Auch wenn ihre CO<sub>2</sub>-Bilanz bedingt durch die Herstellungsverfahren nicht vollständig neutral ist, können sie doch in erheblichem Maß zur Reduktion von Treibhausgas-Emissionen im Verkehrssektor beitragen.

Aus eben diesen Gründen machen Biokraftstoffe bereits heute (2005) rund 1,8 Prozent des Gesamttreibstoffverbrauchs in Deutschland aus. Der Großteil davon



entfällt auf Biodiesel, den wohl bekanntesten Biokraftstoff, der sowohl in Reinform als auch in Mischungen mit herkömmlichem Diesel angeboten wird. Auch reines Pflanzenöl wird in speziell umgerüsteten Motoren schon heute genutzt. 2004 begann außerdem die Beimischung von Bioethanol zu Benzin, erstmals wurden in diesem Bereich 50.000 Tonnen abgesetzt. Tests zur Nutzung von Methan aus Biogas in Erdgasfahrzeugen sind ebenfalls angelaufen. Bis BTL-Kraftstoffe auf den Markt kommen, dürfte es hingegen noch etwas länger dauern.

Biokraftstoffe sind nichts völlig Neues. Bereits 1912 testete Rudolf Diesel den Einsatz von Erdnussöl in einem Dieselmotor – mit Erfolg. Schon damals prognostizierte er: „Zwar mögen pflanzliche Öle gegenwärtig für eine technische Nutzung unwichtig sein. Aber im Laufe der Zeit könnten sie durchaus die gleiche Bedeutung erlangen, die unseren heutigen Erdöl- und Kohleteer-Produkten zukommt.“ Tatsächlich werden Pflanzenöle heute als Reinkraftstoff oder als Rohstoff für Kraftstoffe eingesetzt.

Eine historische Kurzvorstellung gab das Holzvergaser-Auto in Deutschland. Als während des zweiten Weltkriegs Erdöl schon einmal sehr knapp geworden war, rüstete man Personen- und Lastkraftwagen erfolgreich auf Holzgasbetrieb um. Den Holzvergaser führten diese Fahrzeuge mit sich, für 100 Kilometer brauchten sie etwa 15 kg Holz. Heute wären solche Autos zu unpraktisch und ineffizient, doch mit Holz als Ausgangsbasis für Kraftstoffe verknüpfen sich erneut große Hoffnungen.

## Haben wir genug Biomasse?

Um die Produktion von Biokraftstoffen deutlich zu erhöhen, müssen die dafür notwendigen Energiepflanzen künftig auf sehr viel mehr Flächen angebaut werden als heute. Bedenken, ob diese Flächen ausreichend zur Verfügung stehen und ob der Anbau nicht die Nahrungsmittelproduktion einschränken wird, sind zurzeit jedoch unbegründet.

Die Produktivität unserer Landwirtschaft nimmt seit Jahrzehnten stetig zu, ein Trend, der auch in Zukunft anhalten wird. Gleichzeitig sinkt die Bevölkerung in Deutschland. Dadurch wird von den hierzulande knapp zwölf Millionen Hektar landwirtschaftlicher Ackerfläche ein immer größerer Anteil für die Non-food-Produktion, also den industriellen und energetischen Sektor, frei. 2004 wurden Energiepflanzen – vor allem Raps für die Biodieselproduktion, aber auch Roggen für Bioethanol – bereits auf ca. 780.000 Hektar angebaut. Schätzungen über die zukünftig für den Energiepflanzen-Anbau zur Verfügung stehenden Flächen gehen für das Jahr 2030 von gut vier Millionen Hektar aus.

Bei der Biomasseproduktion für Kraftstoffe versprechen darüber hinaus neue Anbau- und Ernteverfahren wie der Mischfruchtanbau und die Zweikulturnutzung eine steigende Flächenproduktivität. Diese Verfahren sind auch unter

Gesichtspunkten des Natur- und Umweltschutzes interessant. Schließlich können für bestimmte Biokraftstoffe ohnehin anfallende pflanzliche Reststoffe genutzt werden, zu denen Restholz aus der Forstwirtschaft und Landschaftspflege, Stroh, aber auch Bioabfälle zählen.

Experten gehen davon aus, dass in Deutschland produzierte Biokraftstoffe im Jahr 2020 einen Anteil von bis zu 25 Prozent an der gesamten Kraftstoffversorgung ausmachen können. Eine 100-prozentig autarke Versorgung mit pflanzenbasierten Kraftstoffen wird allerdings in den dichtbesiedelten Ländern Mitteleuropas, auch längerfristig, kaum möglich sein. Importe von zusätzlichen Roh- und Kraftstoffen können die heimische Erzeugung ergänzen. Die Gefahr einer Abhängigkeit von wenigen Regionen, wie sie beim Erdöl besteht, kann hier ausgeschlossen werden, da Biomasse in vielen Ländern produziert werden kann. Zudem unterliegt Biomasse als quasi unendliche Ressource im Gegensatz zu fossilen Rohstoffen nicht einer stetigen Verknappung.

Sichergestellt werden sollte aber auch bei Importen, dass die Standards der Nachhaltigkeit bei der Produktion und Verarbeitung gewährleistet bleiben. Insgesamt ist das jährliche Biomasse-Aufkommen

weltweit um ein Vielfaches größer als der gesamte menschliche Energiebedarf. Große Anteile der Biomasse befinden sich jedoch in abgelegenen Regionen und sind insofern nicht oder nur bedingt nutzbar.

Neben dem begrenzten Flächenangebot gibt es einen weiteren Faktor, der die Produktion von Biokraftstoffen limitieren kann: Kraftstoffe stellen nicht die einzige Nutzungsform von Biomasse dar. Auch in der Wärme- und Stromerzeugung gibt es technisch ausgereifte und etablierte Verfahren wie Holzfeuerungs- und Biogasanlagen. Und auch die stoffliche Nutzung meldet steigenden Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen an, zum Beispiel

als Bau- und Werkstoffe oder als Ausgangsstoffe für die chemische und pharmazeutische Industrie. Im Gegensatz zum Verkehrssektor stehen für die Strom- und Wärmeerzeugung aber auch andere erneuerbare Energiequellen zur Verfügung: Windkraft-, Wasserkraft- und Photovoltaikanlagen können Strom, Solarthermie-Anlagen Wärme und geothermische Kraftwerke beides produzieren.

Das langfristige Ziel ist eine vollständig regenerativ versorgte Gesellschaft, deshalb gilt es, für alle Bereiche des Energie- und Stoffbedarfs frühzeitig möglichst viele Optionen zu entwickeln.

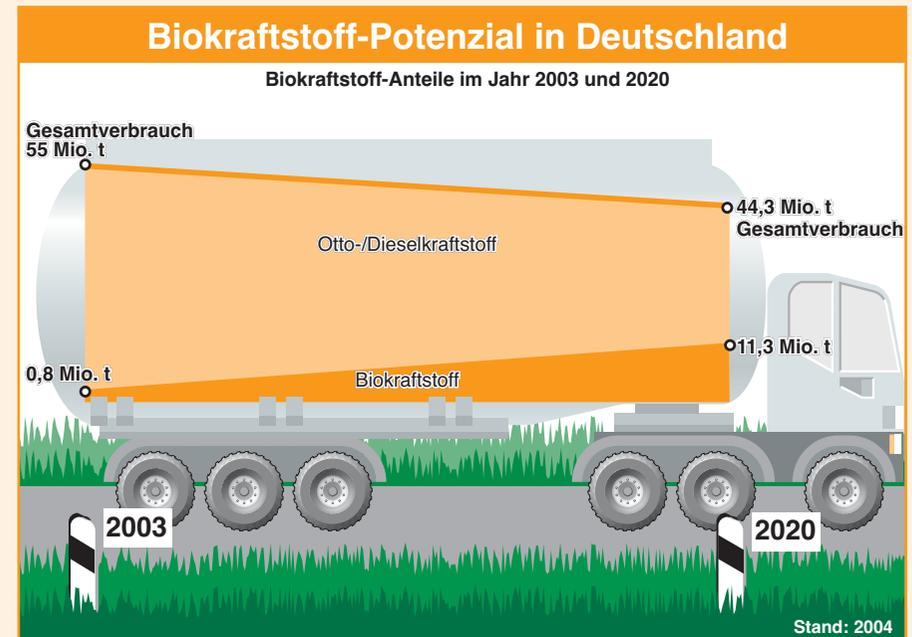


Abb.: Der Kraftstoff-Verbrauch in Deutschland lag im Jahr 2003 bei 55 Millionen Tonnen und wird in Zukunft voraussichtlich abnehmen. Experten schätzen ihn für das Jahr 2020 auf nur noch 44,3 Millionen Tonnen. Gleichzeitig stehen immer größere Flächen für den Energiepflanzenanbau bereit, 2020 können es bis zu 3,45 Millionen Hektar sein. Würde diese Fläche ausschließlich für die Kraftstoff-Erzeugung genutzt und der Gesamtverbrauch in der vorhergesagten Weise sinken, ließen sich damit 11,13 Millionen Tonnen oder rund 25 Prozent des Kraftstoffbedarfs decken. Für die Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse könnten daneben andere land- und forstwirtschaftliche Stoffe eingesetzt werden, die als Reststoffe ohnehin anfallen oder bislang nicht genutzt werden. Dazu zählen Grünschnitt, Rest- und Schwachholz, bislang ungenutzter Holzzwachs, Stroh und Biogas aus Gülle.

