



Plattform Nachhaltiger
Schwerlastverkehr

HINTERGRUNDPAPIER

Nachhaltiger Schwerlastverkehr

Status quo und Anforderungen an den Ausbau der Tank- und Ladeinfrastruktur für klimafreundliche Nutzfahrzeuge in Deutschland

Impressum

Herausgeber:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin

Tel: +49 30 66 777-0

Fax: +49 30 66 777-699

E-Mail: PlattformNachhaltigerSchwerlastverkehr@dena.de

www.dena.de

www.plattform-nachhaltiger-schwerlastverkehr.de

Autoren:

Dr. Dietrich Gerstein, DVGW
Mona Sorayaei, DVGW
Paul Leon Wagner, dena

Bildnachweis:

©Adobe Stock/AM

Stand:

11/2023

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

Bitte zitieren als:

Plattform Nachhaltiger Schwerlastverkehr (Hrsg.) (dena, 2023) „HINTERGRUNDPAPIER - Status quo und Anforderungen an den Ausbau der Tank- und Ladeinfrastruktur für klimafreundliche Nutzfahrzeuge in Deutschland“

Inhalt

1	Hintergrund	4
2	Verfügbarkeit von Tank- und Ladeinfrastruktur für Strom und alternative Kraftstoffe bei Lkw.....	5
2.1	Wasserstoff (H ₂)	5
2.2	Biomethan/Bio-LNG.....	7
2.3	Strom	9
3	Anforderungen an zukünftige Tank- und Ladeinfrastruktur.....	10
3.1	Politische Ziele	10
3.2	Hochlauf von Tank- und Ladeinfrastruktur	11
4	Herausforderungen.....	14
4.1	Zeitlicher Horizont	14
4.2	Flächenbedarf	15
4.3.	Versorgung von Tankstellen und Ladestationen.....	16
4.3.1	H ₂ -Bereitstellung	16
4.3.2	Strom-Bereitstellung	17
5	Fazit und Handlungsempfehlungen	19
	Literaturverzeichnis	21
	Abbildungsverzeichnis.....	22

1 Hintergrund

Deutschland hat sich das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2045 klimaneutral zu werden. Bereits bis 2030 sollen die Emissionen um 65 Prozent gegenüber 1990 sinken. Hierzu müssen alle energieverbrauchenden Sektoren beitragen. Während in der Energiewirtschaft und der Industrie THG-Emissionen bereits reduziert werden konnten, bleibt der Verkehrsbereich hinter den Zielvorgaben zurück. Ein Grund dafür ist das zunehmende Verkehrsaufkommen im straßengebundenen Gütertransport, insbesondere mit schweren Lkw. So stieg die Fahrleistung der Lkw zwischen 1995 und 2021 um 34,5 Prozent (Umweltbundesamt, 2023). Die Rückgänge der technisch bedingten Emissionen (je Kilometer) im Straßengüterverkehr wurden von dem Anstieg der Fahrleistung ausgeglichen und führten somit nicht zu einer Reduktion der Gesamtemissionen. Die CO₂-Emissionen sind relativ gesehen sogar gestiegen und tragen aktuell zu etwa einem Viertel der THG-Emissionen im Verkehr bei. Die für das BMWK 2022 erarbeiteten Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland weisen eine Zunahme der Verkehrsleistung bei Lkw von 24 Prozent bis 2045 im Vergleich zu 2020 aus (Fraunhofer ISI, 2022)¹. Dies stellt den Güterverkehr auf der Straße vor die große Herausforderung, trotz wachsender Transportleistungen THG-Emissionen zügig zu reduzieren und damit zur Erreichung der nationalen Klimaziele beitragen zu können. Im Rahmen des Klimaschutzprogramms der Bundesregierung soll bis zum Jahr 2030 etwa ein Drittel der Fahrleistung des straßengebundenen Schwerlastverkehrs elektrisch oder auf Basis strombasierter Kraftstoffe erbracht werden.

Für den Schwerlastverkehr sind nachhaltige Kraftstoffalternativen teilweise bereits verfügbar oder befinden sich noch in der Entwicklung. Während Biomethan (CBG, LBG) bereits an ersten Tankstellen angeboten wird, HVO100 vor Kurzem erstmals zugelassen wurde und sich der Anteil erneuerbaren Stroms stetig erhöht (BE-Lkw), sind strombasierte Kraftstoffe oder grüner Wasserstoff (FCE-Lkw) nicht oder nur begrenzt verfügbar. In Deutschland waren 2022 ca. 3,55 Mio. Lkw zugelassen, die zum großen Teil mit Diesel angetrieben werden. Alternative Kraftstoffe spielen bisher nur eine geringfügige Rolle (siehe Abbildung 1).

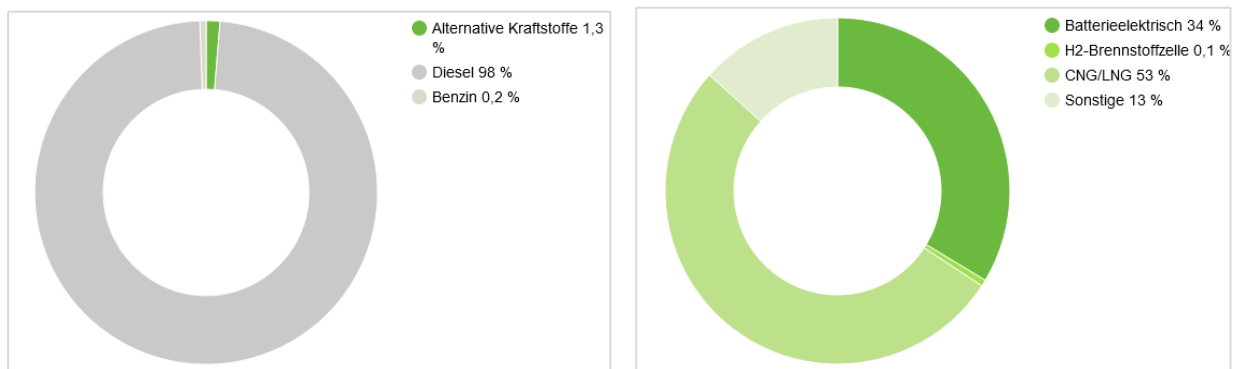


Abbildung 1: Marktanteil der alternativen Kraftstoffe (links) sowie prozentuale Verteilung der alternativen Kraftstoffe (rechts) für Lkw und Sattelzugmaschinen über 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht zum 1. Januar 2023

Dem geringen Einsatz alternativer Kraftstoffe und Stroms liegen mehrere Faktoren zugrunde. Ein limitierender Faktor sind vor allem die fehlenden Versorgungs- und Betankungs- bzw. Lademöglichkeiten für Lkw. Ein

¹ Das BMDV geht in der im März 2023 veröffentlichten „Gleitenden Langfrist-Verkehrsprognose“ von einer Zunahme der Verkehrsleistung bei Lkw von 54 Prozent bis 2051 im Vergleich zu 2020 aus (BMDV, 2023).

Ausbau des Marktanteils alternativer Antriebe und Kraftstoffe erfordert daher, neben einer zügigen Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnologie, die Bereitstellung von Tank- und Ladeinfrastruktur, sowohl auf nationaler Ebene als auch im Kontext des internationalen Fernverkehrs. Das Erreichen der Klimaschutzziele im Verkehrssektor ist dabei eng mit einem schnellen Markthochlauf von emissionsarmen bzw. emissionsfreien Nutzfahrzeugen, insbesondere mit batterieelektrischen (BE) und brennstoffzellenelektrischen (FCE) Antrieben, verknüpft. Ein entscheidender Punkt für den Markthochlauf dieser Fahrzeuge ist der Aufbau einer bedarfsgerechten und flächendeckenden Tank- und Ladeinfrastruktur, die der Transport- und Logistikbranche eine praktikable Möglichkeit zum Antriebswechsel bietet.

Mit diesem Hintergrundpapier zur Tank- und Ladeinfrastruktur sollen eine Übersicht zu deren aktueller Verfügbarkeit gegeben, regulatorische und technische Anforderungen dargestellt sowie Herausforderungen und Hemmnisse benannt, bewertet und eingeordnet werden. Ziel ist es, auf Basis der dargestellten Faktenlage Empfehlungen für die weitere Ausgestaltung und den Aufbau von Tank- und Ladeinfrastruktur zu formulieren, die einen Beitrag zur Diskussion über die notwendige regulatorische Ausgestaltung leisten sollen.

Der vorliegende Text bezieht sich vorwiegend auf die Tank- und Ladeinfrastruktur für batterie- und brennstoffzellenelektrische Lkw.

2 Verfügbarkeit von Tank- und Ladeinfrastruktur für Strom und alternative Kraftstoffe bei Lkw

2.1 Wasserstoff (H₂)

Der Einsatz von Wasserstoff im Schwerlastverkehr kann einen großen Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) im Verkehrsbereich leisten. Wasserstoff kann aus erneuerbaren Energien hergestellt und in großen Mengen gespeichert werden. Wasserstoffbetriebene Lkw haben im Vergleich zu batterieelektrischen Lkw kürzere Betankungszeiten sowie größere Reichweiten. Als Kraftstoff kann Wasserstoff in unterschiedlichen Zuständen genutzt werden: gasförmig komprimiert auf 350 oder 700 bar (H₂), flüssig (sLH₂) bei -247 °C oder druckflüssig (CCH₂) bei -219 °C und 300 bar.

