

Energiewende im Verkehrssektor: Welcher Beitrag ist durch Biokraftstoffe erreichbar?

Jörg Adolf und Uwe Fritsche

Die Energiewende schreitet im Verkehrssektor nur langsam voran. Biokraftstoffe als die wichtigste alternative Energieoption für den Verkehr sind in die Kritik geraten und stagnieren in ihrem Ausbau seit einigen Jahren. Damit stellen sich zwei Fragen: Wo stehen Biokraftstoffe heute? Und welchen Beitrag können sie künftig zur Energiewende im Verkehrssektor leisten? Eine Untersuchung der Herausforderungen und Potenziale der Biokraftstoffe im Verkehrswesen gibt die Richtung vor.

Im September 2010 hat sich die Politik das Ziel gesetzt, eine Energiewende in Deutschland herbeizuführen. Es soll weniger Energie verbraucht, mehr erneuerbare Energie eingesetzt und die Treibhausgasemissionen drastisch, und zwar um mindestens 80 % bis 2050, verringert werden.

Energiewende im Verkehrssektor

Bei den Treibhausgasen weist der Verkehr unter allen großen Verbrauchssektoren in den vergangenen Jahren den größten sektoralen Minderungsbeitrag auf. So sind die Treibhausgasemissionen des Straßenverkehrs im Zeitraum 1999 bis 2010 um 31 Mio. t zurückgegangen [1]. Der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor ist jedoch im sektoralen Vergleich deutlich unterdurchschnittlich (vgl. Abb. 1). Während der Erneuerbaren-Anteil im Stromsektor inzwischen bei 20,5 % und bei der Wärmeerzeugung bei 10,4 % liegt, waren es im Verkehrssektor zuletzt nur etwa 5,5 %. Der sektorale Anteil des Verkehrs an der Verwendung erneuerbarer Energien aller Endverbrauchssektoren liegt bei nur knapp 12 % [2].

Während sich die anderen Sektoren ihren Erneuerbare-Energien-Zielen allmählich annähern, stagniert der Verkehr im Hinblick auf seinen Erneuerbaren-Anteil am Kraftstoffverbrauch seit etwa fünf Jahren. Dabei unterscheidet sich der Energiemix des Verkehrssektors ebenso wie die Art der eingesetzten erneuerbaren Energien. Während der Stromsektor einen vergleichsweise breiten Mix an fossilen und alternativen Energieträgern einsetzt, dominieren im Verkehr fast ausschließlich fossile Kraftstoffe auf Erdölbasis. Obgleich viel über automobilen Zukunftstechnologien berichtet wird, haben – neben Benzin und Diesel – bislang lediglich Bio-



Mit Blick auf die Weiterentwicklung der EU-Biokraftstoffstrategie müssen die Ziele und Instrumente der europäischen und deutschen Biokraftstoffpolitik regelmäßig überprüft werden

Foto: Getty Images

kraftstoffe substantielle Anteile am Endenergieverbrauch des Straßenverkehrs erreicht.

Biokraftstoffstoffe in der Kritik

Nachdem es zu Beginn der 2000er Jahre in Deutschland einen breiten Konsens über Biokraftstoffe gab, erfolgte hierzulande – aber auch anderenorts – ein rascher Ausbau des Biokraftstoffeinsatzes. Biokraftstoffe sollten die Energieversorgung des Verkehrs auf eine breitere Basis stellen, der Landwirtschaft neue Einkommensmöglichkeiten bieten und zum Klimaschutz beitragen. Parallel zu Biokraftstoffen wurde Bioenergie vermehrt zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt.

Mit weltweit steigender Biomassenutzung wurden negative Effekte, von Waldrodung bis zu steigenden Nahrungsmittelpreisen erkennbar, die vor allem den Biokraftstoffen

zugerechnet wurden und ihr einst grünes Image zunehmend in Frage stellten. Hinzu kamen mit der Einführung des Kraftstoffes Super E10 Zweifel an der technischen Verträglichkeit von Biokraftstoffen.

