



Wasserstoffmobilität in Deutschland: Umweltanalyse

Studie für die HyMobility-Fachkommission des DWV
Zusammenfassung

Martin Zerta, Dr. Leo Diehl, Franz Lust, Christopher Kutz
Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH
22.03.2023

Die DWV-Fachkommission HyMobility wird 2023 mit unterschiedlichen Studien den politischen Diskurs um BZ-Mobilität mitgestalten.



Vorliegende Studie der LBST für die HyMobility-Fachkommission (Q1/2023)

Umwelt

- Klimapolitischer Rahmen für emissionsfreie Mobilität
- Bedeutung schwere Nutzfahrzeuge für CO₂-Emissionsreduktionsziele

Verkehr

- Verkehrsemissionen (Lärm und Schadstoffe)
- Rolle kommunaler Verkehrsziele bis 2030



Geplante vertiefende Studien im Rahmen der HyMobility-Fachkommission (ab Q2/2023)

Erzeugung

- Erneuerbare Stromproduktion und erforderliche H₂-Erzeugungskapazitäten
- Regionale Produktion vs. Energieimporte

Technologie

- Technologische Herausforderungen
- Aufbau der erforderlichen Infrastruktur
- Fahrzeughochlauf

Arbeitsmarkt

- Auswirkungen eines BZ-Hochlaufs auf Wirtschaftsstandort Deutschland
- Resultierende Arbeitsmarkteffekte



Motivation und Einführung

Erste Projekte zeigen: Der Markt zeigt steigendes Interesse an BZ-Mobilität. Deutschland braucht jetzt den Markthochlauf für BZ-Fahrzeugen.



Copyrights: BMW Group

BMW Group
(27.2.2023)

- Start der BMW iX5 Hydrogen Pilotflotte
- <100 Fzg für internationale Demonstrationszwecke



Copyrights: dm-drogerie markt GmbH + Co. KG / Paul Gärtner

Spedition Amm, DSV, dm
(1.3.2023)

- 4 BZ-Lkw vom Typ Hyundai Xcient Fuel Cell Typ 6x2
- Belieferung dm-Märkte in Nürnberg



Copyrights: DB Schenker / Michael Neuhaus

Logistikunternehmen DB Schenker
(7.3.2023)

- Auslieferung erster Hyzon HYMAX (40-Tonner mit ca. 400 km Reichweite)
- Strecke: Köln (DE) - Eupen (BE)

Zunehmend werden BZ-Fahrzeuge auf deutschen Straßen erprobt.



Die Studie für die HyMobility-Kommission des DWV soll die Bedeutung von BZ-(Nutz-)Fahrzeugen für die Erreichung der Klima- und Umweltschutzziele aufzeigen.



Motivation

- Politik und Industrie **zu zögerlich** hinsichtlich Einsatz von **Wasserstoff im Verkehr**
- **Markteinführung** von BZ-Fahrzeugen in Deutschland **bedarf rascher Unterstützung**
- DWV und HyMobility-Fachkommission als **Vermittler und Sprachrohr** für nachhaltige **BZ-Mobilität**

Vorgehen: 2 Teilstudien

Umweltstudie (diese Studie)

- Fokus: Klimaschutzziele / CO₂-Emissionen (bis 2030 & 2045)
- Rolle/Chancen BZ-Mobilität (insb. Nfz) im Verkehrssektor

Verkehrsstudie

- Fokus: lokale/kommunale Emissionen (Lärm und Luftschadstoffe)
- Handlungsdruck und -bedarf vor 2030, insb. Bedeutung von (und für) BZ-Mobilität

Studienziele



- Identifizierung der **wesentlichen Herausforderungen** und **akuter Handlungsbedarfe** zur Erreichung der Bundes- und kommunalen Ziele im Verkehrssektor (Klima- und Umweltschutzziele)
- Herausarbeitung **wesentlicher Beiträge von BZ-Fahrzeugen (insb. Nfz)** zur Zielerreichung



Umweltstudie

Fokus: Klimaschutzziele / CO₂-Emissionen
(bis 2030 & 2045)

Hyundai Hydrogen Mobility XCIENT FC Truck, Bildquelle: Hyundai Hydrogen Mobility – Juni 2020

Übersicht Storyline Umweltstudie (Schwerpunkt: CO₂-Emissionen bis 2045)



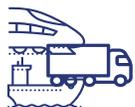
Der **Verkehrssektor** steht wie kaum ein anderer für die enormen, bislang noch **ungelösten Herausforderungen auf dem Weg zu THG-Neutralität bis 2045**.



