



# **Erfolgsfaktoren für einen effektiven Klimaschutz im Straßengüterverkehr**

## Hintergrundpapier

---

Ort: Heidelberg, Berlin, Karlsruhe

Datum: 22.12.2021

Version 2

## Impressum

---

### Hauptautoren

**Hinrich Helms und Julius Jöhrens** (ifeu)  
hinrich.helms@ifeu.de

### Beteiligte Institute

**ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH**  
Wilkenstraße 3, 69120 Heidelberg

**Öko-Institut e.V.**  
Borkumstraße 2, 13189 Berlin

**Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI**  
Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe

### Bildnachweis

Deckblatt: BOLD-Projekt

### Zitierempfehlung

H. Helms, J. Jöhrens (2021): Erfolgsfaktoren für einen effektiven Klimaschutz im Straßengüterverkehr – Hintergrundpapier im Rahmen des Projekts BOLD (Begleitforschung Oberleitungs-Lkw in Deutschland). Heidelberg, Berlin, Karlsruhe; ifeu, Öko-Institut, Fraunhofer ISI.

### Veröffentlicht

Dezember 2021

### Hinweise

Dieser Bericht einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Die Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen unter Beachtung der Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis zusammengestellt. Die Autorinnen und Autoren gehen davon aus, dass die Angaben in diesem Bericht korrekt, vollständig und aktuell sind, übernehmen jedoch für etwaige Fehler, ausdrücklich oder implizit, keine Gewähr. Die Darstellungen in diesem Dokument spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des Auftraggebers wider.

### Danksagung

Diese Veröffentlichung entstand im Rahmen des Projekts *Begleitforschung Oberleitungs-Lkw in Deutschland (BOLD)*, das im Rahmen des Förderprogramms *Erneuerbar Mobil* vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit unter dem Förderkennzeichen 16EM4011-1 gefördert wird.

Die zum 31. August 2021 in Kraft getretene Änderung des deutschen Klimaschutzgesetzes (KSG) verschärft die bisherigen Klimaziele und schreibt das Ziel der Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 fest. Bereits bis 2030 sollen die Gesamtemissionen um 65 % gegenüber 1990 sinken, im Verkehr immerhin um fast 50 %. Es ist also auch relativ kurzfristig eine deutliche Minderung der Emissionen notwendig. Insbesondere im Straßengüterverkehr sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 2000 und 2020 jedoch trotz effizienterer Fahrzeuge um 14 % gestiegen (ifeu 2021), vor allem aufgrund der steigenden Verkehrsleistung. Mobilitäts- und fahrzeugseitige Maßnahmen der Vermeidung, Verlagerung und Verbesserung allein können somit die kurzfristigen Ziele für 2030 und vor allem das langfristige Ziel der Klimaneutralität nicht erreichen. Der zusätzliche Einsatz erneuerbarer Energien mit hinreichendem Mengenpotenzial ist im Straßengüterverkehr damit aller Voraussicht nach zwingend notwendig.

In der Realität ist der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehr bisher gering: Der Anteil flüssiger Biokraftstoffe im Diesel liegt heute bei 7 %, bei Erdgas wird physisch sogar nur ein Biogasanteil von knapp 1 % erreicht, auch wenn ein größerer Anteil bilanziell dem Verkehr zugerechnet wird (Agora Verkehrswende 2019). Da Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse potenziell in Konflikt mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion stehen, wurde die Anrechenbarkeit auf die Quotenziele durch die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) gedeckelt. Sie können also kaum zu einer Steigerung des erneuerbaren Anteils im Verkehr beitragen. Auch der potenzielle Beitrag der fortschrittlichen Biokraftstoffe bleibt selbst unter optimistischen Annahmen unter 11 % am Gesamtkraftstoffverbrauch (Agora Verkehrswende 2019). Darin enthalten sind auch die Potenziale für Biomethan aus Abfall- und Reststoffen.