Aufgrund steigender Agrarpreise richtete sich die Aufmerksamkeit im vergangenen Jahr erneut auf die Rolle von Biokraftstoffen. Im Oktober 2012 veröffentlichte schließlich die EU-Kommission den Entwurf für eine geänderte europäische Biokraftstoffstrategie [3]. Es ist daher zu fragen, wo Biokraftstoffe heute stehen und welche Rolle und Potenziale sie im künftigen Kraftstoffmix einnehmen können [4].

Biokraftstoffe heute

In Deutschland werden heute rd. 53 Mio. t Kraftstoffe insgesamt verbraucht. Die

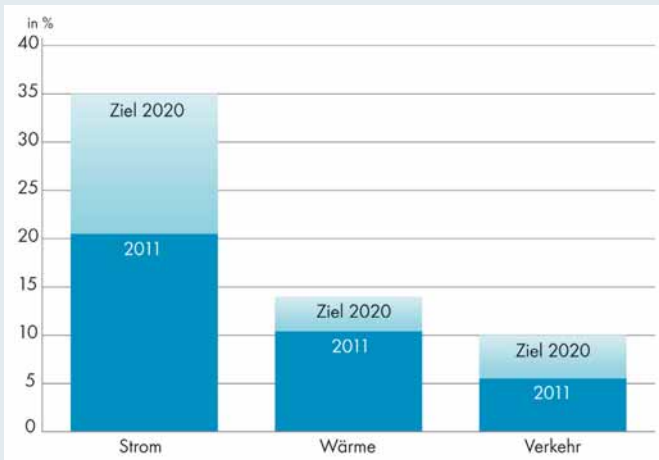


Abb. 1 Erneuerbaren-Anteil am Endenergieverbrauch 2011 (in %) Quelle: eigene Darstellung nach Daten aus [2]

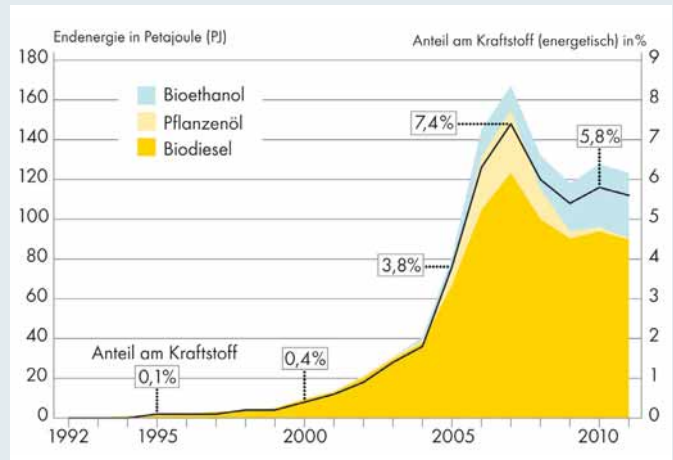


Abb. 2 Biokraftstoffverbrauch in Deutschland Quelle: eigene Darstellung nach Daten aus [2]

wichtigste alternative Endenergie für den Straßenverkehr in Deutschland sind mit 3,7 Mio. t bzw. gut 120 PJ und einem Marktanteil von ca. 5,5 % Biokraftstoffe [5]. Bei der Verwendung biogener Kraftstoffe ist der Straßenverkehr damit absoluter Vorreiter unter allen Verkehrsträgern.

Nachdem durch die Steuerbefreiung ab 2004 ein Boom für reinen Biodiesel entfacht wurde, erreichten Biokraftstoffe im Jahre 2007 einen Marktanteil von 7,4 %. Zum 1.1.2007 wurde eine Beimischungsverpflichtung eingeführt und die steuerliche Förderung abschmolzen [6]. Das Biokraftstoffziel für Deutschland 2020 wurde im Jahre 2008 auf

12 bis 15 Energieprozent festgesetzt. Seit Anfang 2010 sind Kraftstoffen in Deutschland 6,25 Energieprozent Bioanteile beizumischen.

Parallel zur Quotengesetzgebung wurden die technischen Voraussetzungen für höhere Biobeimischungen geschaffen. Seit Anfang 2009 dürfen dem Diesel bis zu sieben Volumenprozent Biodiesel (B7) und seit Beginn 2011 dem Benzin bis zu 10 Volumenprozent Bioethanol beigemischt werden (E10).