Insbesondere das **Nfz-Segment**, verantwortlich für >1/3 der Verkehrsemissionen, **benötigt einen glaubwürdigen und zielgerichteten Pfad** zur Dekarbonisierung.



Der europäische und nationale **regulatorische Rahmen erzeugt Handlungsdruck** und wird zukünftig weiter verstärkt werden (und werden müssen).



Gleichzeitig könnten Veränderungen im künftigen Mobilitätsverhalten den **Bedarf für den Warentransport über die Straße** sogar noch weiter erhöhen.



Zunehmend wird in der existierenden Studienlandschaft **die langfristige Notwendigkeit von Wasserstoff im Verkehrssektor** (an)erkannt.



Doch auch für die Erreichung der **kurzfristigen Klimaschutzziele** ist ein **rascher Markthochlauf emissionsfreier Fahrzeuge im schweren Nfz-Segment** erforderlich.



BZ-Fahrzeuge können wesentlich dazu beitragen, die **anvisierten Neuzulassungszahlen emissionsfreier schwerer Nfz bis 2030** zu erreichen.



Folglich sind **rechtzeitige Weichenstellungen** nun zwingend erforderlich, damit die BZ-Mobilität den erforderlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann.

Der Verkehrssektor steht wie kaum ein anderer für die enormen, bislang noch ungelösten Herausforderungen auf dem Weg zu THG-Neutralität bis 2045.



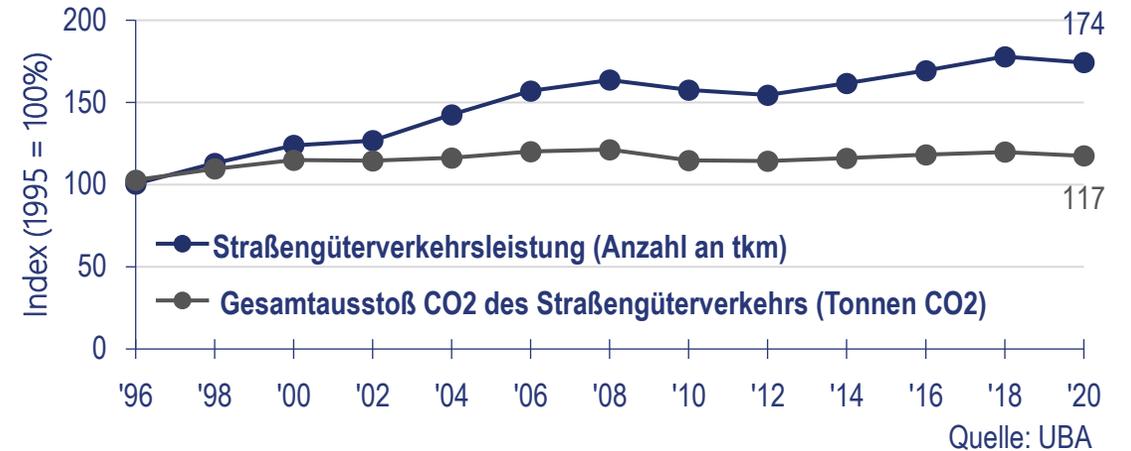
Ambitionsücke und verpasster Zielpfad im Verkehr

- Verkehrssektor: "nur" -48% CO₂-Minderungsziel bis 2030 (Deutschland gesamt: -65%)
 - Signifikante Anstrengungen nötig für Klimaneutralität bis 2045
 - Verkehr einziger Sektor mit CO₂-Emissionsanstieg gegenüber 2021:
- Ambitionsücke im Verkehr**
- Zielpfad wird (bislang) verpasst**



Nfz: steigende Verkehrsleistung und Emissionen

- Bisheriger Trend bei Nutzfahrzeugen (Nfz) (Lkw >3,5 t, pro tkm, 1995 bis 2020):
 - ↓ Sinkende spezifische Emissionen (-33%)
 - ↑ Steigende absolute Verkehrsleistung (+74%)
 - ↑ Steigende absolute Emissionen (+17%)

