

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR UMWELT-, SICHERHEITS- UND ENERGIETECHNIK UMSICHT

DAS FRAUNHOFER UMSICHT NIMMT STELLUNG

Thema: Kraftstoffe der Zukunft



DAS FRAUNHOFER UMSICHT NIMMT STELLUNG

Thema: Kraftstoffe der Zukunft

Mit der Reihe »Das Fraunhofer UMSICHT nimmt Stellung« greifen wir Themen auf, die Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft aktuell beschäftigen. Neben unserer Forschungstätigkeit möchten wir Stellung beziehen und in emotionalen Debatten zur Versachlichung beitragen. Gleichzeitig möchten wir aufzeigen, ob und wo wir einen Beitrag zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen sehen und darüber hinaus leisten können.

Unsere Stellungnahmen erarbeiten die Mitarbeitenden beim Fraunhofer UMSICHT gemeinsam – hinter einem Positionspapier steht ein Meinungsbildungsprozess am Institut. Bei kontroversen Themen bilden die Mitarbeitenden beim Fraunhofer UMSICHT oft auch die Vielfalt der Meinungen innerhalb der Gesellschaft ab. Wir werden unterschiedliche Meinungen offen darstellen, falls wir keine einheitliche Position beziehen können.

Sprechen Sie uns an:

Zum Positionspapier Kraftstoffe der Zukunft

Prof. Dr. Andreas Hornung
+49 9661 8155-502
andreas.hornung@umsicht.fraunhofer.de

Allgemein zu unseren Positionspapieren:

Nachhaltigkeit und Partizipation
Dr. Markus Hiebel +49 208 8598-1181
markus.hiebel@umsicht.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Andreas Menne
+49 208 8598-1172
andreas.menne@umsicht.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Umwelt-,
Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT
Osterfelder Straße 3
46047 Oberhausen

Bitte zitieren Sie das Positionspapier folgendermaßen:

Kraftstoffe der Zukunft – Das Fraunhofer UMSICHT nimmt Stellung, UMSICHT Positionspapiere, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.), Oberhausen, Mai 2020

Bildnachweis Titelseite:
© shutterstock

© Fraunhofer UMSICHT

Stand des Dokuments: Mai 2020

1 Hintergrund

Bis zum Jahr 2050 soll Deutschland weitgehend treibhausgasneutral werden! Damit dieses Ziel erreicht werden kann, sollen die Treibhausgasemissionen bereits bis 2030 um mindestens 55 Prozent gegenüber dem Niveau von 1990 sinken. Der Klimaschutzplan der Bundesregierung gibt deshalb auch für den Verkehrssektor bis 2030 eine Treibhausgaseinsparung von 42 bis 40 Prozent als Ziel vor [Bund-2016]. Wie jedoch kann dieses Ziel erreicht werden? Sind technische Innovationen für Kraftfahrzeuge ein Allheilmittel oder bedarf es zusätzlich auch weitreichender Veränderungen im Mobilitätsverhalten, die auch die Art, wie wir zukünftig arbeiten und leben werden, betreffen?

Technische Lösungsvorschläge zur Senkung der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor basieren meist darauf, dass fossile Kraftstoffe durch elektrischen Strom ersetzt werden, der mithilfe von Sonne, Wind oder Biomasse erzeugt wird. Der direkte Weg, Sonnen- und Windenergie in den Verkehrssektor zu integrieren, besteht darin, Kraftfahrzeuge mit elektrisch angetriebenen Motoren auszustatten, die über eine aufladbare Batterie mit Strom versorgt werden. Auch wenn bei dieser als E-Mobilität bezeichneten Kraftfahrzeugtechnik noch Herausforderungen zu bewältigen sind, die im großen Ressourcenverbrauch für die Batterien, Problemen im Aufbau der Infrastruktur und verringerten Reichweiten bestehen, ermöglichen es elektrisch angetriebene Fahrzeuge, eine weitgehend CO₂-freie Energiequelle für den Verkehrssektor zu erschließen¹. Die direkte Stromnutzung mit elektrischen Antrieben ist dabei im Vergleich zu den meisten anderen Optionen mit den niedrigsten Umwandlungsverlusten verbunden. Es stellt sich also die Frage, ob es zukünftig nur noch Verkehrsmittel mit batterie-elektrischem Antrieb und/oder Brennstoffzellen geben wird und Verbrennungsmotoren mit den zugehörigen Kraftstoffen nicht mehr benötigt werden.