Tankstellentechnologie für die Betankung von schweren Lkw und Bussen mit 350 bar ist am Markt verfügbar und hat mit einem TRL² von 8 bis 9 einen hohen Entwicklungsstand erreicht, d. h., 350-bar-Tankstellen werden bereits genutzt und in der Betankung von Bussen und Lkw im Regionalverkehr eingesetzt. Limitierende Faktoren bei 350-bar-Systemen sind allerdings die niedrige volumetrische Energiedichte des Wasserstoffs und die Begrenzungen der Größe von Lkw-Tanksystemen, sodass Reichweiten bei schweren Lkw auf ca. 400 km begrenzt sind.

Größere Reichweiten können hingegen mit der 700-bar-Technologie erreicht werden. Durch den höheren Druck kann der Wasserstoff im Vergleich zur 350-bar-Technologie auf geringerem Raum gespeichert werden. Diese Technologie wird im Pkw-Bereich eingesetzt. Lkw mit 700-bar-Technologie werden zwar entwickelt, sind aktuell aber nicht auf dem Markt verfügbar. Ziel sind Reichweiten von rund 1.000 km für den Fernverkehr. Im Vergleich zur 350-bar-Technologie werden für 700-bar-Tankstellen größer dimensionierte Kompo-

² Der Technology Readiness Level (TRL) dient als Indikator zur Beschreibung des Entwicklungs- und Reifegrads einer Technologie. Die Skala reicht von 1 bis 9.

nenten zur Vorkühlung und Kompression benötigt. Auch ist der Energieaufwand höher. Der aktuelle Technologiereifegrad der 700-bar-Tankstellen wird mit einem TRL von 7 bis 8 angegeben und ist somit in der Phase der erfolgreichen Prototypisierung.

Laut der NOW GmbH sind in Deutschland ca. 87 H₂-Tankstellen für die Betankung von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen mit 700-bar-Technologie in Betrieb. Nach Angaben der Bundesregierung sind 18 öffentliche Wasserstofftankstellen mit 350 bar für schwere Nutzfahrzeuge und Wasserstoffbusse in Betrieb (siehe Abbildung 2) Darüber hinaus befinden sich 43 Tankstellen in der Umsetzung und 20 weitere in der Planungsphase. Die Bundesregierung rechnet, über die 100 Wasserstofftankstellen bis 2026 hinaus, mit einem weiteren Hochlauf beim Ausbau der öffentlichen Wasserstoffbetankungsinfrastruktur. Außerdem sollen laut Bundesregierung deutlich mehr als 100 Wasserstofftankstellen, für schwere Nutzfahrzeuge und Wasserstoffbusse, bis 2026 in Betrieb genommen werden. Daneben wird es eine steigende Anzahl betrieblicher Wasserstofftankstellen für schwere Nutzfahrzeuge geben (Deutscher Bundestag, 2023).

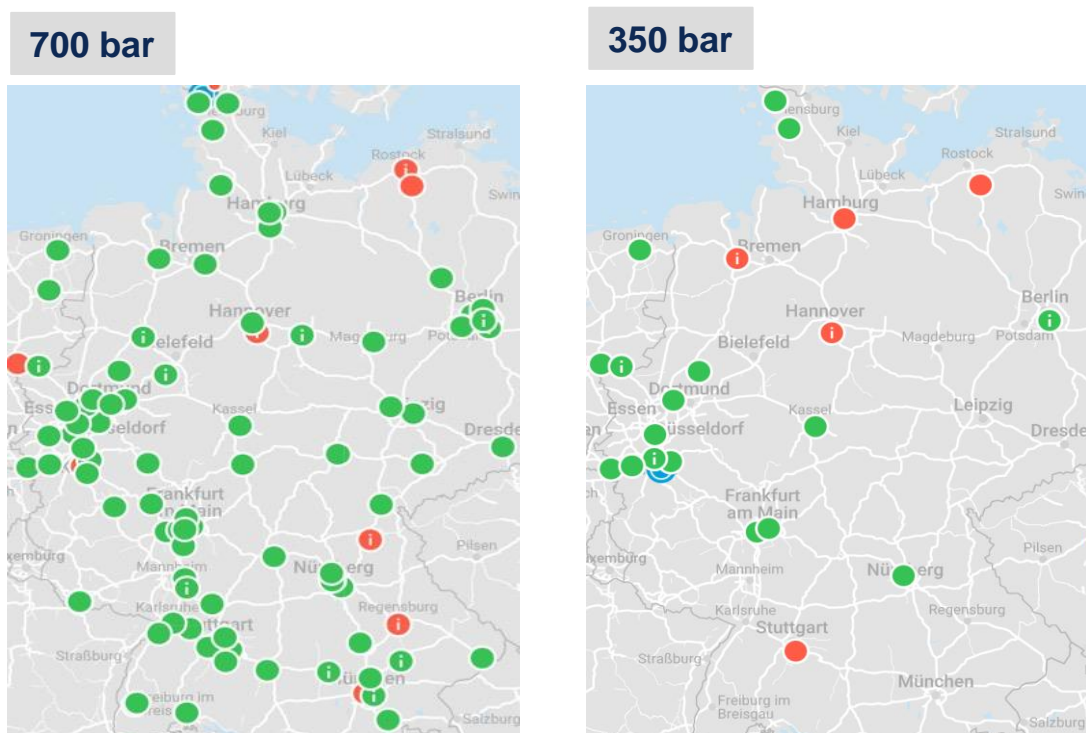


Abbildung 2: H₂-Tankstellen für Pkw (700 bar) und für Lkw (350 bar) in Deutschland; grün: in Betrieb; rot: zur Zeit des Abbruchs nicht in Betrieb; Stand: Juni 2023 (H₂ Mobility, 2023)

Tankstellen für flüssigen Wasserstoff (sLH₂) oder druckflüssigen Wasserstoff (CCH₂) sind noch nicht verfügbar und befinden sich entsprechend im Entwicklungsstadium. Während bei CCH₂ sowohl hoher Druck als auch niedrige Temperaturen hohe Anforderungen an die technischen Komponenten der Tankstelle stellen, ermöglicht die sLH₂-Technologie einen vergleichsweise einfachen Betankungsprozess, da im Vergleich zur Betankung mit komprimiertem Wasserstoff der Aufwand für die Kompression des Wasserstoffs auf ein Druckniveau

von 350 bzw. 700 bar entfällt. Dem stehen allerdings Kosten für die Verflüssigung³ des Wasserstoffs gegenüber. Herausfordernd sind auch die niedrigen Temperaturen und die dadurch bedingten Boil-off-Gas-Verluste⁴. Der aktuelle Entwicklungsstand der sLH₂-Wasserstofftankstelle liegt bei einem TRL von 3 bis 5.

2.2 Biomethan/Bio-LNG/Bio-CNG

Methan wird seit 1990 als Kraftstoff bei Pkw und Bussen und seit ca. fünf Jahren auch verstärkt bei Lkw eingesetzt. Bei Pkw und Bussen wird Methan gasförmig bei 200 bar verwendet (CNG). Im Lkw-Bereich kommt sowohl CNG als auch LNG (verflüssigtes Methan bei -162 °C und 1 bar) zum Einsatz. Während zunächst fossiles Methan (Erdgas) genutzt wurde, wird heute fast ausschließlich Biomethan (CBG) bzw. zunehmend Bio-LNG (LBG) getankt.

Schwere Lkw, die CBG (Compressed Bio Gas) oder BioLNG (Liquified Bio Gas) als Kraftstoff nutzen, haben einen hohen Entwicklungsstand und werden zuverlässig eingesetzt. Für die Betankung mit CNG/CBG sind rund 770 Tankstellen, überwiegend für Pkw, verfügbar. Über 100 dieser Tankstellen sind speziell auf das Betanken von Lkw ausgerichtet, während weitere Tankstellen sich sowohl für Pkw als auch Lkw eignen. Ein öffentliches Tankstellennetz für die Betankung von schweren Lkw mit LNG bzw. LBG wird seit 2018 aufgebaut und ist flächendeckend verfügbar. Im Jahr 2022 waren ca. 170 LNG/LBG-Tankstellen in Deutschland in Betrieb (siehe Abbildung 3).

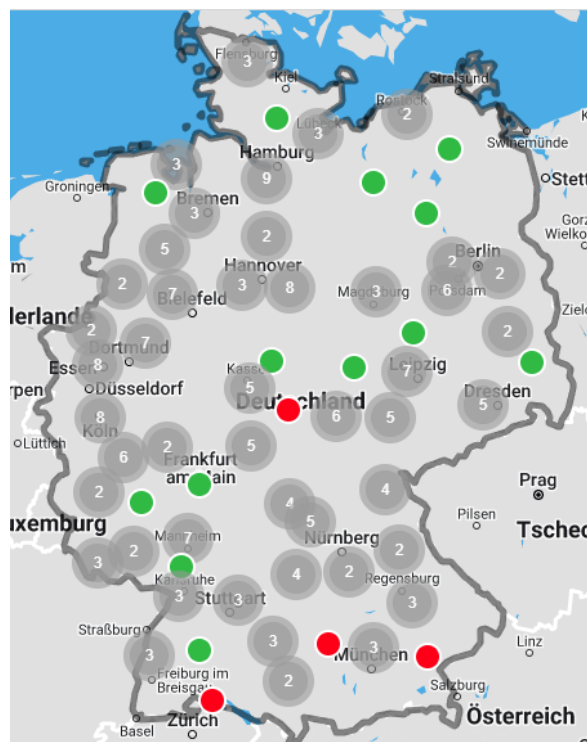


Abbildung 3: Öffentliche LNG-Tankstellen in Deutschland nach dena ; grün: in Betrieb; rot: in Planung; grau: Anzahl der Tankstellen in der Region (dena, 2023)

³ Wasserstoff benötigt für die Verflüssigung bei atmosphärischem Druck eine Temperatur von -253 °C.