Aufgrund des höheren Dieserverbrauchs und der früheren Markteinführung von Biodiesel liegt der Biodieseleinsatz höher als der von

Bioethanol. Benzin mit Bioethanol gibt es erst seit 2006/07 als E5-Kraftstoff sowie im Verlauf von 2011 als E10. Biogene Reinkraftstoffe wie Biodiesel (B100), reines Pflanzenöl oder auch (fast) reines Bioethanol (E85) spielen – auch aus fahrzeugtechnischen Gründen – kaum eine Rolle (vgl. Abb. 2).

Der in Deutschland eingesetzte Biodiesel stammt zu 80 % aus Rapsöl und zu 14 % aus Abfallöl. Für Bioethanol war Weizen der wichtigste Rohstoff (32 %), gefolgt von europäischem Mais (28 %) und Zuckerrübe (25 %). Der größte Teil der verwendeten Biomasse stammt aus Deutschland (70 %); die größten Importeure sind die USA und Frankreich [7].

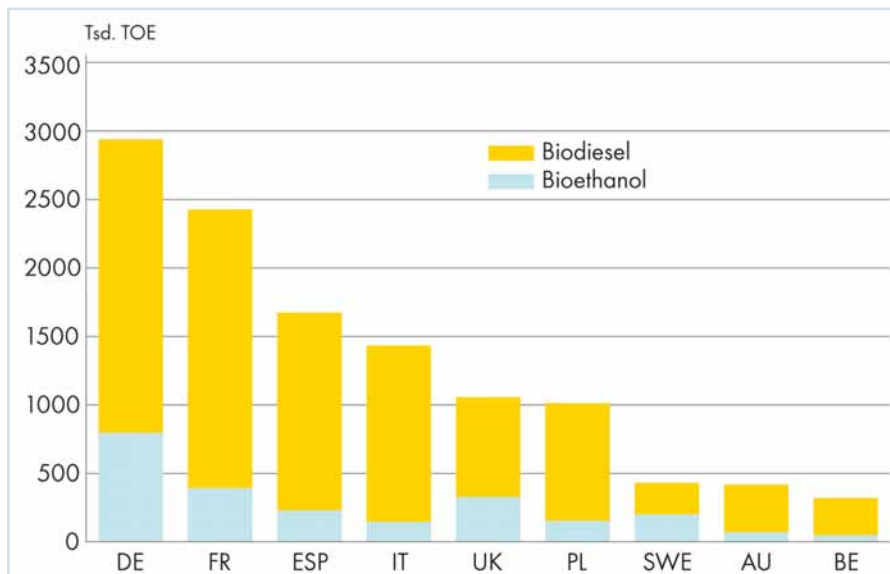


Abb. 3 Die 10 größten EU-Biokraftstoffverbraucher 2011 Quelle: [8]

In der EU hat sich der Einsatz von Biokraftstoffen seit dem Jahr 2000 mehr als verzehnfacht. Zuletzt (2011) erreichten Biokraftstoffe ein Niveau von knapp 14 Mio. toe, was rd. 570 PJ oder 4,5 % Marktanteil entspricht. Für alle EU-Mitgliedstaaten gilt seit 2009 gemäß der EU-Richtlinie für Erneuerbare Energien 2009/28/EG das Ziel, bis 2020 einen Anteil von 10 % erneuerbarer Energieträger im Verkehr zu erreichen, darunter hauptsächlich Biokraftstoffe. Deutschland und Frankreich sind in der EU mit Abstand die größten Biokraftstoffkonsumenten (Abb. 3). 77,6 % der in der EU verbrauchten Biokraftstoffe waren Biodiesel, 21,5 % Bioethanol [8].

Auch weltweit ist der Einsatz von Biokraftstoffen stark angestiegen; sie stellen heute rd. 2,5 % des Endenergiebedarfs im Verkehrs-

sektor – das sind rd. 60 Mio. toe oder ca. 2,5 von 100 Exajoules. Anders als in Europa liegt dabei Bioethanol – vor allem in Brasilien und den USA – deutlich vor Biodiesel [9].

