

Klimaneutraler Lkw-Verkehr dank Algenkraftstoffen?



TAB-Fokus Nr. 20 zum Arbeitsbericht Nr. 181

Juni 2019

In Kürze

- Biokraftstoffe aus Algen stellen einen innovativen Ansatz zur regenerativen und klimaschonenden Energieversorgung der aktuell überwiegend dieselmotorisierten Lkw-Flotte dar.
- Algen haben eine deutlich höhere Produktivität als herkömmliche Energiepflanzen und können Landnutzungskonflikte mit der Nahrungsmittelerzeugung oder dem Naturschutz vermeiden.
- An der Herstellung algenbasierter Kraftstoffe wird weltweit geforscht. Bislang ist es jedoch nicht gelungen, Algenkraftstoff energetisch und wirtschaftlich sinnvoll in einem für den Straßengüterverkehr relevanten Umfang zu produzieren.
- Optionen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit liegen in der Optimierung der Algenselektion und -zucht sowie der Verwertung von Algen in sogenannten Bioraffinerien, in denen gleichzeitig verschiedene algenbasierte Rohstoffe und Produkte erzeugt werden.

Worum es geht

Im Jahr 2016 trug der Verkehr insgesamt mit mehr als 165 Mio. t CO₂-Äq. etwa 16 % zu den gesamten Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) Deutschlands bei. Der Straßengüterverkehr verursacht mehr als ein Drittel der gesamten THG-Emissionen des Verkehrssektors. Während in anderen Sektoren seit 1990 zum Teil deutliche Emissionsminderungen erzielt wurden, sind die THG-Emissionen des Straßenverkehrs sogar leicht gestiegen und konterkarieren das Ziel der Bundesregierung, bis 2050 eine weitgehende Klimaneutralität Deutschlands zu erreichen. Zwar konnten die spezifischen Emissionen je km Fahrleistung durch verbesserte Motoren- und Antriebstechnik gesenkt werden, dies wurde aber durch die insgesamt gestiegene Verkehrsleistung überkompensiert.

Einen wichtigen Baustein für die Minderung der THG-Emissionen des Verkehrs bilden Biokraftstoffe, deren Anteil am gesamten Endenergieverbrauch des Verkehrs 2018 bei ca.

5 % lag (Abb. 1). Biokraftstoffe werden aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen und sind daher weitgehend THG-neutral. Zudem können sie mit der etablierten Lkw-Antriebstechnik und der existierenden Versorgungsinfrastruktur genutzt werden.

In den letzten Jahren standen Biokraftstoffe allerdings in der Kritik, durch den Anbau von Energiepflanzen auf Agrarflächen Landnutzungsänderungen und -konflikte angestoßen und eine Erhöhung der Lebensmittelpreise bewirkt zu haben. Propagiert werden daher Biokraftstoffe auf Basis von Algenbiomasse. Der Anbau der Algen kann auf Standorten erfolgen, die weder für die landwirtschaftliche Produktion geeignet noch für die aus naturschutzfachlichen Gründen besonders schützenswert sind. Zudem können bei der Algenproduktion Flächenproduktivitäten erreicht werden, die um den Faktor 7 bis 30 höher liegen als bei landpflanzenbasierter Biomasse.

Wie wird Biomasse aus Algen gewonnen?

Unter den Sammelbegriff Algen wird eine Vielzahl von im Wasser lebenden Organismen gefasst, die Photosynthese betreiben. Algen werden grundsätzlich nach Makro- und Mikroalgen unterschieden. Makroalgen besitzen gut erkennbare Stängel sowie Blätter und sind oft verwurzelt. Mikroalgen sind wesentlich kleiner, ein- oder wenigzellig, divers und anpassungsfähig. Ihre Größe bewegt sich im Nano- bis Millimeterbereich. Konservative Schätzungen gehen von mehr als 70.000 Mikroalgenarten aus.