⁴ Bei Transport und Speicherung verdampft ein Teil des flüssigen Wasserstoffs.

Die Nutzung von Methan (CBG, LBG) ist zurzeit die einzig vollumfänglich einsatzbereite alternative Antriebstechnologie. Das Biomethanpotenzial in Deutschland wird mit rund 100 TWh/a bemessen. Zurzeit werden hiervon allerdings nur rund 10 TWh/a genutzt und ins Gasnetz eingespeist (dena, 2022). Besonders im Schwerlastverkehr gibt es erhebliches Potenzial, auf langen Strecken CBG oder LBG als Kraftstoffe zu nutzen und große Teile der Lkw-Flotte mit diesen anzutreiben⁵. Bereits in den letzten Jahren konnte der Absatz von LNG an den Tankstellen deutlich gesteigert werden (siehe Abbildung 4).

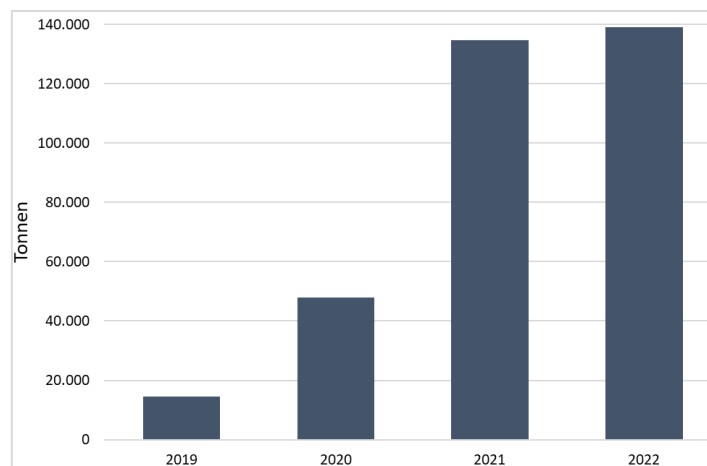


Abbildung 4: LNG-Absatz an öffentlichen Tankstellen in Deutschland; eigene Darstellung anhand Zukunft Gas (2023)

BioLNG wird ebenso wie CBG aus nachhaltigen Quellen wie landwirtschaftlichen Abfällen, Klärschlamm oder organischen Abfällen hergestellt und generiert damit über den gesamten Herstellungsprozess (w-t-w) sehr geringe bis negative THG-Emissionen. Je nach Herkunft der genutzten Biomasse können durch die Nutzung von LBG oder CBG THG-Emissionen deutlich reduziert werden (siehe Abbildung 5).

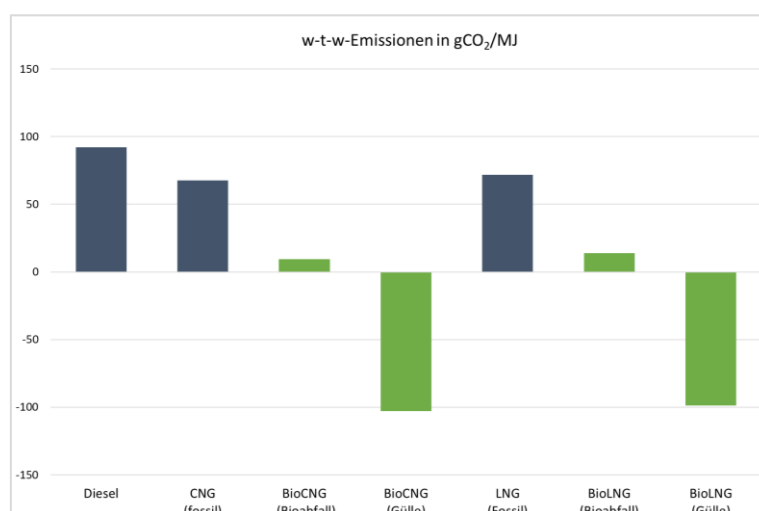


Abbildung 5: Treibhausgasminderungspotenzial; eigene Darstellung anhand Europäischer Kommission (2023)

⁵ Zum Vergleich: Ein schwerer Lkw verbraucht je nach Strecke und Beladung rund 300–400 kWh Methan je 100 km.

2.3 Strom

In der Fläche wird Ladeinfrastruktur für Pkw sowohl für das Normalladen (22 kW; 4–8 Stunden) als auch für das Schnellladen (max. 350 kW; 30–40 Minuten) ausgebaut (Elektromobilität NRW, 2023). Stand August 2023 stehen ca. 81.550 Normalladepunkte und 19.850 Schnellladepunkte, überwiegend für Pkw, zur Verfügung (Bundesnetzagentur, 2023) Nutzfahrzeuge benötigen höhere Ladeleistungen, allerdings ist der Anteil von Ladepunkten mit höheren Ladeleistungen noch sehr gering und nicht zwangsläufig für das Laden von Nutzfahrzeugen geeignet (siehe Abbildung 6). Zwar gibt es Einzelbeispiele öffentlicher Ladesäulen für Nutzfahrzeuge mit hohen Ladeleistungen, jedoch ist die Technologie noch in einer frühen Entwicklungsphase und ein Ladeinfrastrukturnetz für elektrische Lkw daher praktisch nicht existent.

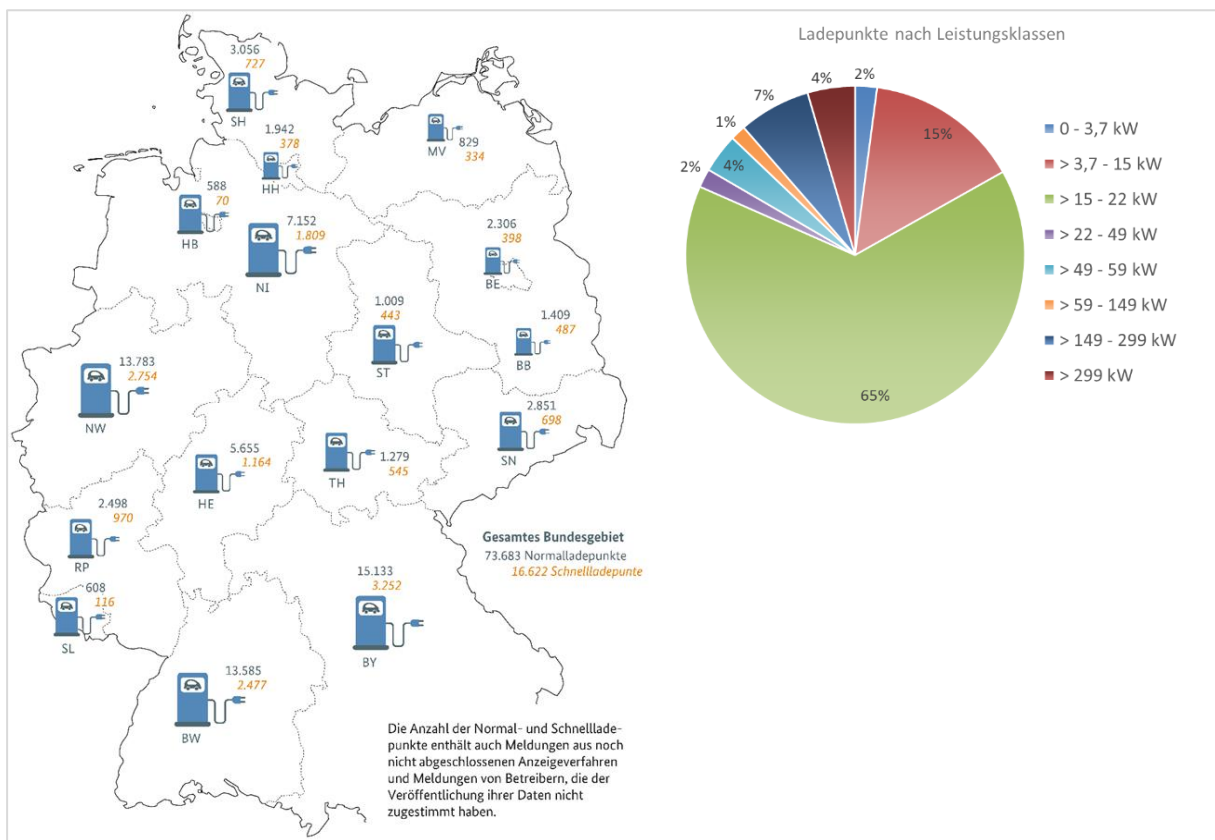


Abbildung 6: Verteilung der öffentlich zugänglichen Ladepunkte nach Bundesländern und Leistungsklassen; Stand: Q2/2023 (Bundesnetzagentur, 2023)

