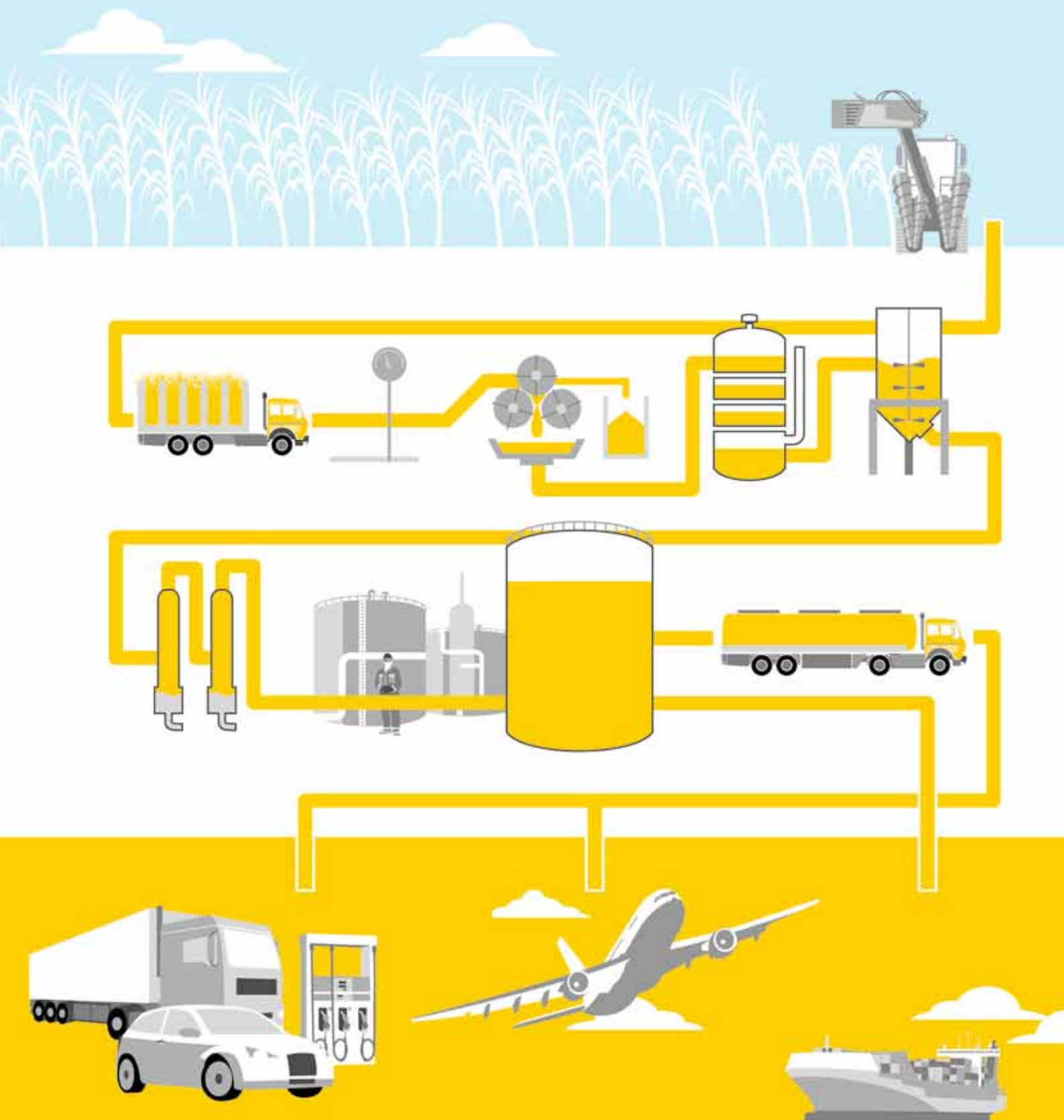




NACH SUPER E10: WELCHE ROLLE FÜR BIODIESEL? FÜR BIODIESEL?

Fakten, Trends und Perspektiven



NACH SUPER E10: WELCHE ROLLE FÜR BIOKRAFTSTOFFE?

Fakten, Trends und Perspektiven

Uwe R. Fritsche
www.iinas.de



Horst Fehrenbach
Susanne Köppen
www.ifeu.de



Unter Mitarbeit von:
Dr. Jörg Adolf
Dr. Dorothea Liebig
www.shell.de



Im Auftrag von Shell Deutschland Oil

Darmstadt, Heidelberg, Hamburg, September 2012

Herausgeber:
Shell Deutschland Oil GmbH
22284 Hamburg

Gedruckt auf FSC®-zertifiziertem Papier



Bilder:

S.4: plainpicture/Andreas Körner

S.6: Paolo Black für Shell International Ltd.

S.16: Blair Gable/WFA für Shell International Ltd.

Gestaltung & Produktion: Mänz Kommunikation

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG, SUMMARY / 4

EINLEITUNG UND ÜBERBLICK / 6

1 BOKRAFTSTOFFE HEUTE... UND IN ZUKUNFT? / 8

Die Entwicklung in Deutschland • Künftige Potenziale in Deutschland • Entwicklung und Potenziale in der EU • Globale Trends und Potenziale • Bioenergiehandel: Hilfe zu Entwicklung oder Raubbau?

2 NUTZUNGSKONKURRENZEN: FLÄCHE UND BIOENERGIE WOFÜR? / 13

Tank versus Teller und Trog • Tank versus Natur: Flächenbedarf und Artenvielfalt • Tank versus Tisch • Tank versus Strom und Wärme • Tank versus Tank

3 NACHHALTIGKEIT VON BOKRAFTSTOFFEN / 18

Rechtslage und Standards • Nachhaltigkeitskriterien für Biokraftstoffe • Nachhaltigkeitszertifizierung • Ausweitung der Nachhaltigkeitskriterien auf alle Bioenergie – und alle Biomasse?

4 DIE NÄCHSTE GENERATION: FORTGESCHRITTENE BOKRAFTSTOFFE / 23

Die 2. Generation • Biokraftstoffe aus Bioraffinerien? • Biokraftstoffe aus Algen als 3. Generation?

5 TECHNISCHE KOMPATIBILITÄT VON BOKRAFTSTOFFEN / 25

(Bio)Kraftstoffe – Arten, Eigenschaften • Straßenverkehr • Luftfahrt • Schifffahrt • Schienenverkehr • Strategische Optionen für die Verkehrsträger

6 BOKRAFTSTOFFE IN SZENARIEN: WOHIN KANN DIE REISE GEHEN? / 32

Deutschland • Europäische Union • Weltweite Perspektiven • Sagen Zielszenarien die Wahrheit?

7 WAS FOLGT? EMPFEHLUNGEN FÜR BOKRAFTSTOFFE / 35

Aufwuchs und Nachwuchs: Biokraftstoffe als Teil der Energiewende • Wie ist der Generationenwechsel zu schaffen? • From Rio with Love? • Strategische Investitionen • Akzeptanz und Transparenz • Kurskorrektur: ja, bitte!

LITERATURVERZEICHNIS 38

GLOSSAR 42

DISCLAIMER

Die vorliegende Studie ist eine unabhängige Expertise der wissenschaftlichen Institute *International Institute for Sustainability Analysis and Strategy* (IINAS) und *Institut für Energie- und Umweltforschung* (IFEU). Ihr Ziel ist es, die aktuelle Diskussion über die Rolle von Biokraftstoffen im Kraftstoffmix der Zukunft zu befördern. Inhalte und Aussagen geben ausschließlich die Sichtweise und Meinung der beteiligten IINAS- und IFEU-Autoren wieder. Sie können, müssen aber nicht notwendigerweise mit Positionen des Auftraggebers (Shell) übereinstimmen. Ausgenommen hiervon ist Kapitel 5 (Technische Kompatibilität von Biokraftstoffen), welches von Shell Autoren verfasst wurde.

B iokraftstoffe sind bislang die einzige alternative Energie, die nennenswert zur Energieversorgung des Verkehrssektors beiträgt. Bis 2020 sollen sie bis zu 10% des Straßenverkehr-Kraftstoffbedarfs abdecken. Doch die einst mit grünem Image und breiter Unterstützung gestarteten Biokraftstoffe sind in die Kritik geraten; ihre Marktentwicklung hat deutlich an Dynamik verloren. Von daher ist neu zu fragen: Welche Rolle können und sollen Biokraftstoffe im Kraftstoffmix der Zukunft spielen?

► Der Einsatz von Biokraftstoffen in Deutschland stieg zwischen 2004 und 2007 stark an, ihr Anteil stagniert seitdem jedoch zwischen 5,5 und 6%. Biodiesel aus Raps dominiert vor Ethanol aus Getreide – beide als Biokraftstoffe der 1. Generation. Biokraftstoffe haben in Deutschland langfristig substanzielles Potenzial – bis 2030 könnten heimische Biokraftstoffe 20%, bis 2050 gut 70% des Kraftstoffbedarfs abdecken. Auch in der EU existiert ein mit Nachhaltigkeitskriterien übereinstimmendes Biomassepotenzial, das langfristig ca. ein Drittel des Energiebedarfes decken könnte. Weltweit dominieren Brasilien und die USA die Biokraftstoffmärkte, Bioethanol ist das führende Produkt. Global bieten allein Reststoffe und degradierte Flächen ein Bioenergiepotenzial von 100 bis 200 Exajoule, das langfristig den kompletten Bedarf flüssiger Kraftstoffe decken könnte. Aufgrund unterschiedlicher regionaler Verfügbarkeit und Nachfrage von Biomasse, Bioenergie und Biokraftstoffen nimmt der Bioenergiehandel weltweit zu.

► Die Ausweitung der Bioenergienutzung kann Nutzungskonkurrenzen hervorrufen. Global dominiert die Verwendung landwirtschaftlicher Biomasse für Futtermittel (74%), gefolgt von Nahrungsmitteln mit 18% sowie Energie- und Stoffnutzung mit jeweils rund 4%. Stärkste Beachtung findet die Konkurrenz zwischen Tank vs. Teller. Biokraftstoffe können hier zu Preissteigerungen und -schwankungen für agrarische Produkte beitragen; sie können aber auch Beschäftigung und Einkommen schaffen. Von noch größerer Bedeutung für die Ernährungssicherung ist die Entwicklung der Nahrungsmittelnachfrage. Weltweit wird zurzeit 1% der landwirtschaftlichen Fläche für moderne Bioenergie genutzt; in Deutschland sind es 6,8% für Biokraftstoffe und 5,7% für Biogas. Weitere Nutzungskonkurrenzen ergeben sich im Bereich stofflicher Nutzung – bei fester Biomasse (Holz) sowie künftig bei Bioraffinerien und bei Biokunststoffen. Nutzungskonkurrenzen zeichnen sich ferner ab zwischen den Verwendungssektoren (Strom, Wärme, Verkehr) und innerhalb des Verkehrssektors. Sie können – zumindest teilweise – aufgelöst werden durch die Regulierung von Nutzungsrechten.

► Die Diskussion um die Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen hat in den vergangenen Jahren zu einer Vielzahl von Nachhaltigkeitsstandards geführt. Sie stellen Anforderungen an die Treibhausgasbilanz; die in Deutschland eingesetzten Biokraftstoffe sparen durchschnittlich etwa 50% Treibhausgase ein. Noch nicht gelöst ist das Problem indirekter Landnutzungsänderungen (iLUC); Bioenergeträger mit geringem iLUC-Risiko sind zu bevorzugen. Weitere, meist weniger konkret geregelte Schutzgüter sind Biodiversität, Boden, Wasser und soziale Aspekte. Die Implementierung verbindlicher Nachhaltigkeitsstandards ist als Fortschritt zu bewerten. Um unerwünschte Nebeneffekte zu vermeiden, werden verbindliche Nachhaltigkeitsstandards über Europa hinaus benötigt; diese sollten auf alle Bioenergie- und Biomasseanwendungen ausgeweitet werden.

► Über 99% aller heute produzierten Biokraftstoffe sind Biokraftstoffe der 1. Generation, die aus Feldfrüchten gewonnen werden. Biokraftstoffe der 2. Generation werden dagegen vorzugsweise aus

ZUSAMMENFASSUNG

Reststoffen, Holz oder Gräsern gewonnen. Sie können hydrierte Pflanzenöle, Zellulose-Ethanol und Fischer-Tropsch-Diesel sein, konnten bislang aber noch nicht ausreichend marktreif entwickelt werden. Noch weiter gehen Bioraffinerien und Biokraftstoffe aus Algen (3. Generation).

► Biokraftstoffe weisen gegenüber fossilen Kraftstoffen zwar ähnliche, zum Teil aber unterschiedliche Produkteigenschaften auf. Je nach ihren chemischen Eigenschaften können Biokraftstoffe fossilen Kraftstoffen nur begrenzt beigemischt werden oder vollständige Substitute sein. Die heute meist eingesetzten Biokraftstoffe der 1. Generation sind in der Regel Teil-Substitute, die nur begrenzt beigemischt werden beziehungsweise Anpassungen an Motor und Fahrzeug erfordern. Der Straßenverkehr ist der Vorreiter bei Biokraftstoffen; bis zu 5% Biobeimischungen sind weltweit Standard; mit B7 und E10 dürften in Deutschland/Europa vorläufig technische Beimischungsgrenzen (Blend Walls) erreicht sein. Unter allen Verkehrsträgern haben schwere Lkw, Flugzeuge und Schiffe (sofern sich hier nicht LNG durchsetzt) die geringsten Substitutionsmöglichkeiten für flüssige Kraftstoffe; hier ist der strategische Wert von Biokraftstoffen am größten – für die Luftfahrt kommen aber nur nahtlos einsetzbare Drop-in Fuels in Frage.

► In ambitionierten Klimaschutz-Zielszenarien wurde untersucht, welche Biokraftstoffpotenziale bis wann umgesetzt werden könnten. Danach reichte das nachhaltige Bioenergiepotenzial aus, um einen bis 2050 deutlich reduzierten Bedarf an Flüssigkraftstoffen im Verkehr durch Biokraftstoffe (2. Generation) zu decken, und zwar sowohl in Deutschland wie auch in der EU. Weltweit wird mit einem Anstieg des globalen Biokraftstoffbedarfes auf bis zu 30 Exajoule gerechnet.

► Für eine (Bio)Energiewende im Verkehrssektor müssen vorhandene nachhaltige Biomassepotenziale bestmöglich genutzt werden. Vollständige Treibhausgasbilanzen und gleiche Standards für alle Bioenergeträger müssen zu einer Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Biokraftstoffen der 2. Generation führen. Zusätzlich muss für sie ein über 10 Jahre laufendes technologieoffenes europäisches Markteinführungsprogramm aufgestellt werden. Strategische Investitionen müssen in die Herstellung der 2. Generation und in die Kultivierung entsprechender Rohstoffe getätigt werden. Zur Erhöhung der Akzeptanz von Biokraftstoffen empfehlen sich optimal abgestimmte Biokraftstoffe und Fahrzeugtechnik bzw. Drop-in Fuels sowie eine erhöhte Transparenz bei der Herkunft von Biomasse und Biokraftstoffen. Die (Bio)Energiewende im Verkehrssektor erfordert regelmäßiges „Nachjustieren“; Kurskorrekturen gehören dazu.



SUMMARY

Biofuels have been until now the only alternative energy source that has significantly contributed to supplying the transport sector with energy. Biofuels shall contribute up to 10% to the EU road transport fuel supply by 2020. But biofuels that once had such a green image, and enjoyed broad support, have come under criticism; the development of the market for biofuels has lost considerable momentum. We have therefore asked the following question once more: What role can biofuels play in the fuel mix in the future?

► The use of biofuels grew strongly in Germany between 2004 and 2007, but its share has been stagnating since then, at between 5.5-6%. Biodiesel made from rape led the way, ahead of ethanol made from grain – both 1st generation biofuels. Biofuels have significant long-term potential in Germany – by 2030, domestic biofuels could cover 20% of fuel needs, and a good 70% by 2050. In the EU too, biomass compliant with sustainability criteria could in the long-term cover around a third of energy needs. Globally, Brazil and the USA dominate the biofuel markets, with bioethanol as the leading product. Worldwide, residues and degraded areas alone represent a bioenergy potential of 100 to 200 exajoules, which in the long-term could cover all liquid fuel needs. The trade of bioenergy is increasing throughout the world, because the availability of and the demand for biomass, bioenergy and biofuels vary from one region to another.

► The increasing use of bioenergy can give rise to competing uses. Globally, the use of agricultural biomass for feed (74%) is in the lead, followed by food (18%), and then for energy and as a material at around 4% each. The competition between fuel and food is given most attention. Biofuels can contribute to price increases and fluctuations for agricultural products; they can, however, also create employment and income. Of even greater importance for food security is the increasing demand for foodstuff. Worldwide, at the moment, 1% of agricultural land is used for modern bioenergy; in Germany the figure is 6.8% for biofuels, and 5.7% for biogas. Other competing uses arise with regard to the use of the material – for solid biomass (wood), and in the future, for bio-refineries, synthetic biosubstances, and similar. Competing uses are also emerging between different sectors that use them (power, heat, transport), as well as within the transport sector. They may – at least partially – be resolved through regulation of the rights of use and exploitation.

► The discussion about the sustainability of biofuels has led in recent years to a large number of sustainability standards. Sustainability

standards require improvements to the greenhouse gas balance for biofuels; the biofuels used in Germany reduce greenhouse gases by around 50% on average. The issue of indirect land-use change (iLUC) has not yet been resolved; bioenergy carriers with a low iLUC-risk are therefore to be preferred. Other, mostly less specifically governed protected natural resources include biodiversity, the soil, water and social issues. The implementation of binding sustainability standards is to be seen as progress. In order to avoid undesirable side-effects, binding sustainability standards are necessary beyond European level; these are to be extended to all bioenergy and biomass uses.

► Over 99% of all biofuels produced today are of the 1st generation, obtained from field crops. Biofuels of the 2nd generation are, on the other hand, obtained mainly from residues, wood and grasses. They may be hydrogenated vegetable oils, cellulosic ethanol and Fischer-Tropsch diesel; however, it has not yet been possible to develop them sufficiently ready for the market. Bio-refineries, and biofuels from algae (3rd generation) go even further.

► Biofuels indeed possess similar, but also different product characteristics, compared with fossil fuels. According to their chemical characteristics, biofuels can only be added to a limited extent to fossil fuels or be total substitutes for them. The 1st generation biofuels used the most today are usually partial substitutes that can only be added to a limited degree, or require technical adjustments to engines and vehicles. Public transport is the forerunner when it comes to biofuels; blends with up to 5% biofuel are standard throughout the world; with B7 and E10, in Germany/Europe, technical blend walls seem to be reached for the time being. Of all transport carriers, heavy-duty trucks, aircraft and ships (as long as LNG does not become successful) are those with the fewest possibilities for substituting liquid fuels; the strategic value of biofuels is the highest here – for aviation, only drop-in fuels that can be deployed seamlessly are to be considered.

► Ambitious climate action scenarios examined how much of the biofuels potential could be implemented and by when. According to those analyses, the sustainable bioenergy potential is sufficient to cover a significantly reduced need for liquid fuels for transport by 2050 with (2nd generation) biofuel; and this applies both to Germany and the rest of the EU. Worldwide, it has been calculated that global biofuel needs will reach 30 exajoules.

► In order for there to be a (bio) energy transition in the transport sector, existing, sustainable biomass potential must be used as effectively as possible. Comprehensive greenhouse-gas balances and applying the same standards for all bioenergy carriers shall improve the competitiveness of the 2nd generation. In addition, a European market introduction programme for them should be set up to run for 10 years, neutral and open to new technologies. Strategic investments must be made both in the production of 2nd generation biofuels, and in cultivating the raw materials needed. To increase the acceptance of biofuels, we need biofuels and automotive technology coordinated optimally, or drop-in fuels, as well as increased transparency with regard to the provenance of biomass and biofuels. The (bio) energy transition in the transport sector requires regular "adjustments"; course corrections are part of this.

EINLEITUNG UND ÜBERBLICK

Die Energiewende ist beschlossen – und während Strom- und Wärmeerzeugung schon heute eine Vielfalt von Energieträgern zeigen und dort die erneuerbaren Energien schnell wachsen, stützt sich der Verkehr immer noch weitgehend auf einen einzigen flüssigen Energieträger: Erdöl. Wo also bleibt die Verkehrswende? Es wurde und wird viel über Elektromobilität, Wasserstoff usw. als Zukunftstechnologien diskutiert. Die wichtigste erneuerbare Energiequelle im Verkehr sind bislang aber Biokraftstoffe – sind sie die Lösung?

BIOKRAFTSTOFFBOOM...

Ein kurzer Rückblick: Zu Beginn der 2000er Jahre gab es einen breiten überparteilichen Konsens zum raschen Ausbau der Biokraftstoffe. Automobilhersteller, Landwirtschaft, Medien, Mineralölwirtschaft, Politik und viele gesellschaftliche Gruppen traten für Biokraftstoffe ein – nicht nur in Deutschland.

Kein Wunder, denn Biokraftstoffe hatten ein grünes Image. Sie wurden als wichtiges Element einer nachhaltigen und klimaverträglichen Mobilität propagiert.

Biokraftstoffe sollten die Energieversorgung des Verkehrs, insbesondere des Straßenverkehrs, auf eine breitere Basis stellen. Biokraftstoffe sollten auch der Landwirtschaft in Industrie- und in Entwicklungsländern neue Beschäftigungs-, Einkommens- und Entwicklungsmöglichkeiten bieten; zumal in Zeiten der Liberalisierung des Welthandels und des Abbaus von Agrar- und Exportsubventionen.

In der Folge wurden Einsatz und Verwendung von Biokraftstoffen weltweit stark gefördert, angeführt von Industrieländern mit großen Fahrzeugflotten und Kraftstoffmärkten – wie den USA, der EU und Deutschland.

Die globale Biokraftstoffherstellung vervielfachte sich in nur wenigen Jahren, wenn auch von geringer Basis. Die bedeutendste Expansion erfuhren Biokraftstoffe in Deutschland, dem mit Abstand größten europäischen Kraftstoffmarkt. Lag der Marktanteil von Biokraftstoffen in der EU im Jahr 2005 noch bei nur 1%, erreichte er in Deutschland bereits knapp 4%. 2007

waren es sogar 7,4% – und damit war der vorläufige Höhepunkt in der Biokraftstoffentwicklung erreicht.

Das Biokraftstoffziel 2020 wurde für Deutschland 2007 auf 17% Bioanteile am Kraftstoff gesetzt; 2008 wurde das Ziel nur leicht auf 12 bis 15% korrigiert – was immer noch eine Verdoppelung gegenüber 2007 bedeutete.

Für alle EU-Mitgliedstaaten gilt seit 2009 gemäß Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED) ein verbindliches Ziel von 10% erneuerbare Energieträger, darunter hauptsächlich Biokraftstoffe.

BIOSTROM UND MEHR...

Bioenergie wird nicht nur im Verkehr eingesetzt. Biomasse war und ist ein wichtiger Energieträger im globalen Energiemix – mit einem Anteil am globalen Primärenergieverbrauch von gut 10% ist sie sogar Primus bei den Erneuerbaren. Ihre Verwendung wird durch traditionelle Nutzungen – mit oft einfachsten Techniken und geringen Wirkungsgraden – insbesondere in Entwicklungsländern dominiert. Entsprechend ist der Anteil von Bioenergie im Haushaltsbereich zum Kochen und Heizen hoch, mit großen regionalen Unterschieden. Der Anteil „moderner“ Bioenergie in Form von Strom und Kraftstoffen liegt bei jeweils gut 2% der globalen Strom- beziehungsweise Kraftstoffproduktion, also noch recht niedrig (IEA 2011).

Auch hier beschleunigte sich der Ausbau Mitte der 2000er Jahre. Viele Länder erließen Förderprogramme zum verstärkten Einsatz von Biomasse in der Energieversorgung.

Deutschland führte 2004 mit der Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) starke finanzielle Anreize für Strom aus Altholz, Waldrestholz und vor allem Biogas ein und honorierte den Einsatz von Hackschnitzeln, aber auch flüssiger Biomasse zur Kraft-Wärme-Kopplung. Und auch im Hausbrand hat sich der Einsatz von Holz (vor allem Stückholz, zunehmend Holzpellets) in nur wenigen Jahren verdoppelt.

Schließlich wird Biomasse über Nahrungs- und Futtermittel hinaus auch stofflich genutzt, von Baustoffen und Kosmetik über Papier bis hin zu Textilien. Global dominiert die Verwendung agrarischer Anbau-Biomasse für Futtermittel, gefolgt von Nahrungsmitteln, während die Energie- und Stoffnutzung deutlich kleiner sind. Die schon erfolgte und künftig mögliche weitere Ausdehnung der energetischen Biomassenutzung – vor allem für die hier interessierenden Biokraftstoffe – muss vor diesem Hintergrund gesehen werden.

WACHSENDER BIOENERGIEHANDEL

Da sich bei wachsendem Verbrauch die Erzeugung von Biomasse und der Verbrauch von Bioenergie regional immer weniger decken, stieg der Welthandel mit Bioenergie an – zuallererst mit Biokraftstoffen und entsprechenden Rohstoffen. In Europa erhöhten sich aber auch Importe von Pellets aus Kanada, Russland und den USA.

Viele (Entwicklungs-)Länder hoffen auf zusätzliches Einkommen aus Exporten. Internationale Investoren sowie Schwellenländer wie China begannen, Landflächen für die Bioenergieproduktion vor allem in



Entwicklungsländern aufzukaufen, um sich den Zugriff auf entsprechende Rohstoffe zu sichern. Auch Infrastrukturinvestitionen für Umschlagsplätze, Lager und Pipelines sowie Verladeeinrichtungen in Häfen für Bioenergie und Biokraftstoffe nahmen weltweit zu. Deutliches Wachstum verzeichnet zuletzt der internationale Handel mit Holzpellets zur Mitverbrennung in Kohlekraftwerken (Co-Firing), und diese Nachfrage wird weiter steigen.

BIO IN DER KRITIK...

Was ist aus dem einstigen Hoffnungsträger nachhaltiger Mobilität geworden? Der steigende Biomassebedarf zeigte negative Effekte, die vor allem dem politisch gestützten Ausbau der Biokraftstoffe zugerechnet wurden: Brandrodung für Anbauflächen, Vertreibung von Kleinbauern, fragwürdige Treibhausgasbilanzen und hoher Subventionsbedarf sowie Preiseffekte für Lebensmittel. Im Zuge weltweiter Verknappung und Verteuerung von Nahrungsmitteln erreichte die kritische Diskussion zur Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen 2008 einen ersten Höhepunkt.

Zwar werden auch weiterhin vielfach Vorteile von Biokraftstoffen und Bioenergie für Landwirtschaft, Energieversorgung und Klimaschutz gesehen. Auf der anderen Seite wurde und wird jedoch auch ihr zu Beginn grünes Image oft und immer wieder in Frage gestellt – bis hin zur Forderung, von „Agrosprit“ zu sprechen anstelle von „Biokraftstoffen“.

Und auch die starke Zunahme der biogenen Strom- und Wärmebereitstellung blieb nicht ohne kritische Stimmen, die vor einer „Vermaischung der Landschaft“, Verlust von

Grünland und anderen nachteiligen Effekten warnten.

Doch nicht nur Nachhaltigkeitsaspekte bestimmen heute die Diskussion um das Für und Wider von Biokraftstoffen. Steigende Bioanteile in Benzin und Diesel warfen die Frage auf, welche Autos wie viele Anteile an Biokraftstoff vertragen, insbesondere als die Bioanteile 5 Vol% überstiegen:

Sollten ursprünglich in den Jahren 2005 / 06 Benzin und Dieselmotoren bis zu 10 Vol% „Bio“ enthalten, beschränkte man sich beim Diesel bald auf 7 Vol%. Die Einführung von Benzin mit 10 Vol% Bioethanol (E10) scheiterte zunächst im Jahre 2008 an ungeklärten Kompatibilitätsfragen, und auch im Einführungsjahr 2011 gab es eine breite Diskussion über Verträglichkeitsprobleme.

NEU GEFRAGT...

Die Diskussion um Antriebe und Kraftstoffe der Zukunft und um eine neue Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie für Deutschland nahm Shell Deutschland zum Anlass, die Institute IINAS und IFEU zu beauftragen, die Rolle von Biokraftstoffen im künftigen Kraftstoffmix – nach der Einführung von Super E10 – zu untersuchen. Die nun vorliegende Studie erstreckt sich nicht nur auf den Straßenverkehr, sondern auf alle Verkehrsträger. In der Tradition bisheriger Shell Studien und Szenarien wurden hierbei relevante Fakten aufbereitet, wichtige Trends identifiziert und mittel- bis langfristige Perspektiven von Biokraftstoffen aufgezeigt.

Insbesondere wurde untersucht, inwieweit und unter welchen Bedingungen die vielfältige Kritik an Biokraftstoffen gerechtfertigt ist, und im Einzelnen folgende Fragen behandelt:

- **Wo stehen Biokraftstoffe heute und welche nachhaltigen Potenziale haben sie mittel- und langfristig?**
- **Welche Nutzungskonkurrenzen gibt es für Biokraftstoffe und was ist dran an den Argumenten der jeweiligen Kritiker?**
- **Können Biokraftstoffe überhaupt nachhaltig sein? Und was folgt daraus für andere – auch nicht-energetische – Biomasseverwendungen?**
- **Biokraftstoffe zweiter oder gar dritter Generation galten einst als Königsweg nachhaltiger Mobilität. Doch was ist aus der nächsten Generation fortgeschrittener Biokraftstoffe geworden?**
- **Inwieweit verträgt heutige und künftige Fahrzeugtechnik überhaupt Biokraftstoffe? Diese Frage wird von den Shell Autoren Dr. Jörg Adolf und Dr. Dorothea Liebig für alle Verkehrsträger und alle heute relevanten Kraftstoffe untersucht.**
- **Abschließend werden längerfristige Szenarien und Perspektiven von Biokraftstoffen sowie Maßnahmen zu deren möglicher Umsetzung erörtert.**

1 BIOKRAFTSTOFFE HEUTE... UND IN ZUKUNFT?

Die Zahl der Biokraftstoffe, ihrer Herstellverfahren und biogenen Rohstoffe ist groß (siehe Bild 1). Die weltweit dominierenden Sorten sind heute Bioethanol und Biodiesel. Bioethanol dient zur Substitution von Ottokraftstoffen und Biodiesel zum Ersatz von Dieselmotorkraftstoff. Beide Biokraftstoffe werden vorwiegend fossilen Kraftstoffen beigemischt, es gibt sie aber auch in Reinform.

Bioethanol wird hauptsächlich aus stärke- oder zuckerhaltigen Pflanzen durch Vergärung und Destillation gewonnen. Die wichtigsten Rohstoffe sind Mais (vor allem in den USA), Zuckerrohr (vor allem Brasilien), andere Getreide (Weizen, Roggen, Sorghum u.a.) sowie Maniok und Zuckerrübe in Europa. Große Erwartungen liegen auf lignozellulose-basiertem Ethanol, vor allem die USA setzen auf diesen noch in Entwicklung befindlichen Biokraftstoff.

Biodiesel wird hauptsächlich aus Pflanzenölen durch Umesterung mit Methanol (Methylester) gewonnen. Die am häufigsten verwendeten Öle stammen aus Raps in Europa bzw. Canola in Kanada, Soja

(Argentinien, Brasilien), Ölpalme (Indonesien, Malaysia) sowie Sonnenblume und in geringen aber wachsenden Anteilen auch Jatropha (Indien, Madagaskar und andere).