Tank versus Teller – und Trog

Aus dem wachsenden Einsatz von Biomasse für energetische Zwecke ergeben sich vermehrt Nutzungskonkurrenzen, bspw. um knapper werdende Flächen für den Artenschutz oder auch gegenüber der stofflichen Nutzung vorzugsweise fester Biomasse [10]. Die im öffentlichen Bewusstsein wohl präsenteste Nutzungskonkurrenz ist diejenige zwischen Nahrungsmitteln und Biokraftstoffen.

Die Bildung von Agrarpreisen ist sehr komplex und mögliche Konsequenzen – positive wie negative – für die Ernährungssicherung sind umstritten. So kann die durch Biokraftstoffe verursachte zusätzliche Rohstoffnachfrage zu Preissteigerungen bei Agrarprodukten beitragen [11]. Auf der anderen Seite bieten höhere Preise für Agrarprodukte finanzielle Anreize zur Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion in Entwicklungsländern [12].

Am Ende greift die Betrachtung allein der Nutzungskonkurrenz von „Tank vs. Teller“ zu kurz. Sie muss um den Aspekt der Futtermittel bzw. um den „Trog“ erweitert werden. Weltweit werden fast drei Viertel der landwirtschaftlichen Biomasse für Futtermittel eingesetzt, erst dann folgen Nahrungsmittel; die Energie- und Stoffnutzung machen demgegenüber nur jeweils etwa 4 % aus (vgl. Abb. 4). Ernährungsgewohnheiten, insbesondere der Fleischkonsum, spielen folglich eine wichtige Rolle; denn die Fleisch- und Milchproduktion beansprucht weltweit einen noch höheren Flächenanteil als den in Abb. 4 gezeigten Mengenanteil: heute werden rd. 92 % der landwirtschaftlichen Fläche dafür genutzt [13].

Nachhaltigkeitskriterien für Biokraftstoffe

In Folge der Diskussion um Nutzungskonkurrenzen und Nebeneffekte von Biokraftstoffen wurden erstmals Nachhaltigkeitskriterien für eine ganze Produktgruppe festgelegt: Im deutschen Biokraftstoffquotengesetz (2006) wurden Anforderungen an die Nachhaltig-

keit quotenfähiger Biokraftstoffe gestellt. In der EU definieren seit 2009 die Erneuerbare-Energien-Richtlinie 2009/28/EG und die Kraftstoffqualitäts-Richtlinie 2009/30/EG verbindliche Nachhaltigkeitsanforderungen für Biokraftstoffe und flüssige Biobrennstoffe. Der Nachhaltigkeitsnachweis für Biokraftstoffe wird durch Zertifizierung erbracht. Die EU-Kommission hat für Biokraftstoffe inzwischen 13 Zertifizierungssysteme (Stand Januar 2013) anerkannt.

Alle Nachhaltigkeitsstandards für Bioenergie beinhalten eine Mindesteinsparung an Treibhausgasen, die gegenüber einem fossilen Referenzwert über den gesamten Lebensweg zu erbringen ist. Die 2011 in Deutschland eingesetzten Biokraftstoffe lagen im Durchschnitt etwa 50 % unter dem Referenzwert [14]. Noch ungeklärt ist die Frage, inwieweit indirekte Landnutzungsänderungen (ILUC-Effekte) berücksichtigt werden sollen [15]. Weitere Schutzgüter betreffen den Artenschutz (Biodiversität), Boden- und Gewässerschutz sowie soziale Mindeststandards. Bislang bestehen hier hauptsächlich nur Berichtspflichten.

Die Nachhaltigkeitsstandards sind ein erster wichtiger Schritt zu mehr Nachhaltigkeit für Biokraftstoffe. Längerfristig sind konsistente Nachhaltigkeitsregeln für alle Agrarprodukte bzw. sämtliche Biomasseverwendungen notwendig [16].

Neue Biokraftstoffe?

Mehr als 99 % aller heute produzierten Biokraftstoffe fallen unter die verbreitete Bezeichnung 1. Generation. Unter Biokraft-

stoffe der 1. Generation versteht man solche, die aus Stärke, Zucker oder Pflanzenölen von eigens dafür angebauten Feldfrüchten gewonnen werden. Die zweite Generation von Biokraftstoffen zielt demgegenüber darauf ab, andere Rohstoffe einzusetzen, um zusätzliche Rohstoffpotenziale zu erschließen. Es handelt sich vorwiegend um Lignozellulose, einem Gemisch aus Zellulose, Hemizellulosen und Lignin. Ausgangsmaterial für Lignozellulose können agrarische Reststoffe (z. B. Stroh), Reststoffe aus der Forstwirtschaft, aber auch Anbaubiomasse wie Gräser (z. B. Chinaschilf) oder Holz aus Kurzumtriebsplantagen sein. Manche Biokraftstoffe können allerdings keiner Generation zugeordnet werden, so z. B. Biomethan [17].

