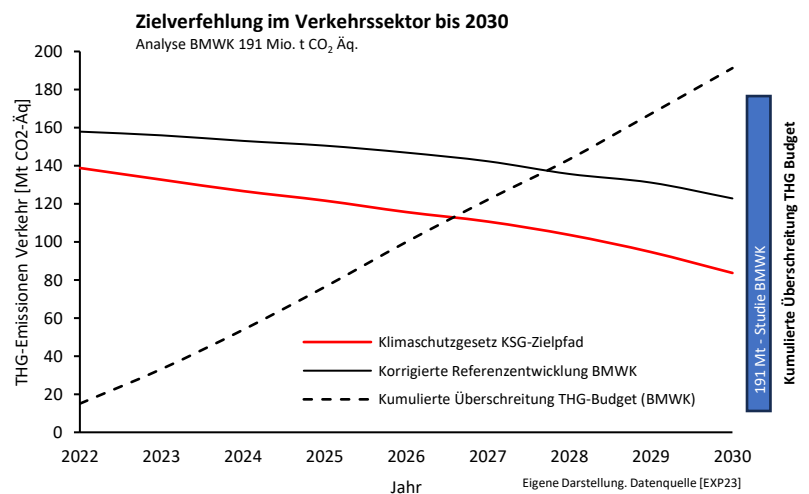
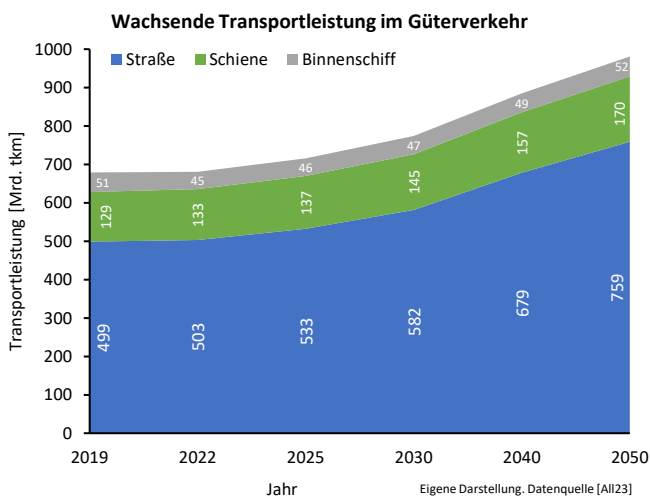


# Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs

Europäisch denken - und jetzt handeln!

Technische Universität Dresden, Professur für Elektrische Bahnen  
Forschungs- und Entwicklungszentrum Zentrum FH Kiel GmbH

Der Güterverkehr ist von entscheidender Bedeutung für den Wirtschaftsraum Europa und den Wirtschaftsstandort Deutschland. Die schnelle Dekarbonisierung des Transportwesens mindert die Klimafolgekosten [Kot24] und vermeidet Strafzahlungen für EU-Mitgliedstaaten und Lkw-Hersteller [Kur23, Ace23]. Elektrifizierte Bahnen sind hierfür ein wichtiger Baustein, doch selbst bei optimistischen Ausbauszenarien führt das weiterwachsende Transportaufkommen in Deutschland [Klu23], Europa [EUR18] und der Welt [IEA19] zu einer Zunahme der Transportleistung auf der Straße.



Um die notwendige ökologische Transformation des Straßengüterverkehrs erfolgreich bewältigen zu können, benötigen Industrie und Logistik dringend Planungssicherheit und konkrete Vorgaben in Bezug auf das Transformationsziel. Lösungsansätze hierzu müssen zentrale Anforderungen erfüllen:

- emissionsarm und ressourcenschonend
- leistungsfähig und effizient
- wirtschaftlich und kompatibel mit logistischen Abläufen
- sicher, erprobt und schnell ausrollbar

Zur Erreichung der Klimaschutzziele werden erneuerbare Energien in allen Sektoren benötigt. Die daraus resultierende Knappheit erfordert den Einsatz von Technologien mit hoher Energieeffizienz.

Antriebssysteme mit **alternativen Kraftstoffen** (wie HVO und eFuels) sowie Brennstoffzellen-Lkw haben nur geringe Gesamtwirkungsgrade [Pfe21]. Um klimaneutral zu sein, benötigen sie **Wasserstoff** aus erneuerbaren Energien. Dieser wird jedoch auch in Zukunft nur in begrenzter Menge verfügbar sein und dringend u.a. in der Chemie- und Stahlindustrie sowie in der Schiff- und Luftfahrt benötigt [Ode22, Mat21, Uec23]. Folglich werden grüner Wasserstoff und darauf basierende Kraftstoffe im Straßenverkehr nicht oder bestenfalls in Nischenanwendungen wirtschaftlich einsetzbar sein.