Biokraftstoffe und Biomethan werden folglich zwar auch künftig eine Rolle im Kraftstoffbereich spielen können, sie werden jedoch nicht annähernd den Gesamtbedarf im Straßenverkehr decken können, zumal ein Großteil im Schiffs- und Flugverkehr benötigt werden könnte. Für eine umfassende Dekarbonisierung<sup>1</sup> ist der Einsatz erneuerbaren Stroms für den Straßengüterverkehr daher zentral. Entsprechend werden Wasserstoff und synthetische, aus erneuerbarem Strom gewonnene Kraftstoffe<sup>2</sup>, doppelt auf die erneuerbaren Ziele im Verkehr angerechnet, direkter Stromeinsatz in Fahrzeugen sogar dreifach (§37 BImSchG sowie 38. BImSchV). Nach dem Klimaschutzprogramm von 2019 soll so bis 2030 „ein Drittel der Fahrleistung im schweren Straßengüterverkehr elektrisch oder auf Basis strombasierter Kraftstoffe“ durchgeführt werden (BMU 2019).

Für das Segment der lokalen und regionalen Transporte sind batterieelektrische Lkw unter 12 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht (zGG) bereits auf dem Markt. Entsprechend sieht das „Gesamtkonzept klimafreundliche Nutzfahrzeuge“ des Bundesverkehrsministeriums (BMVI) im Bereich unter 26 Tonnen zGG vornehmlich batterieelektrische Lkw vor (BMVI 2020). Die schweren Fahrzeuge über 26 Tonnen zGG und der Fernverkehr stellen jedoch aufgrund des hohen Gewichts und der langen Tagesfahrweiten eine größere Herausforderung für die Dekarbonisierung dar. Last- und Sattelzüge sind mit 75 % (ifeu 2021) aber für einen Großteil der Klimagasemissionen im Straßengüterverkehr verantwortlich, so dass alternative Antriebskonzepte hier einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten können. Nach dem „Gesamtkonzept klimafreundliche Nutzfahrzeuge“ sollen hier verschiedene Ansätze erprobt und gefördert werden, bevor es ab 2023 zu Pfadentscheidungen kommt (BMVI 2020). Als Alternative zur Nutzung konventionellen Diesels in Lkw mit Verbrennungsmotor werden aktuell verschiedene strombasierte Antriebskonzepte und Energieträger diskutiert und erprobt:

- Batterieelektrische Lkw (BEV = Battery Electric Vehicles),
- Oberleitungs-Lkw als Diesel-Hybrid (Oberleitungs-HEV = Hybrid Electric Vehicles) oder batterieelektrische Variante (Oberleitungs-BEV),
- Brennstoffzellen-Lkw sowie

<sup>1</sup> Meint hier die Reduktion des **fossilen** Kohlenstoffanteils. Aufgrund seiner größeren Verbreitung wird hier der Begriff „Dekarbonisierung“ anstelle des inhaltlich treffenderen Begriffs „Defossilisierung“ verwendet.

<sup>2</sup> Die RED II verlangt hier eine 70%ige Minderung gegenüber dem fossilen Komparator.

- der Einsatz von strombasierten Kraftstoffen in Verbrenner-Lkw (PtL = Power-to-Liquids).

**Fazit: Aufgrund der begrenzten Mengenpotenziale können Biokraftstoffe und Biogas allenfalls 10 % des Verkehrs dekarbonisieren - eine Elektrifizierung ist somit erforderlich. Verschiedene Konzepte der Nutzung erneuerbaren Stroms im Straßengüterverkehr werden derzeit erprobt.**

Strombasierte Lkw-Antriebe und Kraftstoffe können vom ambitionierten Ausbau erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung profitieren, der durch die Klimaziele ebenfalls notwendig wird. 2020 lag der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung in Deutschland bereits bei 46 %<sup>3</sup>, ein aktuelles Szenario zur Erreichung der Treibhausgasneutralität in Deutschland 2045 (Prognos AG et al. 2021) sieht bis 2030 einen Anstieg auf knapp 73 % vor. Die Klimaintensität der Strombereitstellung würde sich damit von 440 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Kilowattstunde 2020 auf 215 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Kilowattstunde 2030 halbieren<sup>4</sup>. Neben dem Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung wird das in diesem Szenario auch durch einen schnelleren Kohleausstieg erreicht. Gelingt es, diesen Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung auch im Straßengüterverkehr nutzbar zu machen, können bereits 2030 deutliche Minderungen der Klimagasemissionen im Straßengüterverkehr erreicht werden. Voraussetzung bleibt die praktische Realisierung der Ausbauziele im Stromsektor.