¹ Voraussetzung hierfür ist, dass es sich um Strom aus nicht fossilen Quellen handelt.

2 Positionen des Fraunhofer UMSICHT

1. Werden zukünftig weiter Kraftstoffe benötigt?

Auch wenn es gelingt, den Personenkraftfahrzeugverkehr in Deutschland weitgehend auf Elektromotoren umzustellen, verbleiben große Bereiche des Verkehrssektors, in denen ein rein Batterie-elektrischer Antrieb schwierig, wenn nicht gar unmöglich ist. Zu diesen Bereichen gehören der Flugverkehr, die Schifffahrt, landwirtschaftliche Transportmittel, ggf. auch Baumaschinen und der Schwerlastverkehr.²

→ *Es werden auch zukünftig noch Kraftstoffe mit hoher Energiedichte benötigt.*

2. Aus welchen Rohstoffen müssen Kraftstoffe zukünftig hergestellt werden?

Um Treibhausgasneutralität ohne Kompensationsmaßnahmen zu erreichen, müssen die benötigten Kraftstoffe eine regenerative Basis haben. Andere fossile Rohstoffe wie Kohle bieten gegenüber Erdöl und Gas lediglich Vorteile durch ihre nationale und langfristige Verfügbarkeit. Gesamtwirtschaftlich und aus Klimaschutzgründen ist die Verwendung von Kohle als Rohstoff für Kraftstoffe eher nachteilig.

Konventionelle Kraftstoffe, die aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden, können grundsätzlich durch Wasserstoff ersetzt werden. Vorteilhaft bei der direkten Verwendung von Wasserstoff als Energieträger ist, dass bei seiner Umsetzung mit Sauerstoff Energie freigesetzt wird und als Reaktionsprodukt Wasser entsteht. Im Vergleich zu Kraftstoffen, die mithilfe von Wasserstoff aus CO₂ hergestellt werden können, beispielsweise Methanol, ist die direkte Verwendung von Wasserstoff energieeffizienter, da zusätzliche Konversionsschritte mit Energieverlusten verbunden sind. Zugleich ist Wasserstoff »kohlenstofffrei« und führt somit auch nicht zu CO₂-Emissionen. Wasserstoff kann mithilfe der Brennstoffzellentechnik direkt zum Antrieb von elektromotorischen Kraftfahrzeugen verwendet werden.

Es ist auch möglich, kohlenstoffhaltige Kraftstoffe, die in ihrer Zusammensetzung mit den heutigen Kraftstoffen vergleichbar sind, auf regenerativer Basis herzustellen. So lassen sich unter bestimmten Voraussetzungen, die sich am Grundsatz der Nachhaltigkeit orientieren, auch Biomassen bzw. Reststoffe aus Biomassen als Rohstoffe für Kraftstoffe einsetzen. Die Herstellung von Kraftstoffen aus Biomasse kann u. a. mit Vergärungs-, Vergasungs- und Pyrolyseverfahren erfolgen. Bei Pyrolyseverfahren wird aus Biomasse durch Erhitzen unter weitgehendem Sauerstoffausschluss eine energiereiche Flüssigkeit gewonnen, die zu Kraftstoffen verarbeitet werden kann. Vergasungsverfahren liefern als Produkt zunächst ein sogenanntes »Synthesegas«, das im Wesentlichen aus CO, CO₂ und Wasserstoff besteht, das mithilfe von Katalysatoren in bekannten und erprobten Prozessrouten zu unterschiedlichen Kraftstoffen umgesetzt werden kann. Da Synthesegas auch aus CO₂ und Wasserstoff hergestellt werden kann, eignet sich grundsätzlich auch CO₂ als Rohstoff für Kraftstoffe. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, Synthesegas biotechnologisch durch Enzyme oder Mikroorganismen zu Kohlenwasserstoffen umzusetzen. Technische Verfahren zur Herstellung von Kraftstoffen aus Biomasse oder CO₂ sind relativ weit entwickelt. Ihrer Umsetzung stehen oft weniger technische als wirtschaftliche, regulatorische, logistische und ökologische Hemmnisse im Weg.³