Batterieelektrische Lkw (BEV) werden voraussichtlich eine wichtige Rolle im Straßengüterverkehr spielen [BMD22]. Das ausschließliche **stationäre Laden** der Fahrzeuge würde jedoch vor allem im Fernverkehr sowohl den Transport- als auch den Energiesektor vor wesentliche Herausforderungen stellen: Die Reichweite ist durch die Traktionsbatterie beschränkt und es sind regelmäßig hohe



Ladeleistungen bspw. in Lenkpausen erforderlich. Weiterhin muss eine verbindliche Ladesäulen-Verfügbarkeit bei sich ständig ändernden Verkehrsbedingungen (z.B. Stau) sichergestellt sein, damit logistische Abläufe nicht beeinträchtigt werden. Hohe Netzanschlusskosten, begrenzte lokale Netzkapazitäten [Kip22] sowie der zusätzliche Flächenbedarf stellen zudem Hemmnisse für den Ausbau der Ladeinfrastruktur an Raststätten und Logistikstandorten dar [Leh24, Pla23, Joe24]. Des Weiteren führen die notwendigen großen Batterien zu hohen Fahrzeugkosten und geringeren Nutzlasten, verantworten eine schlechtere CO<sub>2</sub>-Bilanz, verschärfen den Ressourcenbedarf und die geopolitischen Abhängigkeiten [Bie24, NOW23]. Das Schnellladen lässt die Batterien zusätzlich vorzeitig altern.

**Batteriewechselsysteme** könnten eine sinnvolle Ergänzung zum stationären Laden darstellen. Die notwendige Standardisierung zur Interoperabilität der Hersteller stellt jedoch eine absehbar große Hürde dar. Aspekte wie ein zusätzlicher Flächenbedarf für Wechselstationen auf Raststätten und in Depots sowie die aufgeführten Nachteile der mitgeführten Batteriegrößen bleiben auch hier bestehen, zudem werden für das Wechseln zusätzliche Austauschbatterien benötigt.

**Electric Road Systems (ERS)** begegnen diesen Herausforderungen, indem Lkw dynamisch, d.h. während der Fahrt, mit Strom versorgt werden [Deu23]. Die Einflüsse auf logistische Abläufe sind marginal, der **Transportweg wird zum Ladeweg**. Der zusätzliche Flächenbedarf ist gering und durch die örtliche und zeitliche Verteilung der Lasten ist die Integrierbarkeit in das öffentliche Stromnetz besser möglich. Die Systeme haben sehr hohe Gesamtwirkungsgrade und es werden deutlich kleinere Batterien für die gleiche Transportleistung benötigt [Ram23]. Neben reinelektrischen sind - z.B. als Brückentechnologie - auch hybride Lösungen mit Verbrennern oder Brennstoffzellen realisierbar.

ERS sind grundsätzlich mittels Oberleitungen, Stromschienen oder induktiv denkbar. Induktionsspulen und Stromschienen erfordern allerdings einen erheblichen Eingriff in den Straßenkörper: Bau und Instandhaltung werden erschwert, die Lebensdauern von Straße und Energiesystem bedingen einander und verkürzen sich. Leistungsfähigkeit und Praxistauglichkeit beider Systeme sind zudem für den Einsatz im schweren Güterverkehr auf Autobahnen nicht nachgewiesen. Die Oberleitung hingegen lässt sich vergleichsweise einfach in den Straßenraum integrieren und ermöglicht hohe Energiebezüge [Joe24]. Ein Vollausbau auf Autobahnen ist nicht erforderlich [BOL23], nicht elektrifizierte Streckenabschnitte können bspw. von der Traktionsbatterie des Lkw abgedeckt werden.