Abbildung 1 zeigt die Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebensweg eines in Deutschland im Jahr 2030 zugelassenen Sattelzugs mit verschiedenen Antriebskonzepten und Kraftstoffen pro gefahrenem Kilometer. Alle Konzepte (außer dem fossil betriebenen Diesel-Lkw) greifen auf den deutschen Strommix zurück (Mix DE), sodass sie alle von der Dekarbonisierung des Strommixes bis 2030 und darüberhinaus profitieren<sup>5</sup>. Dies führt bei Fahrzeugen mit ausschließlich direkter Stromnutzung - also BEV und Oberleitungs-BEV - zu einem deutlichen Klimavorteil im Bereich von 50-60 % gegenüber der Nutzung konventioneller Dieselfahrzeuge. Der Oberleitungs-HEV zeigt trotz der weiterhin jenseits der Autobahn angenommenen Auspuffemissionen (etwa 35 % der Fahrstrecke) immer noch ein deutliche Reduktionspotenzial von etwa 45 % gegenüber einem reinen Dieselfahrzeug und ist damit vergleichbar mit einem BEV, wenn dieses im Laufe seines Fahrzeuglebens eine zweite Batterie benötigt. Der Oberleitungs-BEV profitiert in der Klimabilanz von der gegenüber Fernverkehrs-BEV kleineren Batterie bei ausschließlicher Stromnutzung. Es bestehen also erhebliche Reduktionspotenziale auf Einzelfahrzeugebene, bis 2030 kann jedoch kaum die gesamte Fahrzeugflotte elektrifiziert werden. Somit bleiben zusätzliche Maßnahmen der Vermeidung, Verlagerung und Verbesserung weiterhin notwendig.

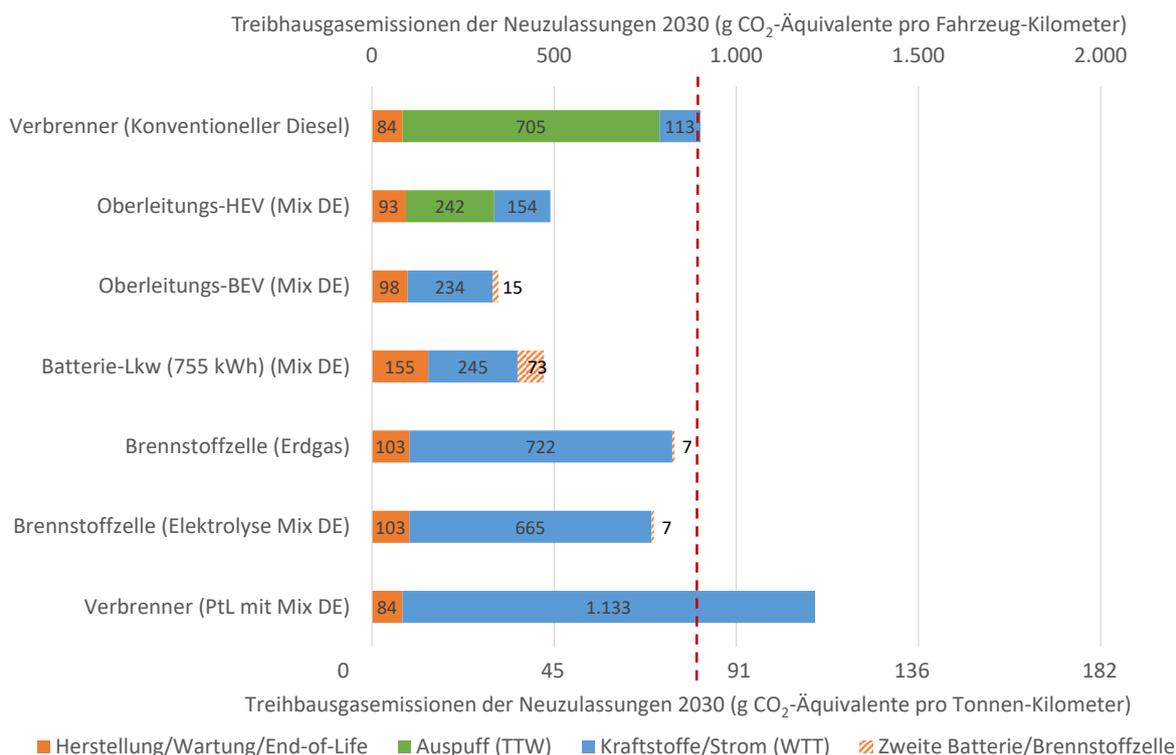
**Fazit: Im Strommarkt gibt es bereits Technologien und Instrumente, die eine starke Dekarbonisierung bis 2030 wahrscheinlich machen. Bei direkter Stromnutzung in Batterie- und Oberleitungs-Lkw sind damit bereits 2030 um 45-60 % niedrigere Klimawirkungen möglich als bei Diesel-Lkw.**