Die wichtigsten Biokraftstoffe der 2. Generation sind hydrierte Pflanzenöle, synthetischer Biodiesel aus Fischer-Tropsch-Verfahren und Zellulose-Ethanol. Erstere haben den Vorteil, dass sie weitgehend nahtlos als hochwertige Diesel- und Kerosinsubstitute eingesetzt werden können. Weitere Ansätze für neue Biokraftstoffe sind: Bio-Butanol, ein Alkohol, der dem Benzin näher ist als Ethanol; Dimethylether (DME), ein dem Flüssiggas (LPG) ähnlicher Kraftstoff; Bio-Methanol als Benzin-Ersatz; sowie Bio-Wasserstoff aus biotechnischen Verfahren mit Bakterien. In relevanten Mengen kommerziell verfügbar sind bislang jedoch nur hydrierte Pflanzenöle, obgleich die verwendeten Rohstoffe (noch) denen der 1. Generation entsprechen.

Für eine breitere Markteinführung von Biokraftstoffen der 2. Generation ist noch viel Entwicklungsarbeit erforderlich. Ihre Kosten, die heute etwa doppelt so hoch sind wie die

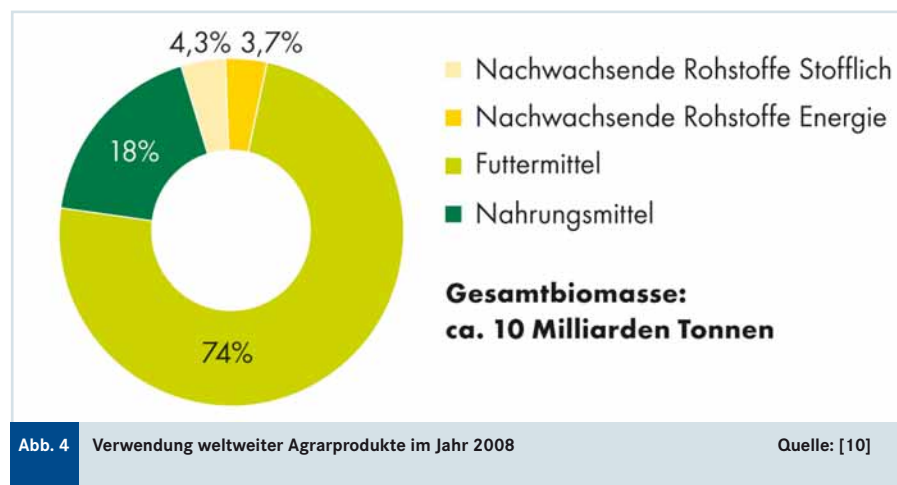


Abb. 4 Verwendung weltweiter Agrarprodukte im Jahr 2008

Quelle: [10]