Die enorme Diversität von Algen hat zu großen Forschungsanstrengungen geführt, besonders geeignete Algenarten für die Kraftstofferzeugung und deren optimale Kultivierungsbedingungen zu identifizieren. Grundsätzlich kann Biomasse

Auftraggeber

Ausschuss für Bildung, Forschung und
Technikfolgenabschätzung
+49 30 227-32861
bildungundforschung@bundestag.de

sowohl von Makro- als auch von Mikroalgen als Rohstoff für die Kraftstoffherzeugung verwendet werden. Der Anbau von Makroalgen ist jedoch nur in natürlichen Gewässern möglich, sodass Ertrag und Qualität der Algenbiomasse starken Schwankungen unterliegen. Für die Zucht von Mikroalgen sprechen die höheren Wachstumsraten durch effizienteren Nährstoffumsatz und die größere technische Kontrollierbarkeit der Produktion. Diese ermöglicht auch die gezielte Anregung der Bildung der für die Kraftstoffgewinnung besonders relevanten Algeninhaltsstoffe.

Die Produktion von Mikroalgen erfolgt in offenen oder geschlossenen Systemen. In offenen Produktionssystemen wird das Kulturmedium aus Wasser und Nährstoffen in flä-

schungsschwankungen auszugleichen. Durch die kontrollierten Bedingungen im geschlossenen System ist eine höhere Produktivität als in offenen Systemen möglich und die Algen können in hoher Reinheit mit den gewünschten Eigenschaften produziert werden. Nachteilig sind die aufwendigere und kostenintensivere Technik und der höhere Energieeinsatz.

Wie lässt sich aus Algen Kraftstoff erzeugen?

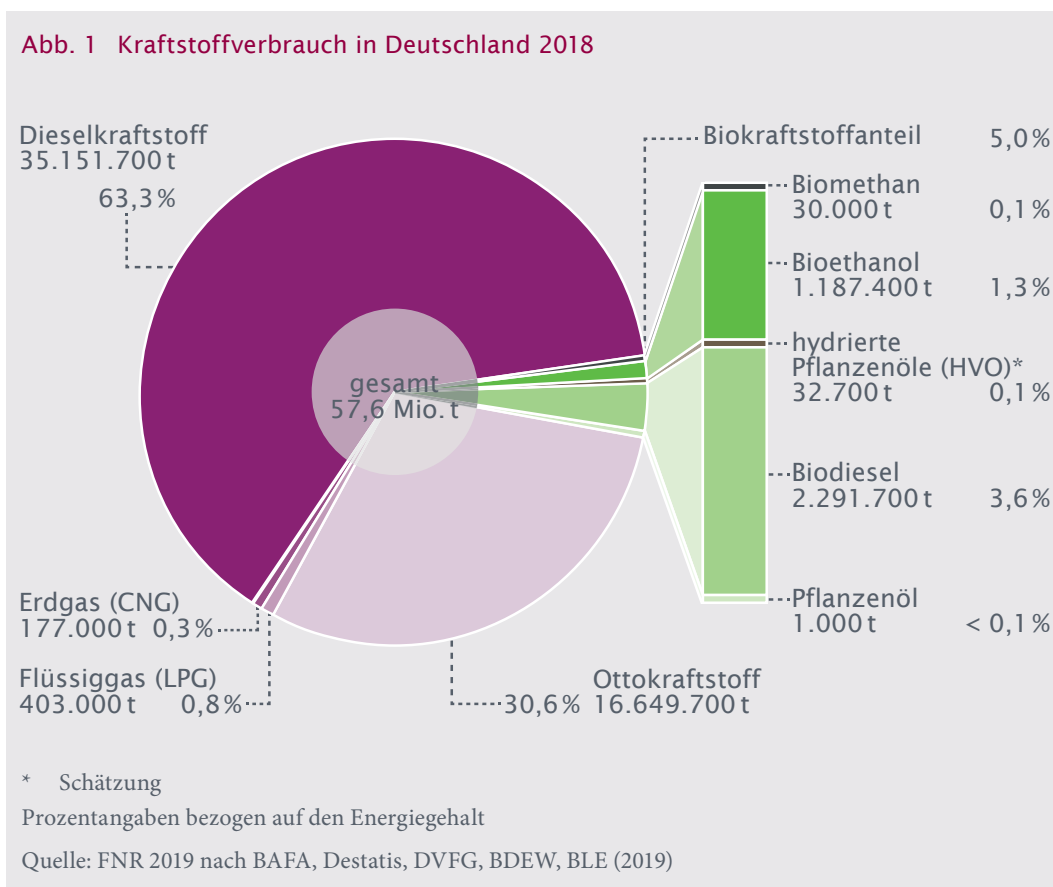
Algenbiomasse kann auf verschiedenen Wegen zu Biokraftstoff weiterverarbeitet werden. Der am intensivsten untersuchte Kraftstoffpfad ist die Nutzung der in den Algen enthaltenen Öle bzw. Lipide, die sich in herkömmlichen Raffinerien zu Kraftstoff verarbeiten lassen.