---

<sup>3</sup> <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>

<sup>4</sup> Zur Quantifizierung wurden die Daten aus (Hill et al. 2020) verwendet

<sup>5</sup> In den Berechnungen wird über die Lebensdauer der im Jahr 2030 zugelassenen Fahrzeuge eine weitere Dekarbonisierung der Stromerzeugung nach (Prognos AG et al. 2021) unterstellt.



**Abbildung 1: Treibhausgasemissionen 2030 zugelassener Sattelzugmaschinen (40 t zGG) mit verschiedenen Antriebskonzepten für typische Nutzungsparameter in Deutschland<sup>6</sup> (800.000 km Laufleistung über 7 Jahre Betriebsdauer, 11 t durchschnittliche Zuladung, Deutscher Strommix). Quellen: Eigene Darstellung basierend auf (Helms et al. 2021) mit Aktualisierung der Strombereitstellung nach (Prognos AG et al. 2021) und (Hill et al. 2020). TTW = Tank-to-Wheel, WTT = Well-to-Tank.**

Das Treibhausgas-Minderungspotenzial der Brennstoffzellen-Lkw ist demgegenüber bei Herstellung des Wasserstoffs in Deutschland für beide untersuchten Pfade gering und liegt im Bereich von 10-15 %, da entweder noch fossile Energieträger verwendet werden (Erdgas) oder hohe Konversionsverluste anfallen (Elektrolyse Mix DE) und daher deutlich mehr Strom benötigt wird als bei den direktelektrischen Antrieben. Noch größere Verluste entstehen bei Nutzung von in Deutschland produzierten Power-to-Liquids (PtL). Die Treibhausgasemissionen liegen dann für 2030 zugelassene Lkw sogar um 35 % über dem Diesel-Lkw. Für einen Klimaschutzbeitrag durch Wasserstoff und PtL müssten für deren Produktion in der nächsten Dekade also zwingend zusätzliche erneuerbare Energien erschlossen werden. Weil nach den Vorgaben der RED II nur mit ausschließlich erneuerbaren Energien produziertes PtL auf die deutsche Treibhausgasminderungsquote anrechenbar ist, haben die Inverkehrbringer von Kraftstoffen auch einen Anreiz dieses anrechenbare PtL in den Markt zu bringen.<sup>7</sup>

Hintergrund der ansonsten schlechteren Klimabilanz von Wasserstoff und PtL sind die Konversionsverluste. Während bei direktelektrischen Antrieben (Oberleitungs- und Batterie-Lkw) nur geringe Verluste durch die Übertragung und ggf. Zwischenspeicherung in der Batterie auftreten, liegt der zusätzliche Strombedarf der Nutzung elektrolytisch hergestellter komprimierter Wasserstoffs etwa 2,5-

<sup>6</sup> Vorläufige Zwischenergebnisse aus dem Projekt „Begleitforschung Oberleitungs-Lkw in Deutschland“ (BOLD). Die finalen Projektergebnisse können davon abweichen.

<sup>7</sup> In einem delegierten Rechtsakt wird die Europäische Kommission Anforderungen an den Strombezug für die Produktion von grünem Wasserstoff stellen, um zu gewährleisten das Wasserstoff und Folgeprodukte nur mit zusätzlichen erneuerbaren Energien produziert werden. Die genaue Ausgestaltung ist noch nicht bekannt (Stand 22.12.21). Es ist daher noch offen, ob hier eine echte Zusätzlichkeit der erneuerbaren Energie sichergestellt werden kann.

Mal so hoch (Göckeler et al. 2020), da die Herstellung von Wasserstoff im Elektrolyseur und anschließende Rückverstromung in der Brennstoffzelle jeweils mit Energieverlusten von etwa 30 % bzw. 45 % verbunden ist (Matthes et al. 2020). Bei Nutzung synthetischer Kraftstoffe wird über die gesamte Umwandlungskette sogar die 3,5-fache Menge an zusätzlichem Strom benötigt (Göckeler et al. 2020). Entsprechend entsteht hier kein Klimavorteil, solange relevante Anteile fossiler Energiequellen zur Stromerzeugung herangezogen werden (siehe Abbildung 1).