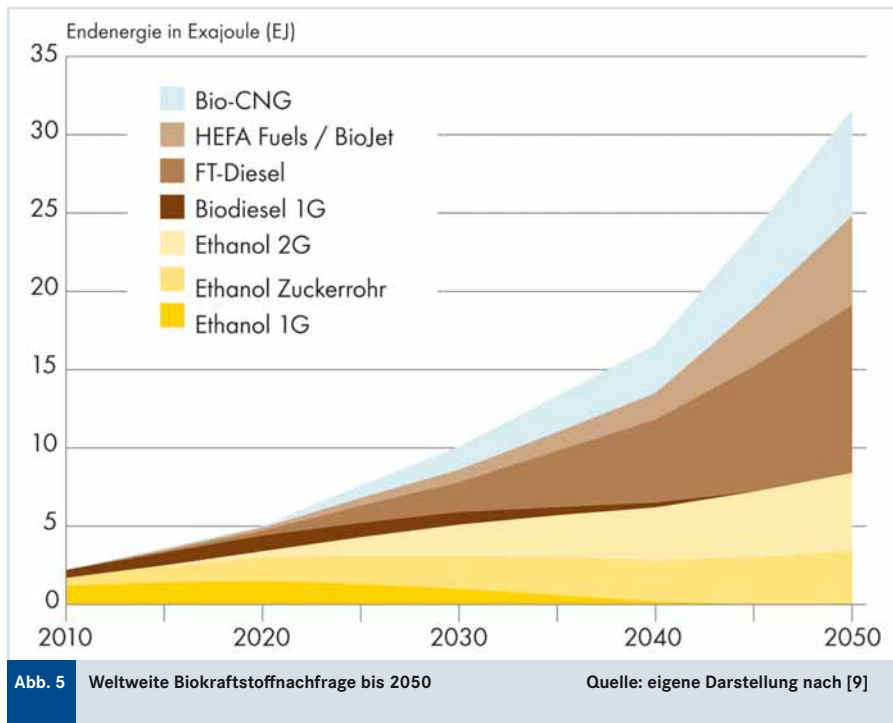
Robustes nachhaltiges Potenzial an Biomasse

Biokraftstoffe können eine bedeutende Rolle bei der Energiewende im Verkehrssektor spielen. Aus heutiger Sicht gibt es ein robustes nachhaltiges Potenzial an Biomasse für energetische bzw. für Verkehrszwecke. Dieses Potenzial muss durch Entspannung von Nutzungskonkurrenzen bestmöglich eingesetzt werden – z. B. über Nutzungskaskaden und die Entkoppelung der Rohstoffbasis von Nahrungs- und Futtermitteln [24].

Die EU-Nachhaltigkeitskriterien waren ein wichtiger Schritt. Diese müssen jedoch weiter optimiert werden. Generell sollten die EU-Nachhaltigkeitskriterien erst auf feste und gasförmige Bioenergien und später auf alle Biomasse ausgeweitet werden.

Da die Klima- und Ressourceneffizienz von Biokraftstoffen der 1. Generation zu ungünstig ist und ihre Rohstoffbasis mit „wertvolleren“ Nutzungen konkurriert, müssen Biokraftstoffe der 1. Generation mittelfristig durch die 2. Generation ersetzt werden. Bis heute ist aber die 2. Generation nicht am Markt verfügbar; für fortgeschrittene Biokraftstoffe wären erhebliche Investitionen sowohl in eine nachhaltige Rohstoffbasis wie auch in moderne Umwandlungsprozesse nötig. Steuerliche Förderung und Anreize reichen bislang aber nicht aus, um etwa die Investitionen in Demonstrations- und erste Serienanlagen zu rechtfertigen, die zur Markteinführung nötige Zwischenstufen wären. Daher sollte ein technikoffenes, über zehn Jahre laufendes europäisches Markteinführungsprogramm für 2. Generation-Biokraftstoffe aufgestellt werden.

Die Verwendung von Bioenergie ist heute auf alle Verbrauchssektoren verteilt. Um ausreichend Biomasse für Biokraftstoffe zur Verfügung zu haben, müsste die Bioenergieverwendung im Zeitraum 2020 bis 2030 auf den Verkehrssektor fokussiert und damit in den Bereichen Wärme- und Stromproduktion zurückgefahren werden. Insbesondere für Verkehrsträger ohne technische Alternativen zu konventionellen Antrieben und Kraftstoffen könnten Biokraftstoffe „Zielkraftstoff“ (Destination Fuel) sein, namentlich der schwere Straßengüterfernverkehr sowie die Luft- und Schifffahrt [25].



von Diesel und Benzin, müssen noch deutlich gesenkt werden [18]. Substanzielle Marktanteile sind daher erst nach 2020 zu erwarten.

Im Konzept der „Bioraffinerie“ soll – ähnlich wie in einer Erdölraffinerie – Biomasse in ein Spektrum stofflicher und energetischer Produkte verarbeitet werden. Bioraffinerien können eine längerfristige Option für nachhaltige Biokraftstoffe sein; allerdings besteht auch hier noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf [19].