Für die Gewinnung der Algenöle muss die Algenbiomasse zunächst gesammelt und getrocknet werden. Für Ernte, Trocknung und Ölextraktion sind verschiedene Verfahren entwickelt worden, die technisch anspruchsvoll und sehr energieintensiv sind. Dies bedeutet, dass die für die Kraftstoffherstellung notwendige Energie den Energiegehalt des gewonnenen Kraftstoffs übersteigt. Teilweise muss auch mit umweltgefährdenden Flockungs- und Lösungsmitteln gearbeitet werden.

Die aus den Algen gewonnenen Öle lassen sich durch eine Reihe unterschiedlicher Verfahren zu Biokraftstoffen umwandeln.

Für eine Dekarbonisierung des Straßengüterfernverkehrs sind vor allem jene Verfahren relevant, die Biokraftstoffe erzeugen, die fossilem Diesel beigemischt werden oder ihn komplett ersetzen könnten. So ist es möglich, Algenöle zu Fettsäuremethylester (Fatty Acid Methyl Ester [FAME]) umzuwandeln. Weiterhin lassen sich Dieselsubstitute durch die Hydrierung von Ölen (Hydrotreated Vegetable Oils [HVO] bzw. Hydrotreated Esters and Fatty Acids [HEFA]) herstellen. Beide Verfahren sind für die Verwendung anderer Biomasse bereits etabliert. So wurden 2015 weltweit ca. 25 Mio. t FAME-Diesel und ca. 3 Mio. t HEFA-Kraftstoffe produziert. Für die Nutzung von Algenölen gibt es derzeit allerdings noch keine kommerziell produzierende Anlage.

Abb. 1 Kraftstoffverbrauch in Deutschland 2018



chen Becken umgewälzt, sodass eine gleichmäßige Sonnenbestrahlung der Algen gewährleistet wird. Vorteile dieser Produktionsweise liegen in der vergleichsweise einfachen Technik der Anlagen sowie im relativ geringen Energieaufwand. Nachteilig wirken sich die saisonalen Schwankungen der Wärme- und Lichtverhältnisse sowie die Verdunstung des Kulturmediums aus. Eine weitere Herausforderung besteht in der Gefahr von Kontaminationen durch Einträge von Abgasen oder durch Mikroorganismen, Insekten oder Vögel. Geschlossene Produktionssysteme bestehen entweder aus langen transparenten Röhren oder flachen, vertikal errichteten Platten, durch die das Nährmedium beständig gepumpt wird. So ist es möglich, Temperatur- und Strah-

Um den technisch und energetisch aufwendigen Prozess der Extrahierung der Algenöle zu vermeiden, werden zunehmend Kraftstoffpfade erforscht, die die ganze Alge nutzen. So wird untersucht, wie aus Algenbiomasse synthetische Kraftstoffe erzeugt werden können – ein Verfahren, das für andere nachwachsende Rohstoffe, wie Stroh und Holz, bereits gut erforscht ist. Noch größere Hoffnungen ruhen auf dem Kraftstoffpfad der hydrothermalen Verflüssigung, bei dem auf eine Trocknung der Algenbiomasse verzichtet werden kann. Beiden Verfahren wird zwar großes Potenzial zugesprochen, allerdings besteht bei ihnen auch noch erheblicher Entwicklungsbedarf. Schließlich können statt Dieselsubstituten potenziell auch Kerosin oder gasförmige Kraftstoffe aus Algenbiomasse gewonnen werden.