**Fazit: In Deutschland hergestellte strombasierte Kraftstoffe haben aufgrund der hohen Konversionsverluste im Jahr 2030 noch keine Klimavorteile gegenüber konventionellem Diesel.**

Der Betrieb elektrischer Lkw bzw. die Herstellung von Wasserstoff oder synthetischer Kraftstoffe führt dabei in jedem Fall zu einem Anstieg des Strombedarfs. Daher sind auch für direkt elektrisch betriebene Lkw Maßnahmen zur Effizienzverbesserung weiterhin sinnvoll, um den Strombedarf so gering wie möglich zu halten. Der zur Deckung des zusätzlichen Strombedarfs verwendete, sogenannte „Marginalstrommix“ kann dann vom durchschnittlichen Strommix (über alle Verbraucher gerechnet) abweichen. In einer kurzfristigen Perspektive mit unverändertem Kraftwerkspark und gegebener Einspeisung erneuerbaren Stroms wird der Strombedarf zusätzlicher Verbraucher in der Regel durch höhere Auslastung von Erdgas- oder auch Kohlekraftwerken gedeckt. Unter bestimmten Bedingungen ist auch die Nutzung sonst abgeregelter erneuerbarer Energie in Starkwindezeiten bzw. bei hoher Sonneneinstrahlung möglich. Allerdings werden im Stromnetz fortwährend Verbraucher zu- und abgeschaltet und es ist daher kaum möglich, bestimmten Verbrauchern einen eindeutigen Marginalstrommix zuzuordnen. Dies gilt umso mehr, als der Stromverbrauch auch in anderen Sektoren steigt (z.B. durch Wärmepumpen im Gebäudebereich).

Kommen durch die Lkw-Antriebswende neue Verbraucher in relevantem Umfang hinzu, so müssen bei der Bilanzierung auch die mittelfristig resultierenden Änderungen im Kraftwerkspark berücksichtigt werden, um Ursache und Wirkung korrekt abzubilden. So werden die heutigen Förderinstrumente für Erneuerbare Energien auf die relativen Ausbauziele im Stromsektor abgestimmt (65 % in 2030). Daher muss zur Deckung der zusätzlichen Stromnachfrage für den Betrieb von Lkw auch die erneuerbare Erzeugungskapazität stärker ausgebaut werden um diese Ziele zu erreichen. Diese Erzeugungskapazitäten würden also ohne Elektro-Lkw wahrscheinlich gar nicht gefördert und damit auch nicht gebaut. Zusätzlich gibt es noch den Emissionshandel, der dafür sorgt, dass eine höhere Stromnachfrage durch Elektro-Lkw zu steigenden Zertifikatspreisen führt, was kurzfristig die Nutzung von Gas anstelle von Kohle begünstigt und mittelfristig ebenfalls einen zusätzlichen Anreiz bietet, erneuerbare Energien auszubauen. Um diesen Effekten Rechnung zu tragen, eine Gleichbehandlung der Verbraucher zu ermöglichen und Doppelzahlungen zu vermeiden, hat sich zur politischen Richtungsanalyse heute weitgehend die Berücksichtigung des durchschnittlichen Strommixes durchgesetzt. Langfristig konvergieren die Betrachtungsweisen durch den Ausbau erneuerbarer Energien und den Kohleausstieg ohnehin.

Eine separate Erschließung zusätzlicher erneuerbarer Energien zur Produktion von Kraftstoffen ist im derzeitigen energiewirtschaftlichen Rahmen in Deutschland dabei kaum möglich. Alle Ansätze hierfür müssten sich dabei an ihrem Effekt auf die zusätzliche Erzeugung erneuerbarer Energien messen lassen. Eine bilanzielle Zurechnung über Herkunftsnachweise führt tendenziell nur zu einer Umverteilung der ohnehin im Markt befindlichen Erzeugung zwischen verschiedenen Verbrauchern. Als zusätzlich kann die erneuerbare Erzeugung nur gelten, wenn sie ohne die spezifische Verbrauchernachfrage nach solchem Strom nicht erzeugt worden wäre. Im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) geförderte Anlagen besitzen i.d.R. bereits umfassende Finanzierung. Da jegliche Erzeugung erneuerbaren Stroms in Deutschland überdies auf die Ziele des EEG angerechnet wird und damit eine Förderung an anderer Stelle verhindert, ist eine echte Zusätzlichkeit in Deutschland derzeit kaum im großen Maßstab zu realisieren. Auch deshalb ist es sinnvoll, bei Klimabilanzen verschiedener Antriebspfade zumindest im deutschen Rahmen für die Strombereitstellung generell den durchschnittlichen Strommix anzusetzen.