In 2003 wurden 0,8 Millionen Tonnen Biokraftstoffe produziert und deckten 1,4 Prozent unseres Kraftstoffverbrauchs. Dafür wurden Energiepflanzen auf rund 700.000 Hektar angebaut, vor allem Raps für Biodiesel.

## Politische und rechtliche Rahmenbedingungen

Der heutige Kraftverkehr ist weltweit vom begrenzten Erdölangebot abhängig und gilt als einer der Hauptverursacher des anthropogenen Treibhauseffekts. Um dem entgegenzusteuern, hat die Europäische Union in ihrer Richtlinie 2003/30/EG den zukünftigen Anteil von Biokraftstoffen festgelegt. Bis zum Jahr 2005 soll in den Mitgliedsstaaten der EU der Anteil von Biokraftstoffen auf zwei Prozent sämtlicher Kraftstoffe ansteigen, bis 2010 auf 5,75 Prozent (bezogen auf den Energiegehalt). Zur Erreichung dieser Ziele sind flankierende

Maßnahmen notwendig, denn Biokraftstoffe sind Pioniere auf dem Treibstoffmarkt und als solche heute noch teurer als die fossilen Energieträger. Damit ihre Verbreitung nicht von vornherein an der Kostenhürde scheitert, hat die EU die Richtlinie 2003/96/EG beschlossen. Sie erlaubt es den EU-Mitgliedsstaaten, alle Biokraftstoffe von der Mineralölsteuer zu befreien. Diese Regelung gilt sowohl für Reinkraftstoffe als auch anteilig für die Zumischung biogener Komponenten zu fossilen Kraftstoffen.



Deutschland hat biogene Reinkraftstoffe bereits in den 1990er Jahren von der Mineralölsteuer befreit. Zum 1.1.2004 trat mit der Änderung des Mineralölsteuergesetzes auch die Steuerbefreiung von Beimischungen in Kraft.

Einige Mineralölkonzerne machen davon Gebrauch und setzen den von ihnen verkauften Kraftstoffen biogene Komponenten zu. Die Höhe der Beimischung wird durch die jeweils gültige Kraftstoffnorm begrenzt: Laut Dieselkraftstoffnorm DIN EN 590 darf Diesel bis zu fünf Prozent Biodiesel beigemischt werden. Für Ottokraftstoffe wie Benzin und Super ist die Norm DIN EN 228 entscheidend, die einen Ethanol-Anteil von bis zu fünf Prozent erlaubt. Im Fall von Ethyl-Tertiär-Butyl-Ether (ETBE, einem chemischen Abkömmling von Bio-Ethanol), das ebenfalls Benzin

und Super beigemischt wird, sind bis zu 15 Prozent möglich.

Ebenfalls seit 1.1.2004 ist die Biodieselnorm DIN EN 14214 in Kraft, die die Qualität des Biokraftstoffs definiert und seine Aufnahme in die 10. BImSchV ermöglichte. Des Weiteren sind natürlich alle Normen und Vorschriften zur Herstellung, Lagerung, Transport und Nutzung von Kraftstoffen auch für Biokraftstoffe bindend.

Tangiert werden Biokraftstoffe zudem von den EU-Abgasnormen, die für Pkw ab 2005 (Euro IV) und 2008 (Euro V) sowie für Nutzfahrzeuge ab 2005/2006 (Euro IV) deutlich verschärft werden. Die Einhaltung dieser Anforderungen erfordert insbesondere für Biodiesel und Pflanzenöl als Reinkraftstoff technische Anpassungen.

# Pflanzenöl

## Steckbrief Pflanzenöl-Kraftstoff

• Rohstoffe:	Rapsöl (und andere nichttrocknende Pflanzenöle)
• Jahresertrag je Hektar:	1.300 l/ha
• Kraftstoff-Äquivalent:	1 l Rapsöl ersetzt ca. 0,96 l Diesel
• Marktpreis:	ca. 0,50 – 0,60 EUR/l
• CO <sub>2</sub> -Minderung*:	> 80 %
• Technische Hinweise:	Umrüstung des Motors erforderlich

\* bezogen auf das Dieseläquivalent

Pflanzenöle sind nicht nur Ausgangsstoff für die Biodiesel-Produktion, sondern können auch in nativer, also unveränderter Form in speziell umgerüsteten Dieselmotoren eingesetzt werden. Schon Rudolf Diesel, der Erfinder des Dieselmotors, wusste es: Reines Pflanzenöl, mit dem wir unseren Salat zubereiten, eignet sich auch als Kraftstoff für Dieselmotoren.

## Rohstoffe

Diesel experimentierte mit Erdnussöl, doch sind es heute einheimische Ölpflanzen, die als Kraftstofflieferanten genutzt werden. Aus klimatischen Gründen lässt sich Raps hierzulande am kostengünstigsten anbauen und verwerten. Auch Sonnenblumen kommen in Frage, ihr Öl



ist in der Produktion jedoch deutlich teurer. Weltweit weisen auch Soja-, Palm- und Olivenöl beträchtliche Potenziale auf.

## Herstellung

Grundsätzlich gibt es zwei Herstellungsverfahren für Pflanzenöl: Die industrielle oder dezentrale Kaltpressung, die oft direkt in landwirtschaftlichen Betrieben oder Genossenschaften stattfindet, und die zentrale Herstellung durch Raffination in industriellen Großanlagen. Bei der Kaltpressung wird die gereinigte Ölsaat ausschließlich durch mechanischen Druck bei Temperaturen von maximal 40°C ausgepresst, Schwebstoffe werden durch Filtration oder Sedimentation entfernt. Neben dem Öl bleibt der Presskuchen mit einem Restölgehalt von mehr als zehn Prozent übrig, der als eiweißreiches Tierfutter genutzt wird.

Bei der zentralen Ölgewinnung werden die Ölsaaten nach einer Vorbehandlung bei höheren Temperaturen ausgepresst. Aus dem verbleibenden Ölpreskuchen wird das restliche Öl mit Lösemitteln bei Temperaturen bis 80°C herausgelöst, übrig bleibt so genanntes Extraktionsschrot, das ebenfalls als Tierfutter zum Einsatz kommt. Die Lösemittel werden anschließend durch Verdampfen vom Öl abgetrennt. Nach diesen Verfahrensschritten enthält das Öl mehr unerwünschte Begleitstoffe als bei der Kaltpressung, die



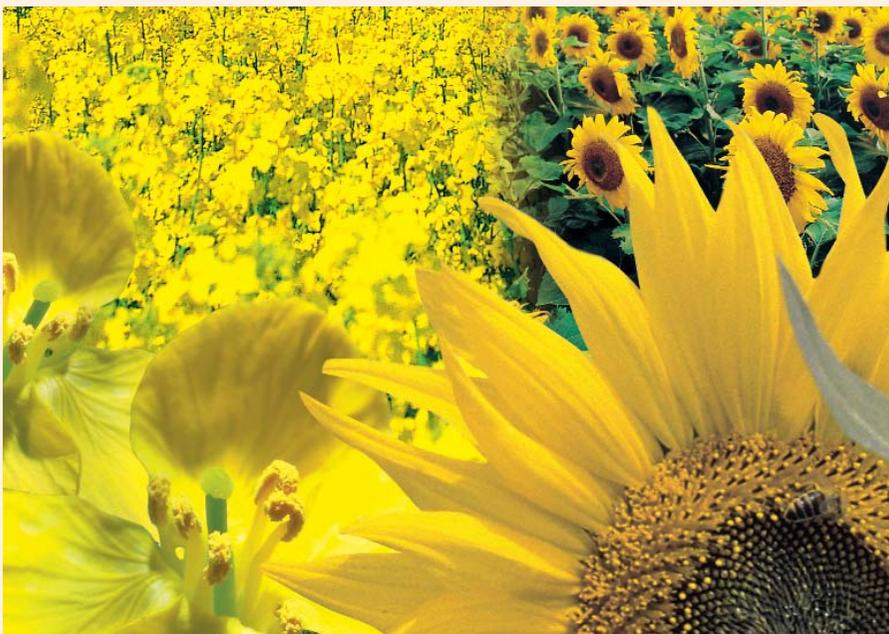
anschließend durch Raffination entfernt werden. Endprodukt ist schließlich ein auch als Vollraffinat bezeichnetes Öl in Speiseölqualität.