Schließlich werden Algen als neue Rohstoffquelle gesehen und daraus erzeugte Biokraftstoffe teilweise als „3. Generation“ bezeichnet; denn für aquatische Biomasse wäre keine Anbaufläche mehr erforderlich. Die energetische Algennutzung befindet sich jedoch noch in einem frühen Stadium der Forschung und Entwicklung; es bedarf noch drastischer Verbesserung von Ökonomie, Energie- und Wasserbilanz [20].

Welche Bioenergie-Potenziale?

Der wachsende Einsatz von Bioenergie und Biokraftstoffen führt zu der Frage, wie viel davon in Zukunft erzeugt und eingesetzt werden kann: Für Deutschland wird bis 2030 das nachhaltige und ohne Nutzungskonkurrenzen verfügbare Bioenergie-Potenzial auf

ca. 2 000 PJ geschätzt – bei etwa 14 000 PJ Primärenergieverbrauch heute. Sollte es gelingen, den Endenergieverbrauch aller Verkehrsträger deutlich zu senken, könnten heimische Biokraftstoffe bis zu 50 % des Kraftstoffbedarfs in 2050 decken [21].

In der EU könnten bis 2030 etwa 15 EJ Bioenergie nachhaltig bereitgestellt werden – bei einem aktuellen Primärenergieverbrauch von 74 EJ. Bei voller Nutzung der Bioenergiepotenziale bis 2030 wären rd. 25 % und bis 2050 ca. 30 % des Primärenergiebedarfs biogen zu decken [22].

Global existieren nachhaltige Bioenergiepotenziale in einer Bandbreite von 100 bis 200 EJ. Schon die Hälfte eines „niedrigen“ globalen Bioenergiepotenzials reichte aus, um den gesamten Kraftstoffbedarf in 2050 zu ersetzen [23].

Es lässt sich festhalten, dass es in Deutschland, in Europa und weltweit ein robustes nachhaltiges Biomassepotenzial gibt, aus dem Biokraftstoffe hergestellt werden könnten. Die IEA erwartet, dass sich der Biokraftstoffbedarf bis 2050 gegenüber 2010 verzehnfachen könnte. Dabei würde die 1. Generation ab 2030 zunehmend durch fortschrittliche Biokraftstoffe der 2. Generation abgelöst (Abb. 5).

Mittelfristig könnte neue oder angepasste Fahrzeug- und Motortechnik, die auch höhere biogene Kraftstoffanteile zulässt, zu einer Integration höherer Biokraftstoffanteile beitragen – so wie zuvor schon bei E5, B5 und B7. Langfristig und mit Blick auf die in den Zielszenarien nach 2020 weiter ansteigenden Biokraftstoffmengen wären Drop-in fuels wichtig.

Ziele und Instrumente regelmäßig prüfen

Das 10 %-Ziel für Erneuerbare im Kraftstoffmarkt bis 2020 gilt gemäß EU-Erneuerbare-Energien-Richtlinie nur dann als angemessen, wenn Biokraftstoffe nachhaltig hergestellt werden und die 2. Generation kommerziell zur Verfügung steht. Mit Blick auf die Weiterentwicklung der EU-Biokraftstoffstrategie müssen sowohl Ziele als auch Instrumente der europäischen und deutschen Biokraftstoffpolitik regelmäßig überprüft und ggf. Kurskorrekturen vorgenommen werden.

Anmerkungen

- [1] Vgl. Umweltbundesamt: Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990-2010. Dessau 2012.
- [2] Vgl. Bundesumweltministerium: Erneuerbare Energien 2011. Internet-Update, Berlin, Dezember 2012, S. 6, 9.
- [3] Vgl. European Commission: Directive amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources. COM(2012)595 final, Brussels, 17.10.2012.
- [4] Vgl. Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien, Institut für Energie- und Umweltforschung: Nach Super E10: Welche Rolle für Biokraftstoffe? Fakten, Trends und Perspektiven. Shell Deutschland Oil GmbH (Hrsg.), Darmstadt, Heidelberg, Hamburg 2012.
- [5] Vgl. Mineralölwirtschaftsverband: Jahresbericht – Mineralölzahlen 2011. Berlin 2011, S. 59; Bundesumweltministerium, a. a. O. (Fn. 2)), S. 9. Nach vorläufigen Zahlen haben sich die Biokraftstoffanteile im Jahre 2012 kaum verändert; der Trend weg vom Benzin hin zum Diesel hält weiter an. Vgl. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Amtliche Mineralölstatistik. Eschborn, 25.1.2013, Tab. 9.
- [6] Vgl. Adolf, J.: Boom in der Biokraftstoffbranche – eine nachhaltige Entwicklung. In: Wirtschaftsdienst 2006, Heft 12, S. 778-785.