Die **Oberleitung** zeigt das größte ökologische und ökonomische Potential, auch mit Einbezug der Infrastrukturinvestitionen [Wie17, Bie24, NPM20, ITF22, ITF23, Des23]. Folgerichtig wurde in Deutschland in ihre Erprobung investiert: Wissenschaftlich begleitete Feldversuche laufen seit 2019 im Speditionsbetrieb auf deutschen Autobahnen. Die Erkenntnisse sind in allen Bereichen erfolgsversprechend. Oberleitungssysteme sind damit auch im Schwerverkehr erprobt [Wer24, Joe23]. Sie sind nicht proprietär, international verbreitet und standardisiert, diversifizierte Lieferketten bestehen. Durch Kombination des Oberleitungssystems mit dem stationären Laden ist die Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs besonders effektiv, schon heute umsetzbar und schnell skalierbar [Rog24, Ram23, Plö21]. Zudem gilt die Oberleitung als Innovationstreiber für das autonome Fahren [Hen22], welches die Transportkosten in Zukunft signifikant senken wird.

Es ist Zeit für sachbezogene richtungsweisende Entscheidungen mit Signalwirkung für Europa und internationale Märkte. **Die Fakten sprechen für das Oberleitungssystem und den Schritt vom Feldversuch zur großmaßstäblichen Anwendung.** Schleswig-Holstein mit seinem Überschuss an erneuerbarer Energie ist hierbei prädestiniert, um von dort aus die Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs anzugehen.



## Referenzen

- [Ace23] ACEA: "Factsheet: CO2 Standards for Heavy-Duty Vehicles" (2023). [https://www.acea.auto/files/Fact-sheet-CO2\\_standards\\_for\\_heavy\\_duty\\_vehicles.pdf](https://www.acea.auto/files/Fact-sheet-CO2_standards_for_heavy_duty_vehicles.pdf)  
Seite 5: "If manufacturers miss their CO2 target, heavy penalties apply. The level is currently set at €4,250 per g CO2/tkm in 2025 and €6,800 per gCO2/tkm in 2030. Should a manufacturer with a 20% market share (~50k vehicles pa) miss its target by just 1g, the penalty would amount to over €360 million"
- [All23] Allekotte, M.; Biemann, K.; Colson, M.; Heidt, C.; Kräck, J.; Knörr, W.: Aktualisierung des Daten- und Rechenmodells: „Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland (TREMOT)“ TREMOD 76/2024, Ifeu Heidelberg (2023); S119 Tabelle 63  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/76\\_2024\\_texte\\_tremod\\_.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/76_2024_texte_tremod_.pdf)
- [Bie24] Biemann, K.; Helms, H.; Münter, D.; Liebich, A.; Pelzeter, J.; Kämper C.; Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH, Heidelberg: Endbericht Analyse der Umweltbilanz von Kraftfahrzeugen mit alternativen Antrieben oder Kraftstoffen auf dem Weg zu einem treibhausgasneutralen Verkehr; Umweltbundesamt (2024).  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/13\\_2024\\_texte\\_analyse\\_der\\_umweltbilanz\\_von\\_kraftfahrzeugen\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/13_2024_texte_analyse_der_umweltbilanz_von_kraftfahrzeugen_0.pdf)  
Seite 109: „Das geringste Treibhauspotenzial weist mit 386 g CO2eq / km dabei der O-BEV auf, da er ausschließlich elektrisch betrieben wird, aber aufgrund des vorhandenen Oberleitungsnetzes eine kleinere Traktionsbatterie benötigt als der BEVSattelzug, welcher mit 440 bei g CO2eq/km etwas höher liegt.“
- [BMD22] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV): Masterplan Ladeinfrastruktur II der Bundesregierung (2022).  