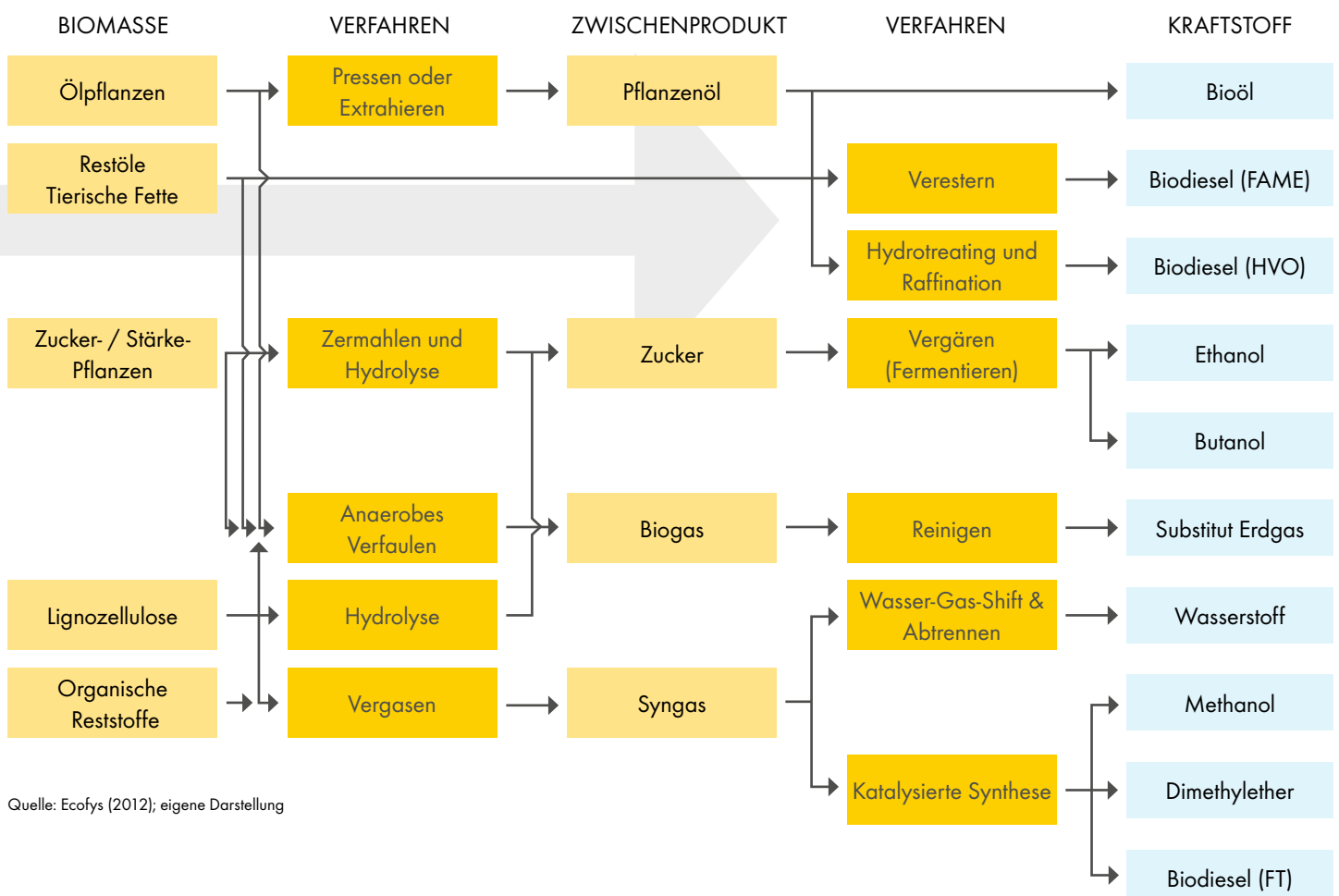
Neben Biodiesel werden auch **reines Pflanzenöl** und **hydriertes Pflanzenöl (HVO)** als Kraftstoff eingesetzt. Während reines unverarbeitetes Pflanzenöl kaum noch als Kraftstoff genutzt wird, setzen viele auf HVO, vor allem für den Flugverkehr. Kosten und Aufwand für den zur Hydrierung nötigen Wasserstoff bremsen jedoch eine rapide Zunahme.

Auch aus Biogas hergestelltes und auf CNG-Qualität gebrachtes **Biomethan** gilt

als erfolgversprechender Biokraftstoff, da es sich durch vergleichsweise hohe Flächenerträge auszeichnet (FNR 2012). Weil oft Maissilage als Rohstoff für Biogas dient, wird dies heute kritischer bewertet: Mit Blick auf wachsende Maismonokulturen kam das Reizwort „Vermaisung“ auf. Zudem setzt Bio-CNG entsprechende Fahrzeugflotten voraus, die es bis jetzt jedoch kaum gibt.

Daneben existieren weitere in der Regel noch sehr junge und wenig ausgereifte Ansätze für Biokraftstoffkomponenten. Genannt sei **Bio-Butanol**, ein weiterer Alkohol der dem Benzin ähnlicher ist als Ethanol. Butanol kann aus denselben Energiepflanzen (einschließlich Lignozellu-

1 ROHSTOFFE UND VERFAHREN ZUR BIOKRAFTSTOFFHERSTELLUNG



Quelle: Ecofys (2012); eigene Darstellung

lose) gewonnen werden wie Ethanol; die Fermentation ist jedoch weniger effizient und daher teurer. **Dimethylether (DME)** ist ein dem Flüssiggas (LPG) ähnlicher Kraftstoff, der sowohl Benzin als auch Diesel beigemischt werden kann. Die Konzepte für Bio-DME beruhen weitgehend auf Lignozellulose, aber auch anderen organischen Rückständen wie Schwarzlauge aus der Zellstoffherstellung, die auch für Biodiesel der 2. Generation zum Einsatz kommen sollen.

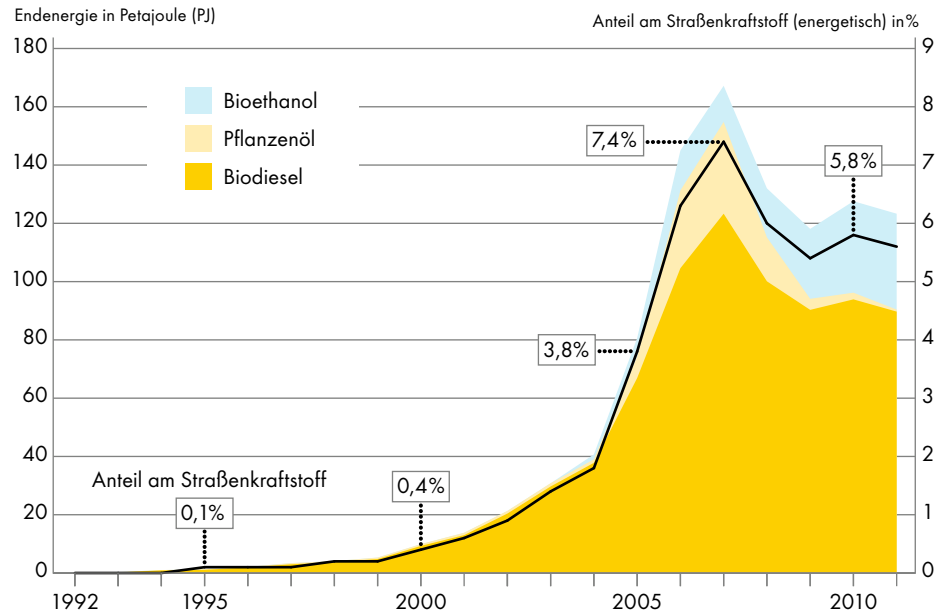
Zu nennen ist außerdem **Bio-Methanol**, das in verschiedener Weise als Kraftstoff eingesetzt werden bzw. zu Benzin umgesetzt werden kann (MtG-Verfahren, „methanol to gasoline“). Als Technik dient in der Regel die Vergasung, für die grundsätzlich jede Art von Biomasse als Rohstoff eingesetzt werden kann. Auch **Bio-Wasserstoff** ist als Kraftstoff in der Diskussion und kann aus verschiedenen Biomassearten mit verschiedenen Techniken gewonnen werden. Im Gespräch sind insbesondere biotechnische Verfahren mit Bakterien.

DIE ENTWICKLUNG IN DEUTSCHLAND
In Deutschland sind heute rund 60 Mio. Kraftfahrzeuge registriert, darunter 43 Mio. Pkw und 2,5 Mio. Lkw. Während bei den Lkw der Diesel dominiert, sind 98,6% aller Pkw mit Diesel- oder Ottomotor ausgestattet, 1,2% mit Gasantrieben und 0,1% mit Hybrid- und Elektroantrieb (KBA 2012). Trotz hoher Motorisierung nimmt der Fahrzeugbestand weiter zu. Der Kraftstoffabsatz ist seit 1999 rückläufig – es gibt aber Verschiebungen: der Dieselaabsatz wächst, während weniger Ottokraftstoff getankt wird (MWV 2012).

2011 wurden – inklusive biogener Anteile – rund 53 Mio. t Kraftstoffe verbraucht, darunter 3,7 Mio. t oder gut 120 PJ **Biokraftstoffe mit einem Anteil von 5,6%** (vgl. Bild 2). Der deutsche Biokraftstoffboom ab 2004 wurde durch die Steuerbefreiung für reinen Biodiesel entfacht. Im Winter 2006/07 wurde eine Beimischungsverpflichtung eingeführt und die steuerliche Förderung langsam abgeschmolzen (Adolf 2006). Aufgrund zunächst höherer Beimischungsanteile im Diesel (B7) sowie eines höheren Dieselaabsatzes liegt der Dieselaabsatz nach wie vor höher als der von Bioethanol.

Seit 2006/07 wird auch E5-Kraftstoff angeboten und seit 2011 E10. **Allerdings ist**

2 BIOKRAFTSTOFFVERBRAUCH IN DEUTSCHLAND



Quelle: BMU (2012); eigene Darstellung

der E10-Effekt für 2011 kaum sichtbar

E10 wurde erst im Verlauf des zweiten Halbjahres überall in Deutschland eingeführt. Aufgrund zurückhaltender Nachfrage konnte sich E10 bislang nur als Nebensorte im Markt etablieren, Hauptbenzinsorte ist weiterhin E5.

Biogene Reinkraftstoffe wie Biodiesel (B100) oder reines Pflanzenöl spielen – auch aus fahrzeugtechnischen Gründen – kaum noch eine Rolle. Für fast reines Bioethanol (E85) fehlt es ähnlich wie für Bio-CNG an den dafür zugelassenen Fahrzeugen (Flexibel Fuel Vehicles).

Wie sich Art und Herkunft der in Deutschland auf die Quote angerechneten Biokraftstoffe verteilen, kann dem Erfahrungsbericht der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE 2012) entnommen werden. Diese Zahlen entstammen der elektronischen Datenerfassung der BLE, dem Nachhaltige-Biomasse-System (Nabisy) und fassen Biokraftstoffe mit den flüssigen Bioenergieträgern für Strom und Wärme zusammen. Enthalten sind außerdem die eingebuchten, später aber zu Exportzwecken ausgebuchten Mengen. Daher geben die Zahlen nicht exakt das Mengengerüst der 2011 in Deutschland vertankten Biokraftstoffe wieder. Die mit Nachhaltigkeitsnachweis versehene Gesamtsumme betrug ca. 185 Petajoule (PJ), etwa 85% davon entfallen auf Biokraftstoffe. Vom System der BLE waren 107 PJ Biodiesel erfasst. Verbandszahlen

weisen für 2011 dagegen nur einen Dieselaabsatz von 86 PJ aus (VDB 2012).

Bioethanol war im System der BLE mit rund 49 PJ erfasst, der Verband der Ethanolhersteller hat für die 2011 in Deutschland verbrauchte Menge 33 PJ ermittelt (BDBE 2012). Diese Diskrepanz erklärt sich vor allem aus den Exporten bereits verbuchter Ethanol-Mengen: So gingen 2011 über 10 PJ maisbasierten Bioethanols aus den USA in Nabisy ein, die später jedoch in andere europäische Länder weiterverkauft wurden. Als weitere Biokraftstoffe hatten die raffinierten (hydrierten) Pflanzenöle mit 12 PJ noch eine gewisse Bedeutung. Keine nennenswerte Rolle spielten dagegen die reinen Pflanzenöle und Biomethan.

Die **Grundlage für Biodiesel war zu 80% Rapsöl vor Abfallöl (15%)**. Außer Palmöl (5%) blieben andere Pflanzenölarnten unbedeutend. Bei Bioethanol zeigt sich folgendes Bild: Weizen war der wichtigste Rohstoff (32%), gefolgt von europäischem Mais (28%) und Zuckerrübe (25%). Roggen, Gerste und Triticale kamen zusammen etwa auf weitere 13%. Der Anteil von Zuckerrohr kam nicht über 2%.

Da die Angabe des Anbaulandes im Jahr 2011 in den Nachhaltigkeitsnachweisen nur freiwillig war, lässt sich die Herkunft der Biomassen nicht vollständig darstellen. Von den außereuropäischen Lieferländern ragte Malaysia hervor. Lässt man die USA außen vor, dominierte der EU-Raum, mit Frank-

reich, Ungarn und den Niederlanden (die teilweise re-exportieren) als wichtigste Lieferanten für Deutschland.

Der Einsatz von Biokraftstoffen in Deutschland stieg ab 2004 stark an, ist aber seit 2007 leicht rückläufig. Biodiesel aus Raps dominiert vor Ethanol aus Getreide. Die eingesetzten Rohstoffe sind vorwiegend Energiepflanzen. Importe spielen bisher nur eine untergeordnete Rolle. Es gelang bislang nicht, „fortschrittliche“ Biokraftstoffe marktreif zu entwickeln.

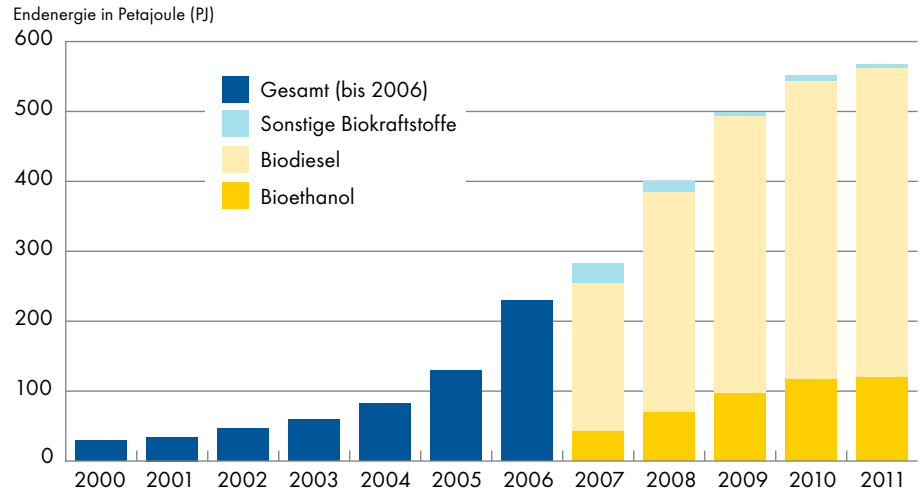
KÜNFITGE POTENZIALE IN DEUTSCHLAND

Die deutliche Zunahme des Verbrauchs von Biokraftstoffen seit 2004 und die parallel steigende Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse führt zur Frage, wie viel Bioenergie und Biokraftstoffe in Zukunft erzeugt werden könnten und wo die Grenzen liegen.

Verschiedene Studien¹⁾ weisen auf ein nachhaltiges Potenzial von ca. 1300 PJ Bioenergie aus Energiepflanzen sowie ca. 700 PJ aus biogenen Abfall- und Reststoffen hin, welches in Deutschland mindestens bis 2030 verfügbar sein wird, in dieser Größenordnung auch bis 2050 vorstellbar ist (Nitsch u.a. 2012). Aufgrund von Nachhaltigkeitsanforderungen würden die Energiepflanzen künftig allerdings nicht wie heute als Mais, Raps usw. auf gutem Ackerland kultiviert, sondern wegen der besseren Treibhausgasbilanz und aus Naturschutzgründen vorwiegend durch mehrjährige Kulturen (Kurzumtriebsholz, Energiegräser) auf marginalen Flächen und weitgehend ohne Bewässerung und Düngereinsatz angebaut.²⁾ Diesem Potenzial von zusammen 2000 PJ steht ein gesamter Primärenergieverbrauch von heute 14.000 PJ gegenüber, der sich bis 2030 auf 9.300 PJ senken ließe (Nitsch u.a. 2012), womit heimische Bioenergie einen Anteil von gut 20% erreichen würde – gegenüber heute eine Verdreifachung.

Diesem Potenzial zugrunde liegen die Annahmen, dass zusätzliche Bioenergiepflanzen nur auf freiwerdenden Ackerflä-

3 ENTWICKLUNG DER BOKRAFTSTOFFE IN DER EU-27



Quelle: EurObserv'ER (2012); eigene Darstellung

chen angebaut, sie sich nicht negativ auf Biodiversität auswirken, etwa 3% vormals intensiv genutzter Agrarflächen unter Naturschutz gestellt, ein Drittel der Nahrungsmittelproduktion im Ökolandbau erfolgt und kein Grünland umgewandelt, sondern nur Grasschnitt genutzt wird. Weiter wurde angenommen, dass keine Verlagerung von Biomasse aus rohstofflicher Nutzung erfolgt und Deutschland 100% Selbstversorger bei Nahrungsmitteln bleibt. Damit wäre dieses Potenzial ohne Nutzungskonkurrenzen verfügbar – seine Erschließung hängt jedoch von den (energie- und umweltpolitischen) Rahmenseetzungen ab.

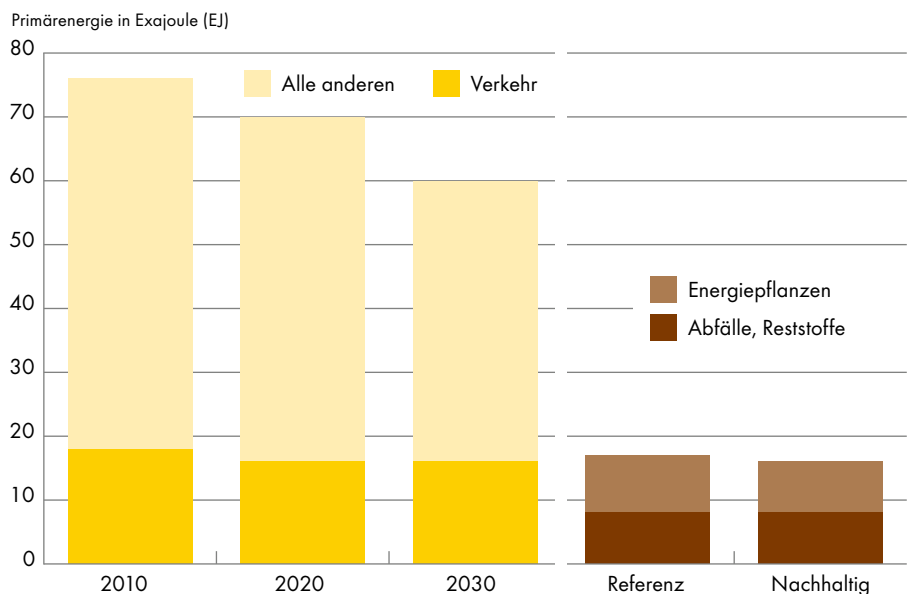
Unter Berücksichtigung der Strom- und Wärmebereitstellung aus Biomasse könnten bis 2030 ca. 20% und bis 2050

gut 70% des – allerdings gegenüber heute stark gesenkten – Kraftstoffbedarfs aller Verkehrsträger in Deutschland durch heimische Biokraftstoffe gedeckt werden.

ENTWICKLUNG UND POTENZIALE IN DER EU

Seit dem Jahr 2000 hat sich der Einsatz von Biokraftstoffen in der EU mehr als verzehnfacht. Am schnellsten fand der Zuwachs von 2005 bis 2009 statt. 2011 verlangsamt sich der Anstieg wieder und erreicht ein Niveau von etwa 13 Mio. t, das entspricht rund 580 PJ (Bild 3). Deutschland war auch im Jahr 2011 die führende Erzeugernation in der EU, gefolgt von Frankreich, Spanien, Italien, UK und Polen. Wie in Deutschland gibt es auch

4 ENERGIEBEDARF UND BIOENERGIEPOTENZIALE IN DER EU-27 BIS 2030

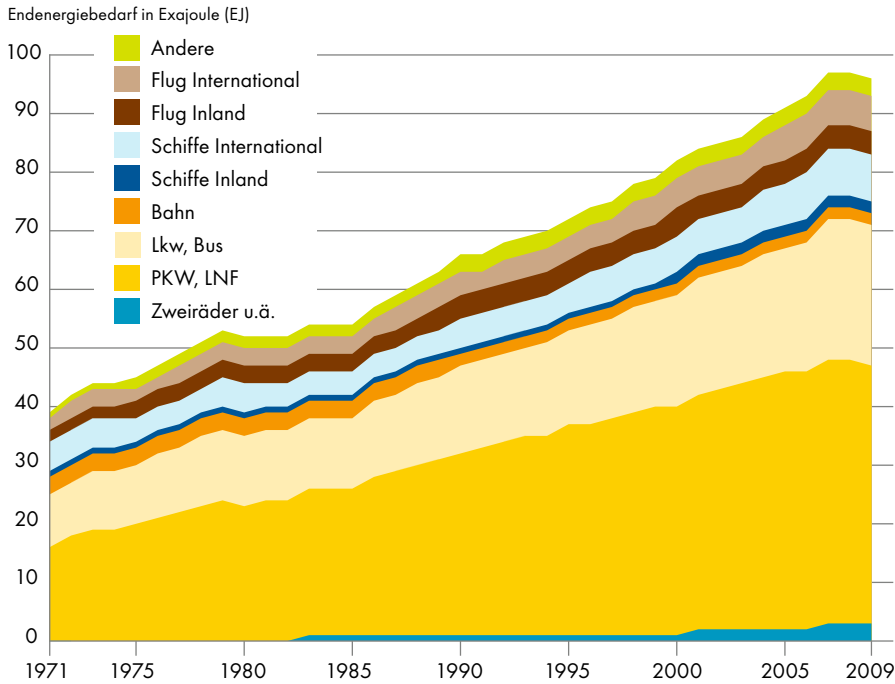


Quelle: IC et al. (2012); eigene Darstellung

1) Vgl. DBFZ, IUP (2011); Fritsche u.a. (2004); EEA (2006 + 2012); IC et al. (2012); SRU (2007); Thrän u.a. (2005); WBGU (2009).

2) Zur näheren Darstellung des nachhaltigen Energiepflanzenanbaus siehe Fritsche u.a. (2004), EEA (2012) sowie WBGU (2009).

5 WELTWEITER ENERGIEBEDARF DES VERKEHRS NACH VERKEHRSTRÄGERN



für die EU eine Reihe von Studien zu den nachhaltigen Bioenergiepotenzialen³⁾ – Bild 4 zeigt die jüngsten Ergebnisse aus dem EU-Vorhaben Biomass Futures (IC et al. 2012), das sich intensiv mit den Kosten der Bioenergie und der Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen befasste. Aus den rund 15 Exajoule (EJ) biogener Primärenergie, die bis 2030 in der EU-27 nachhaltig zur

Verfügung stehen, können unter Einbeziehung des Bedarfs an Bioenergie für Strom und Wärme rund 2 EJ an Biokraftstoffen bereitgestellt werden – etwa viermal so viel wie heute (ECN 2012). Es wären allerdings überwiegend Kraftstoffe der 2. Generation. Zum Vergleich: Der Primärenergiebedarf der EU-27 betrug 2010 rund 74 EJ und könnte bei ambitionierter Politik bis 2030

auf unter 60 und bis 2050 auf weniger als 50 EJ reduziert werden. Entsprechend könnte bei voller Nutzung der Bioenergiepotenziale bis 2030 rund 25% und bis 2050 ca. 30% des Primärenergiebedarfs biogen gedeckt werden.

Eine Analyse zu Potenzialen und Nachfragen bis 2050 kam zu dem Ergebnis: Unterstellt man nachhaltige Produktion, würden nach 2020 zunehmend Kraftstoffe der 2. Generation eingesetzt, die bis 2050 große Anteile des Kraftstoffbedarfs im Lkw-, Schiffs- und Flugverkehr übernehmen, während Pkw vorwiegend elektrisch angetrieben würden (NTUA 2012). Die Rolle von Importen wäre auf 14% der gesamten Biokraftstoffe begrenzt.

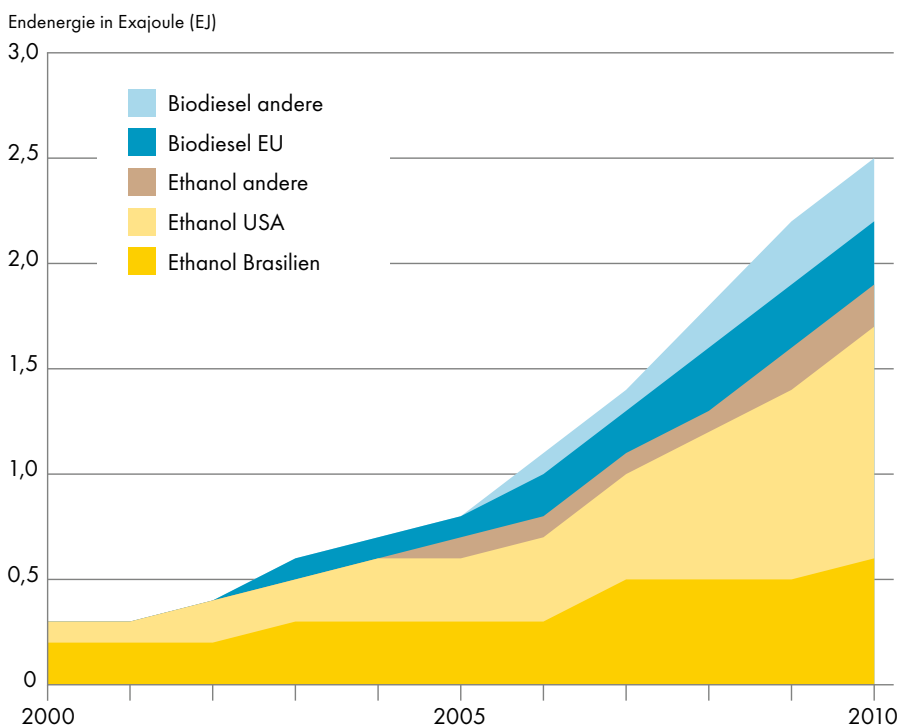
Die EU verfügt über ein nachhaltiges Bioenergiepotenzial, das langfristig ca. ein Drittel des Energiebedarfs decken könnte – und Biokraftstoffe machen bis 2050 einen dominierenden Anteil davon aus.

GLOBALE TRENDS UND POTENZIALE

In den vergangenen Jahrzehnten stieg der Energiebedarf des Verkehrs weltweit kontinuierlich an und liegt aktuell bei knapp 100 EJ (Bild 5). Seit 2008 deutet sich ein leichter Rückgang an, der hauptsächlich auf Effizienzgewinne vor allem in den OECD-Ländern zurückzuführen ist, nicht aber auf einen Rückgang der Verkehrsleistung. Unter den Verkehrsträgern machen Pkw und Lkw den größten Anteil aus, Seeschifffahrt und Flugverkehr entwickeln sich dynamisch.

Der Schwerpunkt weltweiter Aktivitäten zu Biokraftstoffen liegt außerhalb Europas: Brasilien und die USA sind mengenmäßig schon immer führend gewesen und unterstreichen dies mit einem weiter ansteigenden Trend (Bild 6). Brasilien plant den Ausbau von Zuckerrohr-Ethanol auf Basis von Ertragssteigerungen, hat aber durch Ausweisung agro-ökologischer Zonen auch die Ausdehnung im großen Maßstab zum Ziel. Die USA haben zwar im Gesetz zu Biokraftstoffen (Renewable Fuel Standard) die Verwendung von maisstämmigem Bioethanol etwa auf dem heutigen Stand eingefroren, planen jedoch steigende Mengen „fortschrittlicher Biokraftstoffe“ und Ethanol-Importe aus Brasilien. Schwellenländer wie Argentinien (Soja-Biodiesel) und südostasiatische Länder werden künftig ihre

6 WELTWEITE BIOKRAFTSTOFFHERSTELLUNG 2000-2010



3) Vgl. EEA (2006+2007+2012); IC et al. (2012) sowie Thrän u.a. 2005.

Produktion, aber auch den eigenen Verbrauch deutlich steigern. Neben der EU, USA und Brasilien haben 20 weitere Staaten verbindliche Quoten und weitere sechs Länder Beimischungsziele gesetzlich verabschiedet (IEA 2011b).

Viele Studien haben die globalen Bioenergiepotenziale untersucht,⁴⁾ einen Überblick gibt IPCC (2011). Aufgrund der Verknüpfung mit der Landwirtschaft sowie Flächen- und Naturschutzfragen gibt es nicht „ein“ Bioenergiepotenzial, sondern eine Bandbreite, die Nachhaltigkeitsfragen berücksichtigt. Zudem können Energiepflanzen auf marginalen, nicht landwirtschaftlich nutzbaren Flächen angebaut werden mit positiven Effekten für Bodenfruchtbarkeit, Erosion und Bodenkohlenstoffgehalt; begrenzend ist vor allem die Wasserverfügbarkeit. Studien kommen auf 25 bis 100 EJ Bioenergie, die von solchen aufgegebenen degradierten Flächen ohne negative Biodiversitätseffekte geerntet werden könnten.⁵⁾ Zusammen mit biogenen Abfall- und Reststoffen, die zwischen 50 und 100 EJ an Bioenergie repräsentieren, könnten 75 bis 200 EJ Bioenergie ohne Nutzung landwirtschaftlicher Flächen bis 2050 bereitgestellt werden.

Dieses Potenzial ist somit unabhängig von der landwirtschaftlichen Entwicklung und seine Nutzung führt auch nicht zu indirekten Landnutzungsänderungen – durch den Anbau mehrjähriger Kulturen auf vorher degradierten Flächen kann vielmehr der Bodenkohlenstoff erhöht und so die Treibhausgasbilanz verbessert werden.

Hinzu kommen, je nach Ertrags- und Konsumententwicklung, noch 200 bis 300 EJ von „freiwerdendem“ Acker- und Grünland, die nicht mehr für die Nahrungs- und Futtermittelerzeugung benötigt werden. Diese Menge ist aufgrund unsicherer Einflussgrößen umstritten, denn nachteilige Auswirkungen des Klimawandels auf landwirtschaftliche Erträge und Wasserverfügbarkeit können den Flächenüberschuss reduzieren. Die Gegenüberstellung mit dem globalen Energiebedarf (nach IEA 2012a) und dem darin enthaltenen Kraftstoffbedarf (Bild 7) zeigt, dass die Hälfte des „niedrigen“ globalen Bioenergiepotenzials

ausreichen würde, um den gesamten Bedarf an erdölbasierten Kraftstoffen 2050 (ca. 54 EJ) zu ersetzen. Dabei wurde, um vom Bioenergiepotenzial auf Kraftstoffe umzurechnen, eine konservative Umwandlungseffizienz von 50% angenommen. Es sind höhere Werte erreichbar, wenn Koppelprodukte genutzt und die Konversionstechnologien verbessert würden.

Die andere Hälfte des globalen Bioenergiepotenzials stünde für die Strom- und Wärmebereitstellung insbesondere in Schwellen- und Entwicklungsländern zur Verfügung – unter der durchaus anspruchsvollen Voraussetzung, dass die Energieeffizienz sowohl im Verkehr wie auch in den anderen Verbrauchsbereichen weltweit massiv erhöht werden kann.

Ungeachtet der Bandbreiten und Unsicherheiten besteht global ein robustes nachhaltiges Bioenergiepotenzial von 100 bis 200 EJ, um den kompletten Bedarf flüssiger Kraftstoffe zu decken – sofern es gelingt, durch massive Einsparungen den Kraftstoffbedarf zu senken.

BIOENERGIEHANDEL: HILFE ZU ENTWICKLUNG ODER RAUBBAU?

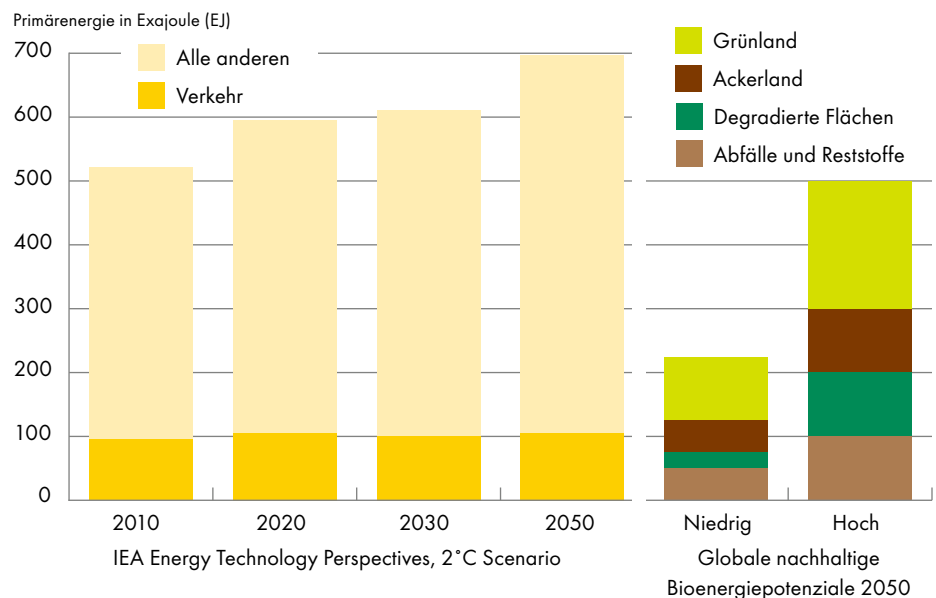
Die großen Potenziale an Bioenergie und Biokraftstoffen liegen außerhalb Europas; Länder wie Argentinien und Brasilien haben günstige Herstellungskosten. Dies führt zu einem steigenden Interesse an Importen, insbesondere aus Lateinamerika. Auch west- und ostafrikanische Länder wie

Mosambik möchten ihre Bioenergiepotenziale für Exporte erschließen, da die lokalen Märkte begrenzt und die Erlöse vor allem in Europa höher sind. Bei Importen von Bioenergie und Biokraftstoffen ist zu fragen, wie viel Deutschland unter dem Aspekt globaler Gerechtigkeit einführen dürfte. Hierzu schlug die Modell-Deutschland-Studie analog zu pro Kopf gleichen CO₂-Emissionsrechten („carbon equity“) die „global gleichen Zugriffsrechte“ vor, die vom globalen Bioenergiepotenzial über Einwohner auf nationale Zugriffsrechte schließen (Prognos, ÖKO 2009). Mit dem oben genannten globalen Bioenergiepotenzial und der Bevölkerung 2050 ergibt dies eine Deutschland „zustehende“ Menge von rund 1,5 bis 3 EJ, dies entspricht etwa dem nationalen Potenzial von rund 2 EJ und „erlaubt“ im Fall der Obergrenze eine zusätzliche Importmenge von 50% des nationalen Potenzials. Bei der Untergrenze würde Deutschland keine Bioenergie und Biokraftstoffe einführen „dürfen“.