## Kraftstoffeigenschaften und -qualität

Reines Pflanzenöl hat bestimmte Eigenschaften, die es von Dieselmotoren unterscheiden und seinen Einsatz im Verbrennungsmotor nur nach Anpassungsmaßnahmen ermöglichen. Die Viskosität von Pflanzenöl ist vor allem bei niedrigen Temperaturen bis zu zehn mal höher als die von fossilem Diesel, was bei herkömmlichen Motoren zu technischen Herausforderungen insbesondere beim Winterbetrieb und beim Kaltstart des Motors führt. Der Flammpunkt liegt mit rund 240°C deutlich höher als der von normalem Diesel, Pflanzenöl ist deshalb bei Lagerung und Transport besonders sicher, einfach

handhabbar und in keine Gefährdungskategorie der Verordnung über brennbare Flüssigkeiten eingestuft.

Entscheidend für einen störungsfreien Betrieb ist die Qualität des Pflanzenöls. Um die Qualität von Rapsöl zu definieren, hat die Bayerische Landesanstalt für Landtechnik Weißenstephan im Jahr 2000 den so genannten RK-Qualitätsstandard 5/2000 für Rapsöl als Kraftstoff veröffentlicht. Der RK-Standard soll zu einer gesetzlichen Norm weiterentwickelt werden, wird aber schon heute von vielen Akteuren in der Pflanzenölbranche anerkannt.



## Umrüstung

Bevor unverändertes Pflanzenöl als Kraftstoff genutzt wird, muss der Motor an den Kraftstoff angepasst werden, um den Viskositäts- und Verbrennungseigenschaften der Pflanzenöle gerecht zu werden. Mehrere Anbieter in Deutschland haben dafür verschiedene Umrüstkonzepte entwickelt. Sie sorgen entweder für die Vorwärmung von Kraftstoff und Einspritzsystemen oder verfügen über ein so genanntes „2-Tank-System“, bei dem der Motor mit Diesel startet und erst bei Betriebstemperatur auf Pflanzenölbetrieb umschaltet.



Die verschiedenen, in der Praxis inzwischen genutzten Umrüstverfahren kosten je nach Motortyp zwischen gut Ein- und mehreren Tausend Euro, eine Garantie auf die Veränderungen am Motor wird nicht immer gewährt. Gut erprobt sind insbesondere Anpassungen von älteren Vorkammer-Diesel-Motoren, während in modernen Common-Rail- oder Pumpe-Düse-Systemen nicht alle Probleme als restlos gelöst angesehen werden können. Zudem erfordert der Eintrag von Pflanzenöl in das Motoröl häufig deutlich verkürzte Ölwechselintervalle. In nicht angepassten Motoren sollte Pflanzenöl weder in Reinform noch in Mischungen mit Diesel zum Einsatz kommen, da seine Verbrennungseigenschaften zu stark von denen des Diesels abweichen und Schäden an den Einspritzsystemen

sowie durch Ablagerungen im Motor nicht auszuschließen sind.

## Verbreitung

Pflanzenöl gilt momentan noch als Nischenanwendung. Aufgrund des geringen Marktanteils ist die Infrastruktur wenig ausgeprägt, das Netz öffentlicher Pflanzenöltankstellen in Deutschland besteht aus knapp 150 Stationen. Viele Pflanzenölnutzer verwenden deshalb einen eigenen Vorrattank. Die reinen Kraftstoffkosten liegen deutlich unter denen von Diesel, da jedoch zusätzlich die Kosten für die Umrüstung und häufigere Ölwechsel anfallen, rechnet sich das „Fahren mit Salatöl“ wirtschaftlich etwa ab 100.000 gefahrenen Kilometern.



Die Entwicklung und Serienfertigung von pflanzenöлтаuglichen Motoren durch die Automobilindustrie ist in naher Zukunft nicht zu erwarten. Die Markteinführung von Pflanzenöl als Kraftstoff in der Landwirtschaft wird ab 2005 durch ein Förderprogramm des Bundesverbraucherschutzministeriums unterstützt.

### Umweltaspekte

Aufgrund des relativ einfachen, energetisch wenig aufwändigen Herstellungsprinzips hat reines Pflanzenöl eine deutlich positive Energiebilanz. Damit weist Pflanzenöl als Kraftstoff auch erhebliche CO<sub>2</sub>-Einspareffekte auf. Zudem ist Pflanzenöl in Böden und Gewässern in kurzer Zeit biologisch abbaubar und dementspre-

chend nach deutscher Gesetzgebung in keine Wassergefährdungskategorie eingestuft.



### Energiebilanz

Bei der Energiebilanzierung betrachtet man den gesamten Lebensweg vom Anbau der pflanzlichen Rohstoffe über die Ernte und Weiterverarbeitung bis zum Einsatz im Motor.

Erneuerbare Kraftstoffe tragen zum Nettoenergiegewinn bei, wenn der Energiegehalt des Kraftstoffs (Output) den Energieaufwand zu seiner Herstellung (Input) übertrifft. In der Regel weisen Biokraftstoffe positive Energiebilanzen auf, das heißt im Kraftstoff steht für die motorische

Nutzung mehr Energie zur Verfügung, als vorher für seine Erzeugung aufgewandt werden muss.

Um die Energieeffizienz besser vergleichen zu können, bedient man sich des so genannten Output/Input-Verhältnisses. Je geringer der Energiebedarf bei der Kraftstoffherstellung, desto besser stellt sich der Nettoenergiegewinn dar. So weist Pflanzenöl ein Output/Input-Verhältnis von ca. 8/1 auf, bei Biodiesel sind es immerhin etwa 3/1.

## Biodiesel

Biodiesel ist der bei uns bekannteste und am weitesten verbreitete biogene Kraftstoff. An den Dieselmotor angepasst, trägt Biodiesel heute bereits mit gut einer Million Tonnen pro Jahr zum Treibstoffverbrauch in Deutschland bei. Viele Hersteller geben ihre Fahrzeuge direkt ab Werk für den Einsatz von Biodiesel frei, andere bieten entsprechende Lösungen als Sonderausstattung oder Zubehör an. Seit 2004 mischen Mineralölkonzerne Biodiesel herkömmlichem Diesel zudem mit bis zu fünf Prozent bei, ohne dass hierfür gesonderte technische Voraussetzungen vom Fahrzeughalter zu beachten sind.

### Rohstoffe

Viele Menschen denken bei Biodiesel an blühende Rapsfelder, und in der Tat wird

er in Deutschland aus Raps gewonnen. Als Ausgangsbasis sind aber auch andere Pflanzenöle sowie Altspeise- und Tierfette möglich.

### Herstellung

Für den Chemiker handelt es sich bei Biodiesel um Pflanzenölmethylester bzw. Fettsäuremethylester, auch als Fatty Acid Methylester (FAME) bezeichnet. Außerdem ist die Abkürzung RME für Rapsölmethylester gebräuchlich. Biodiesel ist also nicht mit Pflanzenöl zu verwechseln, sondern daraus hergestellt.

Die Herstellung von Biodiesel erfolgt durch Umesterung von Pflanzenöl. Hierfür ist Methanol notwendig, das mit Pflanzenöl im Verhältnis 1 : 9 gemischt wird.