→ *Zukünftig kann Wasserstoff als Kraftstoff eingesetzt werden oder Kraftstoffe können aus CO₂ und Wasserstoff sowie aus Biomasse hergestellt werden.*

²Weitergehende Informationen zum zukünftigen Kraftstoffbedarf finden sich im Whitepaper der DECHEMA [Wagemann-2017] und einer Studie von Prognos AG, Fraunhofer UMSICHT und dem Deutschen Biomassezentrum.

³Die Nutzung von Biomasse und CO₂ als Rohstoff für Kraftstoffe und Chemikalien wird beispielsweise in einem Themenheft des Fraunhofer UMSICHT [Marzi-2017] diskutiert. Einen Überblick über den Entwicklungsstand der benötigten technischen Verfahren gibt eine Studie der DECHEMA [Bazanella-2017]

3. Wie verfügbar ist Biomasse für die Kraftstoffherstellung?

Die Ressource Biomasse ist national und global begrenzt und oft nur in ausgewählten Ländern oder Landesteilen in größeren Mengen verfügbar. Beim Anbau von Biomasse sind die Priorität der Nahrungsmittelversorgung und ein an Kriterien der Nachhaltigkeit orientierter Anbau zu beachten, der auch Aspekte des Artenschutzes und soziale Faktoren berücksichtigt.⁴

→ *Es sollen bevorzugt Reststoffe biologischen Ursprungs als Rohstoffe für Kraftstoffe verwendet werden. Der Umfang und die Art des Anbaus von Energiepflanzen muss sozial verträglich sein und darf die Nahrungsmittelversorgung sowie bestehende Ökosysteme nicht gefährden.*

4. Wie verfügbar ist CO₂ für die Kraftstoffherstellung?

Nach einer Abschaltung von Kraftwerken stehen langfristig beispielsweise noch Hütten-⁵ und Zementwerke sowie die thermische Abfallbehandlung als wesentliche zentrale CO₂-Quellen zur Verfügung. Ob es zukünftig gelingt, CO₂ unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien in einer solchen Größenordnung aus der Luft zu gewinnen, dass ausreichende Mengen Kraftstoffe daraus hergestellt werden können, ist zurzeit noch eine umstrittene Frage. Die Konzentration von CO₂ in den Abgasen der o. g. Prozesse ist um Größenordnungen höher als in Luft.

→ *Es ist davon auszugehen, dass zunächst vor allem nicht vermeidbare Abgase industrieller Prozesse als CO₂-Quellen dienen werden.*

5. Woher kommt die regenerative Energie, die zur Herstellung zukünftiger Kraftstoffe benötigt wird?

Zur Herstellung zukünftiger Kraftstoffe wird Wasserstoff benötigt, der entweder direkt als Kraftstoff eingesetzt oder als Reaktionspartner für CO₂ benötigt wird. Die Herstellung von Wasserstoff erfolgt zukünftig wahrscheinlich durch die Elektrolyse von Wasser, für die erhebliche Mengen an regenerativem elektrischen Strom benötigt werden. Eine noch größere Strommenge ist erforderlich, wenn CO₂ in Kraftstoffe umgewandelt wird. Die erschließbaren Potenziale an Wind- und Sonnenenergie in Deutschland sind begrenzt und werden weiterhin vorrangig für den elektrischen Energiebedarf und zukünftig den Wärmebedarf genutzt werden. Weltweit betrachtet gibt es Standorte, die über höhere Potenziale an erneuerbaren Energien verfügen als Deutschland.⁶