3 Anforderungen an zukünftige Tank- und Ladeinfrastruktur

3.1 Politische Ziele

Zentrales politisches Element für den Aufbau von Tank- und Ladeinfrastruktur auf europäischer Ebene ist die AFIR (Alternative Fuel Infrastructure Regulation), die am 22. September als Verordnung im Amtsblatt der EU veröffentlicht wurde und ab Mitte April 2024 vollumfänglich gelten wird. Die AFIR löst die bislang geltende AFID (Alternative Fuel Infrastructure Directive) ab und legt einen für alle EU-Mitgliedstaaten verbindlichen Rahmen zum Ausbau einer flächendeckenden, öffentlich zugänglichen Infrastruktur für alternative Kraftstoffe entlang des Transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN) fest. Die Mitgliedstaaten werden verpflichtet, den Ausbau von Tank- und Ladeinfrastruktur entsprechend den Vorgaben der AFIR voranzutreiben. Die AFIR wird voraussichtlich im April 2024 in Kraft treten. Vorgesehen ist folgender Infrastrukturhochlauf:

Strom (Lkw):

- ab 2025: Aufbau von Ladestationen (> 350 kW) alle 60 km im TEN-Verkehrsnetz und alle 100 km im größeren TEN-Gesamtnetz
- bis 2030: vollständige Netzabdeckung
- zusätzliche Ladestationen an sicheren Parkplätzen zum Aufladen über Nacht und an städtischen Knotenpunkten

H2 (Pkw und Lkw):

- bis 2030 alle 200 km entlang des TEN-Verkehrsnetzes und an allen städtischen Knotenpunkten

Durch die AFIR ist Deutschland verpflichtet, die Ausbauziele für das Ladenetz zu erreichen. Darüber hinaus hat die AFIR direkte Auswirkungen auf die bereits bestehende nationale Ladesäulenverordnung (LSV), insbesondere im Blick auf die Harmonisierung von Standards und Nutzerfreundlichkeit.

Basis für den Aufbau von flächendeckender Ladeinfrastruktur in Deutschland ist der Masterplan Ladeinfrastruktur II. Das Bundesverkehrsministerium (BMVD) hat mit dem Masterplan Ladeinfrastruktur II angekündigt, ab 2023 ein initiales Ladenetz für Lkw entlang der Fernstraßen forciert aufzubauen. Grundlage für den Aufbau von Ladeinfrastruktur ist das im Juni 2021 vom Bundestag beschlossene Schnellladegesetz, mit dem der Rechtsrahmen für die Ausschreibung des Aufbaus eines öffentlichen Schnellladenetzes (Deutschlandnetz) geschaffen wird. Stand November 2023 ist noch keine Ausschreibung zur Errichtung eines initialen, skalierbaren Ladeinfrastrukturnetzes für BE-Lkw entlang des Fernverkehrsnetzes erfolgt. Die Errichtung und der Betrieb des Deutschlandnetzes sind vom BMVD über die Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (NLL) in zwei Tranchen ausgeschrieben worden. Ergänzend zu den Hauptverkehrsachsen sind nun 1.100 Standorte entlang der Bundesautobahnen (BAB) sowie in städtischen bzw. ländlichen Regionen definiert worden. Der Vergabeprozess wurde Ende September 2023 abgeschlossen. Die Ausschreibung für 200 neue Schnellladestandorte an unbewirtschafteten Rastanlagen entlang der BAB befindet sich in der finalen Phase. Diese Ausschreibung umfasst die Ladeinfrastruktur insgesamt und ist nicht spezifisch auf Lkw ausgerichtet.

Darüber hinaus unterstützt das BMDV die Errichtung nicht öffentlich zugänglicher und gewerblich genutzter Ladeinfrastruktur. Das BMDV-Förderprogramm „Schnellladeinfrastruktur für Unternehmen“ adressiert vor allem die gewerbliche Wirtschaft, insbesondere Handwerks- und Gewerbebetriebe und Flottenanwender wie z. B. Transport- und Logistikunternehmen. Neben Ladepunkten für Pkw sind erstmals auch Ladepunkte speziell für Lkw förderfähig (mind. 50 kW). Einbezogen sind dabei auch die notwendigen Netzanschlüsse, vorausgesetzt diese werden ausschließlich auf eigenen betrieblichen Flächen innerhalb Deutschlands genutzt. Bisher wurden diese Lademöglichkeiten nur kombiniert mit der Fahrzeugbeschaffung unterstützt. Für den Aufruf steht ein Fördervolumen von bis zu 400 Mio. Euro zur Verfügung.

Mit dem Förderprogramm KsNI können neben der Anschaffung von leichten und schweren Nutzfahrzeugen mit alternativen, klimaschonenden Antrieben (KsN) auch Zuschüsse für den Aufbau von Tank- und Ladeinfrastruktur (Ksl) gewährt werden. Neben Ladesäulen für BE-Lkw wird auch H2-Tankinfrastruktur für FCE-Lkw gefördert. Insgesamt stehen bis 2026 rund 10,1 Mrd. Euro für den Aufbau oder die Erweiterung von Tank- und Ladeinfrastruktur für Pkw und Lkw bereit.

Auch für die H2-Tankstelleninfrastruktur setzt die AFIR verbindliche Ausbauziele bis 2030 fest. Konkrete Zielvorgaben zum Hochlauf von H2-Infrastruktur für Lkw hat die Bundesregierung bisher nicht definiert. Im Juli 2023 ist die Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie beschlossen worden. Demnach sollen bis 2030 Wasserstoff und Wasserstoffderivate in der Industrie, bei schweren Nutzfahrzeugen sowie zunehmend im Luft- und Schiffsverkehr eingesetzt werden. Öffentliche Wasserstofftankstellen für Brennstoffzellen-Nutzfahrzeuge werden im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms „Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie Phase 2“ (NIP2) gefördert. Im Oktober 2021 wurde ein Förderaufruf für öffentlich zugängliche Wasserstofftankstellen für Nutzfahrzeuge veröffentlicht, mit einem Budget von 60 Mio. Euro. Darauf folgte ein weiteres Budget von 311 Mio. Euro im März 2023. Die Förderung unterstützt ausschließlich die Errichtung von Wasserstofftankstellen, die im Betrieb 100 Prozent erneuerbaren Wasserstoff abgeben (NOW, 2023). Darüber hinaus hat die Bundesregierung angekündigt, einen Masterplan Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie im Verkehr zu entwickeln. Damit soll die Nutzung von Wasserstoff und daraus hergestellten synthetischen Kraftstoffen von Brennstoffzellenfahrzeugen sowie Brennstoffzellenkomponenten und -systemen unterstützt werden. Außerdem sollen Pläne für den Aufbau der erforderlichen Infrastruktur entwickelt werden. Ziel sei es, konkrete Handlungsschritte zu definieren und einen Zeitplan vorzulegen. Diese sollen auch regulatorische Maßnahmen und Förderprogramme beinhalten.

3.2 Hochlauf von Tank- und Ladeinfrastruktur

Schwere Lkw mit Brennstoffzellenantrieben werden von mehreren OEMs angeboten und weiterentwickelt. Szenarien aus aktuellen Studien (DVGW, 2023) zur Dekarbonisierung des Mobilitätsbereichs zeigen ab 2030 eine erhöhte Nutzung von Wasserstoff für den Antrieb von Brennstoffzellen-Lkw (FCE-Lkw). Diese Steigerung geht über das Jahr 2045 hinaus. Dabei findet Wasserstoff überwiegend Anwendung im Bereich der schweren Lkw (N3)⁶, besonders auf langen Strecken. Szenarien mit technologieoffenen Rahmenbedingungen zeigen eine ab 2030 zunehmende Nutzung von H2 bei Lkw (> 3,5 t). Bis 2045 soll der Wasserstoffbedarf demnach in einem optimistischen Szenario von 0,7 auf 60 TWh ansteigen (DVGW, 2023). Daraus würde sich eine deutliche Zunahme der Nutzung von FCE-Lkw ab 2030 ergeben. Laut ACEA würde dies europaweit einen Ausbau von Tankstelleninfrastruktur für Lkw auf 300 Tankstellen im Jahr 2030 und auf rund 1.000 Tankstellen im Jahr

⁶ N1 = bis 3,5 t, N2 = mehr als 3,5 bis 12 t, N3 = mehr als 12 t zulässiger Gesamtmasse des Nutzfahrzeugs.

2040 erfordern. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund der noch geringen Anzahl der Lkw im Jahr 2030 rechnerisch wenige Tankstellen ausreichend wären. Allerdings ist ein erstes initiales Netz mit rund 300 Tankstellen (ACEA, 2021) erforderlich, um H₂-Betankung für Lkw in der Fläche zu ermöglichen. Erwartet wird, dass zunächst Tankstellen mit Abgabemengen von 1 t H₂/d ausreichen und diese dann, mit Zunahme der Anzahl zu betankender Lkw, durch Tankstellen mit höherer Abgabekapazität ergänzt werden.

Batterieelektrische Lkw (BE-Lkw) mit Reichweiten von bis zu 500 km werden kommerziell produziert und bereits im lokalen und regionalen Lieferverkehr genutzt. Die derzeitige Entwicklung fokussiert sich auf die Erhöhung von Reichweiten mit dem Ziel, langfristig Fahrzeugmodelle in den Markt zu bringen, welche auch im schweren Segment lange Strecken zurücklegen können. Erwartet wird, dass bis 2030 Batterien mit Kapazitäten von 600 bis 850 kWh für 700-km-Strecken bereitgestellt werden können (Tabelle 1).