### Steckbrief Biodiesel

• Rohstoffe:	Rapsöl (und andere nichttrocknende Pflanzenöle)
• Jahresertrag je Hektar:	1.300 l/ha
• Kraftstoff-Äquivalent:	1l Biodiesel ersetzt ca. 0,91l Diesel
• Marktpreis:	ca. 0,75 – 0,85 EUR/l
• CO <sub>2</sub> -Minderung*:	ca. 70 %
• Technische Hinweise:	Biodiesel in Reinform: Freigabe des Herstellers erforderlich; Mischungen bis 5 % ohne Anpassung des Motors

\* bezogen auf das Dieseläquivalent

## Umesterung von Rapsöl zu Biodiesel

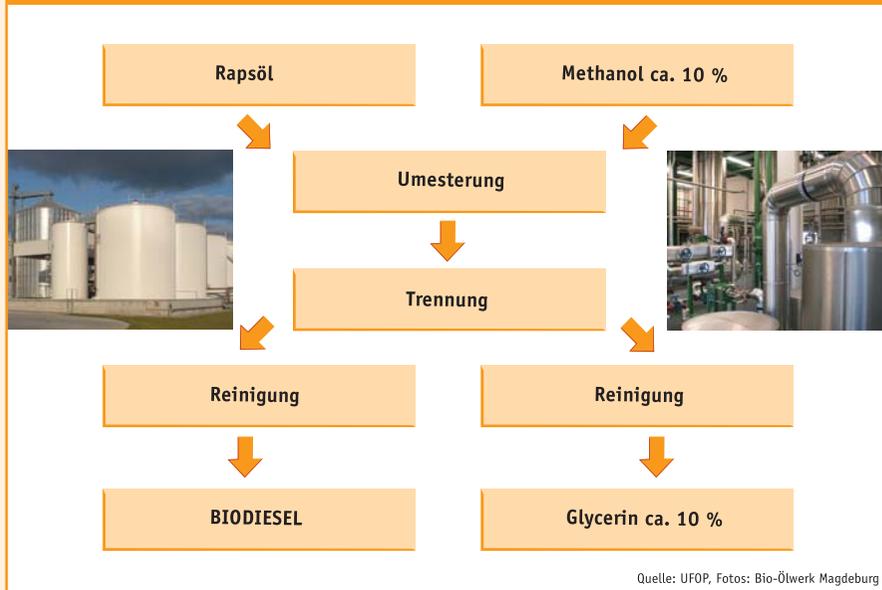


Abb.: Verfahrensschema Umesterung

Zusätzlich wird 0,5 bis ein Prozent eines Katalysators bei einer Temperatur von 50 bis 80 °C zugeführt. Bei der dann ablaufenden chemischen Reaktion wird das Pflanzenölmolekül, das aus Glycerin und drei Fettsäureketten besteht, aufgespalten. Die Fettsäuren verbinden sich mit Methanol zu Biodiesel. Zusätzlich entsteht Glycerin, ein Alkohol, der in vielen Bereichen wie der Pharma- und Lebensmittelindustrie und der Oleochemie Anwendung findet und normalerweise synthetisch hergestellt wird.

## Kraftstoffeigenschaften und -qualität

Während beim Einsatz reinen Pflanzenöls, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, der Motor an den Kraftstoff angepasst werden muss, handelt es sich bei der Umesterung zu Biodiesel um eine Anpassung des Kraftstoffs an den Motor. Biodiesel hat, was die Viskosität und die Zündwilligkeit betrifft, ähnliche Eigenschaften wie fossiler Diesel. Durch die Zugabe von Additiven, die auch bei

herkömmlichem Kraftstoff üblich ist, wird zudem die Wintertauglichkeit erreicht – bis minus 20 °C kann mit Biodiesel problemlos gefahren werden.

Die Schmierfähigkeit von Biodiesel, wichtig für einen geringen Verschleiß des Motors, ist sogar deutlich höher als die von fossilem Kraftstoff. Etwas geringer ist hingegen der Energiegehalt pro Liter, der zu einem Mehrverbrauch von bis zu fünf Prozent führen kann.

In nicht freigegebenen Fahrzeugen können die lösungsmittelähnlichen Eigenschaften von Biodiesel problematisch werden, die Kunststoff- und Gummibauteile wie Dichtungen und Benzinleitungen im Motor angreifen. Wenn nach längerer Fahrzeit ausschließlich mit

Mineralöl-Diesel erstmals Biodiesel getankt wird, kann dieser außerdem Kraftstoffrückstände lösen, die möglicherweise den Filter verstopfen. Es empfiehlt sich deshalb, den Kraftstofffilter nach einigen Tankfüllungen mit Biodiesel zu wechseln.

Die für die Kraftstoffqualität notwendigen Anforderungen sind in der europaweit gültigen Norm DIN EN 14214 festgeschrieben, die in Deutschland durch Aufnahme in die Kraftstoffqualitäts- und Kennzeichnungsverordnung, die 10. BImSchV, gesetzlich verankert wurde. Biodiesel zählt damit als erster Biokraftstoff zu den so genannten handelsüblichen Kraftstoffen und unterliegt unangemeldeten Kontrollen durch Länderdienststellen. Öffentliche Tankstellen sind verpflichtet, die normgerechte Qualität





Aufkleber DIN EN 14214 für Biodiesel

des Kraftstoffs durch Anbringen des DIN-Aufklebers an den Zapfsäulen kenntlich zu machen.

Zusätzlich hat sich ein Großteil der deutschen und österreichischen Biodieselhersteller in der Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. (AGQM) zusammengeschlossen, um durch eigene Maßnahmen die Einhaltung der Norm zu



Aufkleber Biodiesel-Qualitätsmanagement an Zapfsäulen (AGQM)

gewährleisten. Auch zahlreiche Biodiesel-Tankstellen sind Mitglied und durch ein Kontrollzeichen an den Zapfsäulen erkennbar.

### Freigabe

Bereits die deutsche Vornorm war die Grundlage für einige Automobilhersteller,



viele ihrer Modelle für Biodiesel freizugeben. Insbesondere der Volkswagen-Konzern, aber auch andere Hersteller haben eine Vielzahl ihrer Modelle für Biodieseltauglich erklärt. Bei den freigegebenen Modellreihen sind empfindliche Kunststoff- und Gummibauteile schon vom Hersteller durch resistente Materialien ersetzt worden.



Abb.: Biodiesel-Sensor

In jüngster Zeit werden Freigaben nur noch in Verbindung mit speziellen Biodiesel-Paketen erteilt. Hauptgrund ist die neue EU-Abgas-Norm Euro IV, die 2005 in Kraft getreten ist. Aufgrund relativ hoher Stickoxid-Emissionen kann Biodiesel als Reinkraftstoff die strengeren Werte dieser Norm nicht mehr ohne Weiteres einhalten. Mit Hilfe eines Sensors, der verschiedene Kraftstoffe oder -mischungen erkennt, kann das Motormanagement auf das jeweilige Kraftstoffmischungsverhältnis eingestellt

und die Verbrennung entsprechend optimiert werden. So lassen sich auch die Abgasgrenzwerte von Euro IV ohne Problem unterschreiten. Der Biodieselsensor ist mittlerweile als Zusatzausrüstung für einige neue VW- und Audi-Modelle erhältlich.

### Verbreitung

Biodiesel ist bislang der einzige Biokraftstoff, für den eine ausgeprägte Infrastruktur existiert. An bundesweit mittlerweile 1.800 Tankstellen ist er flächendeckend erhältlich.