[https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/masterplan-ladeinfrastruktur-2.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/masterplan-ladeinfrastruktur-2.pdf?__blob=publicationFile)
- [BOL23] Gnann, T.; Jöhrens, J.; Hacker, F.; Burghard, U.; Heining, F.; Helms, H.; Göckeler, K.; Mottschall, M.; Plötz, P.; Scherrer, A.; Speth, D. (2023): BOLD - Accompanying research for overhead catenary trucks in Germany. Final report. Berlin, Heidelberg, Karlsruhe: Öko-Institut, ifeu, Fraunhofer ISI.  
<https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/7028d8c2-b0d4-46de-a361-1fb1e95f91a1/content>  
Seite 75: "A core highway network of around 4,000 km is particularly suitable for the development of an overhead line infrastructure. In Germany, over 65% of long-distance truck traffic on highways takes place on this network, which accounts for only one third of the total network. Individual routes with significant logistical transshipment points at the start and end points show particularly high potential for early electrification. The highway sections between Hamburg and the Ruhr region (A1) and Hamburg and Kassel (A7) are particularly promising."
- [Des23] Deshpande, P.; Saxe, C.; Ainalis, D.; Miles, F.; Cebon, D.: A breakeven cost analysis framework for electric road systems, Transportation Research Part D: Transport and Environment, University of Cambridge (2023)  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920923002675>  
Seite 1: „This analysis reveals that up to 47% of the total road freight in England, 72% in France, 38% in India and 57% in South Africa could be electrified using ERS with a 20-year breakeven period.“
- [Deu23] Deutscher Bundestag: Elektrische Straßensysteme (ERS) - Simultanes Laden und Fahren von Elektrofahrzeugen. Sachstand, Wissenschaftliche Dienste WD 5 (2023). [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/masterplan-ladeinfrastruktur-tur-2.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/masterplan-ladeinfrastruktur-tur-2.pdf?__blob=publicationFile)  
Seite 4: „Electric Road Systems (ERS) könnten eine bedeutende Rolle bei der Dekarbonisierung des Verkehrssektors und vor allem im (Schwer)lastverkehr spielen: ERS kann die Reichweiten-, Gewichts- und Ladezeitennachteile elektrifizierter Antriebe gegenüber Verbrennungsmotoren aufheben, für die bisher optional Wasserstoff mitbedacht wurde.“
- [EUR18] Rail Freight Forward: "30 by 2030 - Rail Freight strategy to boost modal shift" (2018).  
<https://www.railfreightforward.eu/sites/default/files/downloadcenter/whitepaperldupdated.pdf>  
Seite 13: "The European rail freight sector is convinced that a strong increase in the rail freight modal share from 18% in 2015 to 30% in 2030 will avoid most of the negative impact related to road traffic growth (see figure 7)"  
Seite 14: "The European rail freight sector is convinced that a strong increase in the rail freight modal share from This modal shift would still lead to a 10% increase in transport volumes for road by 2030."
- [EXP23] Expertenrat für Klimafragen: Prüfbericht 2023 für die Sektoren Gebäude und Verkehr Prüfung der den Maßnahmen zugrunde liegenden Annahmen gemäß §12 Abs. 2 Bundes-Klimaschutzgesetz Geschäftsstelle Expertenrat für Klimafragen (ERK) Seydelstr. 15, 10117 Berlin: S39 Abbildung 3 [https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2023/09/ERK2023\\_Pruefbericht-Gebaeude-Verkehr.pdf](https://expertenrat-klima.de/content/uploads/2023/09/ERK2023_Pruefbericht-Gebaeude-Verkehr.pdf)