→ *Es muss priorisiert werden, für welche Zwecke das in Deutschland erschließbare regenerative Energiepotenzial eingesetzt werden soll. Die Versorgung mit Kraftstoffen erfordert internationale Kooperationen, die Regionen mit hohen Potenzialen an erneuerbaren Energien einbeziehen. Ziel dieser Kooperationen muss es sein, bestehende Erdöl- und Erdgasimporte durch Importe von regenerativ hergestellten Energieträgern zu ersetzen. Es ist wichtig, diese internationalen Kooperationen so zu gestalten, dass auch in den Regionen, die die Energieträger exportieren, eine nachhaltige Entwicklung erfolgen kann. Die systemische Verknüpfung von Strom, CO₂, Wasserstoff, Zwischenprodukten und Kraftstoffen stellt eine politische, wirtschaftliche, soziale und logistische Herausforderung dar.*

⁴ Angaben zu verfügbaren Biomassepotenzialen sind in einer Studie des Deutschen Biomassezentrums zu finden [Knebel-2014].

⁵ Für den Fall, dass es gelingt, in Hüttenwerken Wasserstoff anstelle von Kohlenstoff zur Umwandlung des Eisenerzes in Roheisen einzusetzen, verringert sich die CO₂-Menge, die aus Hüttenwerken bereitgestellt werden kann.

⁶ Die Verwendung von CO₂ als Rohstoff und die hierfür benötigten Mengen regenerativer Energie werden in einem Themenheft des Fraunhofer UMSICHT [Marzi-2017] diskutiert. Eine Betrachtung der in Deutschland erschließbaren erneuerbaren Energiepotenziale findet sich in einer Studie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. [Kreyenberg-2015]. Mit dem für Kraftstoffe und Chemikalien nutzbaren Potenzial erneuerbarer Energien setzt sich eine Studie des Weltenergieerats auseinander [Perner-2018].

6. Reicht (eine) Technologie aus, um den Kraftstoffbedarf zu decken?

Sowohl Biomassepotenziale als auch die erschließbaren Potenziale regenerativen Stroms sind begrenzt. Konzepte, die ausschließlich auf Technologie oder nur auf eine Technologie setzen, werden deshalb voraussichtlich nicht ausreichend sein, die gewünschte Mobilität von Menschen und den und den waren- und dienstleistungsbedingten Verkehr sicherzustellen.

→ *Konzepte, die auf Biomasse oder CO₂ als Rohstoff für kohlenstoffhaltige Kraftstoffe setzen, ergänzen sich. Zukünftige regenerative Kraftstoffe werden auf beide Rohstoffquellen zurückgreifen müssen. Zusätzlich gilt es, Mobilitätskonzepte neu zu denken, das Verkehrsaufkommen zu verringern und die Transformation des Energiesystems als interdisziplinäre Aufgabe zu betrachten.*

7. Welche Kraftstoffe werden benötigt?

Soll Wasserstoff zukünftig im Mobilitätssektor eine bedeutende Rolle spielen, bedarf es hierzu neuer Energiewandlungstechnologien für den Antrieb von Kraftfahrzeugen und einer flächendeckenden, auch für den Schwerlastverkehr geeigneten Wasserstoffinfrastruktur. Möglicherweise gilt es hier, einen ausgewogenen Mix an Wasserstoffinfrastruktur und Infrastruktur für Elektromobilität zu definieren. Um internationalen Verkehr sicherzustellen, sind entsprechende Hubs als Schnittstellen vorzusehen und eine internationale, zumindest EU-weite Strategie zu entwickeln.