Biodiesel ist günstiger als fossiler Diesel, die Preisdifferenz ist jedoch geringer als bei Pflanzenöl. Andererseits fallen bis auf einen leicht erhöhten Wartungsaufwand für Filter- und Ölwechsel keine Kosten für eine Umrüstung an. Nicht zuletzt aufgrund dieser ökonomischen Vorteile hat sich Biodiesel in den letzten zwölf Jahren einen beachtlichen Anteil am Kraftstoffmarkt erobert, der 2004 bei 1,8 Prozent des Gesamtverbrauchs oder eine Million Tonnen in Deutschland lag. Neben den privaten Autofahrern, die ihn an freien Tankstellen tanken, wird Biodiesel auch von Betreibern größerer Fahrzeugflotten wie Taxiunternehmen und Speditionen mit eigenen Tankeinrichtungen eingesetzt. Etwa zwei Drittel des Biodiesels wurde bis Ende 2004 an diese

## Die grüne Welle rollt

Biodiesel-Absatz in Deutschland 1991 – 2005 in Tonnen

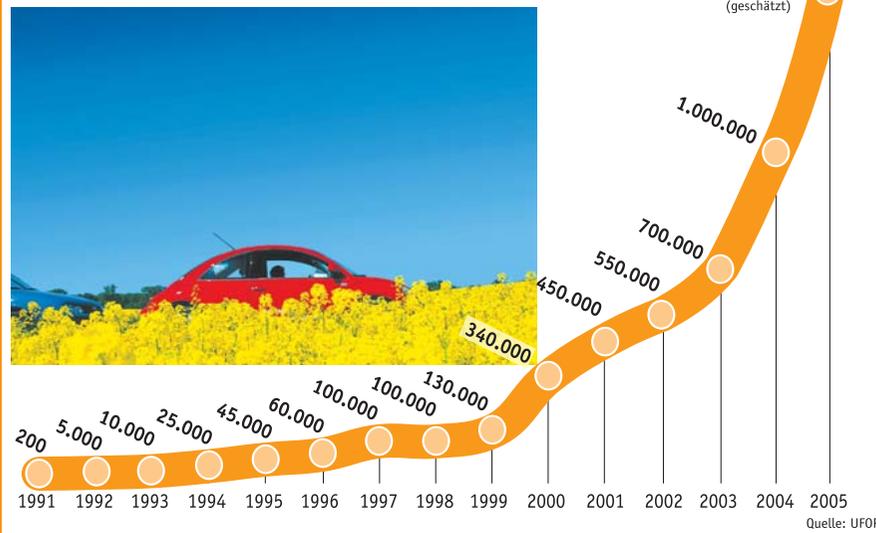


Abb.: Entwicklung Biodiesel-Absatz

Kundengruppe geliefert. Seit Beginn 2004 mischen einige der großen Mineralölkonzern dem von ihnen verkauften herkömmlichen Dieselmotoren geeignet sind, kann Bioethanol Ottokraftstoffe, also Benzin, Super und Superplus, ersetzen. In Deutschland wurde der Biokraftstoff mit der Inbetriebnahme der ersten großen Ethanolfabriken in den Kraftstoffmarkt eingeführt. Er kann Ottokraftstoff durch die Mineralölhersteller in Höhe von bis zu fünf Prozent beigemischt werden, was 2004 mit rund 50.000 Tonnen erstmals umgesetzt wurde. Serienfahrzeuge, die mit einem höheren oder sogar 100-prozentigen Ethanolanteil fahren, werden hierzulande noch nicht angeboten.

Die Umrüstung von Traktoren und landwirtschaftlichen Maschinen auf Biodiesel wird vom Bundesverbraucherschutzministerium ab 2005 durch ein Förderprogramm unterstützt.

## Umweltaspekte

Mit seiner positiven Energiebilanz – der Nettoenergiegewinn liegt bei etwa dem dreifachen der für die Herstellung und Logistik eingesetzten Energie – spart Biodiesel große Mengen Erdöl als auch fossiler CO<sub>2</sub>-Emissionen ein. Biodiesel ist durch das Umweltbundesamt in die Wassergefährdungskategorie 1 für schwach wassergefährdende Stoffe eingestuft worden, während sich Diesel in Klasse 2 „wassergefährdend“ und Benzin in Klasse 3 „stark wassergefährdend“ befindet. In Untersuchungen zur biologischen Abbaubarkeit wurde festgestellt, dass Biodiesel in 21 Tagen zu über 98 Prozent abgebaut wird.

## Bioethanol

### Steckbrief Ethanol-Kraftstoff

• Rohstoffe:	Getreide, Zucker, (Holz)
• Jahresertrag je Hektar:	2.500 l/ha
• Kraftstoff-Äquivalent:	1l Ethanol ersetzt ca. 0,66 l Benzin
• Marktpreis:	ca. 0,50 EUR/l
• CO <sub>2</sub> -Minderung*:	30 – 70 %
• Technische Hinweise:	kann Kraftstoff bis zu 5 % beigemischt werden

\* bezogen auf das Benzinäquivalent

Während Pflanzenöl und Biodiesel für Dieselmotoren geeignet sind, kann Bioethanol Ottokraftstoffe, also Benzin, Super und Superplus, ersetzen. In Deutschland wurde der Biokraftstoff mit der Inbetriebnahme der ersten großen Ethanolfabriken in den Kraftstoffmarkt eingeführt. Er kann Ottokraftstoff durch die Mineralölhersteller in Höhe von bis zu fünf Prozent beigemischt werden, was 2004 mit rund 50.000 Tonnen erstmals umgesetzt wurde. Serienfahrzeuge, die mit einem höheren oder sogar 100-prozentigen Ethanolanteil fahren, werden hierzulande noch nicht angeboten.

und cellulosehaltige Pflanzen, in Frage kommen vor allem Weizen, Roggen und Zuckerrüben. In den USA und im europäischen Ausland wird Ethanol vor allem aus Mais hergestellt, Brasilien setzt auf die Vergärung von Zucker aus Zuckerrohr.

Mit der Entwicklung geeigneter enzymatischer Verfahren könnten auch Holz,

### Rohstoffe

Ethanol wird durch Vergärung von in Pflanzen enthaltenen Zuckern gewonnen. Grundsätzlich eignen sich zucker-, stärke-



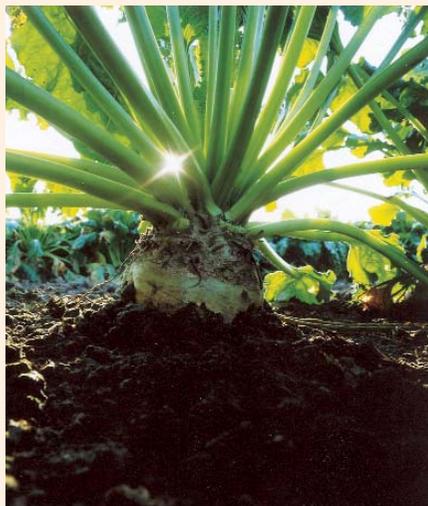


Energiepflanzen und Stroh vergoren werden. Diese neuen Ansätze werden zurzeit intensiv erforscht.

### Herstellung

Als Ausgangsstoff dient der in den Pflanzen enthaltene Zucker, der durch Hefepilze und Enzyme zu Ethanol vergoren wird. Die Vergärung wird auch als Fermentation bezeichnet. Bei stärkehaltigen Pflanzen wird die Stärke, ebenfalls mit Hilfe von Enzymen, zunächst in Zucker umgewandelt. Gleiches gilt für cellulosehaltige Pflanzen.

Bei der Vergärung von zucker- und stärkehaltigen Pflanzen entsteht als Neben-



produkt in großer Menge die so genannte Schlempe, die als Futtermittel oder Substrat für Biogasanlagen dienen kann.

Zurzeit werden in Deutschland erhebliche Kapazitäten für die Herstellung von Ethanol geschaffen, zudem drängen Importe vor allem aus Brasilien auf den europäischen Kraftstoffmarkt.

### Kraftstoffeigenschaften

Ethanol besitzt Eigenschaften, die die Qualität von Ottokraftstoffen verbessern. So weist der Alkohol eine höhere Oktanzahl auf als herkömmliche Ottokraftstoffe. Die Oktanzahl kennzeichnet die Klopfestigkeit des Kraftstoffs; als „Klopfen“

werden unkontrollierte Verbrennungen bezeichnet, die den Motor mechanisch und thermisch stark belasten. Eine hohe Oktanzahl steht für einen klopfesten Kraftstoff.

Auf der anderen Seite hat Ethanol einen um ein Drittel niedrigeren Energiegehalt als Ottokraftstoff, ein Liter Ethanol ersetzt also nur etwa 0,66 Liter Benzin. Ethanol als beigemischte Komponente erhöht außerdem den Dampfdruck des Kraftstoffs. Dem muss insbesondere im Sommer mit geeigneten Maßnahmen entgegengewirkt werden.