Tabelle 1 - Technologische Entwicklung BE-Lkw, Heavy Duty; erwartete Leistungsdaten in 2030 (Strategy & PwC, 2023)

	HD-Fernverkehr	HD-Regionalverkehr
Fahrleistung	ca. 600 km/d	ca. 400 km/d
Motorleistung	300–450 kW	300–450 kW
Batteriekapazität	600–850 kWh	300–600 kWh
Reichweite	500–700 km	250–500 km
Gewicht (Antrieb)	4.300–5.300 kg	3.100–4.300 kg

Szenarien mit Fokussierung auf batterieelektrische Antriebe bei Lkw lassen eine Steigerung der Endenergieverbräuche von 20 TWh im Jahr 2030 auf 69 TWh im Jahr 2045 vermuten (Frauenhofer ISI, 2022; DVGW-Berechnungen). In einer groben Annäherung ergibt sich daraus ein notwendiger Hochlauf von Ladepunkten gemäß Abbildung 7.

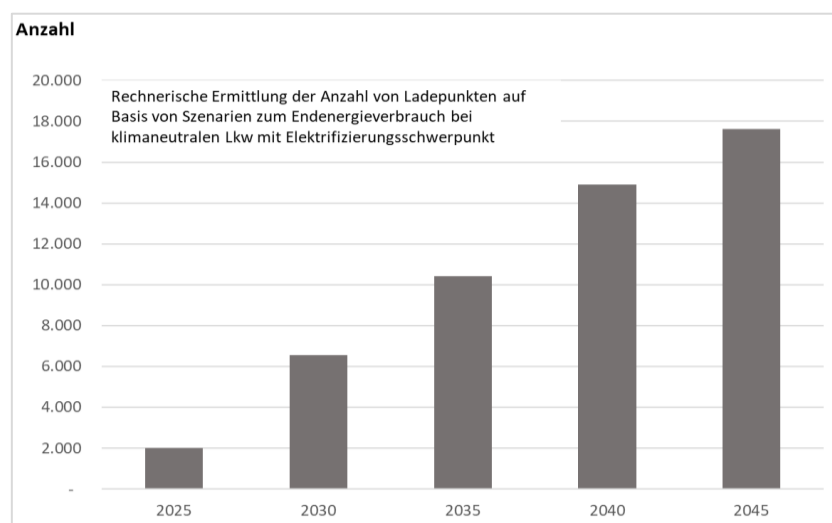


Abbildung 7: Hochlauf Ladepunkte für BE-Lkw (DVGW-Berechnung)

Beim Aufbau von Ladeinfrastruktur für BE-Lkw ist es eine der zentralen Herausforderungen, eine ausreichende Ladeleistung für die einzelnen Ladepunkte sicherzustellen. Eine Ladeoption ist das Depotladen, bei dem die Lkw mit niedrigen bis mittleren Ladeleistungen geladen werden können (Combined Charging System; CCS)⁷. Das High Power Charging (HPC) verkürzt die Ladezeit des CCS durch Kühlung der Ladeleitung und -stecker. Damit wird eine maximale Ladespannung von bis zu 1.000 Volt und ein maximaler Ladestrom von 500 Ampere erreicht. Die Ladeleistung beträgt so bis zu 500 kW (EnBW, 2023).

Für schwere Lkw im Fernverkehr sind höhere Ladeleistungen von 750 kW bis > 1 MW notwendig, insbesondere dann, wenn die Fahrzeuge bei längeren Fahrstrecken zwischendurch geladen werden müssen. Für schwere Lkw dürfte sich Megawatt Charging System (MCS) als zukünftiger Ladestandard etablieren (ifeu, 2021). Eingesetzt werden kann MCS z. B. für das öffentliche Zwischendurch-Laden während der gesetzlichen Pausenzeiten der Lkw-Fahrer von 45 Minuten (nach 4,5 Stunden Fahrzeit) oder aber für das Depotladen, wenn aufgrund gesonderter Anforderung an den Fuhrpark kurze Ladezeiten erforderlich sind.

Beide Systeme werden als Ladestandards (ifeu, 2021) eingeführt bzw. entwickelt (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2 - Ladestandards

	CCS	MCS
Ladegeschwindigkeit	bis 50 km/h	850 km/h
Lade-/Tankdauer für 400 km	8 h	30 min
Leistung	150–350 kW	> 1 MW
Einsatzbereich	leichte Nutzfahrzeuge mit geringem Leistungsbedarf; Kurzstrecke; Nachtladen	schwere Nutzfahrzeuge mit hohem Leistungsbedarf; Langstrecke

⁷ CCS ermöglicht das Laden mit Gleich- und Wechselstrom.

4 Herausforderungen

4.1 Zeitlicher Horizont

Ein zügiger Ausbau der Tank- und Ladeinfrastruktur kann nur gelingen, wenn dieser mit einem Hochlauf von BE- und FCE-Lkw einhergeht. Fahrzeughersteller und Flottenbetreiber benötigen Sicherheit, dass die Fahrzeuge geladen bzw. betankt werden können. Ebenso benötigen Infrastrukturinvestoren ein Maß an Planungssicherheit durch vorhandene oder zu erwartende Nachfrage.

BE-Lkw für den Regionalverkehr mit mittleren Reichweiten sind marktreif. Im Segment der schweren Lkw, insbesondere mit großen Reichweiten, besteht weiterer Entwicklungsbedarf, speziell bei der Kapazität und Lebensdauer der Batterien.

Als Startpunkt für die regionale Abdeckung ist privates Laden im Depot (CCS), in Kombination mit dem Aufbau eines ersten öffentlichen Netzes, ausreichend, beispielsweise für Pendelverkehre. Mittelfristig muss das bestehende Ladenetz für batterieelektrische Lkw im Fernverkehr um Schnellladestationen erweitert bzw. neu aufgebaut werden. Denn auch auf langen Strecken müssen Lkw die Möglichkeiten zum Zwischendurch-Laden während der Fahrpausen haben. Um BE-Lkw auf der Langstrecke nutzen zu können, sollte ab 2025 eine MCS-Abdeckung entlang der Hauptverkehrsrouten für schwere Lkw errichtet werden.

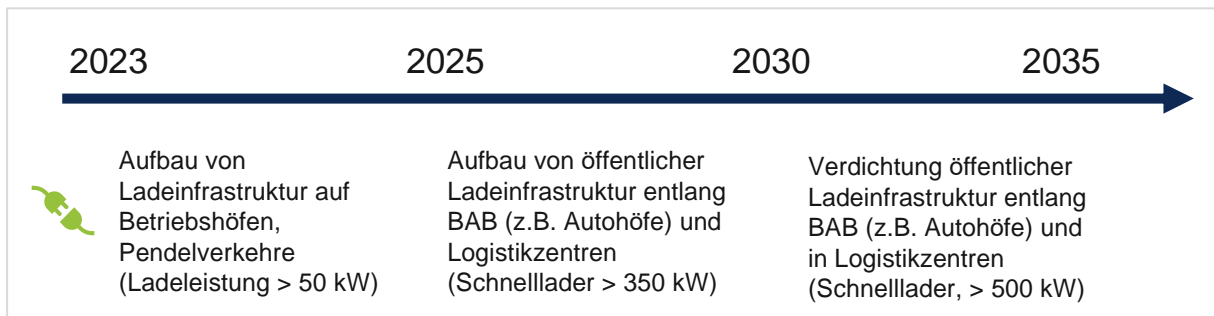


Abbildung 8: Hochlauf von Ladeinfrastruktur (DVGW, 2023)

Erste MCS-Projekte sind angekündigt oder werden in Pilotprojekten entwickelt. Mit dem vom BMDV geförderten Projekt „HoLa – Hochleistungsladen im Lkw-Fernverkehr“ sollen an vier Standorten in Deutschland je zwei MCS-Hochleistungsladepunkte gebaut und im realen Logistikbetrieb getestet werden (HoLa, 2023).

FCE-Lkw werden eher für die Langstrecke entwickelt und sollen vergleichbare Reichweiten und Tankzeiten wie Diesel-Lkw erreichen. Erste regionale Einsätze für FCE-Lkw werden umgesetzt und in Pendel- oder Verteilverkehren bei begrenzten Fahrtstrecken und planbarer Betankung genutzt. Ein flächendeckender oder großräumiger Einsatz ist noch nicht möglich. Hierzu muss nahezu die gesamte Transport- und Betankungsinfrastruktur für Lkw mit Wasserstoff aufgebaut werden. Dabei ist der Aufbau von H2-Tankstellen entlang der wichtigsten Fernverkehrsrouten notwendig, welche die hohen H2-Mengen für Lkw bereitstellen können. Tankzeiten für Lkw sollten 15 Minuten für eine Reichweite von bis zu 1.000 km nicht überschreiten.