Wie hoch künftige Importe sein könnten und welche Länder die Bioenergie- und Biokraftstoffmengen exportieren, wird nicht zuletzt eine Frage der Nachhaltigkeit sein – in ihrer ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimension.

Bioenergie und Biokraftstoffe zeigen je nach Herkunftsland, Anbauverfahren und weiterem Verarbeitungsweg sehr große Unterschiede, so dass es sowohl entsprechende Risiken, aber auch Chancen für die Exportländer gibt.

7 GLOBALER ENERGIEBEDARF UND BIOENERGIEPOTENZIALE BIS 2050



4) Vgl. z.B. Dornburg et al. (2010), IC, ERC (2011); IEA (2011b); Thrän u.a. (2010); WBGU (2009).

5) Vgl. Cai, Zhang, Wang 2011; ECN et al. (2009); Fritsche u.a. (2010); Wicke (2011).

2 NUTZUNGSKONKURRENZEN: FLÄCHE UND BIOENERGIE WOFÜR?

Die angestiegenen Ölpreise sowie politischen Fördermaßnahmen haben seit den frühen 2000er Jahren zu einer deutlichen Ausweitung der Bioenergienutzung im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor (BMU 2012) geführt. Parallel verstärkte sich das Interesse an der Nutzung von Biomasse für Nahrungs- und Futtermittel (FAO 2011), Holzprodukte, Textilien sowie Zellstoff und Papier. Und die Umwandlung von Biomasse in Chemieprodukte und neue Werkstoffe nahm ebenfalls zu (nova 2012). Durch den verstärkten Zugriff auf Biomasse ergeben bzw. verstärken sich Nutzungskonkurrenzen.

Global dominiert die Verwendung landwirtschaftlicher Biomasse für Futtermittel, gefolgt von Nahrungsmitteln, während die Energie- und Stoffnutzung deutlich kleiner sind (Bild 8). Eine weiter wachsende Weltbevölkerung, geänderte Ernährungsweisen und auch die Bioenergieförderung führen künftig dazu, dass die Biomassenachfrage und damit der Druck auf Ressourcen wie Land und Wasser zunehmen werden (FAO 2009; IFF 2009; IIASA 2009).

Daraus entstehende Nutzungskonkurrenzen bergen verschiedene Konfliktpotenziale. Nutzungskonkurrenzen können sich sowohl durch den direkten Wettstreit um die begrenzten Ressourcen wie auch durch sich widersprechende Ziele und Restriktionen der einzelnen Nachfragesektoren ergeben, wie Bild 9 veranschaulicht.

Nutzungskonkurrenzen sind nicht notwendig negativ zu bewerten, da sie Anreize bewirken können, die Ressourcen Fläche und Wasser effizienter zu nutzen bzw. durch Ersatz ineffizienter Anwendungen die Biomassenutzung zu optimieren. In Marktwirtschaften werden Angebot und Nachfrage durch Preise geregelt, die als Signale an die konkurrierenden Nachfrager einerseits und an die potenziellen Produzenten andererseits gelten und darüber für ein Gleichgewicht sorgen (sollen). In der Realität sind jedoch die Preise überlagert durch Steuern, Subventionen, Zölle und ähnliches. Politische Vorgaben wie Quoten bei Agrarprodukten und Biokraftstoffen führen zu entsprechenden „Verzerrungen“. Die Flexibilität, auf geänderte Preise reagieren zu können, ist zudem nicht oder nur eingeschränkt gegeben:

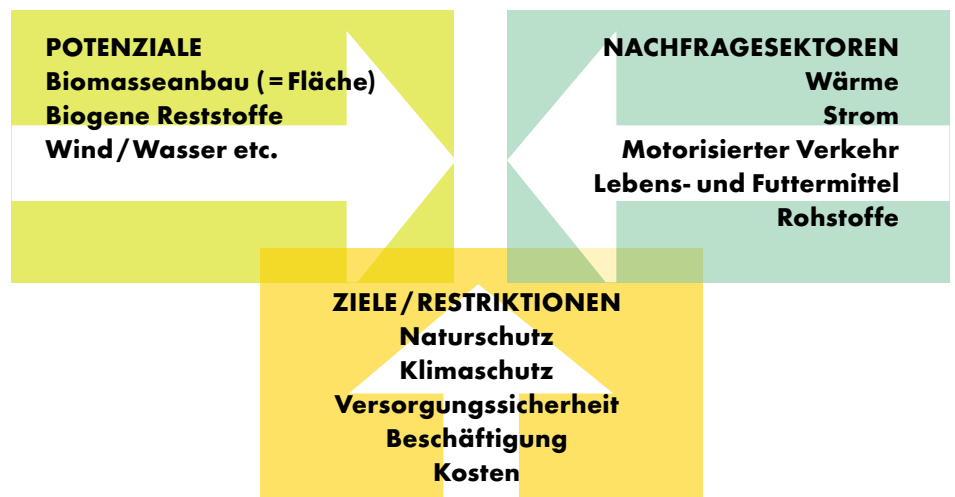
- Bei Nahrungsmitteln ist der Grundbedarf nicht substituierbar; Ernährungsgewohnheiten und Trends ändern sich nur langsam.

8 VERWENDUNG WELTWEITER AGRARPRODUKTE IM JAHR 2008



Quelle: nova (2012); eigene Darstellung

9 SCHEMATISCHE DARSTELLUNG VON NUTZUNGSKONKURRENZEN



- Die Verfügbarkeit an Kapital und Zugang zu Infrastruktur sind unterschiedlich ausgeprägt, womit preisinduzierte zusätzliche Angebote gehemmt werden.
- Umwelt- und Gemeinschaftsgüter (Biodiversität...) haben bisher keinen oder nur in geringem Umfang einen monetären Preis, damit fehlt die entsprechende Steuerungswirkung.

Ökonomisch gesehen reduzieren diese Faktoren die Preiselastizität, was durch

unterschiedliche Marktzugangschancen und Marktmacht einzelner Akteure noch verschärft wird. Damit entstehen Verteilungsprobleme. Nutzungskonkurrenzen können nicht allein über im Markt gebildete Preissignale austariert werden, ohne dass es zu negativen Neben- und sozialen Verteilungseffekten kommt.

TANK VERSUS TELLER UND TROG

Die öffentliche Diskussion zur Konkurrenz von staatlich geförderten Biokraftstoffen mit Nahrungs- und Futtermitteln hatte einen

Höhepunkt im Jahr 2008 – die aktuelle Verknappung von Mais durch Trockenheitsperioden in den USA führt auf den Weltmärkten zu (wieder) stark ansteigenden Preisen, womit erneut über die Rolle von Biokraftstoffen bei der Preisbildung für Nahrungs- und Futtermittel und Konsequenzen für die Ernährungssicherung gestritten wird.

Bevor darauf genauer eingegangen wird, ist ein Blick auf die Entwicklung der Preise für Agrarprodukte in den letzten drei Jahrzehnten wichtig (siehe Bild 10).

Die Erzeugerpreise der Landwirtschaft zogen – parallel zum Ölpreis – Anfang der 1980er Jahre stark an und fielen ab 1985 im Zuge sinkender Ölpreise wieder, um nach 2005 parallel zum Ölpreis erneut anzusteigen. Grund hierfür ist u.a. der Einsatz energieintensiven Düngers und der steigende Dieselverbrauch der mechanisierten Landwirtschaft, die vor allem bei Mais, Raps und Weizen zu Buche schlagen (van der Mensbrugghe et al. 2011), was durch neueste Analysen bestätigt wird (USDA 2012).

Viele Studien haben seit 2005 verstärkt die Effekte von Biokraftstoffen auf die Agrarpreisentwicklung untersucht. Einigkeit besteht über die erfolgte Kopplung des Agrar- und Energiemarkts, womit über die Faktorkosten hinaus die Ölpreisentwicklung die Anlegbarkeit der Agrarpreise bestimmt

(Piorr 2010; IEEP 2012). Einigkeit besteht auch darüber, dass die so bedingte zusätzliche Volatilität der Agrarpreise sich nachteilig auf die Ernährungssicherung auswirkt (FAO 2008; HLPE 2012b).

Es ist weiterhin weitgehend unstrittig, dass die zusätzliche Rohstoffnachfrage für Biokraftstoffe durch Förderpolitiken in der EU und den USA, zusammen mit Faktoren wie vermehrter Düngernachfrage, Ernteausfällen und Finanzspekulation, zu Preissteigerungen für agrarische Produkte beigetragen hat.

Studien zufolge wären bei Beibehaltung der bis 2020 festgelegten politischen Ziele für Biokraftstoffe in der EU und den USA Preissteigerungen von 3 bis 13 % für Getreide und 6 bis 30% für Ölsaaten zu erwarten (JRC 2011; Fischer 2011). Dies kann durch andere Effekte wie Trockenheit, Spekulation usw. noch überlagert, aber auch durch stärkere Verwendung von nicht essbaren Rohstoffen zur Biokraftstoffherstellung reduziert werden (zum Beispiel Altfett, Getreideabfälle, Lignozellulose).

Preiserhöhungen bei Agrarprodukten führen zumindest kurzfristig zu verstärktem Hunger bei denjenigen, die nicht über ausreichende Einkommen verfügen – denn Ernährungssicherung ist keine Frage der verfügbaren Nahrungsmittelmengen, sondern es geht um Erschwinglichkeit, Verfügbarkeit und Zugang (FAO 2011;

HLPE 2011b). Länder mit hohem Anteil an Armut sind damit zwangsläufig besonders betroffen (WBA 2012).

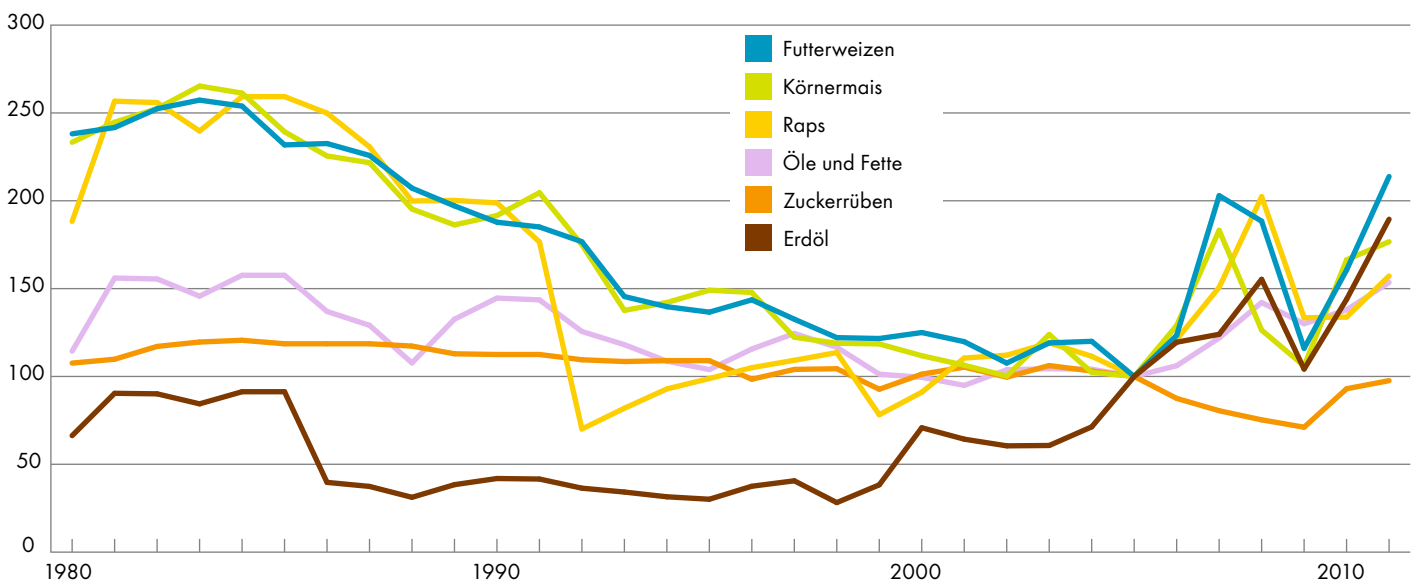
Aber: Niedrige Preise für Agrarprodukte haben bisher nicht zu einer Reduzierung von Armut und Unterernährung geführt – im Gegenteil wird darin eines der Probleme gesehen (Piorr 2010; FAO 2008 + 2011): Industrieländer haben durch subventionierte Agrarexporte – wie z.B. die USA mit Maislieferungen an Mexiko – die Produktion in Entwicklungsländern unterbieten mit der Folge, dass dort die landwirtschaftliche Produktion und damit auch das Einkommen von Kleinbauern zurückging und die Länder nun Devisen für Nahrungsmittelimporte ausgeben.

Hohe Weltmarktpreise sind dagegen ein finanzieller Anreiz zur Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion in Entwicklungsländern. Die Reaktion auf die hohen Agrarpreise des Jahres 2008 waren verstärkte Investitionen in die Landwirtschaft mit der Folge, dass die Nahrungsmittelproduktion stieg und die Preise wieder fielen.

Nicht nur die FAO sieht dies so (FAO 2008 + 2012a-d) – auch das deutsche Entwicklungshilfeministerium schlussfolgerte in seiner Strategie zu Biokraftstoffen für Entwicklungsländer, dass kurz- und mittelfristig die energetische Nutzung von Biomasse eine zusätzliche Einkommens-

10 PRESENTWICKLUNG FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE ROHSTOFFE UND ERDÖL

Erzeugerpreisindex inkl. Umsatzsteuer (2005=100)



Quelle: DESTATIS, GENESIS-Datenbank; für Erdöl und Öle/Fette Grenzübergangspreise; eigene Darstellung

möglichkeit der Landwirtschaft ist (BMZ 2011).

Biokraftstoffe können in Entwicklungsländern ohne eigene Ölressourcen helfen, bei steigenden Ölpreisen knappe Devisen einzusparen, denn Diesel ist dort in ländlichen Regionen sehr teuer. Damit würden Biokraftstoffe zur Modernisierung der Landwirtschaft und zum Einkommen – und damit auch zur Ernährungssicherung – beitragen.

Jedoch herrscht ebenfalls weitgehende Einigkeit, dass die direkte Kopplung von Agrar- und Ölpreisen durch herkömmliche Biokraftstoffe keine langfristige Option darstellt: Die induzierte Preisfluktuation hat nicht nur kurzfristige negative Auswirkungen auf die Ernährungssicherheit, sondern führt auch zu falschen Signalen für die Entwicklung von Biokraftstoffen und der Bioenergie insgesamt.

Der Anbau von Pflanzen zur Nutzung als Bioenergie steht im direkten Wettbewerb um Ackerflächen, die nicht nur insgesamt begrenzt, sondern tendenziell weniger Anbau für Rohstoffe zur Energienutzung erlauben, wenn Klimaeffekte und steigender Nahrungsmittelbedarf der wachsenden Weltbevölkerung sowie regionale Wasserknappheiten berücksichtigt werden (FAO 2011; IFF 2009; IIASA 2009).

Auch die Treibhausgasbilanzen herkömmlicher Biokraftstoffe sind, mit Ausnahme von zuckerrohrbasiertem Bioethanol, nicht günstig genug, um Zielsetzungen des Klimaschutzes zu genügen. Und eine Preisdynamik, die stetig steigende Rohstoffkosten für Biokraftstoffe induziert, erlaubt keine nennenswerte Ausweitung von Biokraftstoffen insbesondere im Bereich des preissensitiven Güter-, Schiffs- und Flugverkehrs.

Daher ist längerfristig die Nutzung von auf Ackerflächen angebauten Energiepflanzen für die Kraftstoffbereitstellung keine tragfähige Option.

Schließlich ist bei der Diskussion um die Preiseffekte noch zu beachten, dass ein wesentlicher Treiber der Agrarpreise, aber auch der Flächennutzung und Treibhausgasemissionen im weltweiten Fleischkonsum zu sehen ist: Die Produktion von Fleisch hat sich seit 1970 weltweit auf ca. 300 Mio. t

verdreifacht, mit weiter steigender Tendenz (OECD, FAO 2012).

Hinzu kommt, dass China und die EU für die wachsende Produktion von Schweinefleisch zunehmend Soja aus Argentinien, Brasilien und den USA importieren und damit erhebliche Flächen belegen – sehr viel mehr als für Biodiesel aus Soja, der mehr ein Nebenprodukt darstellt.

Aufgrund des hohen Futtermittelbedarfs ist die Fleisch- und Milcherzeugung energie-, flächen- und umweltintensiver als alternative Proteinquellen wie Getreide, Gemüse und Aquakulturen (FAO 2006; Fritsche et al. 2012a; PBL 2011). Weltweit werden heute etwa 5 Milliarden Hektar (ha) landwirtschaftlich genutzt, davon rund 3,5 Mrd. ha für Weideland zur Fleisch- und Milchproduktion sowie 1,5 Mrd. ha für Ackerland (FAO 2011). Vom Ackerland werden wiederum 1 Mrd. ha für Futtermittel genutzt – also indirekt zur Fleisch- und Milchproduktion – und nur ca. 0,3 Mrd. ha direkt für Nahrungsmittel. Ackerland für die stoffliche Nutzung umfasst ca. 0,1 Mrd. ha und für Bioenergie – vor allem Kraftstoffe – rund 0,05 Mrd. ha (nova 2012).

Die Fleisch- und Milchproduktion braucht damit rund 92% der landwirtschaftlichen Fläche, während für nicht-tierische Nahrungsmittel nur 5%, für stoffliche Biomasse 2% und für energetische Biomasse (Biokraftstoffe) 1% genutzt werden. Kleine Veränderungen des Konsumverhaltens für Fleisch- und Milchprodukte haben daher eine hohe Flächenwirksamkeit und eine starke Wirkung auf die Agrarpreise insgesamt.

Der Schlüssel für die künftige Ernährungssicherung der Welt ist daher weniger die Frage „Tank oder Teller“, sondern die Frage, welche Nahrungsmittel nachgefragt werden und wer genug Einkommen hat zur Bezahlung dieser Nahrungsmittel.

TANK VERSUS NATUR: FLÄCHENBEDARF UND ARTENVIELFALT

Der zweite Konkurrenzaspekt beim Biomasseanbau ist die Frage nach Flächennutzung und Biodiversität. Der Flächenverzehr durch die Ausdehnung von Siedlungs- und Verkehrsflächen, durch Erosion und Überweidung sowie durch negative Folgen des Klimawandels auf die landwirtschaftliche

Produktion führt parallel zur Bevölkerungsentwicklung zu höherem Nutzungsdruck auf Böden und andere Ressourcen wie Wasser, Wälder und Biodiversität (OECD 2012).

Der Verlust von Lebensräumen stellt den zentralen Faktor für Gefährdung und Abnahme von Biodiversität dar (UNEP 2012). Um dies nicht zusätzlich durch Biomasseanbau zu verstärken, ist es notwendig, Flächen mit hoher Artenvielfalt zu schützen – auch beim Anbau von Rohstoffen für Bioenergie.

Beim Anbau von Energiepflanzen für Biokraftstoffe stellen sich die gleichen Probleme für den Arten- und Naturschutz wie bei der Landwirtschaft generell, denn es sind ja die gleichen agrarischen Erzeugnisse, die für herkömmliche Biokraftstoffe eingesetzt werden. Um bei steigenden Rohstoffkosten konkurrenzfähig zu bleiben, werden heutige Biokraftstoffe zunehmend aus Pflanzen erzeugt, die in Monokulturen mit geringer Fruchtfolge, auf großen Arealen mit hohem Dünger- und Pestizideinsatz sowie teilweise auch mit Bewässerung kultiviert wurden (EEA 2012).

In Deutschland werden nachwachsende Rohstoffe vorwiegend auf Ackerland angebaut, dessen Gesamtfläche rund 12 Mio. ha beträgt. Hinzu kommen 5 Mio. ha Grünland (für Grasschnitt) sowie ca. 11 Mio. ha Wald (für Waldrest- und Schwachholz). Aktuell werden Pflanzen für die stoffliche Nutzung auf rund 0,4 Mio. ha und für Energie auf 2,1 Mio. ha angebaut (vgl. Tabelle 11).

Verschiedene Studien kommen zu dem Ergebnis, dass diese Fläche bis 2050 auf bis zu 4 Millionen Hektar ansteigen könnte (Nitsch u.a. 2012; Thrän u.a. 2010); dann wäre rund ein Drittel der Ackerfläche mit Energiepflanzen bestellt.

Aus Sicht von Naturschutz und Artenvielfalt sollte mindestens 1 Mio. ha für den Biodiversitätsschutz verwendet werden, und auch artenreiches Grünland sollte von intensiver Nutzung ausgenommen werden – dies wären nochmals 0,5 Mio. ha.

Es ist international anerkannt, dass der Schutz der Biodiversität allein in Schutzgebieten nicht ausreicht, sondern auch die Praxis auf den genutzten Flächen einbezo-

gen werden muss. Zum Biomasseanbau sind bisher nur wenige ökonomisch tragfähige landwirtschaftliche Praktiken mit geringen negativen Effekten auf Biodiversität entwickelt worden – hier gibt es großen Forschungsbedarf.

Die Nutzungskonkurrenz zwischen Bioenergie und Naturschutz lässt sich durch Limitierung von Art und Umfang der Flächennutzung entschärfen. Zudem gibt es Synergien zwischen Bioenergie und Naturschutz, wenn biogene Reststoffe aus der Landschaftspflege genutzt werden.

TANK VERSUS TISCH

In Deutschland hat der Anbau von Energiepflanzen – vor allem für Biogas und Rapsöl, leicht zunehmend auch für Bioethanol – die Anbaufläche für stofflich genutzte Biomasse schon deutlich übertroffen (vgl. Tabelle 11). Jedoch wird im Zuge der weiteren Bioenergienutzung für Strom und Wärme und durch die 2. Generation von Biokraftstoffen, die auch Holz und Stroh als Rohstoff nutzen werden, auch feste Biomasse verstärkt einer energetischen Nutzung zugeführt. Damit konkurriert

11 ANBAUFLÄCHEN FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE IN DEUTSCHLAND

Anbauzweck	2011 (in Hektar)	2012* (in Hektar)
Industriestärke, -zucker	170.000	257.000
Technisches Rapsöl	120.000	120.000
Technisches Sonnenblumen- und Leinöl	11.000	11.000
Pflanzenfasern, Arznei- und Farbstoffe	10.500	13.500
Summe rohstoffliche Nutzung	311.500	401.500
Rapsöl für Biodiesel, Pflanzenöl	910.000	913.000
Für Bioethanol (Weizen, Zuckerrüben u.a.)	240.000	243.000
Für Biogas (Mais, Roggen u.a.)	900.000	962.000
Für Festbrennstoffe (Kurzumtriebsholz, Miscanthus)	6.000	6.500
Summe energetische Nutzung	2.056.000	2.124.500
Gesamtsumme	2.367.500	2.526.000

Quelle: FNR (2012); *Werte geschätzt

Bioenergie mit der stofflichen Nutzung um die gleichen Biomasse-Ressourcen – ein weiterer Nutzungskonflikt.

Feste Biomasse kommt vorwiegend aus dem Wald: In der Forstwirtschaft wird hauptsächlich Stamm- und Industrierestholz produziert mit vom Markt vorgegebenen Qualitätsmerkmalen. Neben diesen beiden Holzsortimenten sind weitere verfügbar, die in der Regel keine Verwendung in der Holz bearbeitenden Industrie finden, z.B.

Durchforstungs- und Waldrestholz sowie Schwachholz, das je nach Preis für die Zellstoff- und Papierindustrie interessant ist. Diese stoffliche Holznutzung wird in absehbarer Zeit mehr oder weniger eine stabile Holznachfrage zeigen (DBFZ, IUP 2011), die über die heutige Forstwirtschaft gedeckt werden kann.

Zuwachs erwartet wird aber auch für die „neuen“ stofflichen Nutzungen im Bereich Biokunststoffe, Verbundwerkstoffe (z.B.



Stroh für Zellulose-Ethanol

kohlenstoffverstärkte Fasern) sowie Bioraffinerien und auch für die Nutzung von Waldrest- und Schwachholz für Strom und Wärme. Bei Stroh kann perspektivisch über Kraftstoffe der 2. Generation hinaus die heutige Nutzung nur im Bereich der „neuen“ stofflichen Nutzung sowie bei der Mitverbrennung in großen Kohlekraftwerken ausgeweitet werden. Letzteres ist aufgrund der Brennstoffeigenschaften und vergleichsweise hohen Transportaufwände für Stroh eher unwahrscheinlich.

Um eine Nutzungskonkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung zu vermeiden, wird gefordert, das Konzept der **Kaskadennutzung** umzusetzen: „**Strukturwert vor Heizwert**“ (Fritsche u.a. 2010). Dabei wird feste Biomasse zuerst stofflich – also für Baustoffe, Möbel, Papier, Textilien usw. – genutzt und dann, wenn diese biogenen Produkte das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben, erfolgt die energetische „Nachnutzung“.

Dafür sind noch weitere Anstrengungen bei der getrennten Erfassung biogener Abfälle erforderlich, aber grundsätzlich ist die Kaskadennutzung machbar.



Die Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Biomasseverwendung kann durch die Kaskadennutzung vermieden werden.

TANK VERSUS STROM UND WÄRME

Eine weitere mögliche Nutzungskonkurrenz um Biomasse besteht innerhalb der energetischen Nutzung, also zwischen Biokraftstoffen einerseits und der Nutzung biogener Energieträger für Strom und Wärme andererseits.

Die heutigen Biokraftstoffe konkurrieren jedoch nicht um biogene Energieträger für Strom und Wärme: Heute wird biogene Wärme vorwiegend aus Schwachholz (Scheitholz) und Sägewerksabfällen (Pellets) erzeugt, wofür keine zusätzliche Anbaufläche erforderlich ist (DBFZ, IUP 2011). Beim Strom wird vorwiegend Altholz und Reststoffe der Holzindustrie eingesetzt, künftig auch Waldrest- und Schwachholz sowie gegebenenfalls Holz aus Kurzumtriebsplantagen (KUP), die zusätzliche Fläche erfordern.

Stroh ist dagegen wenig interessant für die Verbrennung, da der hohe Ascheanteil zu Verschlackung und Feinstaub und der Chlorgehalt zu Korrosion führt. Dieser potenzielle biogene Energieträger könnte daher ohne nennenswerte energetische Konkurrenz für die Kraftstoffe der 2. Generation zur Verfügung stehen, denn diese werden Lignozellulose einsetzen. Damit wird eine Konkurrenz vorwiegend um Waldrest- und Schwachholz sowie längerfristig KUP entstehen.

Durch den tendenziell rückläufigen Wärmemarkt und den starken Zuwachs von nichtbiogenen erneuerbaren Energien beim Strom (Solar- und Windkraft, gegebenenfalls Geothermie) besteht die Perspektive einer Entschärfung dieser Konkurrenz, sofern sich der Trend zu fester Biomasse im Hausbrand umkehren oder zumindest abbremsen lässt.

Bei der stationären Strom- und Wärmebereitstellung sind viele nicht-biogene erneuerbare Energielieferanten verfügbar, womit die Nachfrage an Strom und Wärme durch diese erneuerbaren Quellen gedeckt werden kann – vor allem dann, wenn die Effizienz auf der Nachfrageseite deutlich gesteigert wird. Die Nutzungskonkurrenz inner-

halb der energetischen Biomassenutzung kann deshalb längerfristig vermieden werden.

TANK VERSUS TANK

Die letzte Konkurrenz betrifft die Verwendung von Biokraftstoffen innerhalb des Verkehrssektors selbst.

Pkw, Lkw, Schiffe und Flugzeuge haben unterschiedliche Antriebskonzepte, was zur Verwendung unterschiedlicher Biokraftstoffe führt. Zudem werden die Kraftstoffe unterschiedlich besteuert bzw. einige Verkehrsträger sind (teilweise) von Steuern ausgenommen.

Damit führen höhere Kosten, die durch Biokraftstoffe und andere Alternativen gegenüber fossilen Energieträgern zumindest kurz- und mittelfristig entstehen, zu unterschiedlichen relativen und absoluten Kosteneffekten. Da die einzelnen Verkehrsnachfrager unterschiedliche Preiselastizitäten zeigen (ÖKO, DLR, ISI 2012), gibt es verschiedene „Umlegbarkeiten“:

Bei Pkw schlagen Mehrkosten für Kraftstoffe aufgrund der hohen Steuerquote nur gedämpft auf den Preis an der Zapfsäule und ein Ausweichen auf andere Verkehrsmittel ist nur bedingt möglich. Bei Lkw- und Schiffsverkehr sind die Steuerquoten niedriger und die Elastizität der Nachfrage höher, beim Flugverkehr ist es ähnlich.

Somit führt eine Umwälzung von Mehrkosten durch Biokraftstoffe vor allem im Pkw-Bereich zu vergleichsweise geringen Nachfragerreaktionen, während dies bei den anderen Verkehrsträgern stärkere Effekte haben kann.

Die längerfristige Bedeutung der Biokraftstoffe liegt aber nicht bei den Pkw, sondern bei Flug- und Schiffsverkehr sowie teilweise Lkw – dies muss bei der künftigen Entwicklung berücksichtigt werden.

Die Nutzungskonkurrenz für Biokraftstoffe zwischen den einzelnen Verkehrsträgern ist durch technische und marktseitige Effekte eingeschränkt. Die längerfristige Einführung von Biokraftstoffen im Flug-, Lkw- und Schiffsverkehr erfordert eine aktive Politik, die nicht allein über Kostenumwälzung zu der gewünschten Lenkungswirkung führt.

3 NACHHALTIGKEIT VON BOKRAFTSTOFFEN

Nachhaltigkeit setzt neben der Erfüllung von ökologischen Anforderungen und Umweltstandards auch soziale und ökonomische Verträglichkeit voraus. Während für Biokraftstoffe seit über zwanzig Jahren Ökobilanzen angefertigt werden, die den Umweltbereich in weitem Maße abdecken, hat sich mit der Globalisierung des Biomassemarktes der Fokus deutlich um den sozio-ökonomischen Bereich erweitert. Die Einforderung von Nachhaltigkeit für Biokraftstoffe führte somit erstmals zu einem weltweiten Diskurs über die Entwicklung von konkreten, teilweise auch verbindlichen Kriterien für einen Wirtschaftssektor und eine ganze Produktgruppe. Inzwischen gibt es eine ganze Reihe von Gesetzen, Standards, Prozessen, Kriterien und Initiativen, die alle das Ziel verfolgen, die Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen und Bioenergie zu verbessern beziehungsweise zu gewährleisten. Die Umsetzung von Nachhaltigkeitsnachweisen erfolgt durch Zertifizierung.

RECHTSLAGE UND STANDARDS

Bereits mit den ersten Zielvorgaben in der Biokraftstoff-Richtlinie von 2003 wuchs die Kritik am Förderinstrument der Biokraftstoffquote von Seiten vieler Umwelt- und Sozialverbände. Die erwartete Zunahme an Flächenverbrauch für Biomasseproduktion, besonders in tropischen Exportregionen, ließ vielfältige Konflikte mit Prinzipien der Nachhaltigkeit befürchten. Regenwaldrodung und unklare Landnutzungsrechte waren früh die zentralen Schlagworte (Fritsche et al. 2006).

Das deutsche Biokraftstoffquotengesetz hat daher 2006 erste Anforderungen an die Nachhaltigkeit der unter die Quote anrechnungsfähigen Biokraftstoffe formuliert: 1) nachhaltige Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen, 2) Schutz natürlicher Lebensräume und 3) ein bestimmtes CO₂-Verminderungspotenzial. Seit 2009 gelten für alle Mitgliedsstaaten der EU die **Erneuerbare-Energien-Richtlinie** (RED, 2009/28/EG) und die **Kraftstoffqualitäts-Richtlinie** (FQD, 2009/30/EG). Diese Richtlinien enthalten wortgleich die rechtlich verbindlichen Nachhaltigkeitsanforderungen für Biokraftstoffe und flüssige Biobrennstoffe.