### Verbreitung

In Deutschland gibt es noch keine Serienfahrzeuge, die mit einem Anteil von mehr

als fünf Prozent Ethanol fahren können. Weltweit stellt sich die Situation jedoch anders dar: So wurde in Brasilien 1975 aufgrund der ersten Erdölkrise das nationale „Proalcool“-Programm gestartet, das eine stetige Steigerung der Ethanol-Produktion aus heimischen Rohstoffen, vor allem Zuckerrohr, vorsah. Das Ethanol wurde als Reinkraftstoff oder als Beimischung zum Benzin genutzt. Noch heute gibt es in Brasilien etwa 14 Millionen solcher ethanolfähigen Pkw. Zudem ist ein erheblicher und wachsender Anteil der verkauften Neuwagen mit der so genannten Flexible-Fuel-Technologie ausgestattet. Diese Flexible-Fuel-Vehicles (FFV) können mit einem beliebigen Ethanolanteil von bis zu 85 Prozent betrieben werden. Auch in den USA ist die Beimischung von Ethanol zum Benzin seit längerem



möglich. In Europa bietet Ford ein Flexible-Fuel-Modell in Schweden an.



Die Ottokraftstoff-Norm DIN EN 228 erlaubt die Beimischung von bis zu fünf Prozent Ethanol zum Kraftstoff. Wenn tatsächlich die nach der Norm möglichen fünf Volumenprozent sämtlicher Ottokraftstoffe in Deutschland durch Ethanol ersetzt würden, entspräche dies knapp 1,3 Millionen Tonnen pro Jahr.

### Umweltaspekte

Die konventionelle Ethanol-Herstellung ist ein relativ energieaufwändiges Verfahren. Trotzdem fällt die Energiebilanz für den Kraftstoff positiv aus.

Durch seine gute biologische Abbaubarkeit stellt Ethanol keine Gefahr für Böden und Gewässer dar.

### MTBE und ETBE

Ottokraftstoffen wird das Additiv MTBE (Methyl-Tertiär-Butyl-Ether) zugesetzt, um die Oktanzahl zu verbessern. Da MTBE gesundheitsschädigende Eigenschaften hat, geht man heute mehr und mehr dazu über, MTBE durch ETBE (Ethyl-Tertiär-Butyl-Ether) zu ersetzen. ETBE wird aus

Ethanol und Isobuten, einem Nebenprodukt der Kraftstoffherstellung, produziert und darf Ottokraftstoffen bis zu maximal 15 Prozent beigemischt werden. Bisher liegt die Beimischungshöhe zwischen 0,4 Prozent bei Normalbenzin und zehn Prozent bei Superplus.

## Methan aus Biogas

### Steckbrief Bio-Methan

• Rohstoffe:	Mais und andere Energiepflanzen, Gülle und organische Reststoffe
• Jahresertrag je Hektar (aus Silomais):	4.700 m <sup>3</sup> bzw. 3.384 kg
• Kraftstoff-Äquivalent:	1 kg Methan ersetzt ca. 1,4 l Ottokraftstoff
• Marktpreis:	k. A.
• CO <sub>2</sub> -Minderung*:	k. A.
• Technische Hinweise:	Bio-Methan kommt ohne Anpassung in Erdgasfahrzeugen zum Einsatz

\* bezogen auf das Benzin- bzw. Erdgasäquivalent

Autos, die statt eines flüssigen einen gasförmigen Energieträger nutzen, gibt es schon heute: Sie fahren mit Erdgas. Reine oder bivalente Erdgasfahrzeuge werden inzwischen von vielen Automobilherstellern serienmäßig angeboten. In ihnen kann ohne weitere technische Anpassung Bio-Methan aus Biogas eingesetzt werden.

Entsprechende Aufbereitungsverfahren für Biogas auf Erdgasqualität sind allerdings noch relativ neu und wirtschaftlich noch nicht völlig ausgereift.

### Rohstoffe

Der Ausgangsstoff für Bio-Methan ist Biogas, das in Deutschland heute vorwiegend

in landwirtschaftlichen Anlagen hauptsächlich durch die Vergärung von Gülle und Mais-Silage gewonnen wird.

### Herstellung

Biogas enthält neben einem Methan-Gehalt von ca. 55 Prozent auch wesentliche Anteile an Kohlendioxid. Hinzu kommen geringe Mengen von Schwefelwasserstoff und anderen Spurengasen. Als Kraftstoff nutzbar ist aber nur das Methan, das chemisch betrachtet Erdgas stark ähnelt. Die Abtrennung der restlichen Biogas-Bestandteile vom Methan ist deshalb entscheidende Voraussetzung. Die hierfür existierenden technischen Verfahren sind zur Zeit jedoch noch nicht wirtschaftlich.

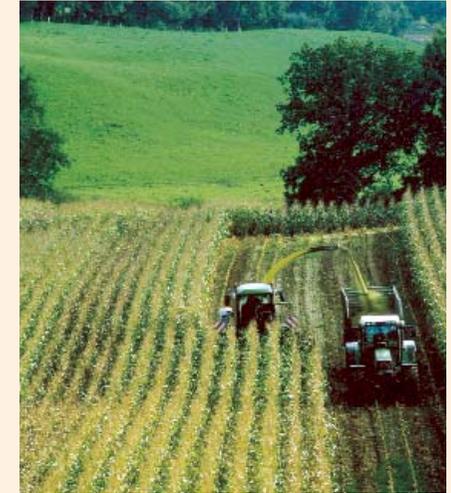
## Kraftstoffeigenschaften

Gasförmige Energieträger sind bedeutend schwieriger zu lagern und zu transportieren als flüssige Kraftstoffe und benötigen aufgrund ihrer deutlich geringeren Energiedichte mehr Raum zur Speicherung. In Erdgasfahrzeugen muss das Methan in extra eingebauten speziellen Drucktanks bei einem Druck von 200 bar gespeichert werden. Diesen grundsätzlichen Nachteilen stehen jedoch positive Verbrennungseigenschaften gegenüber. So kann der Ausstoß einiger Schadstoffe wie zum Beispiel von Stickoxiden und reaktiven Kohlenwasserstoffen

gegenüber Otto- und Diesel-Kraftstoffen um bis zu 80 Prozent gesenkt werden. Bio-Methan trägt außerdem zum Klimaschutz bei, da ein Großteil des in der Verbrennung freiwerdenden  $\text{CO}_2$  vorher durch die Grünpflanzen in der Entstehungskette des Biogases gebunden wurde.

## Verbreitung

Von den knapp 56 Millionen Kraftfahrzeugen in Deutschland fahren bislang nur rund 15.000 mit Erdgas. Diese Fahrzeuge könnten ohne weitere technische Anpassung Bio-Methan tanken, momentan gibt es dafür jedoch noch keine



öffentlichen Tankstellen. In Schweden und der Schweiz wird Bio-Methan hingegen schon seit längerer Zeit in Bussen und Lastkraftwagen eingesetzt.

Einrichtung dezentraler Bio-Methan-Tankstellen direkt an Biogas-Anlagen. Ein solches Pilotprojekt befindet sich in Niedersachsen im Probetrieb.

Bio-Methan kann über zwei Wege zum Verbraucher gelangen: Eine Möglichkeit ist die Einspeisung in das bestehende Erdgasnetz, an das die existierenden ca. 500 Erdgastankstellen angeschlossen sind. Dem entgegen stehen jedoch noch technische Hürden, da die Aufbereitung auf Erdgasqualität und die Einspeisung in das Erdgasnetz noch hohe Anforderungen stellt. Zudem muss die Gaseinspeisung auch im rechtlichen Sinne auf ein stabiles Fundament gestellt werden.

Deshalb setzen Biogas-Anlagen-Betreiber zurzeit auf einen zweiten Weg: die

# Synthetische Biokraftstoffe (BTL-Kraftstoffe, Sunfuel®)

Synthetische Kraftstoffe aus Biomasse sind eine relativ neue, am Markt bislang noch nicht verfügbare Entwicklung. Noch gibt es nur kleine Forschungs- und Pilotanlagen, doch schon heute verknüpfen sich erhebliche Hoffnungen mit dem auch als Biomass-to-Liquid (BTL, auch Synfuel oder Sunfuel®) bezeichneten Kraftstoff, auch weil synthetische Kraftstoffe aktuellen Motorenkonzepten ideal angepasst werden können.

## Rohstoffe

Ein großer Vorteil von BTL-Kraftstoff liegt darin, dass sehr viele verschiedene Rohstoffe genutzt werden können: Die Palette

erstreckt sich von ohnehin anfallenden Reststoffen wie Stroh, Bioabfällen und Restholz auch auf Energiepflanzen, die eigens für die Kraftstoffherzeugung angebaut und vollständig verwertet werden können.