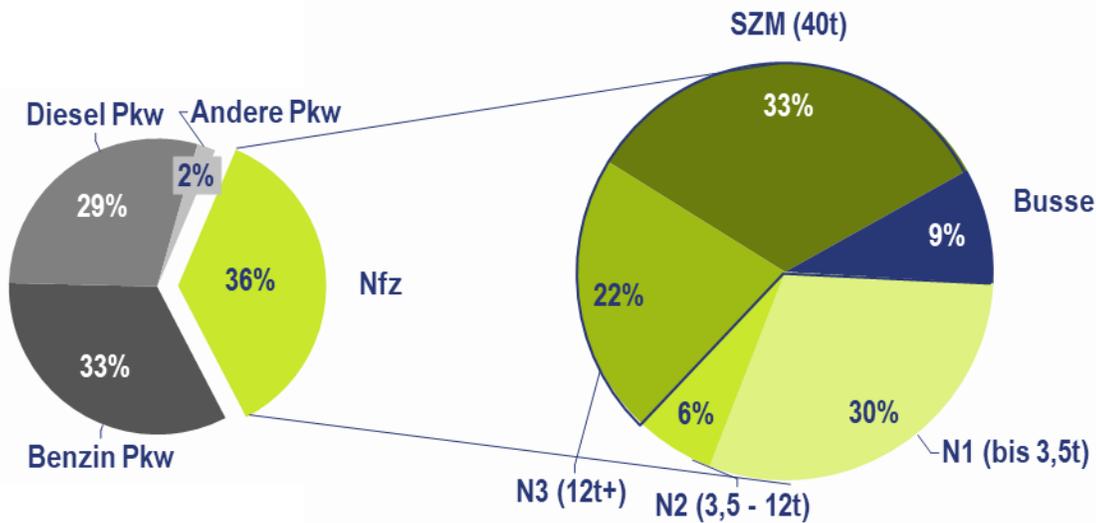


Verkehrssektor erfordert ambitionierteres Vorgehen, besonders im Nfz-Segment.

Insbesondere das Nfz-Segment, verantwortlich für >1/3 der Verkehrsemissionen, benötigt einen glaubwürdigen und zielgerichteten Pfad zur Dekarbonisierung.

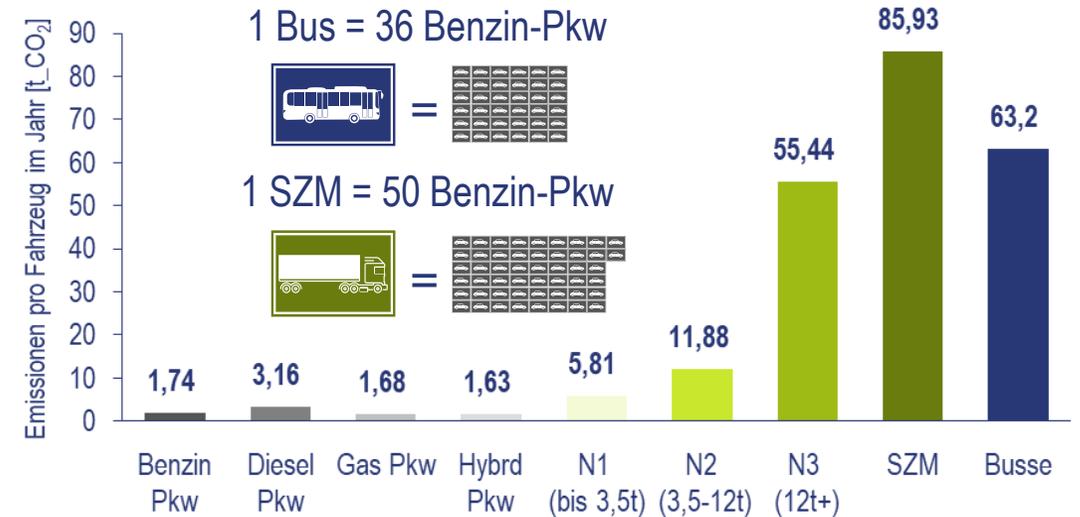


CO₂-Emissionen: Verkehr und Nfz-Segment



- Nfz verantwortlich für 1/3 der Straßenverkehrsemissionen
- Schwere Nfz (N3+SZM+Busse) verantwortlich für 2/3 der Nfz-Emissionen