Kosten der Herstellung von Algenkraftstoffen

Die erzeugbaren Mengen an algenbasierten Biokraftstoffen und die Kosten ihrer Produktion lassen sich aufgrund des noch frühen technologischen Entwicklungsstands nur mit großer Unsicherheit abschätzen. Unter den klimatischen Bedingungen in Deutschland kann im Mittel von Jahreserträgen an Algenbiomasse von ca. 30 bis 50 t/ha in offenen und 30 bis 100 t/ha in geschlossenen Produktionssystemen ausgegangen werden. Die neben dem Jahresertrag entscheidende Größe für die Ausbeute an Biokraftstoffen ist der Ölgehalt der Algen, der in Abhängigkeit von Algenart und Nährstoffangebot im Wachstumsmedium in großen Bandbreiten variieren kann.

Für Vergleichsrechnungen werden häufig durchschnittliche Ölgehalte von 25 bis 30 % der erzeugten Algenbiomasse angesetzt. Demnach ließen sich etwa 7,5 bis max. 30 t Algenöle/ha in Deutschland erzeugen. Ein Vergleich mit Raps, der in Deutschland mit Abstand bedeutendsten Ölpflanze, macht das grundsätzliche Potenzial von Algen für die Kraftstoffherzeugung deutlich: Bei einem mittleren Jahresertrag von 3,5 t/ha und einem Standardölgehalt von 40 % erhält man einen Rapsölertrag von lediglich 1,2 t/ha.

Ein großes Hindernis für die Wettbewerbsfähigkeit algenbasierter Biokraftstoffe sind jedoch die Produktionskosten der Algenbiomasse – diese werden in offenen Systemen auf 500 bis 20.000 Euro/t, in

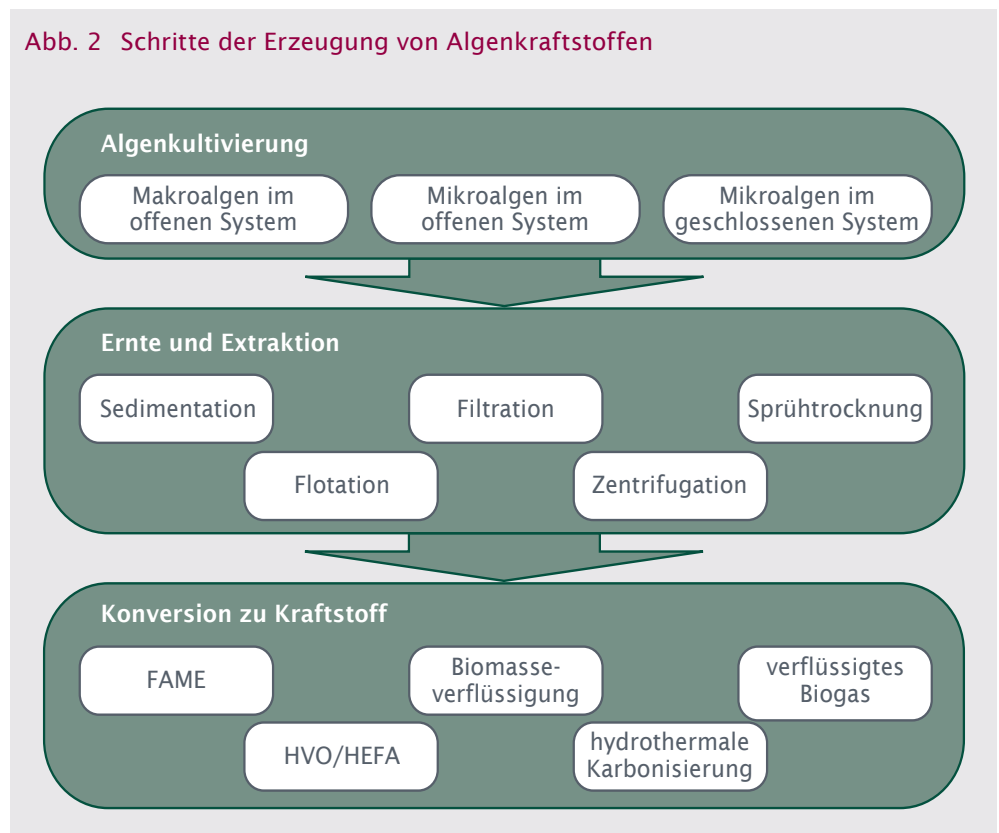
geschlossenen Systemen sogar auf 500 bis 100.000 Euro/t geschätzt. Im Vergleich dazu liegt das Erzeugerpreisniveau für Raps (ca. 330 Euro/t) und für Weizen (ca. 170 Euro/t) deutlich darunter. Die Kosten der Weiterverarbeitung der Algenöle zu Kraftstoffen sind hingegen grundsätzlich mit denen anderer Biokraftstoffe auf Basis von Pflanzenölen vergleichbar.