- [Hen22] Henle, J.; Adolph, L.; Braun T.; Sax, E.; Erlinghagen L.; Stiller, C.; Lauer, M.; Vortisch, P.; Buck, S.; Weyland C.: Kombination von Oberleitungssystemen und Elektrischen, Autonomen Nutzfahrzeugen (2021). <https://www.fzi.de/wp-content/uploads/2022/01/doku-newsleanstudie.pdf>  
Seite 2: „Die Oberleitung bietet für die Fahrzeugsensorik eine Redundanzebene, die die Automatisierung entscheidend robuster werden lässt. Lkw, die schließlich unter der Oberleitung autonom fahren benötigen kein Fahrpersonal mehr (SAE-Stufe 5).“
- [IEA19] IEA: The Future of Rail - Opportunities for energy and the environment (2019). [https://iea.blob.core.windows.net/assets/fb7dc9e4-d5ff-4a22-ac07-ef3ca73ac680/The\\_Future\\_of\\_Rail.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/fb7dc9e4-d5ff-4a22-ac07-ef3ca73ac680/The_Future_of_Rail.pdf)  
Seite 111: „In the High Rail Scenario, direct CO2 emissions at the tailpipe resulting from the combustion of fossil fuels are higher in 2050 than in 2017“
- [ITF22] International Transport Forum: Decarbonising Europe’s Trucks, How to Minimise Cost Uncertainty, Case-Specific Policy Analysis (2022). <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/decarbonising-europes-trucks-minimise-cost-uncertainty.pdf>  
Seite 29: „In the majority of the scenarios explored, ERSVs are more cost-competitive than BEVs when initially introduced in the 2030s. Furthermore, ERSVs have the advantage of lower upfront vehicle purchase costs than large-battery BEVs. The lower initial cost may encourage truck operators’ adoption of ERSVs and stimulate the technology’s more rapid introduction into the vehicle fleet, resulting in rapid CO2 emissions reductions (although this is not modelled in this analysis).“
- [ITF23] International Transport Forum: How governments can bring low-emission trucks to our roads – and fast (2023) <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/low-emission-trucks.pdf>  
Seite 24: „This means postponing investment decisions by two years could cost more than building all the required charging infrastructure.“
- [Joe23] Jöhrens, J.; Lehmann, M.; Bramme, M.; Brauer, C.; Werner, M.; Bulenda, A.: Current technical findings on the eHighway system from field tests and accompanying research in Germany. Working Paper, AG Technikbewertung (eHighway), Deutschland (2023). <https://www.ifeu.de/publikation/cur-rent-technical-findings-on-the-ehighway-system-from-field-tests-and-accompanying-research-in-germany/>.
- [Joe24] Jöhrens, J.; Allekotte, M.; Heining, F.; Werner, M.; Ruscher, M.; Schill, W.-P.: Komplementärtechnologien zu BEV-Lkw – ein techno-ökonomischer Vergleich. Projekt enERSyn Schwerpunktpapier #3 (2024).  
Seite 10f: „Aktuelle Untersuchungen weisen beim eHighway-System eine hohe Leistungsfähigkeit nach, die bei entsprechender Dimensionierung auch hohe Verkehrsaufkommen (mit mehreren MW/km) technisch zuverlässig mit Leistung versorgen kann.“
- [Kip22] Kippelt, S.; Probst, F.; Greve, M. (o.J.): Einfach Laden an Rastanlagen – Neue Studie zur Auslegung von Netzanschlüssen für E-Lkw-Lade-Hubs veröffentlicht. Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (NOW GmbH) (2022). <https://www.now-gmbh.de/aktuelles/pressemitteilungen/einfach-laden-an-rastanlagen-neue-studie-zur-auslegung-von-netzanschluesse-fuer-e-lkw-lade-hubs-veroeffentlicht/>  
Seite 41: „Anschlüsse auf der MS-Ebene [Anm.: Mittelspannung] dürften mit den in der Modellierung getroffenen Annahmen zu den maximalen Leistungen der Lade-Hubs regelmäßig nicht möglich sein. Einerseits sind die vorhandenen Netze vorbelastet. Pauschale Aussagen zu noch vorhandenen freien Kapazitäten sind angesichts der enormen Unterschiede zwischen den Standorten nicht möglich.“; Seite 45: „An Standorten mit einem hohen Bedarf an Ladeinfrastruktur wird mittelfristig ein Netzanschluss in der HS [Anm.: Hochspannung] erforderlich sein.“; Seite 40: „Eine frühzeitige Planung ist wichtig, insbesondere wenn ein Anschluss an das HS-Netz erforderlich ist. Realistische Planungszeiträume für Leitungen betragen auf der HS-Ebene 10 Jahre und mehr, die für Umspannwerke 5 Jahre.“
- [Klu23] Kluth, T.; Rudolf, A.; Kotzagiorgis, S.: „Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose“ (2023). [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/prognose-berichtgleitende-langfrist-verkehrsprognose.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/prognose-berichtgleitende-langfrist-verkehrsprognose.pdf?__blob=publicationFile)  
Folie 49: „Das Verkehrsaufkommen auf der Straße wird sich mit einem Wachstum von 34 % deutlich dynamischer entwickeln, als jenes auf Schiene (+14 %) und Wasserstraße (-10 %), so dass der Anteil der Straße beim Aufkommen von 86 % im Jahr 2019 auf 89 % im Jahr 2051 ansteigen wird, bei der Verkehrsleistung steigt der Straßenanteil sogar um 4 %-Punkte von 73 % (2019) auf knapp 78 % (2051) an.“; Folie 51: „Aufgrund des überdurchschnittlichen Wachstums straßenaffiner Güter wird die Verkehrsleistung auf der Straße mit 54 % stärker ansteigen als auf der Schiene mit 33 %.“