**Fazit: Der zusätzliche Strombedarf im Verkehr hat Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Stromerzeugung. Neben kurzfristigen Effekten führt im deutsche Politikrahmen zusätzliche Stromnachfrage auch zu einem Ausbau erneuerbarer Erzeugung.**

Aufgrund der Herausforderungen bei einem massiven Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland sowie der im internationalen Vergleich teilweise eingeschränkten Eignung der deutschen Standorte wird insbesondere für Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe der Import aus begünstigten Erzeugerländern diskutiert, z.B. aus der so genannten MENA-Region (Nahe Osten und Nordafrika). Die Nationale Wasserstoffstrategie 2030 sieht nur einen Bruchteil des prognostierten Bedarfs durch heimische Produktion gedeckt. Allerdings werden wahrscheinlich erst mittel- bis längerfristig - bei Senkung der Transportkosten - Wasserstoff-Importe aus entfernteren Regionen eine Rolle spielen (Matthes 2021). PtL ist demgegenüber im Straßenverkehr absehbar allenfalls als erneuerbarer Import klimapolitisch sinnvoll. Die Vorteile der erneuerbaren PtL-Produktion können dabei jedoch aufgrund der mit dem Aufbau der Infrastruktur für die Erzeugung verbundenen Emissionen begrenzt sein. ifeu-Berechnungen zu Bereitstellungspfaden von PtL aus Marokko (Liebich et al. 2020) zeigen, dass die Auslastung der Produktionsanlagen hier eine wichtige Stellgröße darstellt. Diese schlägt sich nicht nur kostenseitig, sondern auch in der Klimabilanz nieder. Der Import strombasierter Kraftstoffe führt überdies auch zu neuen Abhängigkeiten und Nachhaltigkeitsfragen

Im MENA-Kontext ist jedoch gegenüber der Situation in Deutschland zumindest eine finanziell induzierte Zusätzlichkeit vorstellbar und wird im Kontext der Entwicklungszusammenarbeit diskutiert. Diese Importoptionen setzen jedoch voraus, dass in den potenziellen Herkunftsländern nicht nur ein hohes Potenzial für die Erzeugung von erneuerbarem Strom besteht, sondern auch die entsprechenden Produktionskapazitäten für PtL bis 2030 aufgebaut werden können. Das Export-Potenzial ist zwar theoretisch groß, allerdings ist dieser Ansatz mit erheblichen geopolitischen Herausforderungen und neuen Abhängigkeiten verbunden. Zudem muss sichergestellt werden, dass neben dem wirtschaftlich und technisch anspruchsvollen Technologiehochlauf auch Nachhaltigkeitskriterien hinsichtlich politischer, sozialer und ökologischer Anforderungen eingehalten werden. Hierzu sollte insbesondere das Potenzial zur heimischen Nutzung des erneuerbaren Stroms bereits genutzt werden, bevor der Strom unter Energieverlusten zu PtL oder Wasserstoff umgewandelt und exportiert wird.

**Fazit: Für strombasierte Kraftstoffe wird der Import diskutiert - Aufbau und Auslastung der Anlagen sind jedoch eine Herausforderung. Der Import strombasierter Kraftstoffe führt auch zu neuen Abhängigkeiten und Nachhaltigkeitsfragen.**

Aufgrund der geringen Energieeffizienz sowie technischen, wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Herausforderungen erneuerbarer Wasserstoff- und PtL-Produktion sollten diese Kraftstoffe vorwiegend in Bereichen eingesetzt werden, in denen keine Alternativen zur Verfügung stehen. Insbesondere in der Industrie und dem Luftverkehr ist der Bedarf groß und der Aufbau der dafür notwendigen Kapazitäten bleibt eine Herausforderung. Im Straßengüterverkehr stehen dagegen mit den direktelektrischen Konzepten, sei es mit stationärer Ladung von Batterien oder dynamischer Versorgung per Oberleitung, Alternativen auch für weite Bereiche des Straßengüterverkehrs zur Verfügung, die technisch machbar sind und deren Klimabilanz auch im nationalen Rahmen schon kurzfristig vorteilhaft ist. Diese sollten daher vorrangig verfolgt und nur dort ergänzt werden, wo ihr Einsatz aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen eingeschränkt ist.