Vor allem für den Luftverkehr gilt, dass Kraftstoffe über eine möglichst hohe Energiedichte verfügen müssen. Die Energiedichte gibt die Energiemenge an, die in einem bestimmten Volumen oder in einer bestimmten Masse des Kraftstoffs gebunden ist. Eine hohe Energiedichte ermöglicht also eine große Reichweite oder eine Verringerung der Kraftstoffmenge, die im Tank mitgeführt werden muss. Eine besonders hohe Energiedichte⁷ weisen Kohlenwasserstoffe auf. Sie können grundsätzlich mit sogenannten »Fischer-Tropsch-Verfahren« aus Synthesegasen hergestellt werden, die entweder aus der Biomassevergasung stammen oder aber aus CO₂ und Wasserstoff hergestellt werden. Auch Pyrolyseverfahren, das Hydrieren von Pflanzenölen oder die Nutzung von Alkoholen ermöglichen es, normgerechte Kraftstoffe herzustellen. Diese können dann in Verbrennungsmotoren alleine oder gemischt genutzt werden, ggf. auch in Brennstoffzellen.

Eine Schlüsselrolle bei der Herstellung von Kraftstoffen aus Biomasse oder CO₂ können auch Alkohole einnehmen. Alkohole können zu Kohlenwasserstoffen weiterverarbeitet werden und Ethanol wird bereits heute als E10 dem Otto-Kraftstoff zugesetzt. Ob Methanol als Kraftstoff oder Kraftstoffzusatz eingesetzt werden soll, wird international unterschiedlich bewertet. Methanol kann jedoch direkt aus CO₂ und Wasserstoff hergestellt werden und ist Ausgangsprodukt für Kraftstoffe, die als Dieseleratz bzw. -zusatz diskutiert werden. Hierzu gehören die Oxymethylenether (OME) oder der Dimethylether (DME), die beide den Vorteil haben, bei der Verbrennung wenig Stickoxide und wenig Feinstaub zu produzieren. Neben Kraftstoffen kann Methanol auch als Ausgangsstoff für wichtige Basischemikalien verwendet werden. Beispiele für solche Basischemikalien sind Ethen und Propen, die heute entweder aus Erdöl oder Schiefergas gewonnen werden.⁸

→ *Zukünftig werden Kohlenwasserstoffgemische, ggf. auch Ethanol, Methanol und methanolstämmige Verbindungen eine wichtige Bedeutung als Kraftstoffe oder Kraftstoffzusätze haben. Die Produktionsanlagen werden in Bezug auf ihre Zielmärkte flexibel sein und beispielsweise Methanol je nach Bedarf für den Kraftstoff- und Chemikalienmarkt herstellen.*

⁷ Wasserstoff hat in Vergleich zu anderen Kraftstoffen bezogen auf die Masse die höchste Energiedichte, aber bezogen auf das Volumen nur eine äußerst geringe Energiedichte. Um Speichervolumina zu verkleinern, muss Wasserstoff deshalb unter hohem Druck bevorratet werden.

⁸ Welche Stoffe als zukünftige Kraftstoffe Verwendung finden können, behandeln das Whitepaper der DECHEMA [Wagemann-2017] und eine Studie von Prognos AG, Fraunhofer UMSICHT und dem Deutschen Biomassezentrum [Hobohm-2018].