## Herstellung

BTL-Kraftstoffe sind in einem zweistufigen Verfahren aus Biomasse zugänglich. Im ersten Schritt entsteht ein Synthesegas: Dazu wird die Biomasse in einen Reaktor eingetragen und unter Zuführung von Wärme, Druck und einem Vergasungsmittel, zum Beispiel Sauerstoff, zersetzt. Diesen Prozess bezeichnet man auch als thermochemische Vergasung. Das



Abb.: BTL-Verfahrensschema

entstehende Synthesegas setzt sich vor allem aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid zusammen. Im zweiten Schritt werden daraus Kraftstoffbausteine synthetisiert, die man zum BTL-Endprodukt mit wahlweise Diesel- oder Ottokraftstoff-Eigenschaften weiter verarbeiten kann. Das bekannteste der Synthese-Verfahren ist die Fischer-Tropsch (FT)-Synthese, aber auch die Methanol-

to-Synfuels-Synthese gilt als vielversprechende Option. In Deutschland und Europa kooperieren mehrere Unternehmen und Forschungseinrichtungen, um die Produktion von BTL-Kraftstoffen im Pilotmaßstab zu testen.

## Kraftstoffeigenschaften

Die chemischen Eigenschaften der Kohlenwasserstoffe im BTL-Kraftstoff ermöglichen eine effiziente und vollständige Verbrennung mit geringen Abgasemissionen. Vor allem aber können die Eigenschaften des Kraftstoffs durch die Veränderung bestimmter Parameter wie Druck, Temperatur und Katalysatoren bei der Synthese und der anschließenden Aufarbeitung beeinflusst und „genau eingestellt“ werden. Man spricht bei Synthese-Kraftstoffen deshalb auch von



Steckbrief BTL-Kraftstoff	
• Rohstoffe:	Energiepflanzen und Holz
• Jahresertrag je Hektar:	ca. 4.050 l/ha*
• Kraftstoff-Äquivalent:	1l BTL-Kraftstoff ersetzt ca. 0,93l Diesel*
• Marktpreis:	k. A.
• CO <sub>2</sub> -Minderung**:	> 90 %*
• Technische Hinweise:	können in Reinform oder Mischungen ohne Anpassung des Motors verwendet werden

\* Angaben beruhen auf Berechnungen

\*\* bezogen auf das Dieseläquivalent



maßgeschneiderten Kraftstoffen. Damit liegen sie voll im Trend: Moderne Kraftstoffe und Verbrennungsmotoren sind schon heute hochentwickelt und aufeinander abgestimmt, um die ständig steigenden Anforderungen nach weniger

Emissionen und besseren Energieausbeuten erfüllen zu können. BTL-Kraftstoffe bieten hier ähnlich wie CTL- und GTL-Kraftstoffe (vgl. Kasten) sehr viel weitergehende Möglichkeiten, werden aber im Gegensatz zu jenen aus erneuerbaren

Synthesegas zur Erzeugung von Kunststoffen und anderen chemischen Produkten wird schon lange aus Kohle, Erdöl oder Erdgas hergestellt. Auch die Synthese zu fossilen Kraftstoffen wird bereits praktiziert. Das Neue beim BTL-Verfahren ist vor allem die Nutzung der Biomasse, bei der noch einige technische Probleme zu lösen sind. Offen sind zum Beispiel

noch Fragen, die die Qualität des Synthesegases und die Logistik betreffen. Denn im Gegensatz zu Erdöl oder Erdgas fallen pflanzliche Rohstoffe sehr heterogen und großflächig, also dezentral an. Je nach Größe und Verteilung der zukünftigen Anlagen müssen möglicherweise neue Systeme für Rohstoffbereitstellung, Lagerung und Transport entwickelt werden.

### CTL- und GTL-Kraftstoffe

Während BTL-Kraftstoffe eine neue Entwicklung beschreiben, werden CTL- (Coal-to-Liquid, auf Kohlebasis) und GTL-Kraftstoffe (Gas-to-Liquid, durch synthetische Erdgasverflüssigung) schon seit längerem als fossile Synthese-Kraftstoffe hergestellt.

Die erste Produktion von CTL-Kraftstoffen im industriellen Maßstab fand aufgrund der Erdölknappheit in Deutschland ab 1938 statt. Als Syntheseverfahren wurde die

Fischer-Tropsch-Synthese genutzt, die 1925 am Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohleforschung entwickelt worden war. Heutige Anlagen für GTL- und CTL-Kraftstoffe werden von der Mineralölindustrie unter anderem in Südafrika und Malaysia betrieben. Auch China mit seinem rapide wachsenden Kraftstoffbedarf setzt zurzeit auf die CTL-Route und will zwei Anlagen mit einer Jahresleistung von 60 Millionen Tonnen Kraftstoff bauen lassen.

Ressourcen synthetisiert und erlauben demzufolge deutliche Einsparungen bei Klimagasemissionen.

BTL-Kraftstoff ist sofort und ohne technische Veränderungen an den Motoren einsetzbar, auch die Logistik ist über die bestehende Infrastruktur möglich.

den Energiepflanzenanbau bereitgestellt werden, ließen sich mit BTL-Kraftstoffen ca. 25 Prozent des heutigen Kraftstoffverbrauchs ersetzen. Europaweit wird das Potenzial sogar auf 40 Prozent des gesamten Kraftstoffbedarfs geschätzt.

### Umweltaspekte

Energiebilanzen zu BTL-Kraftstoff werden zurzeit erarbeitet, liegen jedoch noch nicht vor.

Nach jetzigem Kenntnisstand scheint es möglich, den Energiegehalt der pflanzlichen Rohstoffe zu etwa 50 Prozent auf die BTL-Kraftstoffe zu übertragen. Dar- aus dürfte sich ein erhebliches CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial ergeben.

### Potenzial

Da für BTL-Kraftstoff eine sehr breite Rohstoffpalette unter Nutzung sämtlicher Pflanzenbestandteile verfügbar ist, übertrifft das Potenzial die anderen Biokraftstoffe deutlich. Schätzungen gehen davon aus, dass man auf einem Hektar Fläche umgerechnet über 4.000 Liter BTL-Kraftstoff erzeugen kann. Könnten langfristig vier Millionen Hektar in Deutschland für

## Biokraftstoffe im Überblick

Die beschriebenen fünf Optionen Pflanzenöl, Biodiesel, Ethanol/ETBE, Biomechan und BTL-Kraftstoffe bieten nach heutigem Erkenntnisstand die größten Potenziale bei den Biokraftstoffen. BTL-Kraftstoffe sind eine aussichtsreiche Zukunftsoption, die aber nicht vor 2010 Marktrelevanz erreichen dürfte. Neben diesen fünf Optionen bestehen aber auch andere Ansätze wie die Erzeugung von Methanol und Dimethylether aus Biomasse. Letztere sind jedoch von der technischen Umsetzung noch weit entfernt, so dass auf sie hier nicht näher eingegangen werden soll.

Pflanzenöl, Biodiesel, Ethanol, Methan aus Biogas und BTL-Kraftstoffe unterscheiden sich in ihren Eigenschaften, technischen Ansprüchen, wirtschaftlichen Gesichts-

punkten und Potenzialen teilweise recht deutlich, haben jedoch alle ihre Berechtigung auf dem Weg zu nachhaltiger Mobilität.

Die technischen Spezifikationen von Pflanzenöl, Biodiesel und BTL-Kraftstoffen stehen denen von Diesel in Tabelle 1 gegenüber. Auffällig sind die hohe Viskosität von Rapsöl und sein hoher Flammpunkt. Biodiesel und BTL-Kraftstoffe unterscheiden sich von Diesel hingegen nur marginal.