Auf europäischer Ebene wurde im Jahr 2008 ein Standardisierungsprozess im Rahmen des CEN (Europäisches Komitee für Normung) für „nachhaltig produzierte Biomasse für Energiezwecke“ begonnen. Dieser kurz vor der Verabschiedung stehende Standard soll die Umsetzung der Anforderungen der RED für die Akteure erleichtern und vereinheitlichen.

Ein weiterer Standardisierungsprozess zu Nachhaltigkeitskriterien für Bioenergie läuft

auf Ebene der ISO (Internationale Organisation für Normung) und verhält sich unabhängig von der Europäischen Rechtslage. Von globaler Bedeutung sind außerdem die Arbeiten der Global Bioenergy Partnership (GBEP), die sich im November 2011 auf einen Satz von 24 Nachhaltigkeitsindikatoren für Bioenergie verständigt haben (GBEP 2011). Beteiligt waren hieran die Regierungen von 45 Staaten und 24 internationalen Organisationen.

Der besondere Wert dieses Prozesses liegt in der Entwicklung eines global übergreifenden Verständnisses darüber, was nachhaltig erzeugte und genutzte Bioenergie auszeichnet.

In Bild 12 sind die Namen der Indikatoren zusammengestellt. GBEP unterbreitet zu jedem Indikator ein mehrere Seiten umfassendes Methodenblatt.

Darüber hinaus haben viele Privatinitiativen und Organisationen Inputs in die Diskussion und Entwicklung von Nachhaltigkeitskriterien eingebracht. Rechtliche Anforderungen formulieren zudem die Regelungen in den USA (Renewable Fuel Standard), im Staat Kalifornien (Low Carbon Fuel Standard) und der Schweiz (Mineralölsteuergesetz).

NACHHALTIGKEITSKRITERIEN FÜR BOKRAFTSTOFFE

Die wichtigsten Nachhaltigkeitskriterien für Biokraftstoffe befassen sich mit den

12 GBEP-NACHHALTIGKEITSKRITERIEN FÜR BIOENERGIE

Umweltindikatoren	Soziale Indikatoren	Ökonomische Indikatoren
Treibhausgasemissionen über den Lebensweg	Verteilung und Besitzstruktur von Land	Produktivität
Bodenqualität	Preise und Versorgungssituation von Nahrungsmitteln auf nationaler Ebene	Netto-Energie-Bilanz
Holzerträge	Einkommensveränderungen	Bruttowertschöpfung
Luftschadstoffemissionen (Nicht-Treibhausgas)	Arbeitsplätze im Bioenergiesektor	Veränderung im Verbrauch fossiler Energieträger und traditioneller Bioenergie
Wassernutzung und Effizienz	Unbezahlter Zeitaufwand von Frauen und Kindern für das Sammeln von Biomasse	Aus- und Weiterbildung von Arbeitskraft
Wasserqualität	Für verbesserten Zugang zu moderner Energieversorgung genutzte Bioenergie	Energiemix
Biodiversität	Veränderung der Mortalität und Krankheitsbelastung durch Innenraum-Luftverschmutzung	Infrastruktur und Logistik zur Verteilung von Bioenergie
Landnutzung und Landnutzungsänderung	Aufkommen von arbeitsbedingten Unfällen, Verletzungen, Todesfällen	Kapazität und Flexibilität der Nutzung von Bioenergie

Quelle: Eigene Übersetzung nach GBEP (2011)

Schutzgütern Klima, Artenvielfalt (Biodiversität), Boden und Wasser sowie sozialen Aspekten.

Klimaschutz

Alle auf Bioenergie bezogenen Rechtsanforderungen und Nachhaltigkeitsstandards beinhalten als Kriterium eine bestimmte Minderung an Treibhausgasemissionen gegenüber einem fossilen Referenzwert. Hierbei handelt es sich um eine Informationsgröße, die den gesamten Lebensweg beschreibt. Gemäß RED sind in der Berechnung u.a. zu berücksichtigen:

- Direkte Landnutzungsänderungen (dLUC);
- Gewinnung bzw. Anbau der Rohstoffe;
- Verarbeitung;
- Transport und Vertrieb;
- Nutzung des Kraftstoffs.

Als Klimagase sind zu berücksichtigen fossiles Kohlendioxid (CO_2 fossil), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) sowie Kohlenstoffbestandsänderungen. Als Einsparkriterium gelten gemäß RED Artikel 17 (2) gegenüber einem fossilen Referenzwert von $83,8 \text{ g CO}_2\text{-Äq/MJ}$ eine Minderung von mindestens 35%. Ab 2017 bzw. 2018 gelten Mindesteinsparungen von 50% bzw. 60%. Die Richtlinie formuliert in Anhang V weitere methodische Regeln zur Berech-

nung der Emissionsminderungen und ermöglicht außerdem die Anwendung von Standardwerten (Default-Werte) für eine Auswahl spezifischer Biokraftstoffpfade (siehe Bild 13). Da diese Werte vom Grundsatz her konservativ sind, besteht für die Marktteilnehmer ein Anreiz, die tatsächlichen Werte zu berechnen. Für bestimmte Biokraftstoffe wie Biodiesel aus Sojaöl reicht der Standardwert für das Einsparkriterium nicht aus. Für andere Pfade (wie Ethanol aus Roggen) liegen keine Standardwerte vor. In diesen Fällen muss grundsätzlich für jede Lieferung an Biokraftstoffen eine Treibhausgasberechnung durchgeführt werden.

Nach den Auswertungen der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE 2012) wurden durch die 2011 in Deutschland auf die Quote angerechneten Biokraftstoffe rund 7 Mio. t $\text{CO}_2\text{-Äq}$ eingespart. Das sind im Durchschnitt etwa 50% gegenüber dem fossilen Referenzsystem. Für Unterstützung und Harmonisierung der Berechnungen stehen verschiedene Rechenhilfen zur Verfügung, wie die arbeitsblattbasierten Tools BioGrace oder ENZO2 (IFEU 2012).

Ein seit Jahren zentrales Thema der Treibhausgasbilanz ist die **indirekte**

Landnutzungsänderung (iLUC). Sie entsteht, wenn auf Flächen zum Biomasseanbau eine vorherige andere Nutzung (z.B. Nahrungs- oder Futtermittelanbau) verdrängt wird. Da diese Verdrängungseffekte über den globalen Handel (Verringerung von Exporten) auch außerhalb einer Region oder eines Landes auftreten können, ist eine Zuordnung zum Biomasseanbau auf bestimmten Flächen nur durch eine Modellbetrachtung möglich. Über die Frage, welcher Modellansatz am besten geeignet ist, divergieren die Meinungen seit Beginn der iLUC-Diskussion massiv.

Einfache und leicht nachvollziehbare Modelle (Fritsche et al. 2008) konkurrieren mit komplexen ökonometrischen Gleichgewichtsmodellen (CARB 2008; IFPRI 2011). Die Ergebnisse streuen entsprechend weit. In der Mehrzahl der Modellbetrachtungen ergeben sich jedoch signifikante zusätzliche Emissionen.

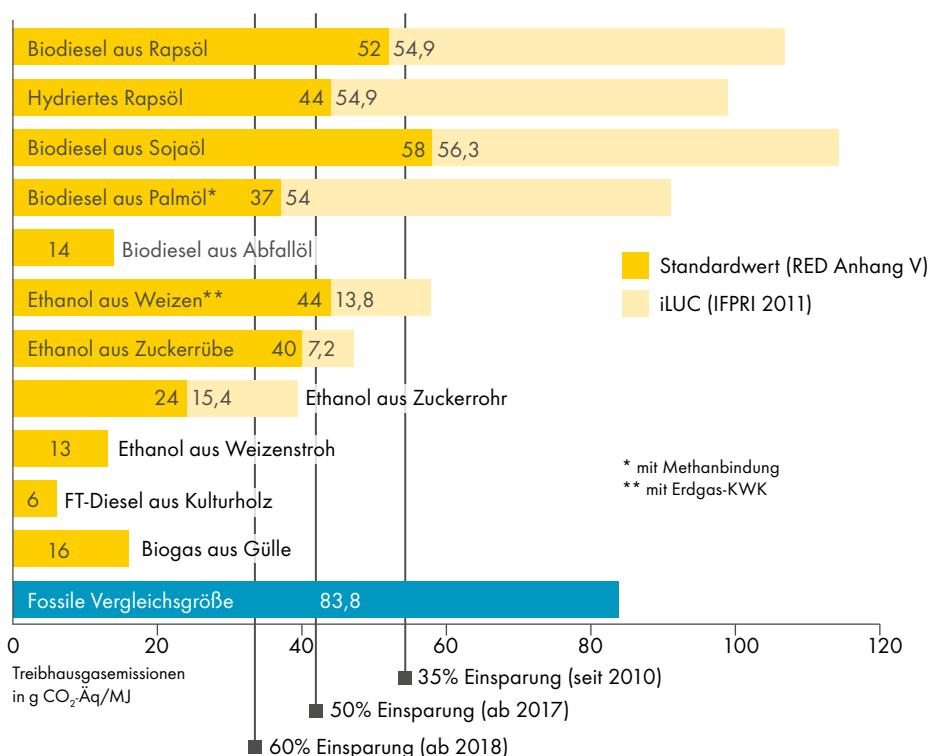
Gemäß RED ist die EU-Kommission verpflichtet, eine Entscheidung über den Umgang mit iLUC zu treffen. Zahlreiche Studien dienten bereits zur Vorbereitung dieser noch immer ausstehenden Entscheidung, die nicht vor Ende 2012 erwartet wird. Zur Diskussion stehen unter anderem eine Anhebung des Einsparkriteriums für alle Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse, ein Aufschlag mit einem nach Art und Herkunft der Biomasse spezifisch errechneten iLUC-Faktor oder Systeme zur Honorierung der iLUC-Vermeidung (E&Y 2011). Möglich sind zeitlich versetzte Kombinationen der Ansätze, ebenso wie ein weiterer Verzicht auf die Berücksichtigung von iLUC.

Ungeachtet der extrem divergierenden Positionen innerhalb und zwischen Entscheidungsträgern, Experten, betroffenen Wirtschaftskreisen, Umweltverbänden und anderen Stakeholdern ist die angemessene Lenkungswirkung des iLUC-Ansatzes von entscheidender Bedeutung. Die Mehrzahl der Experten ist sich darin **einig, dass Bioenergieträger mit geringem iLUC-Risiko bevorzugt werden müssen**.

Biodiversität

Nach dem Klimaschutz werden umweltbezogene Konflikte durch Biokraftstoffe vorrangig in Flächenumwandlungen, Landnutzungsänderung und Ausdehnung großflächiger Landwirtschaftsflächen mit Tendenz zur Monokultur gesehen.

13 TREIBHAUSGAS-STANDARDWERTE DER RED UND BEISPIELHAFTE iLUC-WERTE



Quelle: EU (2009), IFPRI (2011); eigene Darstellung

Als entscheidendes Kriterium gilt hierbei der Verlust an **Biodiversität**.

Gemäß RED Artikel 17 (3) dürfen als nachhaltig eingestufte Biokraftstoffe nicht aus Biomassen hergestellt werden, die auf Flächen mit hohem Wert hinsichtlich der biologischen Vielfalt gewonnen werden. Die Richtlinie versteht darunter:

- Primärwald bzw. Wald / bewaldete Flächen mit einheimischen Arten, in denen es kein deutlich sichtbares Anzeichen für menschliche Aktivität gibt und die ökologischen Prozesse nicht wesentlich gestört sind;
- Per Gesetz oder von der zuständigen Behörde ausgewiesene Flächen für Naturschutzzwecke oder für den Schutz seltener, bedrohter oder gefährdeter Ökosysteme oder Arten (gemäß internationalen Übereinkünften anerkannt oder in IUCN-Verzeichnis aufgeführt);
- Grünland mit großer biologischer Vielfalt.

Als Referenzzeitpunkt gilt Januar 2008. Davor umgewandelte Flächen fallen nicht unter die Regel. Der Ausschluss dieser Flächen gilt vielen als ausreichendes Kriterium, um die Biodiversitäts-„Hot Spots“ vor direkter Flächenumwandlung zu bewahren – die indirekte Umwandlung wird hierdurch jedoch nicht eingeschränkt.

Unberücksichtigt ist außerdem die Erhaltung (oder Erhöhung) der Biodiversität in der Agrarlandschaft. Die Unterschutzstellung von Primärwäldern und der Schutz von Reservaten stellt eine zentrale Komponente des Schutzes der Artenvielfalt dar. Viele Experten sehen zusätzlich ein Mindestmaß an Naturschutz in der Fläche durch angepasste Anbauweisen als erforderlich an. Mit Blick auf die Rohstoffe für Biokraftstoffe werden außerdem genetische Verarmung und Zunahme an Monokulturen (z.B. bei Mais) befürchtet.

Boden und Wasser

Diese beiden Schutzgüter stehen im Zusammenhang mit der agrarischen Produktion stets im Vordergrund. Boden ist mit Blick auf Bodenerosion und die Erhaltung von Bodenfruchtbarkeit wie auch weiterer Ökosystemleistungen ein fundamentales Thema (Ecosystem Services – Nutzen intakter Ökosysteme für den

Menschen, wie Wasserspeicherung, Filterfunktionen). Viele praxisbezogene Standards von Zertifizierungssystemen enthalten daher differenzierte Indikatoren bezüglich des Bodens.

Die RED beschränkt sich in diesem Aspekt auf die Erfüllung der Mindestanforderungen für den guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand gemäß der Verordnung (EG) Nr. 73/2009 (gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen, cross compliance). Dabei handelt es sich um Mindestanforderungen, die zur Vermeidung von nachteiligen Folgen der Landschaft beitragen sollen. Diese Anforderungen gelten gemäß RED jedoch ausschließlich für die Erzeugung innerhalb der EU. Außerhalb der EU erzeugte Biomasse unterliegt keinem bodenbezogenen Kriterium.

Wasser ist in verschiedener Hinsicht von der Erzeugung von Biokraftstoffen betroffen. Zum einen stellt ausreichend verfügbares Wasser die Grundlage für den auf hohe Produktivität ausgelegten Anbau von Biomasse. Reicht der Niederschlag nicht aus, wird auf Bewässerung zurückgegriffen, was erhebliche Folgen für den Wasserhaushalt des Einzugsgebiets nach sich ziehen kann. Des Weiteren kann die Biomasseproduktion durch Düngung und Pestizideinträge Grund- und Oberflächenwasser belasten.

Auch die zur Produktion von Bioenergieträgern erforderlichen Konversionsanlagen benötigen in der Regel Wasser und führen dann auch zu Abwässern, die aufwendige Reinigung benötigen, um Gewässerbelastungen zu vermeiden. Die in der Praxis gebräuchlichen Standards von Zertifizierungssystemen enthalten daher auch für das Thema Wasser differenzierte Indikatoren.

Die RED behandelt das Thema Wasser in Artikel 18 (3) Absatz 2 folgenderweise: die Mitgliedstaaten müssen die Biokraftstoffherzeuger verpflichten, über Maßnahmen zum Schutz von Boden, Wasser und Luft und zur Vermeidung von übermäßigem Wasserverbrauch in von Wasserknappheit betroffenen Gebieten zu berichten und dies zu dokumentieren.

Das bedeutet: Konkrete und verbindliche Kriterien sind hier nicht implementiert. Der

Schutz von Grundwasser durch landwirtschaftliche Verschmutzung wiederum wird durch die oben bereits genannte Verpflichtung auf Mindestanforderungen für den guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand per se vorausgesetzt.

Soziale Aspekte

Soziale Kriterien stehen seit Beginn der Nachhaltigkeitsdebatte über Biokraftstoffe im Vordergrund und werden insbesondere von kirchlichen Einrichtungen eingefordert. Mit der wachsenden Bedeutung des Biomasseimports aus Entwicklungsländern stellen sich Aspekte wie „Nord-Süd-Gerechtigkeit“, faire Handelsbedingungen mit den Lieferländern, angemessene Arbeitsverhältnisse und geregelte Landrechte in den Erzeugerländern als unabdingbare Voraussetzungen für das Prädikat Nachhaltigkeit dar. Konsequenterweise sind diese Kriterien in den Standards der etablierten Zertifizierungssysteme abgedeckt. Gerade im Fair-Trade-Bereich bilden sie die Ausgangsmotivation. Auch die Frage der Nahrungsmittelsicherheit, die Verfügbarkeit und Preisentwicklung in armen Ländern, ist ein eng mit der Bioenergie im Zusammenhang gesehener sozialer Aspekt. Er steht in komplexem Zusammenhang mit der Flächenkonkurrenz.

Auch die RED greift die Stichworte in Artikel 17 (7) auf, wobei allerdings nicht den Erzeugern, sondern der EU-Kommission die Pflicht auferlegt wird, alle „zwei Jahre über die Folgen einer erhöhten Nachfrage nach Biokraftstoff im Hinblick auf die soziale Tragbarkeit in der Gemeinschaft und in Drittländern“ zu berichten. Im Fokus stehen:

- die Verfügbarkeit von Nahrungsmitteln zu erschwinglichen Preisen;
- weitergehende entwicklungspolitische Aspekte;
- die Wahrung von Landnutzungsrechten;
- die Umsetzung und Ratifizierung der Kernarbeitsnormen der Internationalen Arbeitsorganisation (ILO).

Eine Verbindlichkeit der Einhaltung sozialer Kriterien ist somit nicht gegeben. Es wird vielmehr darauf gesetzt, durch die indikative Einführung des Aspekts und die Berichtspflichten, indirekten Druck auf

Umsetzung auf nationaler Ebene auszuüben.

Direkte Anforderungen im sozialen Kontext werden ebenso wie Kriterien zu Boden und Wasser vermieden, da sie mit Blick auf Regeln der Welthandelsorganisation (WTO) als Einmischung in nationale Hoheitsbereiche erfolversprechende Klagen erwarten lassen. **Klima und Biodiversität** dagegen sind **Schutzgüter mit globaler Wirkungstiefe**. Eine Verträglichkeit mit diesen Aspekten kann als verbindliche Eigenschaft für Handelsgüter eingefordert werden (Hermann et al. 2009).

NACHHALTIGKEITSZERTIFIZIERUNG

In Richtung Nachhaltigkeit ausgerichtete Zertifizierungssysteme bestehen bereits seit mehreren Jahrzehnten. Das Label SAN der Rainforest Alliance zertifiziert bereits seit 1992 umweltfreundlich erzeugte Agrarprodukte aus tropischen Regionen. Fair-Trade-Labels haben sich schon lange im Bereich Kaffee (zum Beispiel Utz Kapeh) etabliert.

In der Holzwirtschaft wurden 1994 mit Blick auf die Abholzung von Primärwäldern und degradierende Waldbewirtschaftung erste Gütesiegel eingeführt. Die Anzahl der Labels, die im weiteren Sinne Nachhaltigkeitsanforderungen für Agrar- oder Forstbiomasse beinhalten geht in die Hundert.

Mit der Einführung der RED-Nachhaltigkeitsanforderungen für Biokraftstoffe haben sich neue Systeme entwickelt, um diese Anforderungen vollständig abdecken zu können. Neu war für diese Systeme vor allem die Treibhausgasbilanz.

Die EU-Kommission hat zwischenzeitlich 11 Systeme anerkannt, die zur Nachweisführung über die Einhaltung der RED-Anforderungen für Biokraftstoffe über die gesamte Lieferkette geeignet sind (vgl. Tabelle 14).

Die Systeme weisen erhebliche Unterschiede auf im Hinblick auf ihre Unabhängigkeit und auf ihren Umfang an Kriterien. Systeme, wie der Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB), die auf internationaler Basis ohne direkten Zusammenhang mit der RED in einem ambitionierten Multi-Stakeholder-Prozess entwickelt wurden, adressieren neben den RED-Anforderungen zahlreiche weitere ökologische und soziale Kriterien und sind bereits auf Grund ihrer von Kammern (Boards) geleiteten Struktur

14 VON DER EU-KOMMISSION ANERKANNTE ZERTIFIZIERUNGSSYSTEME

System	Land, Anwendungsbereich
ISCC (International Sustainability and Carbon Certification)	In Deutschland entwickelt, für alle Arten Biokraftstoffe
Bonsucro EU (vormals BSI Better Sugarcane Initiative)	Multi-Stakeholder-Initiative, ausschließlich für Ethanol aus Zuckerrohr
RTRS EU RED (Roundtable for Responsible Soy)	Multi-Stakeholder-Initiative, ausschließlich für Sojaöl und Biodiesel aus Sojaöl
RSB EU RED (Roundtable on Sustainable Biofuels)	Multi-Stakeholder-Initiative, für alle Arten Biokraftstoffe
2BSvs (Biomass Biofuels Sustainability voluntary scheme)	In Frankreich von Industrieseite entwickelt, für alle Arten Biokraftstoffe
RBSA (Abengoa RED Bioenergy Sustainability Assurance)	Konzerninitiative, für alle Arten von Abengoa produzierten Biokraftstoffe
Greenenergy Brazilian Bioethanol verification programme	In Brasilien von Industrieseite entwickelt, ausschließlich für Ethanol aus Zuckerrohr
Ensus voluntary scheme under RED for Ensus bioethanol production	In Großbritannien von Industrieverbandsseite entwickelt, für in UK erzeugtes Ethanol
Red Tractor (Red Tractor Farm Assurance Combinable Crops & Sugar Beet Scheme)	In Großbritannien von Industrieverbandsseite entwickelt, für in UK erzeugte Biokraftstoffe
SQC (Scottish Quality Farm Assured Combinable Crops (SQC) scheme)	In Großbritannien von Industrieseite entwickelt, für Biokraftstoffe aus Weizen, Mais, Raps
Red Cert	In Deutschland von verschiedenen Industrieverbänden entwickelt, für alle Arten Biokraftstoffe (Fokus Produktion in Deutschland bzw. Mitteleuropa)

hochgradig unabhängig. Die in Deutschland entwickelte International Sustainability & Carbon Certification (ISCC) weist ebenfalls eine weite und differenzierte Checkliste an Kriterien auf. Das „Gegengstück“ RED-Cert begrenzt sich dagegen exakt auf die Zertifizierung nach den Anforderungen nach RED. Es ist jedoch ebenfalls ein unabhängiges System.

Systeme wie RBSA von Abengoa dagegen sind in hohem Maße intransparent, da sie rein konzernintern konstituiert sind. Fraglich ist, wie diese Systeme Unabhängigkeit nachweisen wollen und damit auch Glaubwürdigkeit.

Wie ist der Erfolg der Zertifizierung zu bewerten?

Die konsequente Umsetzung der Nachweisführung der Einhaltung der RED-Kriterien für Biokraftstoffe ist zunächst als ein Fortschritt in Richtung einer Eindämmung nicht-nachhaltiger Erzeugnisse auf dem europäischen Markt zu werten. Entscheidend ist, dass die Kriterien als solche ein „Qualitäts-Kennzeichen“ und Bewusstsein

für dessen Einhaltung in den Markt hinein transportieren. Vielfach ist bereits heute die flächendeckende Wirksamkeit der Einforderung von entsprechenden Selbsterklärungen durch Landwirte zu beobachten, unabhängig von der tatsächlichen Verwendung der Agrarerzeugnisse. Unklar ist bis auf Weiteres, ob die sektorale und auf den EU-Markt fixierte Zertifizierung effektiv zu einer Eindämmung nicht-nachhaltiger Produktion führen wird. Mechanismen, welche die Aufteilung des Marktes – zertifizierte Ware nach Europa, nicht zertifizierte Ware für die übrige Welt – verhindern könnten, stehen nicht zu Verfügung.

Ein Nebeneffekt kann ferner sein, dass die Zertifizierung zu einer Verknappung des tatsächlich quotenfähigen Biokraftstoffs führt. Je höher die Anforderungen desto mehr verteilt sich der Warenstrom in die Märkte, die keine Zertifizierung benötigen. Beispielsweise findet brasilianisches Ethanol aus Zuckerrohr trotz Erfüllung aller RED-Kriterien unter Umständen leichteren Marktzugang in die USA, die keine Zertifizierung vorschreiben.

Was ist von den internationalen Initiativen zu erwarten?

Die Risiken einer zunehmenden Erzeugung und Nutzung von Biokraftstoffen werden sich im globalen Maßstab erst eindämmen lassen, wenn global ansatzweise gleichwertige Standards umgesetzt werden.

Aus den Initiativen der GBEP wie aus der ISO könnten sich solche Ansatzpunkte entwickeln. Zwar basieren beide Einrichtungen auf der Einführung von freiwilligen Anforderungen, doch bringen sie die Thematik in allen relevanten Aspekten auf internationaler Ebene zur Diskussion.

Der ISO-Standard würde Produzenten in aller Welt vor Augen halten, welchen weltweit vereinbarten Prinzipien, Kriterien und Indikatoren nachhaltige Bioenergie zu entsprechen hat. Kein Produzent könnte sich fortan einer nachhaltigen Produktionsweise mit dem Argument entziehen, es gäbe keine allgemeingültigen Standards.

Die GBEP-Indikatoren wiederum bieten Regierungen Orientierung, um ihre eigene Bioenergiepolitik auf den Prüfstand zu stellen. Die kontinuierliche Weiterarbeit der in GBEP aktiven Regierungen und Organisationen bietet die große Chance, die dynamische Diskussion um Bioenergie weiter mit zu gestalten, gegebene Diskrepanzen zwischen den Länderinteressen zu verstehen und Lösungen weiter voranzubringen.

AUSWEITUNG DER NACHHALTIGKEITSKRITERIEN AUF ALLE BIOENERGIE – UND ALLE BIOMASSE?

Die EU hat mit der RED die Verdopplung des Anteils der Erneuerbaren Energien auf 20% des Bruttoendenergieverbrauchs beschlossen (EU 2009), wobei die Bioenergie eine große Rolle spielt:

- Die Ausbauziele im Bereich Wärme basieren zu etwa 80% auf Bioenergie;
- Um das RED-Ziel zu erreichen, ist mehr Holz nötig, was einen erhöhten Nutzungsdruck auf europäische und – über Importe – internationale Wälder ergibt;
- Die Holznachfrage wird durch zunehmende Mitverbrennung in Kohlekraftwerken zur Reduktion von Treibhausgasen verstärkt, damit wächst der internationale Handel;

- Die künftige Nutzung von Biokraftstoffen der 2. Generation wird ebenfalls zu verstärkter Holznachfrage führen.

Die RED enthält bereits verbindliche Nachhaltigkeitskriterien für Biokraftstoffe und flüssige Bioenergieträger; diese Anforderungen gelten jedoch nur für flüssige Bioenergieträger sowie Biogas und Biomethan im Verkehrssektor, während der Bereich der festen Biomassen nur insoweit betroffen ist, wie aus ihnen Biokraftstoffe hergestellt werden.

Die steigende direkte **Nutzung fester Biomasse** zur Strom- und Wärmebereitstellung ist bislang nicht geregelt, die Kommission empfiehlt den Mitgliedsstaaten nur, freiwillig die RED-Anforderungen auf feste Bioenergie anzuwenden (EC 2010).

Zudem existieren im Forstbereich keine europäischen Regelungen für „gute fachliche Praxis“, wie es sie mit den EU-Regelungen zu Mindest-Umweltanforderungen an die Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen gibt. Es wird daher gefordert, gesetzliche Nachhaltigkeitskriterien auch für feste Bioenergie für sowohl in der EU produzierte wie auch für importierte feste Bioenergieträger festzulegen. Europäische Kommission, Europäisches Parlament und einige Mitgliedsstaaten diskutieren dies unter anderem in einer Reihe gemeinsamer Workshops im Hinblick auf den wachsenden Import fester Biomassen (Fritsche et al. 2012b). Hierfür können Regelungen aus existierenden Zertifizierungssystemen wie FSC und PEFC herangezogen werden, die gute Ansätze für eine nachhaltige Holznutzung bieten, jedoch die Frage der Schwach- und Restholznutzung für energetische Zwecke weitgehend ausklammern.

Die von der Industrie getragene „Initiative Wood Pellet Buyers“ (IWPB) sieht die Erarbeitung eines freiwilligen Nachhaltigkeitsstandards für Pellets vor (IWPB 2012a+b) und ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer EU-weiten Regelung. Der WWF hat ebenfalls grundsätzliche Empfehlungen für Nachhaltigkeitsanforderungen an Bioenergie aus Wäldern vorgelegt (WWF 2012a).

Die in der RED geregelten Treibhausgas-Reduktionen und (direkte) Landnutzungsänderungen können gut auf feste Bioenergie übertragen werden, allerdings ist eine

Klärung der Treibhausgas-Bilanzen von Waldrest- und Schwachholz nötig, denn diese sind nicht per se CO₂-neutral (vgl. Fritsche et al. 2012b). Weiterhin ist der Schutz von Wäldern mit großer biologischer Vielfalt wichtig, ergänzt um Kriterien zur nachhaltigen Waldnutzung, die Entnahmemengen von Holz und die Sicherung der Nährstoffkreisläufe und Bodenschutz regeln. Diese Erweiterung der Nachhaltigkeitsanforderungen auf feste Biomasse wäre ein wichtiger Schritt zur Entschärfung der Probleme durch steigenden Nutzungsdruck in Wäldern, national wie international (IFEU 2011).

Es ist aber zu beachten, dass auch durch die nichtenergetische Nutzung von Holz ein Druck auf schwache Holzsortimente ausgeht – vor allem durch Zellstoff/Papier- und Holzwerkstoffindustrie – und eine „Bioökonomie“ (u.a. Bioraffinerien und Biomaterialien) ebenfalls forstliche Biomasse nutzt (EC 2012b).

Darüber treten negative Markteffekte wie die Verlagerung von Flächennutzungen (indirekte Effekte) auf, wenn nur eine Verwendungsart von Biomasse durch Nachhaltigkeitsanforderungen geregelt wird. Dementsprechend gibt es erste Aktivitäten, auch Nachhaltigkeitskriterien **für stoffliche Biomassenutzung** zu entwickeln und diese auf alle landwirtschaftlichen Produkte auszudehnen. Die Koalitionsvereinbarung der Bundesregierung sieht dies im europäischen Kontext explizit vor.

Über Bioenergie und Biokraftstoffe hinaus erfordert die verstärkte Nutzung biogener Rohstoffe **für alle Anwendungsformen** daher Nachhaltigkeitsregeln, die nicht nur Aspekte wie Klimaschutz und Biodiversität umfassen, sondern auch Fragen der Flächen- und Ressourceneffizienz und soziale Kriterien einbeziehen. Mit den für die RED-Erweiterung vorgelegten Kriterien (Fritsche 2012) und den von der GBEP beschlossenen generellen Indikatoren ist dafür bereits eine Grundlage geschaffen.

Mittelfristig sind konsistente Regeln zur Nachhaltigkeit aller Forstprodukte notwendig – und längerfristig auch für alle Agrarprodukte und damit die gesamte Biomasse.

4 DIE NÄCHSTE GENERATION: FORTGESCHRITTENE BIOKRAFTSTOFFE

Mehr als 99 % aller heute produzierten Biokraftstoffe fallen unter die verbreitete Bezeichnung „1. Generation“. Darunter versteht man Biokraftstoffe, die aus Stärke, Zucker oder Pflanzenölen von eigens dafür angebauten Feldfrüchten gewonnen werden (IEA 2008). Der Rohstoff- und Flächenbedarf für diese Kraftstoffe steht damit in Konkurrenz zu anderen Nutzungsmöglichkeiten. Von daher sind neue fortschrittliche Biokraftstoffe gefragt – Biokraftstoffe der 2. oder gar 3. Generation.

DIE ZWEITE GENERATION

Die 2. Generation von Biokraftstoffen zielt darauf, andere Rohstoffe einzusetzen, um große zusätzliche Rohstoffpotenziale zu erschließen. Es handelt sich vorwiegend um Lignozellulose, ein Gemisch aus unterschiedlichen Anteilen von Zellulose, Hemizellulosen und Lignin, je nach Art des Ausgangsmaterials. Das können agrarische Reststoffe (z.B. Stroh) sein, Reststoffe aus der Forstwirtschaft, aber auch Anbaubiomasse wie Gräser (z.B. Chinaschilf) oder Holz aus Kurzumtriebsplantagen.

Der Begriff der „2. Generation“-Biokraftstoffe definiert sich folglich hauptsächlich aus der Rohstoff- und Verarbeitungstechnik.

Eine präzise Abgrenzung ist allerdings nicht gegeben, sodass manche Biokraftstoffe keiner „Generation“ zugeordnet werden (z.B. Biomethan), für andere Erzeugnisse die 3. oder gar die 4. Generation (Kraftstoffe aus CO₂-fixierenden Bakterien) beansprucht wird.