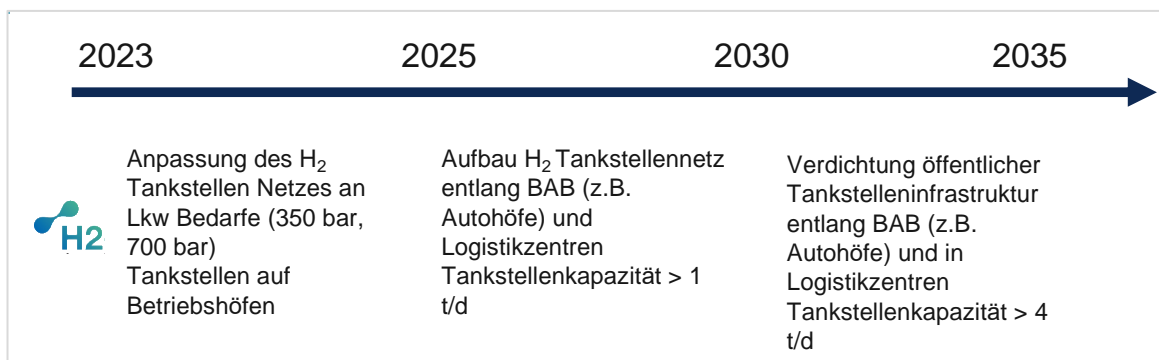


Abbildung 9: Hochlauf von Tankinfrastruktur (DVGW, 2023)

4.2 Flächenbedarf

Der Bedarf an Tank- und Ladeinfrastruktur entlang der Hauptverkehrsrouten wird durch schwere Lkw im Fernverkehr bestimmt. Hierfür werden geeignete Standorte und ausreichende Flächen benötigt. Wichtige Aspekte bei der Wahl von Standorten für Tank- und Ladeinfrastruktur sind die Anbindung an vorhandene Infrastrukturen (Versorgung mit Strom und Wasserstoff) und die Erreichbarkeit. Außerdem zentral ist die Anfahrbarkeit für Lkw durch z. B. beidseitige Befahrbarkeit, Flächenverfügbarkeit und Genehmigungsfähigkeit. Zu berücksichtigen sind auch mögliche Synergien, z. B. der Servicebereiche, mit vorhandenen Tankstellen. Die Flächen sollten in jedem Fall ausreichend bemessen sein, sodass ein späterer Ausbau von Tank- und Ladekapazität möglich ist. Als Standorte kommen Tankstellen und Autohöfe entlang der Hauptverkehrsrouten, vorzugsweise BAB, sowie in Ballungszentren und Industriezonen infrage.

Flächenbedarfe für den Aufbau von H₂-Tankstellen sind hoch und hängen ab von der geplanten Abgabe und Anzahl der Zapfstellen. Zu berücksichtigen ist auch der Platzbedarf für An- und Abfahrt und das Parken von Lkw. Bei einer Tankstelle mit bis zu 1 t H₂-Abgabe pro Tag werden rund 800 m² Fläche benötigt (Plattform H2BW, 2023). Zentral ist bei H₂-Tankstellen eine gute Anbindung an H₂-Versorgungsinfrastrukturen⁸.

Der Flächenbedarf für den Aufbau öffentlicher Ladeinfrastruktur für schwere Lkw wird definiert durch den jeweiligen Standort, die geplante Ladeleistung, die notwendige Manövrierfläche für Lkw und eventuell zusätzliche Einrichtungen wie Räume für Fahrer und Servicebereiche. In grober Näherung kann eine einzelne Ladesäule für Lkw inklusive der notwendigen technischen Infrastruktur und Manövrierfläche etwa 100 bis 200 m² beanspruchen. Zu berücksichtigen ist auch der Anschluss von Hochleistungsladepunkten an das Stromnetz. Hier sind z. B. durch den Aufbau von Trafostationen weitere Flächen notwendig. 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. Potenzial bieten hier Autohöfe in der Nähe von BAB, die leichter zu erweitern sind (Fraunhofer ISI, 2023).

Bei Ladestationen ist zu berücksichtigen, wie der Anschluss an das Mittelspannungs- oder Hochspannungsnetz realisiert werden kann und welche zusätzlichen Flächen hierfür bereitgestellt werden müssen (vgl. Kapitel 4.3).

⁸ Vgl. auch DVGW-Projekt H2net&Logistics.

4.3. Versorgung von Tankstellen und Ladestationen

4.3.1 H₂-Bereitstellung

Beim Aufbau einer H₂-Tankstelleninfrastruktur müssen Möglichkeiten der Bereitstellung und Anlieferung von H₂ berücksichtigt werden. Optionen der Bereitstellung von Wasserstoff sind in Abbildung 9 dargestellt. Wasserstoff kann in größeren Mengen gasförmig per Pipeline oder flüssig per Schiff importiert werden (A) oder über größere zentrale Elektrolyseure in Deutschland hergestellt und dann verteilt werden (B). Möglich ist auch die

Vor-Ort-Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse (C). Hier ist allerdings fraglich, inwieweit dies aufgrund fehlender Skalierbarkeit wirtschaftlich dargestellt werden kann.

Möglich und technisch machbar ist die Lieferung von Wasserstoff bei größerem Bedarf per Pipeline⁹. Bei der Pipelineversorgung kann Wasserstoff über das bestehende Erdgastransportnetz befördert werden, wenn dies auf reine Wasserstoffnutzung umgestellt wird. Neu gebaute dedizierte Wasserstoffpipelines können das System ergänzen.

Dabei kann die Tankstelle über eine Stichleitung zu einem H₂-Transportnetz oder über den Anschluss eines H₂-Hubs an das Transportnetz, von dem mehrere Tankstellen über Trailer bzw. Tanklastwagen beliefert werden, versorgt werden. Bei kleinen bis mittleren Wasserstoffbedarfen der Tankstelle bietet sich eine direkte Belieferung per Trailer oder Tanklastwagen an. In Einzelfällen ist auch ein Transport per Schiff oder Bahn denkbar. Bei der Pipelineversorgung kann Wasserstoff über das bestehende Erdgastransportnetz, nach dessen Umrüstung auf Wasserstoff, transportiert werden. Gastransportnetzbetreiber planen ein Wasserstoffkernnetz mit einer Länge von 9.700 km in der ersten Aufbauphase (2025–2032). Dieses Netz bietet auch Optionen zum späteren Anschluss von H₂-Tankstellen.

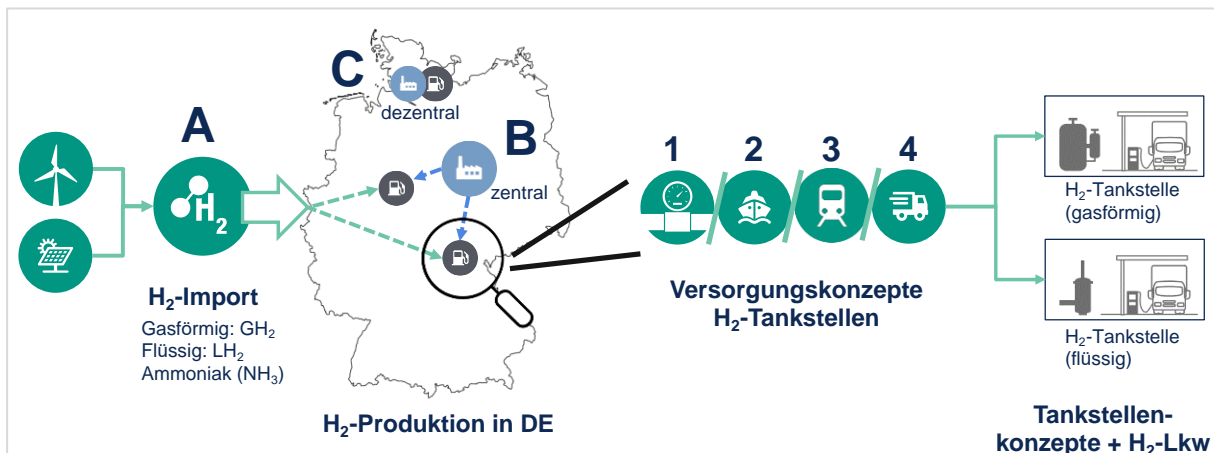


Abbildung 10: Bereitstellung von Wasserstoff (DVGW, 2023)

⁹ Siehe hierzu das DVGW-Forschungsprojekt H2net&Logistics.

4.3.2 Strom-Bereitstellung

Um Schnellladestationen ausreichend mit Strom zu versorgen und den Leistungsbedarf der Ladestellen abdecken zu können, muss das bestehende Stromnetz sowohl für den Anschluss der Ladestationen als auch für den Transport des Stroms über größere Entfernungen (Hochleistungsleitungen, Umspannwerke) in Abhängigkeit der jeweiligen Standorte ausgebaut und verstärkt werden.

Im Auftrag der NOW hat die ef.Ruhr GmbH den Aufbau von Ladenetzen modelliert und Auslastung, Ladeleistung und Netzanschlussleistung errechnet. Betrachtet werden Ladestationen mit unterschiedlichen Auslastungen. Als ein für den Schwerlastverkehr repräsentatives Szenario wird eine Ladestation an einer Hauptverkehrsachse (BAB) mit hohem Verkehrsaufkommen simuliert, welche sowohl Schnellladen als auch Übernachtladen und das Laden von Pkw erlaubt.