3 Notwendige Schritte aus Sicht des Fraunhofer UMSICHT

1. Da nicht alle Verkehrsbereiche batterie-elektrisch erschlossen werden können, muss zusätzlich zur E-Mobilität die Entwicklung von Wasserstofftechnologien und Technologien für regenerative Kraftstoffe vorangetrieben werden.
2. Eine Schlüsselrolle, nicht nur zur Herstellung von Kraftstoffen, nimmt die verfügbare, treibhausgasfreie Energie ein. Der Ausbau regenerativer Energien muss deshalb soweit wie möglich vorangetrieben werden. Sowohl batterie-elektrische Antriebe als auch wasserstoffbasierte Brennstoffzellenanwendungen und regenerative Kraftstoffe können einen signifikanten Beitrag zur Begrenzung des Klimawandels nur leisten, wenn ausreichende Mengen an regenerativer Energie zur Verfügung stehen.
3. Zur Sicherung des Industriestandorts Deutschland müssen faire und langfristige Kooperationen mit Regionen und Staaten entwickelt werden, die über große Potenziale erneuerbarer Energien verfügen. Zur Nutzung der in Deutschland verfügbaren regenerativen Energiepotenziale ist eine Priorisierung von Nutzungszwecken vorzunehmen. Eine leistungsfähige Infrastruktur für Strom und Wasserstoff muss bereitgestellt werden.
4. Da noch unklar ist, zu welchen Anteilen Biomasse und CO₂ zur Herstellung von Kraftstoffen zukünftig verwendet werden und mit welchen Verfahren dies geschieht, müssen Verfahren parallel zueinander entwickelt und demonstriert werden. Welche Verfahren eingesetzt werden, hängt von Menge und Art der benötigten Kraftstoffe, aber auch von den verfügbaren Biomassen und nutzbaren CO₂-Quellen ab.
5. Unter Fortführung der heutigen Wettbewerbsbedingungen werden etablierte, fossile Rohstoffe nutzende Verfahren auch zukünftig betriebswirtschaftlich günstiger sein als neue Verfahren, die beispielsweise CO₂ und/oder Biomasse als Rohstoff einsetzen. Damit die neuen Verfahren betriebswirtschaftlich wettbewerbsfähig werden, muss regenerativer Strom günstig sein und CO₂-Emissionen müssen international mit einem ausreichend hohen Preis versehen werden.
6. Für eine Verkehrswende werden technologische Innovationen für batterie-elektrische Antriebe, wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen und regenerative Kraftstoffe benötigt. Diese Innovationen werden für eine ökologisch, ökonomisch und sozial erfolgreiche Verkehrswende aber nicht ausreichen, wenn nicht zugleich mit interdisziplinären Ansätzen an einer Verringerung der Verkehrsmenge und einer Anpassung der Verkehrskonzepte gearbeitet wird.
7. Die Infrastruktur und Herstellung von Kraftstoffen sowie deren Verwendung benötigt eine langfristig verlässliche regulatorische Basis.

4 Quellenverzeichnis

- [Bazanella-2017] Alexis Bazanella, Florian Ausfelder; Technology Study Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry, DECHEMA e. V.; Frankfurt am Main 2017, ISBN 978-3-89746-196-2
- [Bund-2016] Bundesregierung (Hrsg.); Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung; Berlin 2016
- [Hobohm-2018] Jens Hobohm et al.; Status und Perspektiven flüssiger Energieträger in der Energiewende; Prognos AG, Fraunhofer UMSICHT, Deutsches Biomasseforschungszentrum DBFZ (Hrsg.); Berlin 2018
- [Knebel-2014] Alexander Knebel et al.; Potenziale der Bioenergie: Metastudie; Agentur für Erneuerbare Energien e. V. (Hrsg.); Berlin 2014
- [Kreyenberg-2015] Danny Kreyenberg et al.; Potenziale und Entwicklungsperspektiven verschiedener erneuerbarer Energieträger und Energieverbrauch der Verkehrsträger: Studie im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung, Unterstützung und Beratung des BMVI, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (Hrsg.); Berlin 2015
- [Marzi-2017] Thomas Marzi et al.; Kohlenstoff, Biomasse und Regenerativer Strom – Ressourcen einer neuen Kohlenstoffwirtschaft –, Oberhausen, Rheinl. 2017; ISBN: 978-3-87468-358-6
- [Perner-2018] Jens Perner und David Bothe; Internationale Aspekte einer Power-to-X Roadmap – Zusammenfassung, World Energy Council, frontier economics; 2018
- [Wagemann-2017] Kurt Wagemann, Florian Ausfelder; White Paper E-Fuels – Mehr als eine Option; DECHEMA e. V.; Frankfurt am Main 2017; ISBN: 978-3-89746-198-7