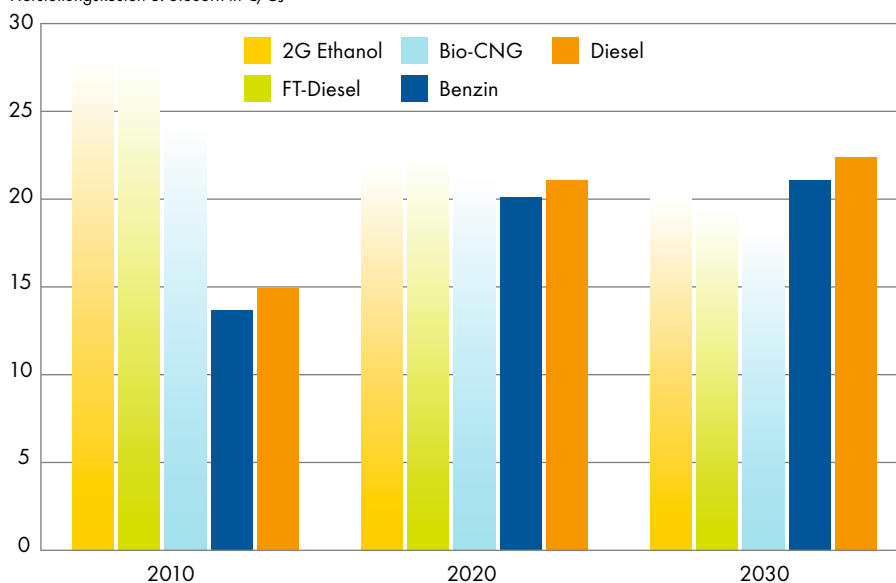
Die Verfahren lassen sich kurzgefasst folgendermaßen beschreiben:

Hydrierte Pflanzenöle (HVO) sind zunächst streng genommen keine 2. Generation, da der Rohstoff heute (noch) der 1. Generation entspricht. Mit dem Verfahren werden aus für Dieselmotoren problematischem Pflanzenöl über Hydrierung qualitativ hochwertige Kraftstoffe aus reinem Kohlenwasserstoff hergestellt. So können übliche Pflanzenöle wie Rapsöl oder Palmöl, aber auch Abfallöle, Altfett und ähnliche konvertiert werden.

Unter dem Begriff **HEFA Fuels** (Hydrogenated Esters and Fatty Acids) oder auch BioJet finden ebenfalls hydrierte Pflan-

15 MÖGLICHE KOSTENENTWICKLUNGEN FÜR BIOKRAFTSTOFFE BIS 2050

Herstellungskosten o. Steuern in €/GJ



Quelle: IEA (2012a); eigene Darstellung

zenöle erste Anwendung in der Luftfahrt. Neben alleinstehenden Anlagen zur Hydrierung von Pflanzenölen gibt es Konzepte, Pflanzenöle in existierenden Raffinerien mitzuverarbeiten (Co-Processing). Dazu wird Pflanzenöl dem konventionellen Rohöl vor dem Cat-Cracker beigemischt und mit den konventionellen Strömen weiterverarbeitet. Die Kraftstoffprodukte Diesel und Benzin enthalten dann entsprechende Bio-Anteile, die vom restlichen Kraftstoff nicht unterscheidbar sind.

Zellulose-Ethanol:

Chemisch gibt es bei Zellulose-Ethanol keinen Unterschied zu konventionellem Bioethanol; der Rohstoff besteht jedoch aus Zellulose, die mit chemisch-biotechnischem Aufschluss (Einsatz von Enzymen und starken Säuren) in Zucker überführt und zu Ethanol vergoren wird. Aus einer Tonne Stroh können so zwischen 160 und 250 kg Ethanol gewonnen werden.

FT-Diesel (Fischer-Tropsch):

Hierbei handelt es sich um synthetische Biodiesel, die aus Lignozellulose wie auch anderen organischen Rohstoffen über Synthesegaserzeugung und nachfolgende Fischer-Tropsch-Synthese zu Flüssigkraftstoff hergestellt werden. Ihr Vorteil ist, dass sie die Erfordernisse moderner Motoren gut erfüllen. Allerdings befindet sich die Technik nach wie vor im Entwicklungsstadium.

Eine weitere technische Entwicklung zielt darauf, in katalytischen Reformierungsprozessen Zucker, Stärke wie auch alle Formen von Lignozellulose in gezielte kurzkettige Kohlenwasserstoffverbindungen umzuwandeln. Ein besonderer Vorteil des Verfahrens liegt in der prozessbedingten Erzeugung von Wasserstoff. Abbildung 15 zeigt die längerfristig mögliche Entwicklung der Kosten von Biokraftstoffen der 2. Generation im Vergleich zu Benzin und Diesel.

In Deutschland und der EU wird der Dieselmotorkraftstoffanteil weiter steigen, womit hier biogene Diesel der 2. Generation besonders relevant sind. Dagegen nutzen Brasilien und die USA im Verkehr vorwiegend Benzin, daher ist dort Ethanol der 2. Generation wichtig.

Die 2. Generation-Biokraftstoffe sind grundsätzlich verfügbar, aber es ist noch viel Entwicklungsarbeit bis zur Markteinführung nötig – und ihre Kosten werden auch künftig vergleichsweise hoch sein.

BIOKRAFTSTOFFE AUS BIORAFFINERIEN?
In den frühen 2000er Jahren entwickelte sich der Begriff „Bioraffinerie“ als Übertragung des Funktionsprinzips von Erdölraffinerien auf Biomasse zur Erhöhung der Nutzungseffizienz (Realf, Abbas 2004).

Mittlerweile wird darunter die nachhaltige Verarbeitung von Biomasse in ein Spektrum von vermarktungsfähigen stofflichen und energetischen Produkten verstanden. Dabei erfolgt die Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln, Chemikalien, Materialien, Kraftstoffen, Strom und Wärme in integrierter Weise mit dem Ziel der Maximierung der Wertschöpfung aus dem eingesetzten Biomasse-Rohstoff (vgl. Abbildung 16).

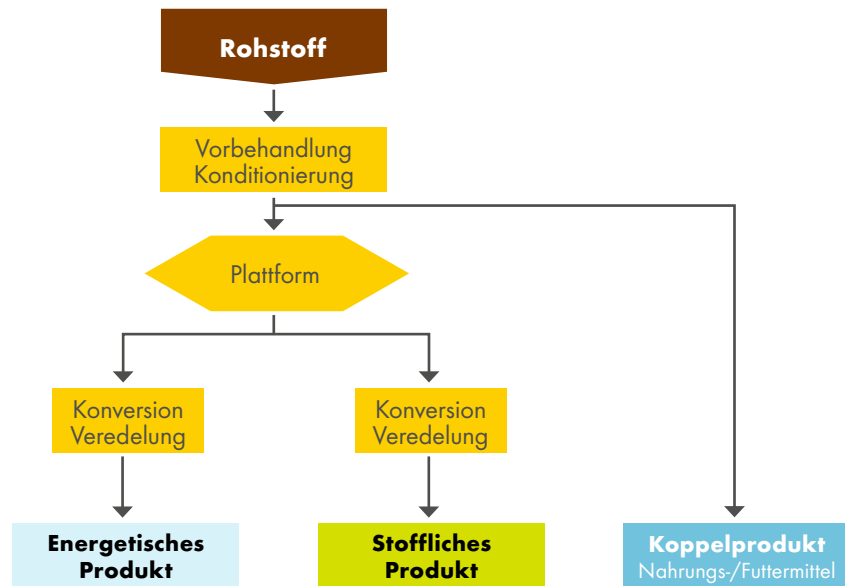
Verschiedene Studien argumentieren mit einer großen industriellen Bedeutung für Deutschland (VCI, DIB 2010), die EU (Star-colibri 2011a+b) und weltweit (WEF 2010). In Deutschland könnte bis 2030 ein nennenswerter Teil der Bioethanol- und Biodieselnachfrage durch Bioraffinerien bereitgestellt werden (Arnold u.a. 2011).

Damit bieten Bioraffinerien ein längerfristiges Potenzial zur Dekarbonisierung der stofflichen Nutzung und zur Verminderung von Nutzungskonkurrenzen.

Allerdings gilt dies nur dann, wenn die gekoppelte Erzeugung in dem Sinne erfolgreich ist, dass tatsächlich in einem Prozess mehrere Produkte entstehen, die marktfähig sind und die Aufwendungen energetisch und finanziell rechtfertigen.

Die Bundesregierung hat dazu kürzlich eine „Roadmap Bioraffinerien“ vorgelegt, die noch erheblichen Forschungs- und Entwicklungsbedarf sieht (BuReg 2012).

16 SCHEMA EINER BIORAFFINERIE



Quelle: Arnold, Fritsche, Maga u.a. (2011)

Bioraffinerien sind eine längerfristige Option für nachhaltige Biokraftstoffe, deren ökonomische Machbarkeit aber noch zu demonstrieren ist.

BIOKRAFTSTOFFE AUS ALGEN ALS „3. GENERATION“?

Seit einigen Jahren werden Algen in der weltweiten Biokraftstoffdiskussion als neue Rohstoffquelle gepriesen und daraus erzeugte Biokraftstoffe teilweise als „3. Generation“ bezeichnet, da keine Anbaufläche mehr erforderlich wäre. Grundsätzlich können Bioenergie – etwa Biogas – und Biokraftstoffe aus Algen erzeugt werden, es ist aber auch hier wichtig, wie der Rohstoff bereitgestellt wird:

- **Makroalgen** wie z.B. Seetang werden fast ausschließlich im Meer kultiviert beziehungsweise aus natürlichen Beständen geerntet und vor allem als Nahrung und Futter sowie als Industrierohstoff genutzt. Aus Makroalgen kann Biogas und Bioethanol erzeugt werden, die Ausbeute ist bislang jedoch gering.
- Die Produktion von **Mikroalgen** beträgt heute weltweit nur wenige 10.000 t für hochpreisige kosmetische und medizinische Anwendungen. Sie werden in offenen Tanks oder geschlossenen Photobioreaktoren kultiviert und enthalten gewisse Anteile an Ölen für die Biodieselherstellung, die andere Biomasse lässt sich prinzipiell für die Ethanol- und Biogasbereitstellung nutzen.

Das weltweite Interesse an Algen wird damit begründet, dass sie gegenüber Landpflanzen bis zu zehnmal höhere Flächenerträge erreichen können. Dies basiert jedoch auf Laborergebnissen, deren Übertragbarkeit in die Praxis unrealistisch ist, da Faktoren wie die Lichtausnutzung sowie Verschattung die theoretisch hohen Flächenerträge reduzieren.

Die energetische Algennutzung befindet sich noch im Stadium der Forschung und Entwicklung mit entsprechenden offenen Fragen wie genetischer Drift und hohem Aufwand für die Extraktion der Biomasse sowie entsprechenden Kosten (IC 2011b; IEA BioT39 2011).

Die Kultivierung von Mikroalgen erfordert Wasser sowie Hilfsenergien für Umwälzung und Reinigung, was hohe Treibhausgas-Emissionen bewirken kann (IC 2011a; Murphy, Allen 2011). Der Einsatz gentechnisch veränderter Stämme ist kritisch, da selbst geschlossene Systeme nicht verhindern, dass gentechnisch veränderte Algen in die Umwelt gelangen, mit entsprechendem Risikopotenzial (Snow, Smith 2012).

Algen können frühestens in 10 Jahren Beiträge zur Biokraftstoffbereitstellung leisten. Hierzu bedarf es drastischer Verbesserung der Ökonomie und Verbesserungen bei Energie- und Wasserbilanz.

5 TECHNISCHE KOMPATIBILITÄT VON BIOKRAFTSTOFFEN

Biokraftstoffe ähneln fossilen Kraftstoffen für Verkehrsträger. Sie sind in der Regel flüssig, manchmal auch gasförmig⁶⁾ und setzen ebenso wie fossile Kraftstoffe Energie durch Verbrennung frei. Sie sind daher grundsätzlich dort einsetzbar, wo Energieumwandlung durch Verbrennung stattfindet – vor allem in Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor, aber auch in Schiffen, Dieselloks und Flugzeugen.

Doch Biokraftstoffe weisen gegenüber fossilen Kraftstoffen zwar ähnliche, zum Teil aber durchaus unterschiedliche Produkteigenschaften auf. Nicht alle Biokraftstoffe können daher – aus technischen Gründen – in allen Verkehrsträgern eingesetzt werden. Bild 17 zeigt, welche Kraft- und Biokraftstoffe heute von welchem Verkehrsträger genutzt werden: Pkw und Lkw sind die größten Kraftstoffkonsumenten – und bislang fast die einzigen Verbraucher von Biokraftstoffen. Im Folgenden werden die wichtigsten Arten und Eigenschaften von Biokraftstoffen vorgestellt und diskutiert, in welchen Verkehrsträgern welche Biokraftstoffe „gehen“ und wo nicht.

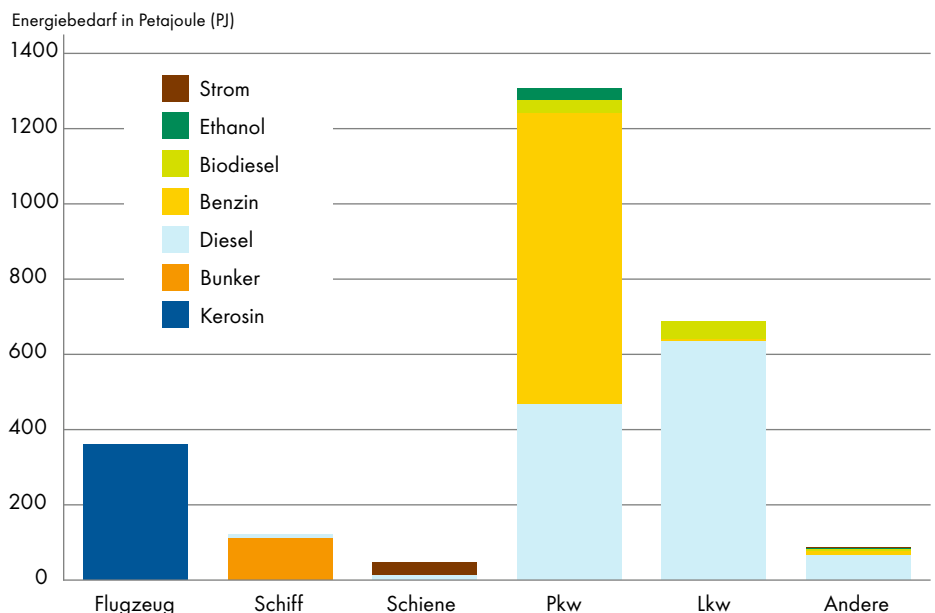
(BIO)KRAFTSTOFFE – ARTEN, EIGENSCHAFTEN

Damit Biokraftstoffe in heutiger Antriebstechnologie einsetzbar sind, dürfen ihre technischen Eigenschaften nicht wesentlich von denjenigen konventioneller Kraftstoffe abweichen. Je nach Kraftstofftyp können Biokraftstoffe konventionelle Kraftstoffe vollständig ersetzen, teilweise ersetzen, durch Beimischungen ergänzen oder gar nicht. Können Biokraftstoffe herkömmliche Kraftstoffe vollständig ersetzen, oder sind sie in bestehenden Fahrzeugen, Kraftstoffen und Versorgungsinfrastrukturen weitgehend nahtlos und ohne besondere technische Vorkehrungen einsetzbar, spricht man auch von so genannten „Drop-in Fuels“.

Kraft- und Treibstoffe werden in Raffinerien aus Rohöl gewonnen. Von Kraftstoffen spricht man hauptsächlich im Straßenverkehr, von Treibstoffen dagegen im Flugverkehr sowie in der Schifffahrt. Zur Herstellung von Kraft- und Treibstoffen wird das Rohöl in mehrstufigen Verfahren erhitzt (Destillation) und mit Hilfe weiterer Veredelungsschritte (Konversion) zu Mineralölprodukten verarbeitet.

In Raffinerieverfahren hergestellte Kraftstoffe sind Vielstoffgemische. Man unterscheidet in Abhängigkeit von Siedebereich und Energiedichte zwischen Leichtsiestern bzw. leichteren Produkten (Gas und Benzin), mittelschweren Produkten (Kerosin, Diesel oder Marinediesel bzw. auch Mitteldestillate) sowie schweren Produkten (Bunker- bzw. Schweröle). Der Verlauf der Siedekurve gibt Auskunft darüber, wie

17 ENERGIEBEDARF DES VERKEHRS IM JAHR 2010



Quelle: UBA (TREMODO), DESTATIS; eigene Darstellung

präzise ein Kraftstoff definiert ist – strikte Anforderungen weist zum Beispiel Kerosin auf.

Die Siedebereiche der Biokomponenten Bioethanol und Biodiesel unterscheiden sich deutlich von ihren fossilen Pendanten: Das zur Beimischung zu Benzin genutzte Bioethanol ist eine reine Komponente; sie verdampft vollständig, sobald die Siedetemperatur erreicht ist. Deshalb ist bei Mischungen von Ethanol und Benzin bei 78°C ein Anstieg des verdampften Kraftstoffvolumens zu beobachten (in Abbildung 18 dargestellt für E10). Biodiesel hat eine sehr flache Siedekurve; seine Siedetemperaturen liegen deutlich höher

als die von fossilem Diesel. Bei unvollständiger Verbrennung können sich hieraus motorteknische Probleme (wie Motorölverdünnung) ergeben. Das von Seeschiffen verwendete Bunkeröl ist deutlich schwerer als die übrigen dargestellten Kraftstoffe mit einem sehr breiten Siedespektrum.

In Abhängigkeit vom Verwendungszweck werden zahlreiche weitere Qualitätsparameter für die unterschiedlichen Kraftstoffarten durch nationale DIN-Normen oder internationale Kraftstoffnormen der EU oder von anderen internationalen Normungsgremien (wie IMO, ASTM International) definiert. Aus Sicherheitsgründen werden Mindestanforderungen an

⁶⁾ Gasförmige Kraftstoffe sind Flüssiggas (LPG), komprimiertes Erdgas (CNG) oder verflüssigtes Erdgas (LNG), die ebenfalls Verbrennungsmotoren mit Energie versorgen. Sie können langfristig eine Rolle im Verkehrssektor spielen, erfüllen heute jedoch vor allem Nischenfunktionen. Grundsätzlich ist für alle gasförmigen Kraftstoffe eine Substitution durch Biogas bzw. Biomethan möglich.

Flamm- und Gefrierpunkte von Kraftstoffen gestellt. Anforderungen an Aromaten und Schwefelgehalte etwa dienen der Reduktion von Schwefeldioxid- und Partikelemissionen.

Fossile Kraftstoffe bieten im Vergleich zu anderen Energieträgern eine Reihe von Vorteilen, wie hohe Energiedichte, Haltbarkeit, einfaches Handling usw., sodass sich eine große Zahl von Verkehrsträgern auf sie eingestellt hat.

Biokraftstoffe bieten ökologische Vorteile, sie können etwa dazu beitragen, (lokale) Schadstoffemissionen zu verringern. Um jedoch in aktuellen Kraftfahrzeugen und Versorgungsinfrastrukturen eingesetzt werden zu können, müssen Biokraftstoffe zumindest fossilen Kraftstoffen vergleichbare chemische Eigenschaften aufweisen. Die gebräuchlichsten, heute verwendeten Arten von Biokraftstoffen sind:

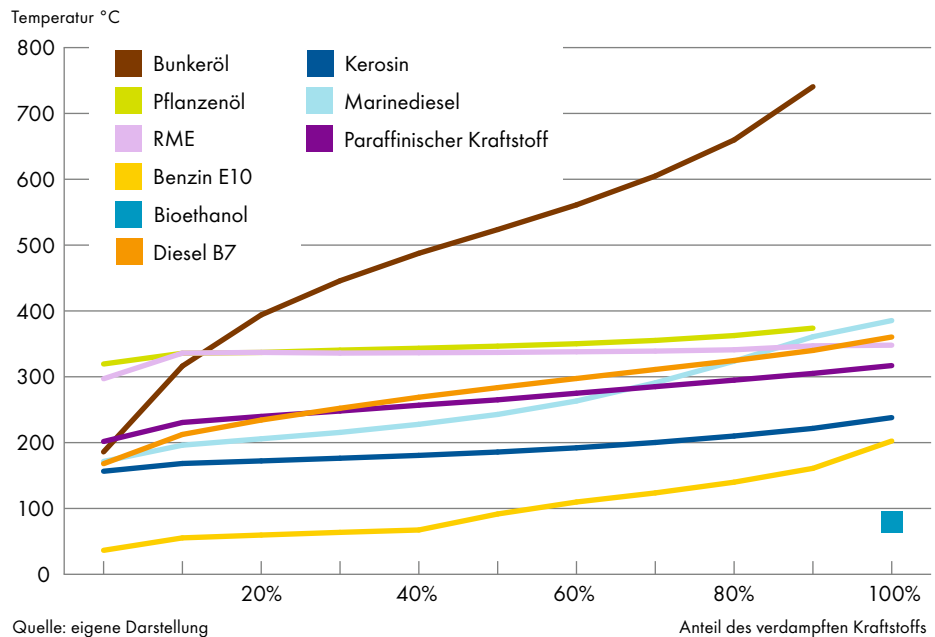
- Bioalkohole (wie Ethanol oder Butanol);
- (reine) Pflanzenöle;
- Fatty Acid Methyl Ester (FAME) als zu Biodiesel veresterte Pflanzenöle;
- Hydrierte Pflanzenöle und synthetischer Diesel aus Biomasse.

Bioalkohole sind – anders als Rohöl oder fossile Kraftstoffe – keine Vielstoffgemische, sondern chemisch reine Stoffe mit klar definierten physikalischen Eigenschaften. Bioalkohole können je nach Fahrzeugtechnik ein begrenztes bis vollständiges Substitut für Benzin sein. Um etwa Korrosion von Kunststoffen und Metallen zu vermeiden, ist die Auswahl der Materialien, die mit Kraftstoff in Berührung kommen, anzupassen (Bauer, Margraf, Kulikowski 2011). Ferner erfordern die unterschiedlichen Verdampfungseigenschaften von Ethanol bzw. Benzin-Ethanolmischungen eine Anpassung der Motorensteuerung.

Die verfügbaren Alternativen für Mitteldestillate sind vielfältiger. Sie reichen von reinem Pflanzenöl, über Biodiesel erster Generation (FAME) bis hin zu hydrierten Pflanzenölen und synthetischem Diesel aus Biomasse. Alle derzeit verfügbaren biogenen Dieselsubstitute basieren auf Pflanzenöl.

Nicht alle Pflanzenöl(derivat)e sind gleich gute Substitute für Mitteldestillate. Qualitativ lässt sich zwischen Biodiesel

18 SIEDEVERHALTEN VON KRAFTSTOFFEN



erster Generation (FAME) und Biodiesel zweiter Generation (hydrierte Pflanzenöle und synthetischer Diesel aus Biomasse) unterscheiden; gelegentlich wird im Zusammenhang mit reinem Pflanzenöl auch von der „Generation Null“ gesprochen. Nur Biodiesel zweiter Generation sind fossilen Kraftstoffen sehr ähnlich. Sie können als Drop-in Fuels nicht nur in Kraftfahrzeugen, sondern auch in der Luftfahrt – zumindest anteilig – eingesetzt werden.

Daneben gibt es noch eine Reihe anderer Biokraftstoffe (wie Dimethylether – DME oder Butanol), die sich aus verschiedenen Gründen bislang nicht, auch nicht als Nischenkraftstoff, etablieren konnten. Die beiden (Bio)-Alkohole Methanol und Butanol können, zumindest mit niedriger Beimischung, ähnlich wie Ethanol in jetziger Fahrzeugtechnologie eingesetzt werden. DME hingegen ist bei normaler Umgebungstemperatur gasförmig und benötigt einen Druckgasbehälter als Tank. (Bio)-Wasserstoff kann entweder in Fahrzeugen mit sehr effizienten Brennstoffzellen genutzt werden, oder in Verbrennungsmotoren. Auch Wasserstoff benötigt ein aufwendig angepasstes Tanksystem.

STRASSENVERKEHR

Im Straßenverkehr dominieren heute weltweit Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Dabei kommen zwei unterschiedliche Motorkonzepte zur Anwendung: zum einen Otto-, zum anderen Dieselmotoren. Weltweit werden Personenkraftwagen (und Motorräder) vorwiegend von Ottomotoren

angetrieben; Nutzfahrzeuge, insbesondere Lkw und Busse, von Dieselmotoren.

Moderne Dieselmotoren stehen Ottomotoren in puncto Komfort, Sauberkeit und Leistung nichts mehr nach. Im Vergleich zu Ottomotoren haben Dieselmotoren außerdem prinzipbedingt einen höheren Wirkungsgrad, der zu niedrigerem Kraftstoffverbrauch führt. Vor allem in Europa sind Pkw mit Dieselantrieb inzwischen weit verbreitet; in einigen Ländern erreichen Diesel-Pkw gar Neuzulassungsanteile von über 50%.

Pkw mit Ottomotor tanken Ottokraftstoff bzw. Benzin; Kraftfahrzeuge mit Dieselmotor verwenden Dieseldieselkraftstoff. Die wichtigsten Qualitätsparameter für Kraftstoffe im europäischen Straßenverkehr legt die aktuelle EU-Kraftstoffqualitäten Richtlinie fest (2009/30/EG). Sie gilt europaweit, ist inzwischen aber auch Vorbild in anderen Weltregionen. Zudem sind die heutigen Automobilhersteller fast ausnahmslos weltweit aufgestellt. Ihr Interesse ist es, in allen Ländern hochwertige und einheitlich definierte Kraftstoffe zu erhalten, die in globalen Motorkonzepten eingesetzt werden können. Richtwerte für Kraftstoffqualitäten in Abhängigkeit von den jeweiligen Marktanforderungen enthält die World Fuels Charta (WFCF 2006).

Insgesamt sind die Kraftstoffanforderungen in den letzten 20 Jahren deutlich verschärft worden – in Europa, aber auch in anderen Ländern. Zum einen ist moderne Fahrzeug-

technik immer anspruchsvoller und empfindlicher geworden. Zum anderen stiegen die Umweltaforderungen an Auto-Mobilität derart, dass eine Reformulierung von Kraftstoffen erforderlich war. In den 1990er Jahren wurden mit dem **europäischen Auto-Öl-Programm** Kraftstoffqualitäten – und Abgasgrenzwerte – für Pkw und Nutzfahrzeuge zur Verbesserung der Luftqualität umweltbezogen neu festgelegt. Heute gehören Deutschland und die EU im Sinne der World Fuels Charta zu den anspruchsvollsten Märkten mit den strengsten Abgasvorschriften.

Die Mindestanforderungen an Ottokraftstoff werden in der europäischen Kraftstoffnorm EN 228 definiert. Ottokraftstoffe sind leichte Kraftstoffe mit einer Dichte von 720 bis 775 kg/m³. Sie haben einen sehr niedrigen Gefrierpunkt und damit gute Kälteeigenschaften. Grundsätzlich werden verschiedene Sorten von Motorbenzin in Abhängigkeit von ihrer Klopfestigkeit (Oktananzahl) unterschieden; die wichtigste Benzinsorte ist Eurosuper mit 95 Oktan.

Inhaltsstoffe und Eigenschaften von Dieseldieselkraftstoff werden in der Kraftstoffnorm EN 590 festgelegt. Dieseldieselkraftstoff verfügt über eine hohe Dichte von 820 bis 845 kg/m³. Im Vergleich zu Benzin hat Diesel – wie alle Mitteldestillate – einen hohen Flammpunkt. Jeder Dieseldieselkraftstoff muss eine Cetanzahl von mindestens 51 aufweisen; bei synthetischem Diesel (wie Gas-to-Liquids) kann die Cetanzahl jedoch auch deutlich höher liegen. Dieseldieselkraftstoffe können bei niedrigen Temperaturen

auskristallisieren, so dass die Norm spezielle Kälteanforderungen für die verschiedenen klimatischen Regionen Europas ausweist. Das Kälteverhalten von Diesel wird entsprechend in den Raffinerien eingestellt.

Alternative Kraftstoffe

Substitutionspotenziale für herkömmliche Antriebe und damit auch Energien weisen im motorisierten Straßenverkehr am ehesten Pkw und leichte Nutzfahrzeuge auf. Vorerst keinerlei alternative Antriebe zeichnen sich dagegen für den schweren Güterkraftverkehr, insbesondere für den Straßengüterfernverkehr ab (Shell 2010). Einer der Hauptgründe hierfür ist die niedrige Energiedichte alternativer Energieträger (wie CNG, Wasserstoff oder Strom aus Batterien).

Um die gleiche Energie wie mit einem Liter Diesel elektrisch zur Verfügung zu stellen, wird mit heutigen Batterien zwanzigmal so viel Raum benötigt. Selbst wenn man noch in Rechnung stellt, dass Elektromotoren ungleich effizienter sind als Verbrennungsmotoren, ergeben sich immer noch wesentlicher zusätzlicher Raumbedarf und Gewicht; beides vermindert die Nutzlast. Der einzige alternative Energieträger, der Benzin und Diesel nahe kommt, sind Biokraftstoffe (sowie ansatzweise LNG).

Kraftwagen mit Ottomotoren können alternativ beziehungsweise ergänzend auch mit Bioalkohol betrieben werden. Der heute gebräuchlichste Bioalkohol ist biogener Ethylalkohol oder kurz auch

Ethanol. Im Vergleich zu herkömmlichem Benzin hat Ethanol einen niedrigeren Siedebereich, eine höhere Oktanzahl und aufgrund des höheren Sauerstoffgehaltes einen niedrigeren Energiegehalt.

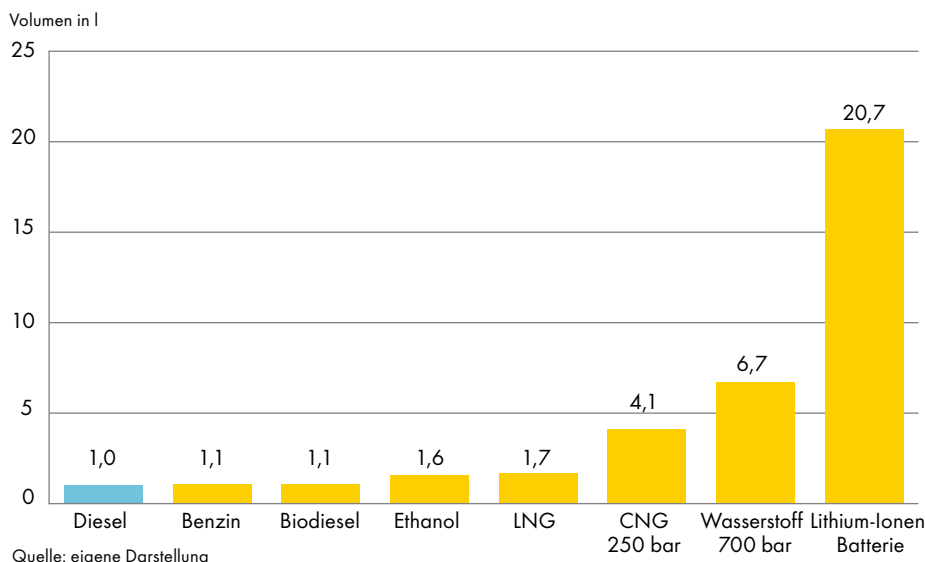
Normale Benzinmotoren sind heute für Beimischungen von bis zu 5 Volumenprozent Bioethanol (E5) ohne weitere technische Modifikationen freigegeben (WFCF 2009b). Entsprechende Bioethanolanteile sind daher nicht kennzeichnungspflichtig. Die Zumischung von Bioethanol in Höhe von bis zu 10% (E10) wird in der deutschen Kraftstoff(entwurfs)norm E-DIN 51626-1 geregelt und ist seit Anfang 2011 in Deutschland möglich.⁷⁾

Zwar nicht alle, aber immerhin über 90% aller in Deutschland zugelassenen Pkw vertragen bereits heute E10. Doch trotz der hohen technischen Kompatibilität der Pkw mit E10 ist die Verbraucherakzeptanz noch begrenzt, wenn auch tendenziell ansteigend.

Für höhere Benzin-Alkohol-Gemische als E10 ist die bestehende Ottomotor-Fahrzeugtechnik nicht zugelassen. Man spricht daher auch von der „**Blend Wall**“. Benzin mit höherem Ethanolgehalt als 10% erfordert spezielle Fahrzeugausrüstungen. Flexible Fuel Vehicles (FFVs), die beliebige Benzin-Alkohol-Mischungen tanken können, gibt es bislang jedoch hauptsächlich nur in Südamerika. Für solche Fahrzeuge ist E85 durch die Kraftstoffnorm DIN 51625 als gesonderter Verkehrskraftstoff spezifiziert.