Ethanol ist in seinen Eigenschaften den Ottokraftstoffen vergleichbar, die Daten sind aus Tabelle 2 ersichtlich. Einem deutlich niedrigeren Heizwert von Ethanol steht seine Oktanzahl von über 100

	Dichte [kg/l]	Heizwert bei 20 °C [MJ/kg]	Heizwert [MJ/l]	Viskosität [mm <sup>2</sup> /s]	Cetan- zahl	Flamm- punkt [°C]	Kraftstoff- äquivalenz [l]
Diesekraftstoff	0,84	42,7	35,87	4 – 6	50	80	1
Rapsöl	0,92	37,6	34,59	74	40	317	0,96
Biodiesel	0,88	37,1	32,65	7 – 8	56	120	0,91
BTL*	0,76	43,9	33,45	4	> 70	88	0,93

Tabelle 1: Parameter von Biokraftstoffen verglichen mit Diesel  
(\*Werte entsprechen Fischer-Tropsch-Kraftstoffen)

	Dichte [kg/l]	Heizwert bei 20 °C [MJ/kg]	Heizwert [MJ/l]	Viskosität [mm <sup>2</sup> /s]	Oktan- zahl (ROZ)	Flamm- punkt [°C]	Kraftstoff- äquivalenz [l]
Normalbenzin	0,76	42,7	32,45	0,6	92	< 21	1
Bioethanol	0,79	26,8	21,17	1,5	> 100	< 21	0,65

Tabelle 2: Parameter von Bioethanol verglichen mit Benzin

gegenüber. Methan aus Biogas ist gasförmig und chemisch mit Erdgas identisch, unterscheidet sich also nicht in seinen Parametern. Wesentliche Kenngrößen sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Biodiesel und BTL-Kraftstoffe sind für den Einsatz in hochentwickelten Verbrennungsmotoren ohne wesentliche Anpassungsmaßnahmen geeignet. Pflanzenöl

kann nach Umrüstung in Diesellaggregaten genutzt werden, Ethanol und ETBE kommen als Substitut für Ottokraftstoffe in Frage. Für Ethanol existieren zudem so genannte Flexible-Fuel-Konzepte, die Ethanolgehalte im Kraftstoff von bis zu 85 Prozent tolerieren. Bio-Methan ist ohne weitere Anpassungen in Erdgasfahrzeugen einsetzbar.



	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Heizwert [MJ/kg]	Heizwert [MJ/m <sup>3</sup> ]	Oktanzahl (ROZ)	Kraftstoff- äquivalent [l]
Methan	0,72	50	36	130	1,4

Tabelle 3: Parameter von Methan (aus Biogas oder Erdgas)

BTL-Kraftstoffe weisen in der Gegenüberstellung mit allen anderen Biokraftstoffen die höchsten Flächenpotenziale auf (Tabelle 4). Mit rechnerischen Erträgen von über 4.000 Litern je Hektar und Jahr könnten pro Flächeneinheit bis zu dreimal mehr BTL-Kraftstoffe im Vergleich zu den anderen Biokraftstoffen erzeugt werden. Dies und der hohe Energiegehalt der Synthesekraftstoffe, gekoppelt mit den besonders attraktiven Verbrennungseigenschaften und der breiten Rohstoffpalette begründen die Hoffnung, die sich gerade mit BTL-Kraftstoffen verbindet.



	Ertrag [l/(ha a)]	GJ/(ha a)
Rapsöl	1.300	44,97
Biodiesel	1.300	42,44
BTL	4.046	135,35
Bioethanol*	2.500	52,93
Bio-Methan**	100.000	3,6

Tabelle 4: Ertragspotenziale von Biokraftstoffen (\*Herstellung aus Weizen, \*\*auf Basis von Mais)

## Ausblick

Trotz vielversprechender Potenziale der Biokraftstoffe: Auch in den nächsten zwei Jahrzehnten wird der Verbrennungsmotor in Kombination mit fossilen Diesel- und Ottokraftstoffen den Verkehrsbereich dominieren. Biokraftstoffe werden sich erst langsam am Markt verbreiten und nicht die einzige Strategie sein, um fossile Kraftstoffe einzusparen oder zu ersetzen.

In Zusammenarbeit mit einer Experten-Gruppe hat die Bundesregierung vier Optionen identifiziert, die in Zukunft die größten Potenziale aufweisen. Demnach bieten effizientere Diesel- und Ottomotoren, neue Motorenkonzepte wie Hybridantriebe, BTL-Kraftstoffe und Wasserstoff in Brennstoffzellen-Fahrzeugen die größten Chancen zur Einsparung fossiler Kraftstoffe.

Neben diesen vier Optionen, die teilweise sofort, teilweise erst später greifen, tragen auch die Biokraftstoffe Biodiesel und Bioethanol in größerem Maß zur Substitution fossiler Kraftstoffe bei. Kurzfristig werden sie mit etwa fünf Prozent Marktanteil bis zum Jahr 2010 den größten Beitrag von allen alternativen Kraftstoffen leisten, der vor allem durch die Beimischung zu herkömmlichen Kraftstoffen realisiert wird.

Langfristig bieten BTL-Kraftstoffe von allen Biokraftstoffen die größten Men-

genpotenziale, werden aber erst nach 2010 in größerem Maße zur Kraftstoffversorgung beitragen, da Herstellungskapazitäten im industriellen Maßstab noch nicht existieren und eine Reihe technischer Fragen gelöst werden muss. Bis zum Jahr 2020 kann sich ihr Anteil dann sukzessive auf bis zu acht Prozent am Gesamtverbrauch erhöhen. Je stärker der BTL-Anteil zunimmt, desto mehr wird die Bedeutung von Biodiesel und Bioethanol zurückgehen.

Andere Biokraftstoffe wie reines Pflanzenöl oder die in dieser Broschüre nicht weiter behandelten Optionen Methanol und Dimethylether werden in absehbarer Zeit voraussichtlich keinen substantziellen Beitrag zum Ersatz fossiler Kraftstoffe leisten können.

Die Chancen der genannten Einspar- und Ersatz-Optionen realisieren sich nicht von selbst. Durch die steuerliche Besserstellung, die Förderung von Forschung und Entwicklung, die Unterstützung des Baus von Demonstrations- und Pilotanlagen und das Setzen technischer und rechtlicher Standards schafft der Staat geeignete Rahmenbedingungen. Aber nicht nur er ist als Akteur gefragt, auch Wissenschaft, Mineralölwirtschaft und Automobilindustrie müssen sich an den vor uns liegenden Aufgaben beteiligen. Vor allem beim Bau von



Versuchsanlagen sowie der Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in eine großtechnische Produktion ist ein substanzieller Beitrag der Wirtschaft unabdingbar. Und nicht zuletzt die Verbraucher können, indem sie anstehenden Veränderungen positiv gegenüber stehen, den notwendigen Wandel unterstützen.

Bei der steuerlichen Förderung sind bereits wichtige Grundentscheidungen durch den Staat getroffen worden. Bei der vorerst bis 2009 befristeten Mineralölsteuerbefreiung der Biokraftstoffe will sich die Bundesregierung national wie auch europaweit für eine Verlängerung einsetzen.

Auch in Forschung und Entwicklung wurden bereits eine Vielzahl von Projekten mit Schwerpunkten in den Bereichen Hybridantriebe, Biodiesel-, Pflanzenöl- und BTL-Kraftstoffe sowie bei Brennstoffzellenantrieben unterstützt.

Beim Bau von Versuchsanlagen besteht noch Handlungsbedarf. Dies gilt insbesondere für Anlagen zur Herstellung von BTL-Kraftstoffen. Neben der schon existierenden Pilotanlage in Freiberg bereitet die Bundesregierung momentan den Bau einer zweiten Anlage vor, in der ein alternatives Herstellungsverfahren erprobt werden soll.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Die Ablösung des in der westlichen Welt seit etwa 150 Jahren dominierenden fossilen



Zeitalters gehört nicht nur zu den größten Aufgaben unseres Jahrhunderts, sie hat bereits begonnen! Der Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung nimmt stetig zu und das Bewusstsein über die Notwendigkeit eines Umsterns wächst in allen Bevölkerungsschichten. Noch bleibt jedoch eine Menge zu tun, auch im Verkehrsbereich.

Der Durchbruch in eine von Kreislaufwirtschaft und nachhaltigem Wirtschaften geprägte Zukunft wird aber auch beim Verkehr nur gelingen, wenn dies gemeinsam von allen gesellschaftlichen Gruppen unterstützt wird.



## Weiterführende Links

Förderprojekte des BMVEL  
zu Biokraftstoffen:  
[www.fnr.de](http://www.fnr.de)

allgemein:  
[www.bio-kraftstoffe.info](http://www.bio-kraftstoffe.info)  
[www.biokraftstoffe.org](http://www.biokraftstoffe.org)

Pflanzenöl:  
[www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de)

Biodiesel:  
[www.ufop.de](http://www.ufop.de)  
[www.agqm-biodiesel.de](http://www.agqm-biodiesel.de)

BTL-Kraftstoffe:  
[www.btl-plattform.de](http://www.btl-plattform.de)