- [Kot24] Kotz, M.; Levermann, A.; Wenz, L.: The economic commitment of climate change. *Nature* 628, 551–557 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07219-0>  
*Seite 552: "Under a middle-of-the road scenario of future income development (SSP2, in which SSP stands for Shared Socio-economic Pathway) this corresponds to global annual damages in 2049 of 38 trillion in 2005 international dollars (likely range of 19–59 trillion 2005 international dollars)."; Seite 553: "We compare the damages to which the world is committed over the next 25 years to estimates of the mitigation costs required to achieve the Paris Climate Agreement. (...) we find that the median committed climate damages are larger than the median mitigation costs in 2050 (...) by a factor of approximately six"*
- [Kur23] Kur, N.: EURACTIV: "Teure Lücke? Deutschland wird EU-Klimaziele deutlich verfehlen" (2023). <https://www.euractiv.de/section/energie-und-umwelt/news/teure-luecke-deutschland-wird-eu-klimaziele-deutlich-verfehlen/>  
*„Deutschland wird voraussichtlich 150 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente mehr ausstoßen, als nach den EU-Vorschriften der Lastenteilungsverordnung zulässig ist. Das könnte die Bundesregierung an die 30 Milliarden Euro kosten.“*
- [Leh24] Lehmann, M.; Kiefer, L.; Werchohlad, M.; Gather, M.: Whitepaper zum Flächenbedarf der Ladeinfrastruktur und verfügbaren Stellplatz-Kapazitäten. Institut für Verkehr und Raum der FH Erfurt (IVR) (2024).  
*Seite 1: „Die Transformation des schweren Straßengüterverkehrs hin zu rein batterieelektrischen Antrieben mit stationärer Ladeinfrastruktur führt zu einer kritischen Inanspruchnahme und Belastung der im deutschen Autobahnnetz öffentlich vorhandenen Lkw-Stellplätze.“; Seite 4: „Die Flächenbedarfe der modellierten Ladeinfrastruktur werden die verfügbaren Stellplatz-Kapazitäten in kritischer Weise beanspruchen und überschreiten. [...] Zum aktuellen Zeitpunkt sollten daneben auch dynamische Ladesysteme als Alternative zum stationären Laden offengehalten und weiter erforscht werden.“*
- [Mat21] Matthes, F.; Braungardt, S.; Bürger, V.; Göckeler, K.; Heinemann, C.; Hermann, H.; Kasten, P.; Mendelevitch, R.; Mottschall, M.; Seebach, D.: Untersuchung für die Stiftung Klimaneutralität: Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland; Öko-Institut e.V.; Berlin (2021). <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Die-Wasserstoffstrategie-2-0-fuer-DE.pdf>  
*Seite 3: „Der relativ schnelle Einsatz von Wasserstoff ist in einigen Bereichen wegen der notwendigen Transformationsprozesse weitgehend unstrittig. Dies betrifft vor allem den Einsatz in der Industrie (Stahl- und Chemieindustrie, Hochtemperaturprozesse), zur Ausbalancierung eines im Wesentlichen auf Wind- und Solarstromerzeugung basierenden Stromsystems und in Form von synthetischen Treibstoffen für den Flug- und Schiffsverkehr.“*
- [NOW23] Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) GmbH: Factsheet: Elektromobilität und Rohstoffe - Bedarf und Verfügbarkeiten (2023). [https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2023/03/NOW\\_Factsheet-Elektromobilitaet-und-Rohstoffe.pdf](https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2023/03/NOW_Factsheet-Elektromobilitaet-und-Rohstoffe.pdf)  
*Seite 8: „Die geologische Verfügbarkeit der hier aufgeführten Rohstoffe [Anm.: v.a. Lithium, Kobalt, Nickel, Graphit] ist kein grundsätzliches Hindernis für den fortschreitenden Hochlauf der Elektromobilität. Vielmehr können temporäre Rohstoffverknappungen am Markt zu drastischen Preisanstiegen einzelner Rohstoffe führen. Hierbei sind Engpässe vor allem auf die unzureichende Erschließung von Lagerstätten in Verbindung mit wirtschaftlichen Zwängen oder komplexen politischen Situationen zurückzuführen. Dazu kommen oft jahrelange Vorlaufzeiten, bis ein entdecktes Vorkommen wirtschaftlich genutzt werden kann.“*
- [NPM20] Nationale Plattform Mobilität (NPM), „Werkstattbericht Antriebswechsel Nutzfahrzeuge – Wege zur Dekarbonisierung schwerer Lkw mit Fokus der Elektrifizierung- Zwischenbericht 12/2020 der Arbeitsgruppe 1: Klimaschutz im Verkehr,“ Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin (2020). [https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/12/NPM\\_AG1\\_Werkstattbericht\\_Nfz.pdf](https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/12/NPM_AG1_Werkstattbericht_Nfz.pdf)  
*Seite 20: „Zentrale Ergebnisse: Die BEV- und OH-Lkw weisen mit den aktuell getroffenen Prämissen (siehe Informationskasten S. 22) die geringsten Vermeidungskosten auf“.*  
*Seite 27: Kernergebnisse: „BEV- und OH-Lkw weisen bei den zugrunde gelegten Prämissen die geringsten jährlichen Gesamtkosten auf.“*
- [Ode22] Odenweller, A.; Ueckerdt, F.; Nemet, G.F.; et al. Probabilistic feasibility space of scaling up green hydrogen supply. *Nat Energy* 7, 854–865 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41560-022-01097-4>  
*Seite 854: "Despite initial exponential growth, green hydrogen likely ( $\geq 75\%$ ) supplies  $< 1\%$  of final energy until 2030 in the European Union and 2035 glob"*
- [Pfe21] Pfennig, M.; Bonin, M.; Norman, G.; PTX-Atlas: Weltweite Potenziale für die Erzeugung von grünem Wasserstoff und klimaneutralen synthetischen Kraft- und Brennstoffen, Teilbericht im Rahmen des Projektes: DeV-KopSys; Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (Fraunhofer IEE) (2021). [https://www.energie.fraunhofer.de/content/dam/energie/de/documents/01\\_PDF\\_PI/dokumente\\_pi\\_2021/210526\\_iee\\_FraunhoferIEE-PtX-Atlas\\_Hintergrundpapier\\_final.pdf](https://www.energie.fraunhofer.de/content/dam/energie/de/documents/01_PDF_PI/dokumente_pi_2021/210526_iee_FraunhoferIEE-PtX-Atlas_Hintergrundpapier_final.pdf)  
*Seite 13: „Schon Wasserstoff-Brennstoffzellen würden einen doppelt so hohen EE-Strombedarf aufweisen. Power-to-Liquid für Verbrennungsmotoren (z.B. Methanol für Benzin) einen um den Faktor 5 höheren Bedarf.“*