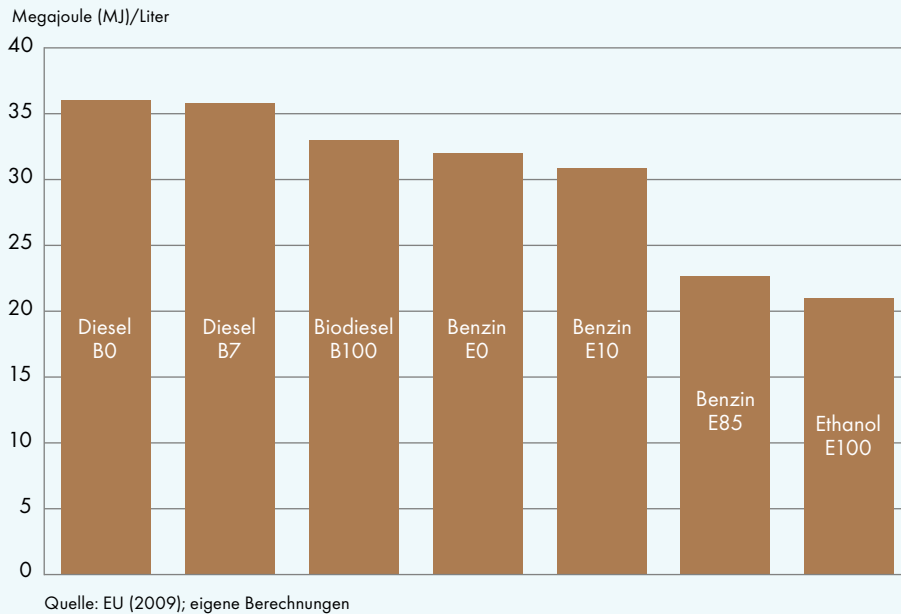
Dieselmotoren können grundsätzlich mit Biodiesel oder anderen Dieseleratzkraftstoffen betrieben werden. Es ist zu unterscheiden zwischen reinen Pflanzenölen, herkömmlichem Biodiesel (erster Generation) und synthetischem Diesel. Pflanzenöl ist der einfachste, weil nicht weiter verarbeitete biogene Kraftstoff. Er kann in der Regel nur in modifizierten, speziell dafür ausgestatteten Dieselmotoren verwendet werden. Denn Pflanzenöl weicht in seinen Eigenschaften deutlich vom Dieseldieselkraftstoff ab: Seine Zündwilligkeit ist eingeschränkt (niedrigere Cetanzahl), seine Viskosität ist höher und sinkt bei niedrigeren Temperaturen noch ab. Es ist biologisch gut abbau-

19 VOLUMEN ZUR SPEICHERUNG DES ENERGIEINHALTS VON 1 LITER DIESEL



7) Zusätzlich bzw. alternativ kann Bioethanol dem Ottokraftstoff auch noch indirekt als Ether (Ethanol-Tertiär-Butyl-Äther: ETBE) beigemischt werden; der indirekten Beimischung sind jedoch durch Kraftstoffspezifikationen enge Grenzen gesetzt (auch durch den Sauerstoffgehalt).

20 ENERGIEGEHALT VON BIOKRAFTSTOFFEN



Der Energiegehalt von Biokraftstoffen weicht vom Energiegehalt fossiler Kraftstoffe zum Teil deutlich ab. So beträgt der Energiegehalt von Bioethanol nur etwa 66% desjenigen von Ottokraftstoff, der von Biodiesel dagegen etwa 92% desjenigen von fossilem Dieselmotorkraftstoff (jeweils bezogen auf Volumenbasis bzw. Liter). Während sich Kraftstoffnormen in der Regel auf Volumen (Vol%, also Anteile pro Liter) beziehen, setzen Gesetze und politische Programme Ziele in Bezug auf den Energiegehalt (und künftig auch auf Treibhausgasreduktionen). Um 10 Energieprozent Bioethanol im Ottokraftstoff zu erreichen, müssten folglich etwa 15 Vol% Bioethanol zugemischt werden; um 10 Energieprozent Biodiesel im Dieselmotorkraftstoff zu erreichen, müssten etwa 11 Vol% beigemischt werden.

bar, aber auch schlechter lagerfähig. Aufgrund seiner hohen Verdampfungstemperatur reichert sich das Pflanzenöl im Motoröl an; es kann zu Verklumpungen kommen. Die Eigenschaften von Pflanzenölen unterscheiden sich je nach Pflanze. Die Qualitätsnorm DIN 51605 spezifiziert Pflanzölkraftstoff aus Rapsöl. Reines Pflanzenöl ist heute ein Nischenkraftstoff; es kommt für moderne Dieselantriebe mit empfindlichen Einspritzsystemen nicht (mehr) in Frage.

Der heute gebräuchlichste Dieselerstattkraftstoff ist konventioneller Biodiesel. Biodiesel wird durch Umesterung von Raps-, Soja- oder Palmöl oder von Alt- bzw. Tierfetten mit Methanol gewonnen.

Die übergreifende technische Bezeichnung für alle Biodiesel lautet Fettsäuremethylester (FAME). Biodiesel hat einen höheren Flammpunkt als Diesel, ist etwas schwerer, bei vergleichbarer Viskosität. Der Gefrierpunkt variiert je nach verwendetem Rohstoff. Biodiesel wird von der europäischen Biodieselnorm EN 14214 spezifiziert; Biodiesel aus reinem Soja- oder Palmöl kann die Biodieselnorm wegen schlechterer Kältebeständigkeit allerdings nicht erfüllen.

Biodiesel ist besser an heutige Motortechnik angepasst als reine unverarbeitete Pflanzenöle. Gleichwohl kann sich aufgrund höherer Verdampfungstemperatur auch Biodiesel im Motoröl ansammeln – und auch Biodiesel kann Kunststoffteile

im Motor angreifen. Aufgrund anspruchsvoller Antriebs- und Abgasreinigungstechnik darf Biodiesel in Europa konventionellem Diesel nur bis zu 7 Volumenprozent (B7) zugemischt werden. Da B7 sowohl von älteren als auch von neuen Fahrzeugen vertragen wird, ist ebenso wie für E5 bei Ottokraftstoffen keine besondere Kennzeichnung – und keine so genannte „Schutzsorte“ für ältere Fahrzeuge – erforderlich.

Viele moderne Diesel-Pkw vertragen keine höheren Gehalte an FAME. Der Hauptgrund liegt in der Abgasnachbehandlung. Auch Lkw älterer Emissionsklassen waren deutlich toleranter für Biodiesel; einige Lkw-Flotten fuhren gar mit bis zu 100% FAME. Euro VI-Lkw kommen gerade erst auf den Markt und werden zunächst nur für B7 zugelassen. Schließlich ist ab Euro VI für jede Kraftstoffart die Einhaltung der Emissionsgrenzen neu nachzuweisen. Die bei der Verwendung von Biodiesel auftretenden Probleme sind Motorölverdünung mit Biodiesel, geringere Lagerfähigkeit oder auch Katalysatorgifte (Metalle) im Biodiesel (WFCC 2009a); ihnen kann jedoch in der Regel durch höheren Wartungsaufwand und Qualitätskontrolle entgegengewirkt werden.

Im Vergleich zu FAME-Kraftstoffen hochwertigere Biodiesel sind aus Fischer-Tropsch-Prozessen gewonnener synthetischer Biodiesel (FT-Diesel) und hydrierte Pflanzenöle (HVO). Diese werden zusam-

men mit dem aus Erdgas hergestellten GTL Kraftstoff als „**Paraffinische Dieselmotorkraftstoffe**“ vom CEN Working Agreement CWA 15940 erfasst.⁸⁾ Diese Dieseltypen weisen sehr günstige Kraftstoff-Eigenschaften auf, die konventionellen Dieselmotorkraftstoff sogar noch übertreffen. Synthetischer Biodiesel/HVO hat eine niedrigere Dichte und eine deutlich höhere Cetanzahl als herkömmlicher Diesel oder FAME. Sie enthalten keinen Sauerstoff, so dass der Energiegehalt höher ist als bei FAME-Kraftstoffen. Synthetischer Biodiesel und HVO sind so genannte Drop-in Fuels, die fast nahtlos verwendet werden können, und zwar nicht nur im Straßenverkehr.

Bislang ist allerdings nur HVO in begrenzten Mengen kommerziell verfügbar, synthetischer Diesel aus Biomasse nicht.

LUFTFAHRT

In Verkehrsflugzeugen der zivilen Luftfahrt kommen heute fast ausschließlich reine Strahltriebwerke (Düsen) beziehungsweise Propellerturbinen (Turboprop) als Antriebstechnologie zum Einsatz. In kleineren Sport- und Hobby-Flugzeugen finden sich Kolbenmotoren, die meist nach dem Ottoprinzip arbeiten; zunehmend kommen aber auch hier Selbstzünder zum Einsatz. Düsen- und Turboprop-Maschinen nutzen als Energiequelle Flugtriebwerk-

8) Die CWA 15940 von 2009 behält ihre Gültigkeit bis im Herbst 2012 die Technische Spezifikation CEN/TS 15940:2012 Paraffinischer Dieselmotorkraftstoff aus Synthese oder Hydrierungsverfahren – Anforderungen und Prüfverfahren in Kraft tritt.

stoffe, im deutschen Sprachraum auch Kerosin genannt. Sie müssen wegen der hohen Anforderungen der Triebwerke hohe Qualitätsstandards erfüllen. Für diese Kraftstoffart gelten sehr umfassende und international einheitliche Qualitätsbestimmungen. Führende Normungsorganisationen für Flugtreibstoffe sind das Ministry of Defence (MOD; Großbritannien) sowie ASTM International (früher American Society for Testing and Materials).

In der internationalen zivilen Luftfahrt wird heute fast ausschließlich die **Kerosin-Spezifikation Jet A1** bzw. Jet A verwendet. Jet A1 wird durch die Normen DEF STAN 91-91 sowie ASTM D 1655 definiert. Jet A1 weist eine Dichte von 775 bis 840 kg/m³ auf – ist also etwas leichter als Diesel. Ferner verläuft die Siedekurve sehr flach (vgl. Abbildung 18); Jet A1 ist mit anderen Worten eine sehr enge Fraktion der Rohöldestillation, die Düsentriebwerken optimale Verbrennung ermöglicht. Weiterhin essentiell für Flugturbinentreibstoffe sind günstige Kälteeigenschaften, da Verkehrsflugzeuge in der Regel im oberen Bereich der Troposphäre bei Außentemperaturen von etwa -50°C fliegen. So weist Jet A1 einen Gefrierpunkt von mindestens -47°C oder tiefer sowie einen Flammpunkt von mindestens +38°C oder höher auf.

Neben Kerosin kommt auch noch Flugbenzin (Aviation Gasoline: AvGas) als Luftfahrtbetriebsstoff zum Einsatz. AvGas ist ein spezieller Ottokraftstoff für Flugzeuge mit Ottomotoren. Einige dieser Flugzeuge sind auch für hochoktaniges Benzin freigegeben. Aufgrund der Zwangsbeimischung von Bioethanol, aber auch wegen schärferer Sicherheitsanforderungen, ist dies ab Tankstelle aber nicht zugelassen.

Alternative Flugtreibstoffe

Derzeit zeichnen sich keine Alternativen zu flüssigen Kohlenwasserstoffen als Antriebsenergie für die Luftfahrt ab. Entsprechend das Bemühen der Luftfahrtindustrie, in Zukunft verstärkt auf alternative flüssige Flugtreibstoffe zurückzugreifen. Prinzipiell in Frage kommen hier synthetische Kerosinfraktionen aus dem Fischer-Tropsch-Prozess (zum Beispiel Gas-to-Liquids aus Erdgas) oder hydrierte Pflanzenöle (HEFA/BioJet).

Das besondere Interesse der Luftfahrt gilt jedoch biogenen Flugturbinenkraftstoffen; denn nachhaltige Biokraftstoffe können die

Treibhausgasemissionen der Luftfahrt reduzieren helfen. Alternative Jet-Treibstoffe müssen jedoch die strengen Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen konventioneller Flugturbinenkraftstoffe erfüllen – konventionelle Biokraftstoffe erster Generation tun dies nicht (ATAG 2009). Inzwischen sind Beimischungen zugelassener Alternativtreibstoffe (HEFA/BioJet; FT) von bis zu 50% erlaubt, da diese sich chemisch von konventionellem Jet Fuel kaum unterscheiden (IATA 2011).

SCHIFFFAHRT

Schiffe werden vor allem für den Güterverkehr eingesetzt; im Personenverkehr spielen sie nur eine untergeordnete Rolle. Schiffe sind gemessen an ihrer Transportkapazität im Verkehrsträgervergleich sehr leistungsfähig. Sie können große Gütermengen bei niedrigen spezifischen Energieverbräuchen über große Entfernungen transportieren. Schifffahrt ist bei weitem der energieeffizienteste Verkehrsträger (BSH 2011).

Heute dominieren in der Schifffahrt Schiffsdieselmotoren, die in der Regel flüssige Treibstoffe verwenden, auch wenn einzelne Baureihen auch Gas als Treibstoff verwenden können. Die Anforderungen an Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit sind hoch; denn Schiffe sind auf hohe Dauerleistung und lange Lebensdauern ausgerichtet. Bei der Schifffahrt ist grundsätzlich zwischen der Seeschifffahrt (auf Meeren) und der Binnenschifffahrt (auf Binnengewässern wie Flüssen und Seen) zu unterscheiden. Aufgrund unterschiedlicher Anforderungen werden auf See- und Binnenschiffen auch unterschiedliche Treibstoffe eingesetzt.

Seeschifffahrt

Über 80% der weltweit gehandelten Güter werden heute auf Seewegen transportiert. Die globale Handelsflotte besteht aus 103.000 Schiffen (UNCTAD 2011). Nahezu alle kommerziellen Seeschiffe sind heute mit Dieselmotoren ausgerüstet. Große Handelsschiffe verwenden meist langsam laufende Zwei-Takt-Motoren mit einem Leistungsspektrum von etwa 25.000 bis 80.000 kW. Ihre Wirkungsgrade erreichen bis zu 50%. Daneben werden auch (kleinere) Schiffsmotoren angeboten, die allein oder zusätzlich noch mit Erdgas (LNG) betrieben werden – so genannte Dual Fuel Engines (Ecofys 2012). Schiffstreibstoffe werden von der International

Maritime Organization (IMO) genormt und die wichtigsten Qualitätsparameter von Treibstoffen für die Seefahrt von der **ISO-Norm 8217** festgelegt. Diese unterscheidet insbesondere zwischen schwereren und zähflüssigeren Bunkerölen und leichterem Marinediesel. Bunkeröle werden hauptsächlich aus Rückständen der Rohölverarbeitung hergestellt. Sie weisen eine hohe Dichte von etwa 1.000 kg/m³ auf und sind sehr zähflüssig. Marinediesel sind Gemische verschiedener Mitteldestillate und leichter; sie weisen Diesel-typische Eigenschaften auf. Vor allem die großen Schiffsdieselmotoren verwenden überwiegend Bunkeröle als Schiffstreibstoff.

Steigende Anforderungen auch an Schiffstreibstoffe haben die IMO veranlasst, die zulässigen Schwefelgehalte von Bunkerölen deutlich zu senken. So sollen Bunkeröle spätestens bis 2025 maximal nur noch 0,5% Schwefel enthalten; heute dürfen es noch maximal 3,5% sein. In besonderen Emissionsschutzgebieten (SOx Emission Control Areas = SECA) soll der Schwefelgehalt bereits ab 2015 auf 0,1% reduziert werden.⁹⁾ Ost- und Nordsee sind bereits seit 2006 bzw. 2007 SECAs.

Viele Seeschiffe sind heute für den Betrieb von zweierlei Treibstoffen – zum Beispiel Schweröl und Marinediesel – ausgelegt, um etwa im Hafengebiet auf saubere Schiffsbrennstoffe zurückgreifen zu können. Neue Schiffe können leicht auf die alleinige Verbrennung von Destillaten eingerichtet werden (ISL 2010).

Bunkeröle sind ein vergleichsweise günstiger Treibstoff. Die Schifffahrt hat ihre Maschinenanlagen auf den Einsatz von Bunkerölen über Jahrzehnte optimiert. Zudem werden Handelsschiffe lange genutzt: ihr Durchschnittsalter liegt zurzeit bei 22,5 Jahren und sie werden oft erst nach über 30 Jahren stillgelegt (UNCTAD 2011). Auch Motoren befinden sich oft 20 Jahre und länger im Einsatz. Folglich spielen in der Seeschifffahrt **alternative Antriebe und Treibstoffe** in der Breite noch so gut wie keine Rolle. Sie finden sich bislang nur für Spezialanwendungen (beispielsweise LNG-Tanker). Gleichwohl wäre der Einsatz von biogenen Treibstoffen auch in der Seeschifffahrt möglich.

⁹⁾ Vgl. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78), Annex VI: Regulations for the Prevention of Pollution from Ships.

Biotreibstoffe könnten zum einen helfen, die lokalen Schadstoffemissionen (Schwefeldioxidemissionen) und die Treibhausgasemissionen des Seeverkehrs zu reduzieren (Ecofys 2012). Zum anderen stellen sich für Biotreibstoffe auf Seeschiffen jedoch eine Reihe technischer Herausforderungen: Seeschiffe bunkern Treibstoffe in der Regel über längere Zeiträume; dafür muss die Lagerstabilität sichergestellt bleiben. Die Kälteeigenschaften biohaltiger Schiffstreibstoffe verändern sich; Materialverträglichkeiten müssen überprüft werden. Zudem liegen für Biotreibstoffe in der Seeschifffahrt noch wenig praktische Erfahrungen vor (ISO 2012).

Daher ist die Beimischung von Biokomponenten in ISO 8217 auch gegenwärtig nicht vorgesehen. Da Mitteldestillate heute häufig Biokomponenten enthalten, sind jedoch zusätzlich Anforderungen an die Oxidationsstabilität in die Marine Fuel-Spezifikation ISO 8217 (2012) aufgenommen worden.

Letztendlich befindet sich die Seeschifffahrt in Sachen Biotreibstoffe noch in der Orientierungsphase. Voraussetzung für alternative Treibstoffe wäre zunächst einmal die Schaffung einer entsprechenden ISO-Norm für Biobunkeröle.

Überdies sind Bunkeröle im Vergleich zu allen anderen Treibstoffen sehr günstig. Sie sind in der Regel das einzige Ölprodukt, das günstiger als Rohöl ist. Biotreibstoffe sind jedoch deutlich teurer als Rohöl, und auch noch teurer als fossile Treibstoffe. So bleibt das wirtschaftliche Interesse der Seeschifffahrt an biogenen Schiffstreibstoffen vorerst gering.

Binnenschifffahrt

In Deutschland werden etwa 10% der Güterverkehrsleistung – gemessen in Tonnenkilometern – auf rund 7.300 km Binnenwasserstraßen erbracht. Die mit Abstand bedeutendste Wasserstraße Deutschlands und Europas ist der Rhein; auf ihm werden ganz oder teilweise mehr als 80% der Transportleistung per Binnenschiff erbracht (Winter 2012).

Die meisten Binnenschiffe, insbesondere Frachtschiffe, werden von Diesel- bzw. Marinemotoren angetrieben. Anders als bei Seeschiffen handelt es sich meist um mittelschnell bzw. schnell laufende

Dieselmotoren. Das Leistungsspektrum beginnt bei etwa 500 kW (teilweise auch noch weniger) und reicht bis ca. 2.500 kW und geht damit deutlich über den Lkw-Bereich hinaus (JOWA 2007; IVR 2011).

Als Treibstoff wird Schiffsdiesel eingesetzt. Die Anforderungen an die Beschaffenheit von Schiffsdiesel werden – ebenso wie für den Straßenverkehr – in der 10. Bundesimmissionsschutzverordnung geregelt. Bisher konnten Binnenschiffe Treibstoffe in Heizölqualität (entsprechend nationaler DIN 51603-1) bunkern. Seit dem 1.1.2011 darf nach EU-Richtlinie 2009/30/EG EU-weit nur noch schwefelfreier Treibstoff eingesetzt werden.

Anders als für den Straßenverkehr ist ein biogener Anteil für die Binnenschifffahrt – nach Biokraftstoffquotengesetz oder Kraftstoffnorm – nicht vorgegeben oder vorgesehen. Die Binnenschifffahrt ist jedoch ein kleiner Markt von zuletzt rund 250.000 Tonnen (DIW 2011), der sich überdies zu großen Teilen in den Niederlanden versorgt. Ein separater, von Bioanteilen freier Treibstoff ist daher unter Umständen nicht immer verfügbar. Zudem wird vom Bundesverband der Binnenschifffahrt empfohlen, möglichst nur normgerechten Diesel (nach EN 590) zu verwenden. Auch wenn bislang Schiffsdiesel ohne Bioanteile verfügbar ist, muss davon ausgegangen werden, dass im Treibstoff für Binnenschiffe biogene Beimischungen wie bei Straßenkraftstoffen auch anzutreffen sind (BDB 2010+2011).

Biogene Anteile von bis zu 5 Vol% gelten heute als weitgehend unbedenklich. Binnenschiffe sind jedoch, je nach Typ, über 30 oder gar 50 Jahre alt. Über die Verwendung höherer biogener Anteile in oftmals älteren Schiffsmotoren liegen bislang kaum gesicherte Erkenntnisse vor. Auch dürften die technischen Restriktionen für die Verwendung von Biokraftstoffen mit der neuen Abgasgrenzstufe IIIb für Schiffsmotoren (ähnlich wie bei Lkw und Euro VI) enger werden. Höhere biogene Anteile erfordern auch hier einen höheren Aufwand im Schiffsfahrtsbetrieb, zum Beispiel für Kontrolle und Instandhaltung von Kraftstoffsystemen und Lagerhaltung.

SCHIENENVERKEHR

Im Verkehrsträgervergleich ist der Schienenverkehr derjenige Verkehrsträger, der am weitesten elektrifiziert ist. So sind heute

lediglich rund 40% des Deutschen Bahnnetzes nicht elektrifiziert. Etwa 90% der per Bahn erbrachten Güter- bzw. Personenverkehrsleistungen werden mit elektrisch betriebenen Fahrzeugen erbracht (Kettner 2011).

Gleichwohl ist davon auszugehen, dass es im Schienennetz aus wirtschaftlichen Gründen auch in Zukunft oberleitungsfreie Abschnitte geben wird. Im Regionalverkehr auf Nebenstrecken, aber auch im Rangierbetrieb werden daher auch weiterhin Dieselloks beziehungsweise -triebwagen zum Einsatz kommen.

Sowohl dieselmechanische, dieselhydraulische als auch dieselektrische Antriebe gibt es im Bahnverkehr schon lange. Die hierbei eingesetzten Dieselmotoren weisen ein Leistungsspektrum von etwa 300 kW für kleinere Rangierloks bis 3000 kW für schwere Dieselloks auf. Dieselmotoren für Schienenfahrzeuge sind damit meist (deutlich) leistungstärker als Lkw-Motoren; sie unterliegen zudem einer gesonderten Abgasregulierung für nichtstraßengebundene Fahrzeuge (EU-Nonroad-Richtlinie 97/68/EG).

Perspektivisch ist bei der Dieseltraktion von einer weiteren Hybridisierung beziehungsweise Teil-Elektrifizierung des Antriebs auszugehen. Allerdings weisen Dieselloks mit etwa 15 bis 20 Jahren, oder auch 30 Jahren bei Retrofitmaßnahmen, recht hohe Lebensdauern auf. Mittelfristig ist von einem langsam abnehmenden, aber weiterhin relevanten Anteil von Dieseltraktion im Eisenbahnbetrieb auszugehen.

Die im Dieselbetrieb eingesetzten Kraftstoffe entsprechen weitgehend handelsüblichen Dieselmotorkraftstoffen (einschließlich Biobeimischung). Hierdurch kann zum Teil die für den Straßenverkehr bestehende Distributionsstruktur für Dieselmotorkraftstoff mit genutzt werden. Etwa 15% des heutigen Endenergieverbrauchs des Schienenverkehrs ist Dieselmotorkraftstoff, rund 85% dagegen Strom. Zuletzt wurden ca. 300.000 Tonnen Dieselmotorkraftstoffe (2010) verbraucht; das entspricht etwa 1% des gesamten deutschen Dieselmotorkraftstoffverbrauchs (DIW 2011). Auch der Bahnverkehr ist somit ein sehr kleines Marktsegment.

STRATEGISCHE OPTIONEN FÜR DIE VERKEHRSTRÄGER:

Biokraftstoffe sind in ihren chemischen Eigenschaften mineralischen Kraftstoffen ähnlich: Sie sind ebenfalls flüssig und weisen eine hohe Energiedichte auf. Energie für Verkehrszwecke kann mit Biokraftstoffen fast ebenso gut gespeichert und transportiert werden wie mit konventionellen Kraftstoffen. Generell sind Biokraftstoffe daher gute Substitute oder Ergänzungen konventioneller Kraftstoffe.



Biokraftstoffe können – als einzige alternative Energiequelle – in heutigen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren und zugehörigen bestehenden Versorgungsinfrastrukturen eingesetzt werden. Biokraftstoffe haben folglich einen hohen strategischen Wert für den Verkehrssektor (Lahl 2009). Ihr Wert für einen spezifischen Verkehrsträger ist umso höher, je weniger alternative Energieoptionen dieser besitzt.

Auch wenn alternative Antriebe im Straßenverkehr bisher noch kaum eine Rolle spielen, sind ihre Einsatzmöglichkeiten im Pkw-Sektor voraussichtlich am größten. Im schweren Güterkraftverkehr, insbesondere im Straßengüterfernverkehr sowie in der Luftfahrt sind flüssige Kraftstoffe dagegen kaum bzw. gar nicht zu ersetzen. Hier können Biokraftstoffe künftig eine große Rolle spielen; hier ist der strategische Wert von Biokraftstoffen am größten. Die Schifffahrt befindet sich bezüglich biogener Treibstoffe noch in der Orientierungsphase, besitzt zu Marinediesel / Bunkeröl im Prinzip bislang aber ebenfalls kaum Alternativen. Im Schienenverkehr beschränkt sich der Einsatz von Biokraftstoffen auf Dieselloks, die primär auf nicht elektrifizierten Streckenabschnitten fahren.



Es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Biokraftstoffe. Es gibt Biokraftstoffe, die mehr oder weniger nahtlos in Verbrennungsmotoren eingesetzt werden können (Drop-in Fuels). Und es gibt Biokraftstoffe, die nur nach mehr oder weniger umfangreichen technischen Modifikationen der Motorentechnologie verwendet werden dürfen. Je anspruchsvoller die Antriebstechnologie (zum Beispiel in der Luftfahrt) und die Abgasstandards (zum Beispiel für Kraftfahrzeuge), desto höher auch die Anforderungen an Biokraftstoffe und desto größer die Einschränkungen für ihre Verwendung.

Der Straßenverkehr ist heute der größte Anwender von Biokraftstoffen. Die heute für den Straßenverkehr verfügbaren Biokraftstoffe können meist nur in gewissen Grenzen, bis zu einer technisch festgelegten Grenze (Blending Wall) beigemischt werden – und nur ausnahmsweise in reiner Form genutzt werden. Die maximale Beimischung liegt aktuell bei 10 Volumenprozent Bioethanol zum Ottokraftstoff und bei 7 Vol% Biodiesel zum Diesellok. Während für Ottofahrzeuge ein Anheben der Blending Wall auf über 10 Volumenprozent Bioethanol diskutiert wird, tendiert der Dieselsektor eher zu höheren Beimischungen (wie B20/30) für ausgewählte Fahrzeug-/ Anwendergruppen.

Weitgehend nahtlos einsetzbar sind Drop-in Biofuels; ihre Herstellung ist jedoch verfahrenstechnisch deutlich aufwendiger als bei konventionellen Biokraftstoffen. Drop-in Fuels finden sich ferner bislang ausschließlich zu kleinen Teilen im Dieselsektor. Sie finden sich nicht bei den Ottokraftstoffen.

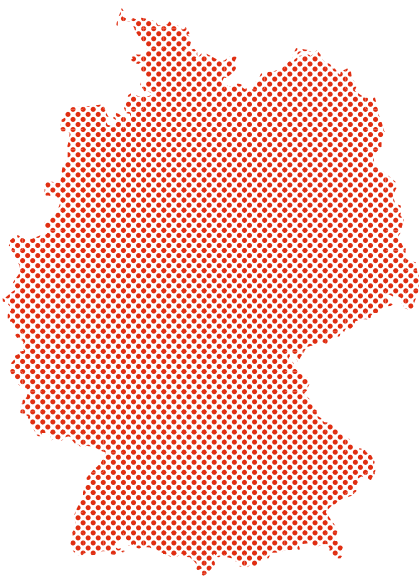
Pkw konsumieren heute den größten Anteil am globalen Kraftstoffverbrauch; durch Bio-Beimischungen wird eine große Reichweite erreicht. Pkw sind insofern die technischen Vorreiter im Einsatz von Biokraftstoffen. Mittelfristig könnten nachhaltige Biokraftstoffe für Verkehrsträger ohne technische Alternativen ein Zielkraftstoff (Destination Fuel) sein, insbesondere für den Straßengüterfernverkehr oder – langfristig – für die Luftfahrt.



6 BIOKRAFTSTOFFE IN SZENARIEN: WOHN KANN DIE REISE GEHEN?

Die bisherigen Kapitel haben gezeigt, dass Biokraftstoffe bisher in Deutschland, in der EU und auch weltweit einen eher kleinen Beitrag zur Energieversorgung des Verkehrs leisten. Jedoch bestehen mittel- bis langfristig große Potenziale: durch Nachhaltigkeitsanforderungen und fortschrittliche Herstellungsverfahren könnten Biokraftstoffe erhebliche Anteile der künftigen Kraft- und Treibstoffbedarfe bereitstellen – vorausgesetzt, die Kompatibilität von Biokraftstoffen mit den jeweiligen Verkehrsträgern, die Nachhaltigkeit der Rohstoffbereitstellung und Kostensenkungen bei der Herstellung können sichergestellt werden.

Es bleibt zu fragen, in welchem Maß diese Potenziale zu welchem Zeitpunkt in Deutschland, in der EU und global umgesetzt werden könnten, wenn die ambitionierten Ziele von Klima- und Ressourcenschutz ernst genommen würden. Dazu dienen Szenarien. Szenarien sind keine Prognosen, sondern beschreiben mögliche Zukünfte, die unter bestimmten Bedingungen eintreten könnten. So projizieren Technologieszenarien künftige Entwicklungen auf Basis technologischer Potenziale (z.B. Shell 2009-2011 für Verkehr und Energie); Referenzszenarien schreiben Trends der jüngeren Vergangenheit fort. Zielszenarien zeigen dagegen mögliche Wege auf, wie vorgegebene Ziele erreichbar wären. Hier interessiert, was notwendig wäre, um das globale 2°C-Klimaschutzziel bis 2050 sowie die Zwischenziele für 2020 und 2030 zu erreichen und welche Rolle Biokraftstoffe dabei spielen könnten.



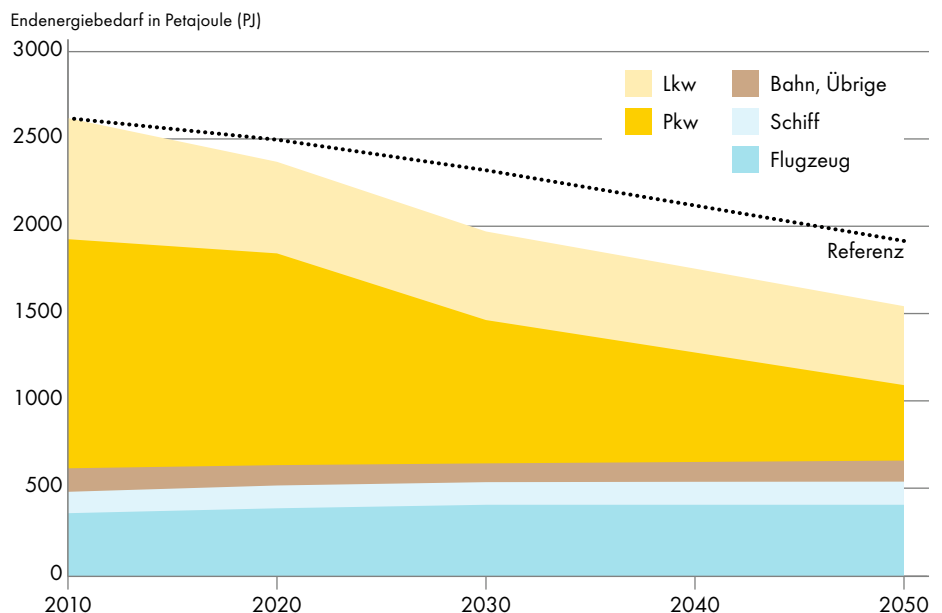
DEUTSCHLAND

Viele Untersuchungen der letzten Jahre haben die zukünftige Mobilität als Teil einer umfassenden Energiewende analysiert. Wesentlich sind „Modell Deutschland“ (Prognos, ÖKO 2009), die Szenarien zum Energiekonzept der Bundesregierung (Prognos, EWI, GWS 2010) und die „Leitstudie“ des BMU (Nitsch u.a. 2012) sowie renewbility (ÖKO, DLR, ISI 2012).