**Fazit: Direktelektrische Konzepte sollten im Straßenverkehr Vorrang haben, weil erneuerbare Kraftstoffe in anderen Sektoren benötigt werden.**

## Literaturverzeichnis

---

- Agora Verkehrswende (2019): Klimabilanz von strombasierten Antrieben und Kraftstoffen. Durchgeführt von ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Berlin. S. 56.
- BMU (2019): Klimaschutzprogramm 2030. Maßnahmen zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030. [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutzprogramm\\_2030\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutzprogramm_2030_bf.pdf).
- BMVI (2020): Gesamtkonzept klimafreundliche Nutzfahrzeuge. [https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Anlage/klimafreundliche-nutzfahrzeuge.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Anlage/klimafreundliche-nutzfahrzeuge.pdf?__blob=publicationFile) (12.11.2020).
- Göckeler, K.; Hacker, F.; Mottschall, M.; Blanck, R.; Görz, W.; Kasten, P.; Bernecker, T.; Heinzlmann, J. (2020): Status quo und Perspektiven alternativer Antriebstechnologien für den schweren Straßengüterverkehr.
- Hacker, F.; Blanck, R.; Görz, W.; Bernecker, T.; Speiser, J.; Röckle, F.; Schubert, M.; Neubauer, G. (2020): Bewertung und Einführungsstrategien für oberleitungsgebundene schwere Nutzfahrzeuge. Öko-Institut e.V., Hochschule Heilbronn, Fraunhofer IAO, Intraplan Consult GmbH, Berlin. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/StratON-O-Lkw-Endbericht.pdf> (25.02.2020).
- Helms, H.; Biemann, K.; Allekotte, M.; Jöhrens, Julius, J.; Münter, D.; Liebich, A.; Fehrenbach, H.; Lambrrecht, U. (2021): Defossilisation in Road Goods Transport: Life-Cycle Climate Impacts of Alternative Truck Technologies and Fuels. Wien.
- Hill, N.; Amaral, S.; Morgan-Price, S.; Nokes, T.; Bates, J.; Helms, H.; Fehrenbach, H.; Biemann, K.; Abdalla, N.; Jöhrens, J.; Cotton, E.; German, L.; Harris, A.; Ziem-Milojevic, S.; Haye, S.; Sim, C.; Bauen, A. (2020): Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA. Final Report for the European Commission, DG Climate Action Ricardo Energy & Environment, ifeu - Institut für Energie und Umweltforschung, E4tech, Didcot. [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/2020\\_study\\_main\\_report\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/2020_study_main_report_en.pdf) (16.10.2020).
- ifeu (2021): Aktualisierung des „Daten- und Rechenmodells: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland (TREMODO)“ und der Datenbank „Mobile Maschinen und Geräte (TREMODO-MM)“ 2020. Heidelberg.
- Liebich, A.; Fröhlich, T.; Münter, D.; Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Köppen, S.; Dünnebeil, F.; Knörr, W.; Biemann, K.; Simon, S.; Maier, S.; Albrecht, F.; Pregger, T.; Schillings, C.; Moser, M.; Reißner, R.; Hosseiny, S.; Jungmeier, G.; Beermann, M.; Frieden, D.; Bird, N. (2020): Systemvergleich speicherbarer Energieträger aus erneuerbaren Energien. UBA TEXTE ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), JOANNEUM RESEARCH. Umweltbundesamt, Dessau. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte\\_2020\\_68\\_systemvergleich\\_speicherbarer\\_energietraeger\\_aus\\_erneuerbaren\\_energien.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_2020_68_systemvergleich_speicherbarer_energietraeger_aus_erneuerbaren_energien.pdf) (13.10.2020).
- Matthes, D. F. C.; Heinemann, C.; Hesse, D. T.; Kasten, P.; Mendelevitch, D. R.; Seebach, D.; Timpe, C.; Cook, V. (2020): Wasserstoff sowie wasserstoffbasierte Energieträger und Rohstoffe. Eine Überblicksuntersuchung. Öko-Institut.
- Matthes, F. C. (2021): Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland.
- Prognos AG; Öko-Institut e.V.; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Berlin.