Das Potenzial von Algenkraftstoffen: theoretisch hoch, in der Praxis gering

Betrachtet man das Potenzial algenbasierter Biokraftstoffe für eine Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs, so zeigen sich auf der einen Seite die theoretischen Vorteile dieser Technologie. Die höhere Flächenproduktivität gegenüber der Erzeugung pflanzenbasierter Rohstoffe und die Möglichkeit, auf Standorten zu produzieren, die nicht in Konkurrenz zur Erzeugung von Nahrungsmitteln oder dem Naturschutz stehen, helfen dabei, unerwünschte Nebenwirkungen von Biokraftstoffen abzumildern. Gegenüber Kraftstoffen aus fossilen Rohstoffen ist zudem eine vorteilhafte THG-Bilanz zu erwarten.

Auf der anderen Seite zeigt der wissenschaftliche Kenntnisstand aber auch, dass algenbasierte Biokraftstoffe unter den

Abb. 2 Schritte der Erzeugung von Algenkraftstoffen



derzeit als plausibel angenommenen Produktionsoptionen auf kurz- und mittelfristige Sicht keinen Beitrag für einen klimaneutralen Verkehr leisten können. So muss derzeit

mehr Energie in die Erzeugung der Algenöle zur Kraftstoffherstellung investiert werden, als letztlich in Form des Kraftstoffs gewonnen wird. Zudem führen die immer noch frühe Phase der Technologieentwicklung und die hohen Produktionskosten der Algenbiomasse dazu, dass auf mittlere Sicht kaum mit dem Aufbau von industriellen Produktionsstrukturen für Algenkraftstoffe zu rechnen ist. Für Deutschland sind zudem das potenzielle Angebot an Flächen für die Algenproduktion und auch die Produktivität der Algen unter den hier herrschenden klimatischen Bedingungen eingeschränkt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein spürbarer Beitrag zur Verbesserung der THG-Bilanz des Straßengüterverkehrs bis 2050 von algenbasierten Biokraftstoffen nicht erwartet werden kann. Hierfür wären wissenschaftlich-technische Durchbrüche und Prozessinnovationen vonnöten, die derzeit nicht absehbar sind. Strombasierte Antriebskonzepte scheinen für die Erreichung eines THG-neutralen Verkehrs unausweichlich.

Der Einsatz synthetischer Kraftstoffe sowie begrenzter Mengen nachhaltig produzierter Biokraftstoffe wäre dagegen eher auf jene Einsatzbereiche zu beschränken, in denen eine direkte Elektrifizierung technisch oder ökonomisch nicht realisierbar ist (z. B. im Luft- und Seeverkehr).