Die 2°C-Zielszenarien für Deutschland zeigen, dass bis 2020 Biokraftstoffe den überwiegenden Beitrag zur Erfüllung des RED-Ziels von 10% erneuerbarer Energieträger im Straßenverkehr leisten müssten (DBFZ 2010). Bis 2030 wäre der Spielraum größer: Biokraftstoffe könnten ohne Einbeziehung des internationalen Flugverkehrs je nach Szenario 250-500 PJ beitragen und so 15 bis 35% des Energiebedarfs im Verkehr decken, vorwiegend für Pkw und Lkw (dena 2011). Mit Blick auf das Jahr 2050 und unter Einbeziehung des internationalen Flug- und Schiffsverkehrs zeigen die Szenarien ein anderes Bild:

- Elektromobilität und Wasserstoff können vor allem bei Pkw deutlich zulegen, die Bahn könnte Anteile am Personen- und Güterverkehr gewinnen und weitgehend durch erneuerbaren Strom versorgt werden, ähnlich wie der Öffentliche Nahverkehr mit Straßen-, S- und U-Bahnen.
- Der Beitrag erneuerbaren Stroms oder daraus hergestellten Wasserstoffs würde aber auch bis 2050 bei Gütertransporten (Lkw, Schiffe) und dem Flugverkehr gering bleiben (UBA 2010). Die Ablösung fossiler Kraftstoffe in diesen Verbrauchsbereichen müsste vorwiegend durch Biokraftstoffe der 2. Generation erfolgen – bei Lkw zu fast 100%, bei Flugzeugen und Schiffen zu 50%.

21 ENDENERGIEBEDARF DES VERKEHRS IM 2°C-SZENARIO FÜR DEUTSCHLAND 2050



Quelle: Prognos, EWI, GWS (2010); ÖKO, DLR, ISI (2012); Nitsch u.a. (2012); ÖKO (2011); eigene Berechnungen

- Bei den Pkw könnten Elektro- und H₂-Antriebe gut 40% der durch Effizienzverbesserungen stark reduzierten Energienachfrage darstellen, etwas mehr als die Hälfte würde weiterhin durch Biokraftstoffe bereitgestellt.

Biokraftstoffe würden zusammen gut zwei Drittel des stark reduzierten Energiebedarfs im Verkehr stellen, gefolgt von erneuerbarem Strom und Wasserstoff. Fossile Kraftstoffe würden nur noch im internationalen Flug- und Schiffsverkehr Verwendung finden mit weniger als 20% des gesamten Energiebedarfs im Verkehr. Es wäre sicherlich auch möglich, statt Biokraftstoffe etwa vermehrt Wasserstoff oder aus erneuerbarem Strom hergestellte Flüssigkraftstoffe einzusetzen, was aber aus heutiger Sicht gegenüber nachhaltig produzierten, fortschrittlichen Biokraftstoffen teurer wäre. Auch könnte eine Teilelektrifizierung der Lkw-Transporte den Bedarf an Biokraftstoffen senken (SRU 2012).

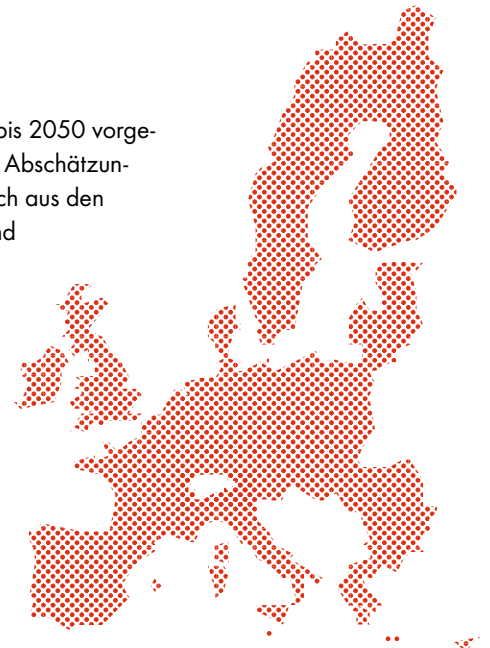
Insoweit bietet das hier skizzierte Szenario Spielraum: Es soll die Größenordnung der Rolle aufzeigen, die Biokraftstoffe unter bestimmten Bedingungen spielen könnten.

Das nachhaltige deutsche Bioenergiepotenzial reicht aus, um bis 2050 den verbleibenden Bedarf an Flüssigkraftstoffen im Verkehr durch Biokraftstoffe zu decken. Dabei würden Strom und Wärme auf andere Erneuerbare als Bioenergie setzen. Fundamental für die „Verkehrswende“ ist aber, dass der Energiebedarf durch Effizienzsteigerungen bis 2050 gegenüber heute um 40-50% gesenkt wird.

EUROPÄISCHE UNION

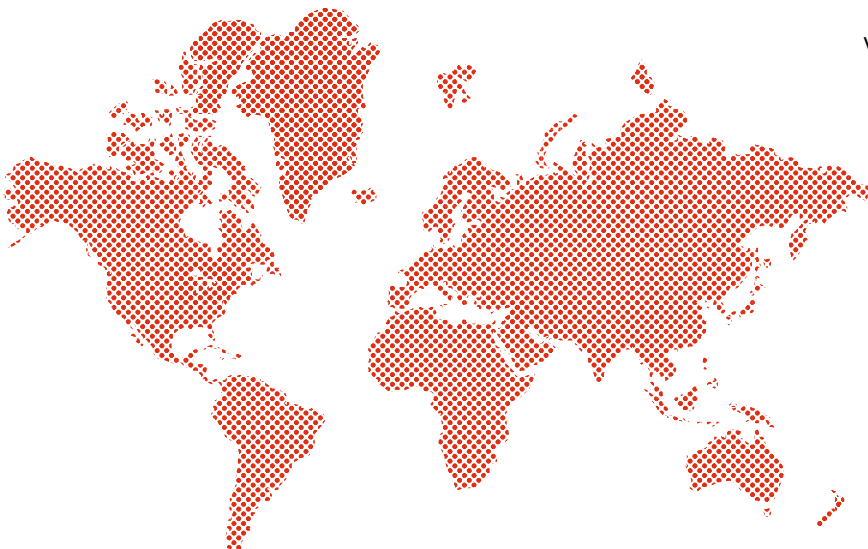
Die EU hat im Jahr 2011 mehrere „Roadmaps“ zur künftigen Energie-, Klima- und Verkehrspolitik bis 2050 vorgestellt. Diese Fahrpläne beruhen teilweise auf quantifizierten Szenarien, aber auch auf qualitativen Abschätzungen über mögliche Entwicklungen. Ein integriertes Zielszenario steht noch aus. Dennoch lassen sich aus den roadmaps – bei allen Unterschieden in der Rolle von zum Beispiel Atomenergie, Erneuerbaren und Energieeffizienz – weitgehend gleiche Aussagen zum Verkehr im Jahr 2050 ablesen, die nötig wären, um die Zielsetzung „Klima- und Ressourcenschutz“ zu erreichen (EC 2011a+c):

- Pkw und Lkw würden erheblich effizienter und emissionsärmer, der (elektrifizierte) Bahnverkehr weiter ausgeweitet;
- Die Elektromobilität könnte bei Pkw gut 65% betragen, Biokraftstoffe hätten Anteile um 15%;
- Bei Lkw sowie Schiff- und Luftfahrt würden Biokraftstoffe mit über 40% Anteil eine stark steigende Rolle spielen;
- Biokraftstoffe der 1. Generation würden ab 2030 weitgehend durch fortgeschrittene Verfahren ersetzt, Importe würden sich auf zuckerrohrbasiertes Ethanol konzentrieren und unter 20% des Bedarfs liegen.



Die Entwicklungslogik der EU-Roadmaps zur Erreichung des globalen 2°C-Klimaziels entspricht den Langfrist-Szenarien für Deutschland.

WELTWEITE PERSPEKTIVEN



Weltweit gibt es heute mehr als eine Milliarde Kraftfahrzeuge – rund 750 Mio. Pkw und über 300 Mio. Nutzfahrzeuge (VDA 2011) – bis 2050 könnten es 2 Mrd. Pkw sein, da die Motorisierung sowie Personen- und Gütermobilität vor allem in Schwellenländern anwachsen. Als Ergebnis dieser Trends würden sich die Personenverkehrsleistungen bis 2050 verdoppeln und der Straßengüterverkehr verdreifachen (IEA 2012a).

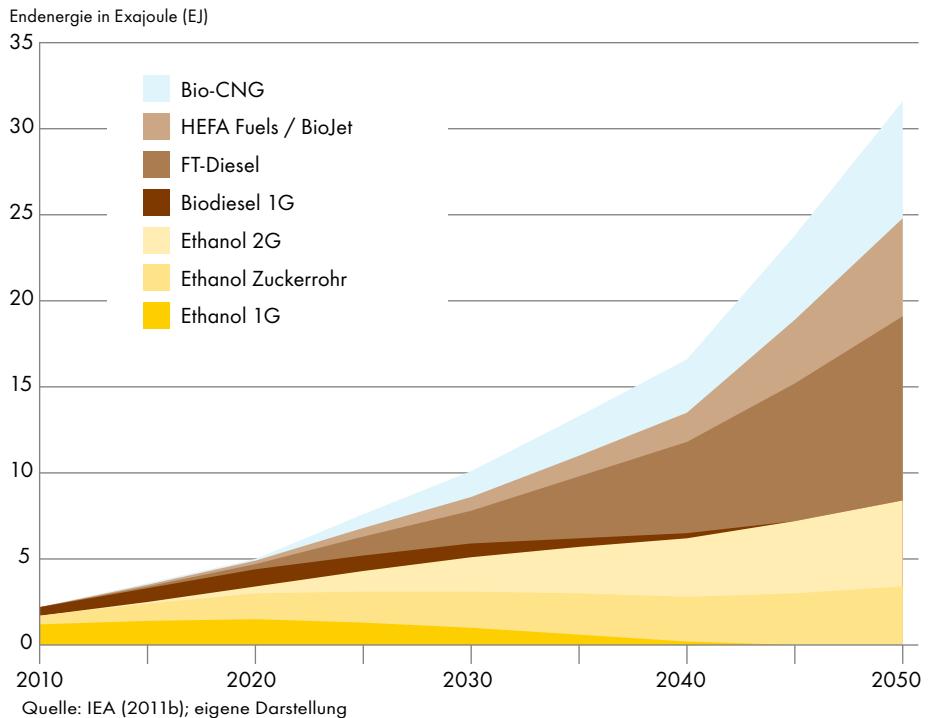
Der internationale Flugverkehr ist seit 1980 um jährlich etwa 5% gewachsen und wird dies abgeschwächt auch in den kommenden Jahrzehnten tun, vor allem in Asien. Diesen Trends wurden nun in verschiedenen Studien der IEA – unter anderem Global Energy

Outlook, Biofuels Roadmap 2050 und Technology Perspectives 2050 – ein anderer Blick in die Zukunft gegenübergestellt:

Wie in Deutschland und der EU wurde gefragt, wie die künftige globale Entwicklung des Verkehrs aussähe, wenn die Einhaltung des 2°C-Klimaziels vorausgesetzt wird (IEA 2011a-b + 2012a). Das Ergebnis dieser Studien führt zu einem recht einheitlichen Bild:

Der Biokraftstoffbedarf könnte sich bis 2050 gegenüber 2010 verzehnfachen. Dabei würde die 1. Generation (Biodiesel und Ethanol) ab 2030 zunehmend durch fortschrittliche Biokraftstoffe (2. Generation) abgelöst. Der Hauptzuwachs für Biokraftstoffe läge ab diesem Zeitpunkt bei Lkw, Schiffen und dem Flugverkehr; parallel stiege die Elektromobilität stark an und würde teilweise Biokraftstoffe bei Pkw ersetzen. Der von der IEA bis 2050 ermittelte globale Biokraftstoffbedarf von rund 30 EJ würde 25 bis 50% des global verfügbaren nachhaltigen Bioenergiepotenzials ausschöpfen. Damit wäre auch Bioenergie für die Strom- und Wärmenachfrage verfügbar und könnte dort fossile Energieträger ersetzen.

22 WELTWEITE BIOKRAFTSTOFFNACHFRAGE BIS 2050



Auch im globalen Maßstab könnten Biokraftstoffe künftig eine wesentliche Option sein, wenn sie nachhaltig bereitgestellt werden – und auch die IEA geht von einem Umstieg von Biokraftstoffen der 1. Generation zu fortschrittlichen Biokraftstoffen aus, der ab 2030 erfolgt. Wie in den Zielszenarien für Deutschland und der EU stellen die massive Erhöhung der Effizienz bei allen Verkehrsmitteln, die erfolgreiche Einführung der Elektromobilität bei den Pkw sowie der drastische Ausbau der anderen Erneuerbaren im Strombereich die zentralen Annahmen dar.

SAGEN ZIELSZENARIEN DIE WAHRHEIT?

Die vorherigen Abschnitte dieses Kapitels stellten knapp Ergebnisse ambitionierter Zielszenarien dar, die eine Erfüllung der Klima- und Ressourcenschutzziele annehmen. Ein Vergleich mit entsprechenden Referenz-Szenarien, die ohne solche Ziele die längerfristige Entwicklung in Deutschland, in der EU und weltweit projizieren, zeigt deutlich die sehr signifikanten Herausforderungen, die sich bei einer Umsetzung der Zielszenarien ergeben. Es ist aus heutiger Sicht keineswegs sicher, dass bis 2030 und danach die Annahmen der Zielszenarien eintreten. Sie stellen deshalb keine „Wahrheit“ dar.

Als Ergebnis bleibt bei aller Unsicherheit aber festzuhalten, dass die hier ermittelten künftigen Mengen an Biokraftstoffen eine belastbare Größenordnung aufweisen, die sich als „Restmenge“ dann ergibt, wenn die anderen erneuerbaren Energien, die Elektromobilität und die Kombination von Brennstoffzellen mit Wasserstoff erfolgreich ausgebaut werden können. Wenn dies nicht gelingt und wenn die ebenfalls sehr ambitionierten Ziele zu massiven Effizienzsteigerungen im Verkehr und im Wärmebereich nicht parallel erreicht werden, würden die Zielszenarien noch mehr Biokraftstoffe erfordern.

Umgekehrt gilt aber auch, dass bei den unterlegten Annahmen zur Nachfrageentwicklung, Ölpreisen, Technikfortschritt und ökonomischen Rahmendaten Biokraftstoffe (außer Ethanol aus Zuckerrohr) nur dann in den Markt kommen, wenn sie erheblich gefördert werden. Dies liegt daran, dass in den Zielszenarien ein impliziter Mechanismus die künftige Ölpreissteigerung dämpft: anstelle der in den Referenz-Szenarien weiter ansteigenden Ölnachfrage mit entsprechenden Preiswirkungen nach 2020 („peak oil“) führen die angenommenen massiven Effizienzverbesserungen und die Einführung der Erneuerbaren – inklusive Biokraftstoffen – zu einer Reduktion der Ölnachfrage und damit zu einem vergleichsweise nur moderaten Ölpreisanstieg.

In den Referenz-Szenarien ohne hohe Effizienz und Erneuerbare sind dagegen höhere Ölpreise wahrscheinlich, was wiederum zu einer gesteigerten Attraktivität der Biokraftstoffe führt – allerdings weniger der fortschrittlichen (und kostenträchtigeren) 2. Generation, sondern konventioneller Biokraftstoffe auf Basis von Öl-, Stärke- und Zuckerpflanzen. Da bei höheren Ölpreisen auch die Agrarproduktpreise steigen und dies die Kosten konventioneller Biokraftstoffe erhöht, wird es ohne Förderung jedoch kaum zu einer massiven Ausdehnung kommen, von einzelnen Ausnahmen (zuckerrohrbasiertes Ethanol) abgesehen. Eine Energiewende wird dies jedoch nicht sein.

7 WAS FOLGT? EMPFEHLUNGEN FÜR BIOKRAFTSTOFFE

Die Szenarien zur Umsetzung der Energiewende im Verkehrssektor und zur Erreichung des weltweiten 2°C-Klimaschutzziels zeigen, dass Biokraftstoffe eine durchaus große Zukunft haben können – in Deutschland, der EU und weltweit. Voraussetzung dafür ist, dass sich Biokraftstoffe erfolgreich vier zentralen Herausforderungen stellen:

- Die **Entkopplung** ihrer Rohstoffbasis von Nahrungs- und Futtermitteln – Stichwort Ernährungssicherung;
- Die reale **Netto-Reduktion** von Treibhausgasen gegenüber fossilen Kraftstoffen – Stichwort iLUC;
- Die Flächen- und Ressourceneffizienz – Stichwort **Kaskadennutzung**;
- Die **Kosteneffizienz** – Stichwort konkurrierende Optionen (Elektromobilität, erneuerbare Flüssigkraftstoffe).

Im Folgenden wird diskutiert, welche Maßnahmen nötig sind, um diese Voraussetzungen eintreten zu lassen – und mit welcher Zeitperspektive.

AUFWUCHS UND NACHWUCHS: BIOKRAFTSTOFFE ALS TEIL DER ENERGIEWENDE

Bioenergie liefert in Deutschland rund 90% der alternativen Energien für die Wärmeversorgung und ca. 30% für die Stromerzeugung (BMU 2012). Damit ist Bioenergie heute und in den nächsten Jahren ein wichtiger Baustein der Energiewende im Bereich Strom und Wärme. Biokraftstoffe erlangen erst mittel- und längerfristig wesentliche Bedeutung – unter bestimmten Voraussetzungen. Solange fossile Energieträger – vor allem Kohle – noch zur Stromerzeugung, aber auch zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden, liegt die beste Nutzung von Bioenergie nicht im Verkehr, sondern im Ersatz von Kohle im Stromsektor und in der Kraft-Wärme-Kopplung, wobei dies auch international gilt (CE, OEKO 2010).

Bioenergie – insbesondere Biogas und Biomethan – kann dabei wichtige Regelungs- und Speicheraufgaben im Stromsystem wahrnehmen und helfen, die Kraft-Wärme-Kopplung in der Industrie auszubauen (UBA 2010; Nitsch u.a. 2012).

Soll die Energiewende auch im Verkehrssektor umgesetzt werden, erfordert dies nicht nur Veränderungen im Verkehrssektor, sondern weitere substantielle Umbauten im gesamten Energiesystem; dabei ändert sich insbesondere auch die sektorale Rolle der Bioenergie:

Zunächst einmal müssen im Verkehrssektor – technische Verbesserungen vorausgesetzt – wesentlich effizientere Fahrzeuge zum Einsatz kommen. Dies geschieht vorzugsweise durch eine signifikante Verbesserung konventioneller Antriebstechnik und eine zunehmende Elektrifizierung der Pkw-Flotte (Hybrid; Elektro), insofern kostengünstige Batterien verfügbar werden.

Perspektivisch, das heißt auf sehr lange Sicht, muss sich der Einsatz flüssiger Kraftstoffe auf die Verkehrsträger fokussieren, die keine oder kaum Alternativen zum Verbrennungsmotor haben – auf schwere Lkw im Straßengüterfernverkehr, auf Verkehrsflugzeuge sowie eventuell auch auf die Schifffahrt (sofern hier langfristig nicht LNG zum Einsatz kommt).

Weitere dynamische Zuwächse bei Solar- und vor allem Windenergie würden es sodann erlauben, die energetische Biomassenutzung aus der Stromerzeugung allmählich in Richtung Verkehr zu verlagern.

Die größten Bioenergieserven liegen in der Wärmeerzeugung; hier werden heute rund 60% der gesamten Bioenergie eingesetzt (BMU 2012). Hohe Effizienzsteigerungen bei den Gebäuden sowie Solar- und Geothermie können auch hier Bioenergie ab 2030 „freisetzen“; dazu müsste jedoch auch der Trend zu fester Biomasse im Hausbrand wieder umgekehrt werden.

Der heute für Biokraftstoffe genutzte Biomasse-Aufwuchs würde sich unter diesen Bedingungen in zweierlei Richtungen verändern:

Der stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen oder ihrem Einsatz in Bioraffinerien müsste Vorrang eingeräumt werden, um sie in der Konkurrenzsituation

um Biomasse gegenüber Bioenergie ausbaufähig zu machen. Der „Energiewert“ der biogenen Produkte bliebe bis zum Ende der Nutzungsdauer erhalten. Als Abfall- und Reststoffe aus Nutzungskaskaden und von Naturschutzflächen können sie gerade auch als Rohstoffe für Biokraftstoffe der 2. Generation dienen.

Anstelle von Raps, Mais und anderen einjährigen Nahrungs- und Futterpflanzen würden auf freiwerdenden Acker- und Marginalflächen sowie in Wasserschutzgebieten Kurzumtriebsholz und mehrjährige Gräser die biogene Rohstoffbasis liefern – hier läge also eine große Umstellungsaufgabe für die Landwirtschaft.

Da mit der Energiewende die Strom- und Wärmebereitstellung nach 2030 zunehmend aus anderen Erneuerbaren erfolgt, könnte der biogene Nachwuchs für Biokraftstoffe eingesetzt werden. Dies aber nur, wenn die entsprechenden 2. Generation-Technologien zur Verfügung stehen. Dann können Biokraftstoffe langfristig die Gewinner sein: zuerst bei Pkw, Bussen und Lkw, ab 2030 auch bei Flugzeugen und am Ende auch in der Schifffahrt.

WIE IST DER GENERATIONENWECHSEL ZU SCHAFFEN?

Diese „Bio-Wende“ für den Verkehrssektor würde bedeuten, dass Kraftstoffe der 1. Generation mit Rohstoffen aus Deutschland und Europa keine Zukunft hätten: ihre Klima- und Ressourceneffizienz ist zu ungünstig und ihre Rohstoffbasis konkurriert zunehmend mit „wertvolleren“ Nutzungen wie Ernährung und stofflichem Einsatz.

Bis heute sind aber ihre Nachfolger – die 2. Generation – nicht am Markt verfügbar. Dies liegt vor allem daran, dass die steuerliche Förderung und Anreize aus den europäischen Regelungen (RED, FQD) nicht ausreichen, um die erheblichen Investitionen in Demonstrations- und erste Serienanlagen zu rechtfertigen, die zur Markteinführung nötige Zwischenstufen wären. Die RED sieht zwar eine Doppelanrechnung für Biokraftstoffe aus Abfällen, Reststoffen, zellulosehaltigem Non-Food-Material und lignozellulo-

sehaltigem Material vor, in der FQD werden diese fortschrittlichen Biokraftstoffe aber nicht wesentlich unterstützt. Zu unsicher ist daher, welche Erlöse sich für welche Mengen künftig erzielen lassen.

Nach der Begründung der EU ist das verbindliche 10%-Ziel für Erneuerbare im Kraftstoffmarkt bis 2020 dann angemessen, **wenn Biokraftstoffe nachhaltig hergestellt und die 2. Generation kommerziell zur Verfügung stünde** (EU 2009a).

Zur Lösung noch bestehender technischer Probleme in der Herstellung fortgeschrittener Biokraftstoffe reicht es nicht, einfach abzuwarten: bei der aktuellen Marktsituation und Gesetzeslage gibt es keine Weiterentwicklung. Dafür wären erhebliche Investitionen nötig, die wiederum nur dann stattfinden, wenn die erwartbaren Erlöse kalkulierbar und der entsprechende Absatz weitgehend gesichert ist. Um dies auch bei den fortschrittlichen Biokraftstoffen zu erreichen, wird hier eine Kombination von drei Maßnahmen vorgeschlagen:

RED und FQD müssen die „ökologische Wahrheit“ der Biokraftstoffe einfordern, das heißt die zur Anrechnung auf das 10%-Ziel notwendige Mindest-Treibhausgasreduktion nach der RED und die THG-Minderung aller Kraftstoffe nach der FQD werden unter Einbeziehung indirekter Effekte bestimmt (iLUC). Dies kann noch 2013 vorbereitet, bis 2014 umgesetzt und eingedenk von Übergangsfristen bis spätestens 2017/18 wirksam werden. Dann wären zusätzliche, in Deutschland und Europa hergestellte Biokraftstoffe der 1. Generation aufgrund zu hoher Treibhausgas-Emissionen nicht mehr auf die Quote anrechenbar und es gäbe „Platz“ für die 2. Generation.

Die Nachhaltigkeitskriterien der RED werden auf feste und gasförmige Bioenergieträger ausgeweitet, um Chancengleichheit bei der Nutzung biogener Abfall- und Reststoffe sicherzustellen: die Mitverbrennung (und Anrechnung im Emissionshandel) und die Herstellung von Kraftstoffen der 2. Generation (für RED und FQD) hätten den gleichen Anforderungen zu genügen.

Zur Investitionssicherheit wird über 10 Jahre ein europäisches Markteinführungsprogramm für 2. Generation-Biokraftstoffe aufgestellt, das technikoffen die Erzeugung

von biogenem Diesel der 2. Generation und Bioethanol aus Lignozellulose absichert und ausreichend honoriert.

Da sich der Kraft- und Treibstoffmix Deutschlands und Europas strukturell stärker hin zu den Mitteldestillaten Diesel, Schiffs- beziehungsweise Marinediesel und Kerosin entwickelt, während die europäischen Raffinerien schon heute beim Ottokraftstoff Überschüsse erzeugen, wäre zudem ein besonderer Anreiz für biogene Mitteldestillat-Substitute sinnvoll.

FROM RIO WITH LOVE?

Mit der angelaufenen Zertifizierung der Nachhaltigkeit biogener Kraftstoffe können auch Biokraftstoffe nach Europa importiert und auf das RED-Ziel für 2020 angerechnet werden. Bisher sind es aufgrund von Zöllen, ungünstiger Wechselkursrelationen und höherpreisigen anderen Verwendungen aber eher geringe Mengen gewesen.

Künftig könnten vor allem Argentinien und Brasilien aufgrund der dortigen Landnutzungsregelungen mittelfristig auch Biokraftstoffe (beziehungsweise entsprechende Rohstoffe) bereitstellen, die die geltenden Nachhaltigkeitsanforderungen auch inklusive der hier geforderten Berücksichtigung von indirekten Landnutzungsänderungen erfüllen. Weitere Staaten in Osteuropa und Länder wie Indonesien und Mosambik haben entsprechende Potenziale ungenutzt oder degradierter Flächen, müssten aber die gesetzlichen Grundlagen zur Einhaltung erweiterter Nachhaltigkeitsanforderungen und deren Nachweis schaffen.

Hier ist für künftige Importe nach Europa und Deutschland zu fordern, dass neben den schon in der RED enthaltenen Regelungen auch soziale Fragen wie Landrechte und Ernährungssicherheit über bi- oder multilaterale Abkommen ausreichend geregelt werden.

Dabei müssen außerdem die unter anderem von der FAO (2012a) und UNEP (IFEU, CI, Oeko 2012) entwickelten Ansätze für einen projektbasierten Nachweis der Ernährungssicherheit für importierte Biokraftstoffe praktisch demonstriert und bei der Vergabe von Krediten für Biokraftstoffinvestitionen durch bi- und multilateralen Entwicklungsbanken angewendet werden. Um die Nahrungs- und Futtermittelherzeugung zu verbessern, sind solche

Investitionen grundsätzlich mit parallelen Modernisierungsmitteln für die Landwirtschaft der jeweiligen Länder zu verknüpfen, wie es etwa in Südafrika schon gesetzlich vorgeschrieben ist.

STRATEGISCHE INVESTITIONEN

Die hier skizzierte „Bio-Wende“, die als Teil der Energiewende auf die Umgestaltung der Kraftstoffversorgung hin zu nachhaltigen Optionen zielt, erfordert wie die Energiewende auch erhebliche Investitionen – sowohl zur Herstellung der Kraftstoffe der 2. Generation wie auch zur Kultivierung entsprechender Rohstoffe.

In der Energiewirtschaft werden in großem Umfang Investitionen sowohl im Upstream als auch im Downstream getätigt. Beides, Investitionen in eine nachhaltige Rohstoffbasis wie auch in moderne Umwandlungsprozesse und -anlagen, ist auch für fortschrittliche Biokraftstoffe nötig.

Unternehmen der Mineralölwirtschaft haben bereits in den führenden Biokraftstoffmärkten der Welt (USA; Brasilien) in Firmen investiert, die auf verbesserten Zuckerrohranbau und effizientere Herstellung von Ethanol zielen. Vergleichbare Schritte wären für den größten (Bio)-Dieselmarkt der Welt (Europa) für biogene Dieselmotorkraftstoffe der 2. Generation wünschenswert; hierbei wären gegebenenfalls die Rahmenbedingungen in Europa mit denen der führenden Ethanolmärkte zu vergleichen beziehungsweise anzupassen.

Auch wurden schon in Kooperation mit europäischen und amerikanischen NGO Konzepte entwickelt, wie sich Flächen ohne Nutzungskonkurrenz und sozialverträglich zur Rohstoffgewinnung für Biokraftstoffe identifizieren und nutzen lassen (CI 2011; Ecofys 2012). Diese Aktivitäten wären zu verstärken – die Verfügbarkeit degradierter Flächen ist zwar gegeben, aber ihre Kultivierung mit mehrjährigen Pflanzen sowie die notwendige Infrastruktur, um dort erzeugte nachhaltige biogene Rohstoffe zu vermarkten, erfordern erhebliche investive Vorleistungen.

Nur wenn dies gelingt, können diese Flächen auch langfristig wieder für den Nahrungsmittelanbau rehabilitiert werden. Wichtig ist es deshalb, nicht das Land aufzukaufen – eine mittelfristige Pacht reicht aus.

AKZEPTANZ UND TRANSPARENZ

Mineralölwirtschaft, Biokraftstoffproduzenten, Automobilwirtschaft und auch die Umweltpolitik haben zur Kenntnis nehmen müssen, dass Konsumenten bei der Einführung neuer Kraftstoffqualitäten empfindlich und kritisch reagieren, insbesondere dann, wenn die technische Verträglichkeit von Kraftstoff und Fahrzeug nicht ausreichend geklärt und wesentliche Fragen zur Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen aufgeworfen werden.

Vorläufig dürfen die nun eingeführten Kraftstoffe B7 und E10 zur Erreichung des RED-Ziels und der nationalen Umsetzung bis 2020 ausreichen, da hier eine doppelte Quotenanrechnung bei Verwendung von Abfall- und Reststoffen möglich ist und auch steigende Elektromobilität – bei Pkw und Bahn – mehrfach mitgezählt werden kann. Allerdings muss die Marktakzeptanz von E10 deutlich erhöht werden. Schwieriger wird es, das FQD-Ziel, die Einsparung von 6% Treibhausgasemissionen durch alle verwendeten Kraftstoffe, umzusetzen; denn hierfür gibt es bislang keine Doppelanrechnung, die Zielerreichung wird ausschließlich an Treibhausgas-Minderungen bemessen. Mittelfristig könnte angepasste Fahrzeugtechnik, die auch höhere biogene Kraftstoffanteile zulässt, zu einer nahtlosen Integration höherer Biokraftstoffanteile beitragen – so wie schon bei E5, B5 und B7. Langfristig und mit Blick auf die in den Zielszenarien nach 2020 weiter ansteigenden Biokraftstoffmengen wären zur Sicherstellung der Akzeptanz Drop-in Fuels wichtig.

Um den kritischen Stimmen und Besorgnissen von Umwelt- und Verbrauchergruppen Rechnung zu tragen und verlorengegangenes Vertrauen zurückzugewinnen, muss die nun etablierte Nachhaltigkeitszertifizierung laufend überprüft und gegebenenfalls weiterentwickelt werden. Als weitere vertrauensbildende Maßnahme über die gesetzliche Zertifizierung hinaus könnte eine Offenlegung der Herkunft (nach wesentlichen Rohstoffen und Ländern) für alle Biokraftstoffe erfolgen. Die Evaluierungsberichte der Bundesanstalt für Ernährungssicherung und Landwirtschaft sind ein erster Ansatz, müssen aber noch weiterentwickelt und verfeinert werden (BLE 2012). Zudem können Biokraftstoffproduzenten und Kraftstoffanbieter ihre zum Teil schon bestehende Nachhaltigkeitsberichterstattung erweitern und konkretisieren.

KURSKORREKTUR: JA, BITTE!