- [Pla23] Plattform Nachhaltiger Schwerlastverkehr (dena): Hintergrundpapier - Status quo und Anforderungen an den Ausbau der Tank- und Ladeinfrastruktur für klimafreundliche Nutzfahrzeuge in Deutschland (2023).  
[https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2023/Hintergrundpapier\\_Tank\\_und\\_Ladeinfrastruktur.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2023/Hintergrundpapier_Tank_und_Ladeinfrastruktur.pdf)  
 Seite 15: „Bereits heute gibt es zu wenig Platz für den Ausbau von Tankstellen und Lkw-Stellplätzen entlang der Hauptverkehrsrouten. Würde der Aufbau von Ladesäulen entlang von BAB in bereits vorhandene Standorte integriert, würden Lkw-Stellplätze weiter reduziert.“
- [Plö21] P. Plötz, F. Hacker, J. Jöhrens, D. Speth, T. Gnann, A. Scherrer, U. Burghart: Infrastruktur für Elektro-Lkw im Fernverkehr: Hochleistungsschnelllader und Oberleitung im Vergleich – ein Diskussionspapier. Karlsruhe, Berlin, Heidelberg: Fraunhofer ISI, Öko-Institut, ifeu (2021).  
[https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2021/BOLD\\_Truck\\_charging\\_discussion%20paper.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2021/BOLD_Truck_charging_discussion%20paper.pdf)  
 Seite 7: „Mittelfristig bietet bereits die Teilelektrifizierung von Autobahnen mit Oberleitungen die Möglichkeit, batterieelektrische Lkw während der Fahrt zu laden und den Ausbau von Schnellladestandorten zu reduzieren, insbesondere aufgrund der teilweise geringen Platzverfügbarkeit für Lkw an Raststätten und um auch außerhalb der gesetzlichen Pausenzeiten zu laden. Oberleitungsinfrastruktur kann zudem auf stark befahrenen Strecken helfen, die Skalierbarkeit von Batterieantrieben im Fernverkehr zu verbessern, indem die benötigte Anzahl und Größe von Schnellladestationen sowie betriebliche Restriktionen (Ladezeiten) reduziert werden.“
- [Ram23] Ramshankar, A., T.; Desai, A.,G.; Villarmois, J.,A.; Bozeman, J.,F.: Sustainability analysis of overhead cable line powered freight; School of Civil & Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, United States of America, George W. Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, United States of America, School of Public Policy, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, United States of America (2023).  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2634-4505/acc273/pdf>  
 Seite 8: “Among the electric alternatives, the OCL technology has a lower carbon footprint compared to the BEV technology. This can be attributed to the lower weight of the OCL truck batteries (i.e. about 780 kg) compared to the BEV batteries (i.e. 5000 kg). As another attribution in this regard, the GHG emissions stemming from the OCL infrastructure amortizes more over its life cycle (i.e. 35 years) as the adoption rate increases (e.g. more OCL trucks are introduced into the fleet), whereas the BEV technology has no new infrastructure components incorporated as a condition of the present study. At 15% adoption, the OCL technology has a 10% less environmental impact than the BEV technology, after which, the difference in impact increases slowly and peaks at 11% less environmental impact with a 50% adoption.”