Jahr		2027	2030	2035
Durchschnittliche tägliche Anzahl von MCS-Kunden für Prototyp I	#	22	60	150
Maximale tägliche Anzahl von MCS-Kunden für Prototyp I	#	46	114	284
Anzahl MCS 700 kW	#	5	5	0
Anzahl MCS 900 kW	#	0	6	24
Anzahl NCS 100 kW	#	12	33	81
Anzahl HPC 200 kW	#	16	24	8
Anzahl HPC 350 kW	#	0	0	24
Quote Lademanagement MCS	%	60	50	50
Summe Ladeleistung inkl. Lademanagement MCS	MW	6,5	12,6	28,9
Netzanschlussleistung eine Fahrtrichtung	MVA	7,2	13,9	32,0
Netzanschlussleistung zwei Fahrtrichtungen	MVA	14,4	27,8	64,0

Abbildung 11: Entwicklung von Ladekunden und Netzanschlussleistung bei einer hoch frequentierten Ladestation an einer Hauptverkehrsachse (Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, 2022)

Bei einer täglichen Auslastung von durchschnittlich 60 Hochleistungsladekunden bzw. von 114 MCS-Kunden im Maximum muss eine Ladeleistung von 12,6 MW für die Bedienung einer Fahrtrichtung bereitgehalten werden. Dies entspricht einer Netzanschlussleistung von 13,9 bzw. 27,8 MVA¹⁰, wenn beide Fahrtrichtungen abgedeckt werden sollen. Ab 2035 wären, bei entsprechendem Hochlauf von BE-Lkw, 32 MVA an Anschlussleistung erforderlich (eine Fahrtrichtung). Für beide Fahrtrichtungen wären es entsprechend 64 MVA (siehe Abbildung 11).

Bis zu einer Leistung von 30 MVA können Ladestationen an das Mittelspannungsnetz angeschlossen werden. Bei höherem Leistungsbedarf größer 30 MVA muss der Anschluss an das Hochspannungsleitungsnetz erfolgen. Dies erfordert höhere Investitionen im Vergleich zum Anschluss an die Mittelspannung. Auch ist aufgrund von komplexen und zeitaufwendigen Genehmigungsverfahren die Realisierungszeit mit bis zu zehn Jahren vergleichsweise lang (siehe Abbildung 12).

¹⁰ MVA: Megavoltampere gibt die Scheinleistung an, die der Netzbetreiber anstellen muss. Scheinleistung ist die Summe aus Wirkleistung und Blindleistung.

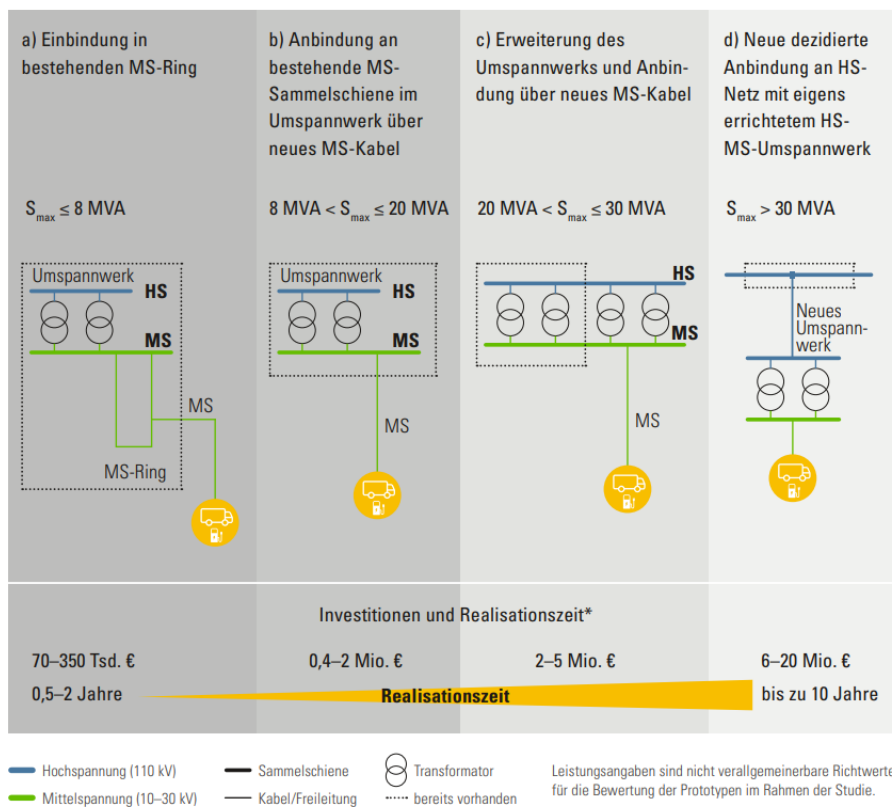


Abbildung 12: Möglichkeiten des Netzanschlusses für LADE-HUBS (Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, 2022)

Die Anforderungen an das Stromnetz sind komplex. Eine wesentliche Herausforderung ist es, die hohen Leistungen zur Verfügung zu stellen, ohne das Netz zu überlasten. Dabei wird es notwendig sein, das bestehende Netz bedarfsabhängig zu erweitern oder zu verstärken, insbesondere dort, wo aktuell nicht genügend Kapazität für hohe Leistungen vorhanden ist. Ladevorgänge dürfen nicht zu Instabilitäten im Stromnetz führen. Intelligentes Management des Stromnetzes ist notwendig, um die zusätzliche Last durch MCS zu handhaben. Erforderlich werden auch Speicherlösungen sein, um Spitzenlasten zu glätten und die Stabilität des Stromnetzes zu gewährleisten. Ebenfalls können Smart-Grid-Technologien dazu beitragen, Ladevorgänge effizienter zu gestalten und die Belastung des Stromnetzes zu minimieren.

5 Fazit und Handlungsempfehlungen

BE- und FCE-Lkw tragen bereits heute dazu bei, die THG-Emissionen im schweren Straßengüterverkehr zu mindern. Trotzdem ist ihr Anteil im Vergleich zu Dieselantrieben noch gering, wodurch bisher nur begrenzte Emissionseinsparungen erzielt werden können. Mittel- und langfristig zeichnet sich jedoch ab, dass ein breiter Markthochlauf von BE- und FCE-Lkw, unterstützt durch die Bereitstellung von Antriebsenergien aus erneuerbaren Quellen, zu einer substanziellen Reduzierung der THG-Emissionen führen kann. Es ist zu erwarten, dass durch technologische Weiterentwicklung, eine Verringerung der Fahrzeugkosten sowie sinkende Preise für Antriebsenergien beide Technologien ökonomisch wettbewerbsfähig gegenüber Diesel-Lkw werden. Für den Markthochlauf von schweren Nutzfahrzeugen mit alternativen Antrieben ist jedoch der Ausbau der Tank- und Ladeinfrastruktur für schwere Nutzfahrzeuge von existenzieller Bedeutung. Zwar legt die AFIR erste Rahmenbedingungen für den Aufbau von Tank- und Ladeinfrastruktur fest, damit Transport- und Logistikunternehmen jedoch in der Masse auf BE- und FCE-Lkw zurückgreifen und einen signifikanten Beitrag zur Emissionsreduzierung leisten können, sollten folgende zentrale Punkte berücksichtigt werden:

1. Die AFIR setzt EU-weite Richtlinien zum Aufbau der Tank- und Ladeinfrastruktur für BE- und FCE/H₂-Lkw fest. Für den Aufbau einer bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur und eines vollumfänglichen Wasserstoff-Tankstellennetzes in Deutschland sollte die AFIR jedoch übererfüllt werden. Der Ausbau sollte auf marktbasieren Instrumenten und wettbewerblichen Förderungen basieren, denn nur so lässt sich der — für eine effiziente Logistik notwendige — Aufbau einer geballten Tank- und Ladeinfrastruktur entlang der Hauptverkehrsrouen realisieren.
2. BE-Lkw können mit ihren Reichweiten bereits heute im regionalen Verteilerverkehr eingesetzt werden. Die Errichtung einer Tank- und Ladeinfrastruktur auf nicht öffentlich zugänglichen und gewerblichen Flächen wie Betriebshöfen oder Gewerbegebieten ist dabei von großer Relevanz. Erforderlich ist hier eine vereinfachte und beschleunigte Vergabe von Fördermitteln. Eine Bereitstellung von Finanzmitteln über den Bundeshaushalt 2024 zur Fortführung des Förderprogramms KsNI und der Umsetzung eines dritten Förderaufrufs ist für den Aufbau der Tank- und Ladeinfrastruktur unabdingbar.
3. Für einen bedarfsgerechten Ausbau der Ladeinfrastruktur für schwere elektrische Nutzfahrzeuge muss der zusätzliche Strombedarf miteingeplant werden. Neue Ladestandards wie das Megawatt Charging System (MCS), das im elektrifizierten Schwerlastverkehr auf der Langstrecke eine tragende Rolle einnehmen wird, stellen das Stromnetz vor große Herausforderungen. Der Ausbau und die Auslegung des Stromnetzes sollten daher vorrangig mit den Anforderungen des Ladevorgangs für die BEV-Nutzfahrzeuge mit den höchsten Ladeleistungen gemäß dem MCS-Standard im Einklang stehen.
4. Vor allem in der Anfangsphase mit geringer Auslastung der Lkw-Ladestationen sollten Investitionen in öffentliche Ladestationen mit MCS-gerechter Netzanschlussleistung und der zugehörige Netzausbau gefördert werden. Netzbetreiber sollten, mit Blick auf die Netzplanung und den Aufbau des Lastmanagements, frühzeitig in den Prozess der Ladenetzplanung eingebunden werden. Dies gilt insbesondere für den Anschluss an die Hochspannungsnetze, da dies einen langen Planungs- und Genehmigungsvorlauf benötigt.