Ansätze zur Nutzbarmachung der Potenziale

Die Aufarbeitung des aktuellen Wissensstands hat deutlich gemacht, dass für eine großtechnische und aus Nachhaltigkeitsperspektive sinnvolle Erzeugung algenbasierter Kraftstoffe wesentliche Fortschritte insbesondere hinsichtlich ihrer Energiebilanz erforderlich sind. Die gezieltere Auswahl von Algenarten sowie Prozessinnovationen bei der Extraktion der Algenöle und der Weiterverarbeitung zu Kraftstoffen sind hier Ansatzpunkte. Der Vergleich mit anderen Kraftstoffen zeigt, dass die Herausforderungen vor allem bei der Produktion der Algenbiomasse bestehen. In technischer Hinsicht gibt es zwar auch aufseiten der Kraftstoffproduktion noch spezifischen Entwicklungsbedarf, der eigentliche Engpass ist jedoch die hierfür notwendige Massenproduktion von Algen.

TAB-Arbeitsbericht Nr. 181

Das Potenzial algenbasierter Kraftstoffe für den Lkw-Verkehr

Christoph Schröter-Schlaack, Christoph Aicher unter Mitarbeit von Reinhard Grünwald, Christoph Revermann, Johannes Schiller



Projektinformation

www.tab-beim-bundestag.de/de/untersuchungen/u20600.html

Kontakt

Dr. Reinhard Grünwald
+49 30 28491-107
gruenwald@tab-beim-bundestag.de

Um sich den theoretischen Potenzialen der Algentechnologie in der Praxis sinnvoll anzunähern, wird derzeit eine möglichst umfassende Verwertung der Algenbiomasse in Bioraffinerien angestrebt und intensiv beforscht. Hierbei steht die Erzeugung hochpreisiger algenbasierter Produkte mit hohem Vermarktungspotenzial (z. B. Nahrungsergänzungsmittel, Kosmetika, chemische Verbindungen) im Vordergrund. Dieser Ansatz, in dem die Kraftstoffproduktion nur ein nachgeordneter Aspekt ist, könnte dabei helfen, die Kosten der Erzeugung von Algenbiomasse auf ein marktfähiges Niveau zu senken.

Als zweite Möglichkeit ist die Nutzung von Abwässern als Nährmedien für die Algenzucht interessant. Die sich hier ergebenden Synergien zwischen Nährstoffbereitstellung und Abwasserreinigung könnten ein Weg für eine langfristige Kostensenkung der Algenkraftstoffproduktion sein. Allerdings resultieren aus der komplexen und vielgliedrigen Prozesskette von der Zucht der Algenbiomasse bis zur Herstellung der algenbasierten Produkte noch zahlreiche Forschungsfragen, für deren Beantwortung vor allem die Förderung von Pilotanlagen sinnvoll erscheint, um die verfügbaren modelltheoretischen Überlegungen in der wissenschaftlichen Literatur mit realen Betriebsdaten zu untersetzen.

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) berät das Parlament und seine Ausschüsse seit 1990 in Fragen des wissenschaftlich-technischen Wandels. Das TAB ist eine organisatorische Einheit des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) im Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Zur Erfüllung seiner Aufgaben kooperiert es seit September 2013 mit dem IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH sowie der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Von September 2013 bis August 2018 war das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ weiterer Kooperationspartner. Der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung entscheidet über das Arbeitsprogramm des TAB, das sich auch aus Themeninitiativen anderer Fachausschüsse ergibt. Die ständige »Berichterstattergruppe für TA« besteht aus dem Ausschussvorsitzenden Dr. Ernst Dieter Rossmann (SPD) sowie je einem Mitglied der Fraktionen: Stephan Albani (CDU/CSU), René Röspel (SPD), Dr. Michael Ependiller (AFD), Mario Brandenburg (FDP), Ralph Lenkert (Die Linke), Dr. Anna Christmann (Bündnis 90/Die Grünen).