- [Rog24] Rogstadius, J.; Alaküla, M.; Plötz, P.; Márquez-Fernández, F.; Nordin, L.: 2035 Joint Impact Assessment of Greenhouse Gas Reducing Pathways for EU Road Transport, Research Institutes of Sweden AB, Lund University, Fraunhofer ISI, Lund University and VTI (2024) <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1852055/FULLTEXT01.pdf>  
 Seite 30: „Charging costs with dynamic charging via ERS are expected to be a further 20% below static charging, resulting in 13% reduction in total levelized costs compared with static charging. Given that haulier profit margins are typically below 5%, the relative cost reductions from ICEV to BEV and BEV to ERS-BEV are large enough that they should drive very rapid adoption of the new technologies in regions where they become logistically viable options.“
- [Uec23] Ueckerdt, F.; Odenweller, A.: E-Fuels - Aktueller Stand und Projektionen; Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) (2023). [https://www.pik-potsdam.de/members/Ueckerdt/E-Fuels\\_Stand-und-Projektionen\\_PIK-Potsdam.pdf](https://www.pik-potsdam.de/members/Ueckerdt/E-Fuels_Stand-und-Projektionen_PIK-Potsdam.pdf)  
 Seite 2: „Flüssige E-Fuels sind unverzichtbar im Flugverkehr, im Schiffsverkehr und als Rohstoff für die Chemie.“  
 Seite 3: „Alle derzeit weltweit geplanten E-Fuel-Projekte (PtL) entsprechen nur etwa 10 % der unverzichtbaren E-Fuel-Bedarfe Deutschlands.“
- [Wer24] Werner, M.; Schiebel, M.; Stephan, A.: DC-Elektrifizierung von Autobahnen - Einblicke in die Begleitforschung des Feldversuchs FeSH. Fachartikel In: Elektrische Bahnen 122 Heft 1-2 (2024).  
 Seite 28: „Aus dem Projekt FeSH geht bisher hervor, dass die Technologie auch unter Realbedingungen zuverlässig einsetzbar ist. Wenngleich an einigen Stellen weiterhin Optimierungspotenzial besteht, weist das eHighway-System aufgrund umfassender mehrjähriger Feldversuche einen hohen Erprobungsgrad und insbesondere infrastrukturseitig eine hohe technologische Reife auf. Die Elektrifizierung von Autobahnen mit Oberleitungen kann demnach komplementär zum stationären Schnellladen ein Baustein für die Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs sein und ist technologisch auch ausrollbar.“
- [Wie17] Wietschel, M.; Gnann T.; Kühn, A.; Plötz P.; Moll C.; Speth D.; Buch, J.; Boßmann T.; Stütz, S.; Schellert, M.; Rüdiger, D.; Balz, W.; Friik F.; Waßmuth, V.; Paufler-Mann, D.; Rödl, A.; Schade, W.; Mader, S.; Fraunhofer ISI, Fraunhofer IML, PTV Transport Consult GmbH, TU Hamburg-Harburg – IUE, M-Five: BMDV: “Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitungs-Lkw”, (2017).  
[https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2017/MKS\\_Machbarkeitsstudie\\_Hybrid-Oberleitungs\\_Lkw\\_Bericht\\_2017.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2017/MKS_Machbarkeitsstudie_Hybrid-Oberleitungs_Lkw_Bericht_2017.pdf)  
 Seite 2: „Die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit hat sowohl aus einer betriebs- als auch aus einer volkswirtschaftlichen Sicht, bei der das bestehende Steuer- und Abgabensystem nicht einbezogen ist, Bestand“  
 Seite 3: “In einem ausgelasteten Zustand (250.000 HO-Lkw im Bestand) könnten durch die Einführung der HO-Lkw 10 bis 12 Mio. Tonnen an Treibhausgasemissionen gegenüber konventionellen Diesel-Lkw eingespart werden, wenn der Strom ausschließlich aus erneuerbaren Energien bereitgestellt wird“