- [7] Vgl. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung: Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2011. Bonn 2012, S. 30-43.
- [8] Vgl. EurObserv'ER: Biofuels Barometer. Julii 2012, S. 45, 49.
- [9] Vgl. Internationale Energieagentur: Technology Roadmap – Biofuels for Transport. Paris 2011; sowie dies.: World Energy Outlook 2012. Paris 2012, S. 219-222, 552.
- [10] Vgl. Raschka, A.; Carus, M.: Stoffliche Nutzung von Biomasse – Basisdaten für Deutschland, Europa und die Welt. Erster Teilbericht zum F+E-Projekt „Ökologische Innovationspolitik – mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzung von Biomasse“ i. A. des UBA, Hürth 2012.
- [11] Vgl. Institute for European Environmental Policy: EU biofuel use and agricultural commodity prices: A review of the evidence base. London, IEEP 2012.
- [12] Vgl. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Impacts of Bioenergy on Food Security – Guidance for Assessment and Response at National and Project Levels. Rom 2012.
- [13] Vgl. Raschka, Carus, a. a. O. (Fn. [10]).
- [14] Vgl. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, a. a. O. (Fn. [7]), S. 42.
- [15] Vgl. Fritsche, U.: Proceedings of the European Parliament ILUC Workshop. 25.1.2012 in Brussels, Darmstadt 2012.
- [16] Vgl. Fritsche, U.: Sustainable Bioenergy, Key Criteria and Indicators. D 4.1 Delivery of the Biomass Futures project funded by IEE, Darmstadt 2012.
- [17] Vgl. Deutsches Biomasseforschungszentrum: Focus on Biomethane – Biomass for Energy. prepared for BMU, Leipzig 2012.
- [18] Vgl. International Energy Agency: Energy Technology Perspectives 2012 – Pathways to a Clean Energy System. Paris 2012.
- [19] Vgl. Arnold, K.; Fritsche, U.; Maga, D. et al.: Bio-Couple – Kopplung der stofflich/energetischen Nutzung von Biomasse – Analyse und Bewertung der Konzepte und der Einbindung in bestehende Bereitstellungs-

- lungs- und Nutzungsszenarien. Gefördert vom BMU, Wuppertal 2011; BMELV, BMBF, BMU, BMWi (Hrsg.): Roadmap Bioraffinerien im Rahmen der Aktionspläne der Bundesregierung zur stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Berlin 2012.
- [20] Vgl. International Energy Agency: Technology Roadmap – Biofuels for Transport. Paris 2011.
- [21] Vgl. Prognos/Öko-Institut: Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken. Berlin 2009; Deutsches Biomasseforschungszentrum: Analyse zur Erreichung des Mindestziels von 10 % Erneuerbare Energien im Verkehrssektor. Leipzig 2010.
- [22] Vgl. Elbersen, B. et al.: Review of the EU bioenergy potential from a resource efficiency perspective – An update of EEA report No. 7/2006. European Environment Agency, Copenhagen 2013; Imperial College et al.: Biomass Futures – Analysing Europe's Future Bioenergy Needs. Collaborative EEU-IEE project, London etc. 2012.
- [23] Vgl. für einen Überblick Edenhofer, O. et al. (eds.): IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation; IPCC Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change, Genf 2011.
- [24] Vgl. Fritsche, U. et al.: 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 2010.
- [25] Vgl. Kampman, B.; Fritsche, U. et al.: Better Use of Biomass for Energy; Background Report to the Position Paper of IEA RETD and IEA Bioenergy. CE Delft, Öko-Institut, BUBE; Delft, Darmstadt 2010.

*Dr. J. Adolf, Shell Deutschland, Hamburg;
U. Fritsche, Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien, Darmstadt
joerg.adolf@shell.com
uf@iinas.org*