Bei aller Robustheit der Analyse, auf denen die vorstehenden Schlussfolgerungen und Empfehlungen beruhen, ist eine wiederholte und kritische Überprüfung ihrer Umsetzung nötig. Die wichtigsten daraus abzuleitenden Prüfaufträge und Meilensteine lauten wie folgt:

Biogene Rohstoffbasis / Verfügbarkeit

Basis jeder Biokraftstoffstrategie ist ausreichend verfügbare Biomasse für energetische beziehungsweise für Verkehrszwecke. Aus heutiger Sicht gibt es ein robustes Potenzial. Es muss durch Entspannung von Nutzungskonkurrenzen bestmöglich eingesetzt werden (zum Beispiel über Nutzungskaskaden und die Verwendung von Reststoffen). Die existierenden Abschätzungen für Biomasse/Bioenergiepotenziale sollten jedoch etwa alle fünf Jahre wiederholt werden.

Nachhaltigkeit / Zertifizierung

Die Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen soll durch einen verbindlichen kriterienbasierten Zertifizierungsansatz gewährleistet werden. Der europäische Zertifizierungsansatz ist in seinem Anspruch und Umfang bislang einzigartig und einmalig. Besondere Bedeutung kommt hierbei einer hohen Treibhausgaseinsparung sowie dem Schutz der biologischen Vielfalt zu. Die konkrete Ausgestaltung der Nachhaltigkeitsregeln kann oftmals nur durch Annäherung (Iteration) erfolgen und muss daher fortlaufend, mindestens alle zwei Jahre, geprüft und optimiert werden, insbesondere mit Blick auf weitere relevante Themen wie Wasser, Boden und soziale Aspekte.

Um zu gewährleisten, dass die Zertifizierung tatsächlich die Nachhaltigkeit abbildet, müssen die indirekten Landnutzungsänderungen in die Treibhausgasberechnung der RED für Biokraftstoffe sowie die Ausweitung der Nachhaltigkeitskriterien auf alle Bioenergie wirksam umgesetzt werden.

2. Generation Biokraftstoffe

Längerfristig, zwischen 2020 und 2030, müssen Biokraftstoffe der 1. Generation durch die 2. Generation ersetzt werden. Das Mobilisieren von Investitionen für die Kraftstoffe der 2. Generation, für Bioraffinerien und für die nachhaltige Kultivierung von degradierten und von „freiwerdenden“ Agrarflächen durch mehrjährige Anbausysteme benötigt zeitlichen Vorlauf. Für große

Produktionsanlagen ist in der Regel von der Planung bis hin zur effektiven Produktion von mehr als fünf Jahren auszugehen. Damit größere marktrelevante Mengen an Kraftstoffen der 2. Generation ab 2020 folgend zu erwarten sind, müssen spätestens in der zweiten Hälfte des laufenden Jahrzehnts hierfür die Voraussetzungen geschaffen werden.

Sektorale Fokussierung

Die Verwendung von Bioenergie ist auf alle Verbrauchssektoren verteilt, aktuell mit dem Schwerpunkt Stromerzeugung. Um ausreichend Biomasse für die relevanten Verkehrsträger (Lkw, Flugzeuge, Schiff) zur Verfügung zu haben, muss die Bioenergieverwendung im Zeitraum 2020 bis 2030 auf den Verkehrssektor fokussiert werden.

Biokraftstoffziele

Aktuell sollen Biokraftstoffe gemäß RED und FQD dazu beitragen, 10% erneuerbare Energien im Verkehr einzusetzen und dabei mindestens 6% Treibhausgase einzusparen. Mit Blick auf die Weiterentwicklung der EU-Biokraftstoffstrategie Post-2020 müssen beide Ziele gegen Ende des Jahrzehnts – und nicht erst 2021 – noch einmal überprüft und gegebenenfalls erneut angepasst werden.

Technische Alternativen

Sinn und Zweck von Biokraftstoffen hängt nicht nur von deren Bereitstellung, sondern auch von der technischen und Marktentwicklung alternativer Antriebe und Kraftstoffe ab; ihre Beiträge müssen analog von Biopotenzialen und -zielen (jeweils neu) bewertet werden.

Letztendlich erfordert die (Bio)-Energieverwendung im Verkehrssektor regelmäßiges und konsequentes „Nachjustieren“ durch alle Beteiligten. Kurskorrekturen gehören dazu. Sollten jedoch wesentliche Punkte der obigen Prüfliste nicht umgesetzt werden (können), wäre über kurz oder lang allerdings ein Kurswechsel der gesamten Biokraftstoffpolitik unumgänglich.

Das Langfristziel lautet „nachhaltige Biokraftstoffe 2. Generation“ für all die Verkehrsträger, die auf flüssige Kraft- und Treibstoffe angewiesen bleiben. Und es ist machbar.

LITERATURVERZEICHNIS

Adolf J, 2006: Boom in der Biokraftstoffbranche – eine nachhaltige Entwicklung, in: Wirtschaftsdienst, Jg. 86, Heft 12, S. 778-785

Arnold K, Fritsche U, Maga D u.a. 2011: BioCouple – Kopplung der stofflich/energetischen Nutzung von Biomasse – Analyse und Bewertung der Konzepte und der Einbindung in bestehende Bereitstellungs- und Nutzungsszenarien; Verbundprojekt von Wuppertal-Institut, Fraunhofer UMSICHT und Öko-Institut; gefördert vom BMU; Wuppertal

ATAG (Air Transport Action Group) 2009: Beginner's Guide to Aviation Biofuels; Geneva

Bauer S, Margraf G, Kulikowski M 2011: Alternative Fuels Test Program: Plastics, Elastomers and Glue Connections, Fuels Colloquium 2011; Esslingen

BDB (Bundesverband der Binnenschifffahrt) 2010: Merkblatt zur Einführung schwefelfreier Kraftstoffe in der europäischen Binnenschifffahrt ab 1. Januar 2011 (ggfs. mit Bioanteilen); Duisburg

BDB (Bundesverband der Binnenschifffahrt) 2011: Geschäftsbericht 2010/11; Duisburg

BDBe (Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e.V.) 2012: Marktdaten - Die deutsche Bioethanolwirtschaft in Zahlen; Bioethanol-Report 2011 / 2012, Stand: Juni 2012

BioGrace - Biofuel Greenhouse Gas Emissions: Align Calculations in Europe; supported by the programm Intelligent Energy Europe; in cooperation with NLA Agency (NL), Ademe (FR); BE 2020 (AT); BioIS (FR), CIEMAT (ES), Exergica (GR), STEM (SE), 2012

BLE (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung) 2012: Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2011; Bonn

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) 2012: Erneuerbare Energien 2011; Berlin

BMZ (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) 2011: Biokraftstoffe - Chancen und Risiken für Entwicklungsländer; Strategiepapier 14/2011; Bonn

Bringezu S. u.a. 2009: Nachhaltige Flächennutzung und nachwachsende Rohstoffe – Optionen einer nachhaltigen Flächennutzung und Ressourcenschutzstrategien unter besonderer Berücksichtigung der nachhaltigen Versorgung mit nachwachsenden Rohstoffen; Wuppertal Institut, FHI-UMSICHT, IFEU; im Auftrag des UBA; Dessau

BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2011: Jahresbericht 2010; Hamburg/Rostock

BuReg (Bundesregierung) 2012: Roadmap Bioraffinerien im Rahmen der Aktionspläne der Bundesregierung zur stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe; BMELV, BMBF, BMU, BMWi (Hrsg.); Berlin

Cai X, Zhang X, Wang D 2011: Land Availability for Biofuel Production; in: Environ. Sci. Technol. vol. 45 pp. 334-339; Orlando

CARB (California Air Resources Board): Low Carbon Fuel Standard; Final Regulation Order Amend section 95486, title 17, California Code of Regulations (CCR), 2012

CE (CE Delft), OEKO (Oeko-Institut - Institute for applied ecology) 2010: BUBE: Better Use of Biomass for Energy; Background Report to the Position Paper of IEA RETD and IEA Bioenergy; Kampman B, Fritsche U et al.; in collaboration with Clingendael International Energy Programme (CIEP) and Aidenvironment; commissioned by IEA RETD and IEA Bioenergy; Delft/Darmstadt

CI (Conservation International): Sustainable Biofuel Crops; Final Scientific and Progress Report 2011

Dana G et al. 2012: Synthetic biology: Four steps to avoid a synthetic biology disaster; in: Nature vol. 483 no. 29 publ. online 29 February 2012

DBFZ (Deutsches BiomasseForschungsZentrum) 2010: Analyse zur Erreichung des Mindestziels von 10% erneuerbare Energien im Verkehrssektor; Kurzstudie für WWF; Leipzig

DBFZ (Deutsches BiomasseForschungsZentrum), IUP (Institut für Umweltplanung) 2011: Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der Biomassenutzung; DBFZ Report Nr. 4; Edel M u.a.; gefördert vom BMU; Leipzig, Hannover

dena (Deutsche Energie-Agentur GmbH) 2011: Ungeliebt, aber unentbehrlich. Bedarf und Produktion von Mineralöl im künftigen Energiemix; Berlin

DIW (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung), 2011: Verkehr in Zahlen 2011/12; Berlin

Dornburg V et al. 2010: Bioenergy revisited: Key factors in global potentials of bioenergy; in: Energy Environ. Sci. 2010 no. 3, p- 258-267

E&Y (Ernst & Young) 2011: Biofuels and indirect land use change - The case for mitigation; London

EC (European Commission) 2010: Report from the Commission to the Council and the European Parliament on sustainability requirements for the use of solid and gaseous biomass sources in electricity, heating and cooling; SEC(2010) 65/SEC(2010) 66; Brussels

EC (European Commission) 2011a: White Paper - Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system; COM(2011) 144 final; Brussels

EC (European Commission) 2011b: Energy Roadmap 2050; Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions; COM(2011) 885 final; Brussels

EC (European Commission) 2011c: A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050; Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions; COM(2011) 112/4; Brussels

EC (European Commission) 2012a: Renewable energy: a major player in the European energy market. European Commission (COM/2012/271); Brussels

EC (European Commission) 2012b: Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe; {SWD(2012) 11 final; COM(2012) 60 final; Brussels

ECF (European Climate Foundation) 2010: ROADMAP 2050 - practical guide to a prosperous, low-carbon Europe; vol 1-3; Brussels

ECN (Energy Research Centre of the Netherlands) 2011: Renewable Energy Projections as published in the National Renewable Energy Action Plans of the European Member States; prepared for EEA; Petten

ECN (Energy research Center of the Netherlands) 2012: Use of sustainable biomass to produce electricity, heat and transport fuels in EU27; Deliverable D5.3 of the Biomass Futures project; Uslu A et al.; Petten

Ecofys 2012: Potential of Biofuels for Shipping. Final Report; Utrecht

EEA (European Environment Agency) 2006: How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? Report 7/2006; Copenhagen

- EEA (European Environment Agency) 2007: Estimating the environmentally compatible bio-energy potential from agriculture; EEA Technical Report 12/2007, Copenhagen
- EEA (European Environment Agency) 2012: Review of the EU bioenergy potential from a resource efficiency perspective - An update of EEA report No 7/2006; Elbersen B et al.; Copenhagen (forthcoming)
- EK (Europäische Kommission) 2011: Weißbuch: Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum - Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem KOM(2011) 144; Brüssel
- EU (European Union) 2009a: Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC; Brussels
- EU (Europäische Union) 2009b: Richtlinie 2009/30/EG zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Spezifikationen für Otto-, Diesel- und Gasölkraftstoffe, Anhang II, in: Amtsblatt der Europäischen Union, L 140/88-113, 5. Juni 2009, Brüssel
- EurObserv'ER 2012: The State of Renewable Energies in Europe - 11th EurObserv'ER Report; Brussels
- Eurostat 2012: Energy Data for the European Union; Luxembourg
- Faaij A 2008: Bioenergy and global food security; prepared for WBGU; Berlin
- FAO (United Nations Food and Agriculture Organization) 2006: Livestock's long shadow - environmental issues and options; Rome
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2008: The State of Agriculture 2008 - Biofuels: prospects, risks and opportunities; Rome
- FAO (United Nations Food and Agriculture Organization) 2009: How to Feed the World in 2050; Rome
- FAO (United Nations Food and Agriculture Organization) 2009: How to Feed the World in 2050; Rome
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2011: Looking ahead in world food and agriculture: Perspectives to 2050; Conforti P (ed.); Rome
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2012a: Good Environmental Practices in Bioenergy Feedstock Production - Making Bioenergy Work for Climate and Food Security; Bioenergy and Food Security Criteria and Indicators project (BEFSCI) Environment and natural resources management working paper 49; Rome
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2012b: Policy Instruments to Promote Good Practices in Bioenergy Feedstock Production; Rome
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2012c: Impacts of Bioenergy on Food Security - Guidance for Assessment and Response at National and Project Levels; Rome
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2012d: Good Socio-Economic Practices in Modern Bioenergy Production - Minimizing Risks and Increasing Opportunities for Food Security; Rome
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Ecofys 2009: Algae-based biofuels: A review of challenges and opportunities for developing countries; Rome
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) 2011: Price Volatility in Food and Agricultural Markets: Policy Responses. Policy Report including contributions by FAO, IFAD, IMF, OECD, UNCTAD, WFP, the World Bank, the WTO, IFPRI and the UN HLTf; Rome, Paris
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.) 2012: Biomethan; Gülzow
- Fischer G 2011: How can climate change and the development of bioenergy alter the long-term outlook for food and agriculture?; in: FAO 2011, p. 95-158
- Fritsche U u.a. 2004: Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse; Öko-Institut in Kooperation mit FhI-UMSICHT, IE, IFEU, IZES, TU Braunschweig, TU München; Endbericht zum Vorhaben, gefördert vom BMU, Darmstadt usw.
- Fritsche U u.a. 2010: Nachhaltige Bioenergie: Zusammenfassender Endbericht zum Vorhaben „Entwicklung von Strategien und Nachhaltigkeitsstandards zur Zertifizierung von Biomasse für den internationalen Handel“, Öko-Institut in Kooperation mit IFEU; i.A. des UBA; Darmstadt, Heidelberg
- Fritsche U 2012: Sustainable Bioenergy: Key Criteria and Indicators; D 4.1 Delivery of the Biomass Futures project funded by IEE; Darmstadt
- Fritsche U et al. 2012a: Sustainable food policies for the EU27: Results from the EUPOPP project; in: Climate Change and Sustainable Development; Potthast T, Meisch S (eds.); Wageningen pp. 259-266
- Fritsche U et al. 2012b: Workshop Outcome Paper: Sustainability Criteria and Indicators for Solid Bioenergy from Forests - Results from the Joint Workshops on Extending the RED Sustainability Requirements to Solid Bioenergy; IINAS, JRC, NL Agency et al.; Darmstadt etc.
- GBEP (Global Bio-Energy Partnership) 2011: The GBEP Sustainability Indicators for Bioenergy; Rome: FAO
- Hermann A. et al.: Rechtsfragen zu nachhaltiger Biomasse; enthalten in Berichten und Arbeitsmaterialien des F+E Projektes BioGlobal; siehe ÖKO, IFEU (2011)
- HLPE (High Level Panel of Experts) 2011a: Land tenure and international investments in agriculture; Report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security; Rome
- HLPE (High Level Panel of Experts) 2011b: Price volatility and food security; The High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security; Rome
- IATA (International Air Transport Association) 2011: Report on Alternative Fuels 2011; Montreal/Geneva
- IC (Imperial College) 2011a: Lifecycle assessment and environmental assessment; AquaFUELS Deliverables 3.3 and 3.5; London
- IC (Imperial College) 2011b: Economic assessment; AquaFUELS Deliverable 3.6; London
- IC (Imperial College) et al. 2012: Biomass Futures - Analysing Europe's Future Bioenergy Needs; collaborative EEU-IEE project carried out by Alterra, CRES, ECN, IC, ICCS, IEEP, IIASA, and Oeko-Institut; London etc.
- IC (Imperial College), ERC (UK Energy Research Centre) 2011: Energy from biomass: the size of the global resource. An assessment of the evidence that biomass can make a major contribution to future global energy supply; London
- IEA (International Energy Agency) 2011a: World Energy Outlook 2011; Paris
- IEA (International Energy Agency) 2011b: Technology Roadmap - Biofuels for Transport; Paris
- IEA (International Energy Agency) 2012a: Energy Technology Perspectives 2012 - Pathways to a Clean Energy System; Paris
- IEA (International Energy Agency) 2012b: Technology Roadmap: Bioenergy for Heat and Power; Paris
- IEA BioT39 (International Energy Agency Bioenergy Task 39) 2011: Algae as a Feedstock for Biofuels - An Assessment of the Current Status and Potential for Algal Biofuels Production
- IEEP (Institute for European Environmental Policy) 2012: EU biofuel use and agricultural commodity prices: a review of the evidence base; Kretschmer B, Bowyer C, Buckwell A; London

IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) 2009: Biofuels and Food Security – Implications of an accelerated biofuels production; Fischer G et al.; Vienna

IIED (International Institute for Environment and Development) 2011: Bio-mass energy: Another driver of land acquisitions?; IIED Briefing Papers; London

IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung), CI (Copernicus Institute), OEKO (Oeko-Institut) 2012: Global Assessments and Guidelines for Sustainable Liquid Biofuels Production in Developing Countries; Franke B, Faaij A, Fritsche U et al.; GEF Targeted Research Project executed by UNEP, FAO, UNIDO; Heidelberg, Utrecht, Darmstadt

IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung) 2012: ENZO2 – Treibhausgasrechner für Biokraftstoffe und flüssige Bioenergieträger; entwickelt im vom BMU geförderten Projekt BioNachTHG; Heidelberg

IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung) 2011: Kriterien zur nachhaltigen Beschaffung holzartiger Biomasse für die Strom- und Wärme-gewinnung im Land Berlin; erstellt für Vattenfall Europe und Senatsumweltverwaltung Berlin; Heidelberg

IFF (Fakultät für Interdisziplinäre Forschung und Fortbildung) 2009: Eating the Planet: Feeding and fuelling the world sustainably, fairly and humanely – a scoping study; Erb K et al.; Working Paper Number 116; Vienna

IFPRI (International Food Policy Institute) 2011: Assessing the Land Use Change Consequences of European Biofuel Policies; prepared by: David Laborde (IFPRI), ATLASS Consortium, implementing Framework Contract No TRADE/07/A2; Washington DC

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2011: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation; Edenhofer O et al. (eds.); IPCC Working Group III; New York

ISL (Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik) 2010: Die weitere Reduzierung des Schwefelgehalts in Schiffsbrennstoffen auf 0,1% in Nord- und Ostsee im Jahr 2015: Folgen für die Schifffahrt in diesem Fahrtgebiet; Endbericht; Bremen

ISO (International Organization for Standardization) 2012: International Standard ISO 8217, Petroleum Products – Fuels (Class F) – Specifications for Marine Fuels; Geneva (5th Edition)

ISWA (Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft) 2012: Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittel-mengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland; Kranert M u.a.; gefördert durch BMELV; Stuttgart

IVR (International Association for the representation of the mutual interests of the inland shipping and the insurance and for keeping the register of inland vessels in Europe) 2011: IVR Report on the impact on implementation of low sulphur fuel in seagoing per 1.1.2010 and inland navigation per 1.1.2011 from a practice point of view; Rotterdam

IWPB (Initiative Wood Pellets Buyers) 2012a: Proposal for Sustainability Principles for Woody Biomass Sourcing and Trading; report no. 1; Brussels

IWPB (Initiative Wood Pellets Buyers) 2012b: Sustainability Principles for Woody Biomass Sourcing and Trading; report no. 2; Brussels

JOWA (JOWA GERMANY) 2007: Untersuchungen der Verträglichkeit schwefelarmer Kraftstoffe (Schwefelanteil kleiner 10 ppm), ggfs. mit biogenem Anteil bei älteren in Betrieb befindlichen Binnenschiffsmotoren; Abschlussbericht; Hohen Luckow

JRC (EC Joint Research Centre) 2011: Estimate of GHG emissions from global land use change scenarios, Marelli L et al.; report JRC 64430/EUR 24817 EN; Ispra

KBA (Kraftfahrt-Bundesamt) 2012: Der Fahrzeugbestand im Überblick am 1. Januar 2012 gegenüber 1. Januar 2011; Statistische Mitteilungen; Flensburg

Kettner J 2011: Den Schienenverkehr fit machen für die Zukunft; in: Eisenbahntechnische Rundschau ETR, September 2011, Nr. 9, S. 10-16

Lahl U 2009: Ölwechsel. Biokraftstoffe und nachhaltige Mobilität; Berlin

Leopoldina (Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina) 2012a: Bioenergie: Möglichkeiten und Grenzen. Empfehlungen; Halle

Leopoldina (German National Academy of Sciences Leopoldina) 2012b: Bioenergy – Chances and Limits. Statement; Halle

Lynd L, Woods J 2011: Perspective: A new hope for Africa; in: Nature, Vol. 474, p. S20–S21 published online 22 June 2011

Murphy C, Allen D 2011: Energy-Water Nexus for Mass Cultivation of Algae; in: Environmental Science & Technology vol. 45 pp. 5861-5868

MWV (Mineralölwirtschaftsverband) 2012: Jahresbericht. Mineralölzahlen 2011; Berlin

Nitsch J u.a. 2012: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik, Ingenieurbüro für neue Energien; i.A. des BMU; Stuttgart

nova (nova-Institut für Ökologie und Innovation GmbH) 2012: Stoffliche Nutzung von Biomasse - Basisdaten für Deutschland, Europa und die Welt; Raschka A, Carus M; Erster Teilbericht zum F+E-Projekt „Ökologische Innovationspolitik – mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzung von Biomasse“ i.A. des UBA; Hürth

NRC (National Research Council) 2010: Expanding Biofuel Production: Sustainability and the Transition to Advanced Biofuels: Summary of a Workshop; Washington DC

NRDC (Natural Resources Defense Council) 2012: Wasted: How America Is Losing Up to 40 Percent of Its Food from Farm to Fork to Landfill; Gunders D; Issue Paper iP:12-06-B; New York

NTUA (National Technical University of Athens) 2012: PRIMES Biomass model projections; Deliverable 5.7 of the Biomass Futures project; Apostolaki E et al., E3MLab - ICCS; Athens

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) 2012: OECD Environmental Outlook to 2050. The Consequences of Inaction; Paris

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2012: OECD-FAO Agricultural Outlook 2012; Paris

OEKO (Oeko-Institut - Institute for applied ecology) 2011: The Vision Scenario for the European Union - 2011 Update for the EU-27; sponsored by Greens/EFA Group in the European Parliament; Berlin

ÖKO (Öko-Institut - Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2007: Möglichkeiten einer europäischen Biogas-Einspeisungsstrategie – Teilbericht II; Fritsche U, Hünecke K, Schmidt K; i.A. der Bundestagsfraktion von Bündnis90/Die GRÜNEN; Darmstadt

ÖKO (Öko-Institut - Institut für angewandte Ökologie e.V.), IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH) 2011: PROSA Technisch getrocknete Holzhackschnitzel / Holzpellets - Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen; Heidelberg, Darmstadt, Freiburg

ÖKO (Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie), IE (Institut für Energetik und Umwelt), ALW, Peters 2007: Bioenergie und Naturschutz: Sind Synergien durch die Energienutzung von Landschaftspflegereesten möglich?; Endbericht zum BMU-Vorhaben; Darmstadt

ÖKO (Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie), DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt), ISI (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung), 2012: Renewability II: Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030. Ergebnisdokumentation, Wiebke Zimmer et al., im Auftrag des BMU; Berlin

- OFGEM (Office of Gas and Electricity Markets) 2012: Renewables Obligation: Sustainability Criteria for Solid and Gaseous Biomass
- PBL (Netherlands Environmental Assessment Agency) 2012: Note Sustainability of biomass in a bio-based economy; Eindhoven
- PBL (Netherlands Environmental Assessment Agency) 2011: The Protein Puzzle - The consumption and production of meat, dairy and fish in the European Union; Westhoek H et al.; The Hague
- Pierr H-P 2010: Biokraftstoffe – Lösung, Problem oder nur Teil der Landschaft? Bilanzen, Potenziale und Szenarien bis 2050; Gutachten im Auftrag des Gesprächskreises Verbraucherpolitik der Friedrich-Ebert-Stiftung; WISO Diskurs; Bonn
- Prognos (Prognos AG), ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2009: Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken; Studie für WWF; Berlin
- Prognos (Prognos AG), EWI (Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln), GWS (Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturfor-schung) 2010: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregie-rung, im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Projekt Nr. 12/10; Basel/Köln/Osnabrück
- Realff M, Abbas C 2004: Industrial Symbiosis: Refining the Biorefinery; in: Journal of Industrial Ecology vol. 7 no. 3-4, p. 5-9
- Rosegrant M et al. 2008: Bioenergy and Global Food Situation until 2020/2050; prepared for WBGU; Berlin
- Schulze E-D et al. 2012: Large-scale bioenergy from additional harvest of forest biomass is neither sustainable nor greenhouse gas neutral; in: GCB Bioenergy (2012),
- Shell (Shell Deutschland Oil GmbH) 2009: Shell Pkw-Szenarien bis 2030; Hamburg
- Shell (Shell Deutschland Oil GmbH) 2010: Shell Lkw-Studie; Hamburg
- Shell (Shell International BV) 2011: Signals & Signposts – Shell Energy Scenarios to 2050; The Hague
- Snow A, Smith V 2012: Genetically Engineered Algae for Biofuels: A Key Role for Ecologists; in: BioScience vol. 62 no 8, p. 765-768
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) 2007: Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten; Berlin
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) 2012: Umweltgutachten 2012: Verantwortung in einer begrenzten Welt; Berlin
- Star-colibri (Strategic Targets for 2020 Collaboration Initiative on Biorefineries) 2011a: European Biorefinery Joint Strategic Research Roadmap; Brussels
- Star-colibri (Strategic Targets for 2020 Collaboration Initiative on Biorefineries) 2011b: Joint European Biorefinery Vision for 2030; Brussels
- Thran D u.a. 2005: Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext: Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern; IE, BFH, Öko-Institut, Universität Hohenheim i.A. des BMU; Leipzig
- Thran D u.a. 2007: Möglichkeiten einer europäischen Biogas-Einspei-sungsstrategie – Teilbericht I; IE Leipzig, i.A. der Bundestagsfraktion von Bündnis90/Die GRÜNEN; Leipzig
- Thran D u.a. 2010: Globale und regionale Verteilung von Biomassepoten-zialen; DBFZ in Kooperation mit DLR, ILB, vTI, ZALF im Auftrag des BMVBS; Leipzig
- UBA (Umweltbundesamt) 2010: Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen; Dessau
- UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development) 2011: Review of Maritime Transport 2011; New York/Geneva
- UNEP (United Nations Environment Programme) 2012: The Fifth Global Environment Outlook (GEO-5); Malta: Progress Press Ltd
- UNEP (United Nations Environment Programme) 2011: The bioenergy and water nexus; ISBN No: 978-92-807-3157-6
- USDA (U.S. Department of Agriculture) 2012: Dynamic PEATSIM Model: Documenting Its Use in Analyzing Global Commodity Markets; Somwaru A, Dirkse S; Economic Research Service TB-1933; Washington DC
- Van der Mensbrugghe D et al. 2011: Macroeconomic environment and commodity markets: a longer-term outlook; in: FAO 2011, p. 191-232
- VCI (Verband der Chemischen Industrie e.V.), DIB (Deutsche Industriever-einigung Biotechnologie) 2010: Statusbericht zu möglichen Potenzialen von Bioraffinerien für die Bereitstellung von Rohstoffen in Industrie und Forschung; Frankfurt
- VDA (Verband der Automobilindustrie) 2011: Tatsachen und Zahlen, 75. Folge; Berlin
- VDB (Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e. V.) 2012: Informati-onen: Biokraftstoffe in Deutschland; Stand Januar 2012; Berlin
- WB (World Bank) 2010a: Bioenergy Development - Issues and Impacts for Poverty and Natural Resource Management; Cushion E, Whiteman A, Dieterle G; Washington DC
- WB (World Bank) 2010b: The Impacts of Biofuel Targets on Land-Use Change and Food Supply: a Global CGE Assessment; Policy Research Working Paper No. WPS 5513; Washington DC
- WBA (Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik) 2012: Ernährungssiche-rung und nachhaltige Produktivitätssteigerung; Stellungnahme für das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz; Bonn
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen) 2009: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung; Jahresgutachten 2008; Berlin
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen) 2011: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation; Berlin
- WEF (World Economic Forum) 2010: The Future of Industrial Biorefineries; Geneva
- Winter H 2012: Binnenschifffahrt 2011; in: Statistisches Bundesamt, Wirtschaft und Statistik, Juli 2012, S. 572-582
- WFCF (World Fuel Charta Committee), 2006: World Fuel Charta, Fourth Edition
- WFCF (World Fuels Charta Committee), 2009a: Biodiesel Guidelines, First Edition
- WFCF (World Fuels Charta Committee), 2009b: Ethanol Guidelines, First Edition
- Wicke B 2011: Bioenergy Production on Degraded and Marginal Land - Assessing its Potentials, Economic Performance and Environmental Impacts for Different Settings and Geographical Scales; PhD Thesis; Utrecht University
- WWF (World Wide Fund for Nature) 2011: The Energy Report - 100% Renewable Energy by 2050; in collaboration with Ecofys and OMA; Gland
- WWF (World Wide Fund for Nature) 2012a: WWF's recommendations for sustainability criteria for forest based biomass used in electricity, heating and cooling in Europe; Brussels
- WWF (World Wide Fund for Nature) 2012b: Smart use of residues - Exploring the factors affecting the sustainable extraction rate of agricul-tural residues for advanced biofuels; prepared for WWF Europe; WWF Briefing Paper; Brussels

GLOSSAR

1G	Biokraftstoffe der 1. Generation
2G	Biokraftstoffe der 2. Generation
ASTM	American Society for Testing and Materials
B7	Dieselmotorkraftstoff mit bis zu 7 Vol% Biodiesel-Beimischung
B100	Reiner Biodiesel
CO ₂	Kohlendioxid
CEN	Comité Européenne de Normalisation
CNG	Compressed Natural Gas (Komprimiertes Erdgas)
DIN	Deutsches Institut für Normung
DME	Dimethylether
E10	Ottokraftstoff (Benzin) mit bis zu 10 Vol% Ethanol-Beimischung
E85	Ottokraftstoff (Benzin) mit 70 bis 86 Vol% Ethanol-Beimischung
EC	European Commission
EEA	European Environment Agency
ETBE	Ethanol-Tertiär-Butyl-Äther
EtOH	Ethanol
FAME	Fatty Acid Methyl Ester
FAO	Food and Agriculture Organization of the UN
FQD	European Fuels Quality Directive (Europäische Kraftstoffqualitätsrichtlinie)
FSC	Forest Stewardship Council
FT	Fischer-Tropsch (Verfahren zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe)
GBEP	Global Bioenergy Partnership
GEF	Global Environmental Facility
GTL	Gas-to-Liquids
HEFA	Hydrogenated Esters and Fatty Acids (auch BioJet)
HVO	Hydrotreated Vegetable Oils (Hydrierte Pflanzenöle)
IEA	International Energy Agency
iLUC	indirect land-use change (Indirekte Landnutzungsänderungen)
IMO	International Maritime Organization
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
ISCC	International Sustainability and Carbon Certification
LNG	Liquefied Natural Gas (Verflüssigtes Erdgas)
LPG	Liquid Petroleum Gas (Autogas/Flüssiggas)
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
RED	European Renewable Energies Directive (Europäische Erneuerbare Energien-Richtlinie)
RFS	Renewable Fuel Standard (USA)
RME	Rapsöl-Methylester
RSB	Roundtable for Sustainable Biofuels
RSPO	Roundtable on Sustainable Palm Oil
RTRS	Roundtable for Responsible Soy
THG	Treibhausgase
TREMOT	Transport Emissions Modell
UN	United Nations
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
UNEP	United Nations Environment Programme

Joule (J) und Kilowattstunden (kWh):

1 Exajoule (EJ) entspricht 1.000 PJ

1 Petajoule (PJ) entspricht 1.000 TJ

1 Terajoule (TJ) entspricht 1.000 GJ

1 Gigajoule (GJ) entspricht 1.000 MJ

1 Megajoule (MJ) entspricht 1.000 Kilojoule (kJ)

3,6 MJ entsprechen 1 Kilowattstunde (kWh)

Energiegehalt und Kraftstoffe:

Dieselmotorkraftstoff	43 MJ/kg	36 MJ/Liter
Biodiesel	37 MJ/kg	33 MJ/Liter
Pflanzenöl	37 MJ/kg	34 MJ/Liter
HVO/FT-Diesel	44 MJ/kg	34 MJ/Liter
Ottokraftstoff	43 MJ/kg	32 MJ/Liter
Bioethanol	27 MJ/kg	21 MJ/Liter



Shell Deutschland Oil GmbH
22284 Hamburg
www.shell.de

Möchten Sie weitere Exemplare dieser Studie, der Shell Hauswärme-Studie, der Shell Lkw-Studie oder der Shell Pkw-Szenarien beziehen?

Dann schicken Sie uns eine e-mail: shellpresse@shell.com

Als Download im Internet: www.shell.de/biokraftstoffstudie