5. Um einen zeitnahen Umstieg der Transport- und Logistikbranche auf BE- und FCE-Lkw zu forcieren, muss die öffentliche Tank- und Ladeinfrastruktur vorlaufend oder synchron zur Serienproduktion der Fahrzeugmodelle aufgebaut werden. Hierbei sollten vor allem der massive Flächenbedarf sowie die langwierigen Genehmigungsverfahren mitbedacht werden. Ein initiales Ladenetz, wie im Masterplan Ladeinfrastruktur II angekündigt, sollte so schnell wie möglich ausgeschrieben werden. Für den Aufbau von H2-Infrastruktur für schwere FCE-Lkw sollten weitere Förderprogramme über das NIP aufgesetzt werden.
6. Langwierige Verfahren zur Errichtung der Infrastruktur stellen für Unternehmen ein großes Hindernis dar. Zentral für den Ausbau von Tank- und Ladeinfrastruktur sind der Abbau bürokratischer Hürden sowie die Vereinfachung und Beschleunigung der Ausschreibungs-, Planungs- und Genehmigungsverfahren. Sowohl bei H2-Tankstellen als auch beim Aufbau von Hochleistungsladestationen sind umfangreiche Anforderungen, u. a. aus Genehmigungsrecht, Energiewirtschaftsgesetz, Bauvorschriften, Flächennutzung sowie zur Sicherheit, zu erfüllen. Das Genehmigungsbeschleunigungsgesetz, das am 20. Oktober 2023 vom Deutschen Bundestag beschlossen wurde, leistet bereits einen wichtigen Beitrag zum Aufbau von Ladeinfrastruktur. Über eine Gesetzesmaßnahme in Anlehnung an das LNG-Beschleunigungsgesetz (LNGG) sollten Verfahrensvereinfachungen ermöglicht werden.
7. Zwischen dem Trans-European Transport Network (TEN-T) und dem Trans-European Network for Energy (TEN-E), das auch Korridore für das Wasserstoffnetz adressiert, sollten potenzielle Synergieeffekte berücksichtigt werden. Synergieeffekte entstehen hierbei durch die Verbindung von Tankstellenstandorten mit den Leitungskorridoren: Hier kann die Versorgung der Wasserstofftankstellen über eine direkte Leitungsanbindung an den europäischen Wasserstoff-Backbone oder über zentrale Abfüll- bzw. Verflüssigungsstationen, die an den Wasserstoff-Backbone angebunden sind, eine Lösungsperspektive darstellen.
8. Mit Blick auf mögliche Tanktechnologien ist der Aufbau von Infrastrukturen für unterschiedliche H2-Tanktechnologien zu empfehlen. Um die hohen Reichweiten bei FCE-Lkw zu ermöglichen, sollte Wasserstoff gasförmig bei 700 bar bereitgestellt werden. Die 350-bar-Technologie bietet sich für regionale Lieferverkehre an. Eine Alternative ist flüssiger Wasserstoff (-247 °C, 16 bar). Diese Technologie ist in der Entwicklung. Notwendig ist eine Festlegung vonseiten der Fahrzeughersteller.

Literaturverzeichnis

ACEA (2021): ACEA Position Paper – Heavy-duty vehicles: Charging and refuelling infrastructure requirements, https://www.acea.auto/files/ACEA_Position_Paper-Heavy-duty_vehicles-Charging_and_refuelling_infrastructure.pdf

BMDV (2023): Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose 2021–2022, https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/prognose-berichtgleitende-langfrist-verkehrsprognose.pdf?__blob=publicationFile

Bundesnetzagentur (2023): Elektromobilität: Öffentliche Ladeinfrastruktur, <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/E-Mobilitaet/start.html>

dena (2022): Fact Sheet BioLNG, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/LNG_Taskforce/20211018_FactSheet_BioLNG_2021.pdf

dena (2023): Öffentliche LNG-Tankstellen in Deutschland, https://www.dena.de/themen-projekte/projekte/mobilitaet/lng-taskforce-und-initiative-erdgasmobilitaet?tx_rsmplilotprojects_map%5B%40widget_0%5D%5Bcurrent-Page%5D=3&type=90&cHash=3d222947038753693c1c01e496814e3a

Deutscher Bundestag (2023): Antwort der Bundesregierung – Tankinfrastruktur für Wasserstoff-Schwerlastverkehr und Wasserstoffbusse, <https://dserver.bundestag.de/btd/20/086/2008683.pdf>

DVGW (2023): H₂-Versorgung für den Schwerlastverkehr (H₂net&Logistics) <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-h2netlogistics>

Elektromobilität NRW (2023): Wissenswertes zum Ladevorgang, <https://www.elektromobilitaet.nrw/infos/laden/>

EnBW (2023): Mehr E-Mobilität im Lastenverkehr: Lkw-Ladestationen, <https://www.enbw.com/unternehmen/eco-journal/e-lkw-ladestationen.html#infokasten-ladetechnik>

Fraunhofer ISI (2022): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland, [Methodik Aufgabe des Models \(langfristszenarien.de\)](https://www.fraunhofer.de/Methodik_Aufgabe_des_Models_(langfristszenarien.de))

Fraunhofer ISI (2023): Zur Lokalisierung von Ladeinfrastrukturen für Lkw, <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/sustainability-innovation/2023/WP04-2023%20Public%20charging%20locations%20for.pdf>

HoLa (2023): HoLa – Hochleistungsladen im Lkw-Fernverkehr, <https://hochleistungsladen-lkw.de/hola-de/projekt/>

ifeu (2021): Potentialanalyse für Batterie-Lkw, https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/2021-07-29_-_My_eRoads_-_Potentialanalyse_Batterie-Nfz_-_final.pdf

NOW (2023): Förderaufruf für den Ausbau öffentlicher Wasserstofftankstellen mit Schwerpunkt Schwerlastfahrzeuge, <https://www.now-gmbh.de/foerderung/foerderfinder/foerderaufruf-fuer-den-ausbau-oeffentlicher-wasserstofftankstellen-mit-schwerpunkt-schwerlastfahrzeuge-03-2023/>

Plattform H2BW (2023): H₂-Infrastruktur für Nutzfahrzeuge im Fernverkehr, https://www.e-mobilbw.de/fileadmin/media/e-mobilbw/Publikationen/Studien/Studie_H2_Infrastruktur_fuer_Nutzfahrzeuge_im_Fernverkehr.pdf

Strategy & PwC (2023): The dawn of electric trucking, <https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/transport/the-dawn-of-electrified-trucking.html>

Umweltbundesamt (2023): Klimaschutz im Verkehr, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr/klimaschutz-im-verkehr#ziele>

Abbildungsverzeichnis

dena (2023): Öffentliche LNG-Tankstellen in Deutschland, https://www.dena.de/themen-projekte/projekte/mobilitaet/lng-taskforce-und-initiative-erdgasmobilitaet?tx_rsm%5B%40widget_0%5D%5Bcurrent-Page%5D=3&type=90&cHash=3d222947038753693c1c01e496814e3a

DVGW (2023): H2-Versorgung für den Schwerlastverkehr (H2net&Logistics), <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-h2netlogistics>

Europäische Kommission (2023): JRC Publications Repository – JEC Well-to-Tank report v5, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC119036>

Gesamtkonzept Klimafreundliche Nutzfahrzeuge (2023): Marktentwicklung, <https://www.klimafreundliche-nutzfahrzeuge.de/wissen/marktentwicklung/>

H2 Mobility (2023): H2 tanken, <https://h2.live/tankstellen/>

Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (2022): Einfach laden an Rastanlagen, https://nationale-leitstelle.de/wp-content/uploads/2022/09/Leitstelle_LKW-Netzstudie.pdf

Zukunft Gas (2022): LNG-Absatz an Tankstellen steigt: LNG und Bio-LNG große Chance für den Straßengüterverkehr, <https://gas.info/presse/detailseite-news/detail/pressrelease-lng-absatz-an-tankstellen-steigt-lng-und-bio-lng-grosse-chance-fuer-den-strassengueterverkehr-3186021?cHash=d9d6e823095251bbd-dae5dc1928a84cc#:~:text=Im%20letzten%20Jahr%20stieg%20der,100.000%20Tonnen%20CO2eq%20eingespart%20werden>

Wer wir sind:

Die Plattform Nachhaltiger Schwerlastverkehr ist eine marktübergreifende Allianz für den Schwerlastverkehr auf der Straße, die den Markthochlauf alternativer Antriebs- und Kraftstoffoptionen sowie den Ausbau notwendiger Infrastrukturen technologieoffen vorantreibt. Die von der Deutschen Energie-Agentur (dena) und dem Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) koordinierte Plattform bringt in einem technologieoffenen und ganzheitlichen Ansatz Akteure aus den Bereichen Technologie, Infrastruktur, Kraftstoff, Energie und Fahrzeugindustrie sowie aus der Transport- und Logistikbranche zusammen.

Weitere Informationen im Internet unter www.plattform-nachhaltiger-schwerlastverkehr.de