Spez. Jahresemissionen pro Einzelfahrzeug



→ Erforderliche Umstellung der Fahrzeugflotten auf emissionsfreie Antriebe für **20% Minderung der CO₂-Verkehrsemissionen:**

~450.000 schwere Nfz (N3 + SZM)



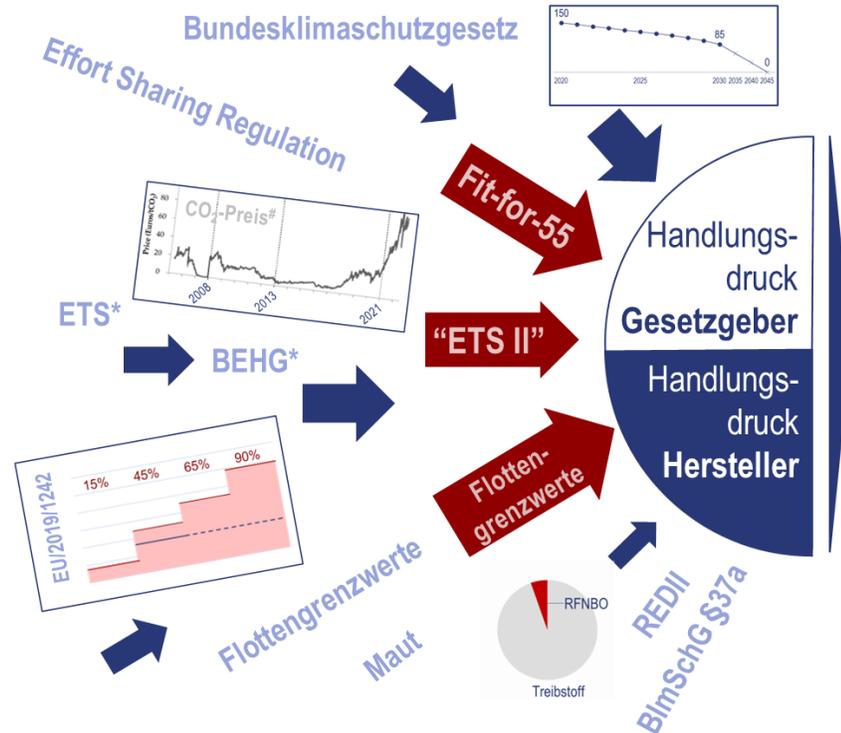
~15 Mio. Pkw (1/3 des Bestands)

Signifikanter Beitrag schwerer Nfz zum Klimaschutz erforderlich: 1 SZM = ~50 Pkw (hinsichtlich t CO₂/Jahr).

Der europäische und nationale regulatorische Rahmen erzeugt Handlungsdruck und wird zukünftig weiter verstärkt werden (und werden müssen).



Verschärfung Maßgaben und Ziele



*ETS = Emission Trading Scheme; *BEHG = Brennstoffemissionshandelsgesetz;
 *RFNBO = Renew. Fuel of Non-Biol. Origin; # LBST nach *Sustainability* 2022, 14(21), 13806.

Beseitigung Barrieren



- Mindestinfrastruktur Tankstellen (AFIR)
- Typzulassung (§70 StVZO)
- Gefahrguttransport (ADR)

Unterstützende Maßnahmen



- Öffentliche Beschaffungsquoten (SaubFahrzeugBeschG)
- Förderprogramme (KsNI, NIP-II: Elektrolyseure, H₂- Tankstellen, Fzg)
- Förderprogramme (Technische Weiterentwicklung)

➔ **Aber: bisherige Maßnahmen erscheinen nicht ausreichend!**

Weiterentwicklung der existierenden und geplanten Maßgaben und Maßnahmen mit Fokus BZ-Mobilität nötig.

Gleichzeitig könnten Veränderungen im künftigen Mobilitätsverhalten den Bedarf für den Warentransport über die Straße sogar noch weiter erhöhen.

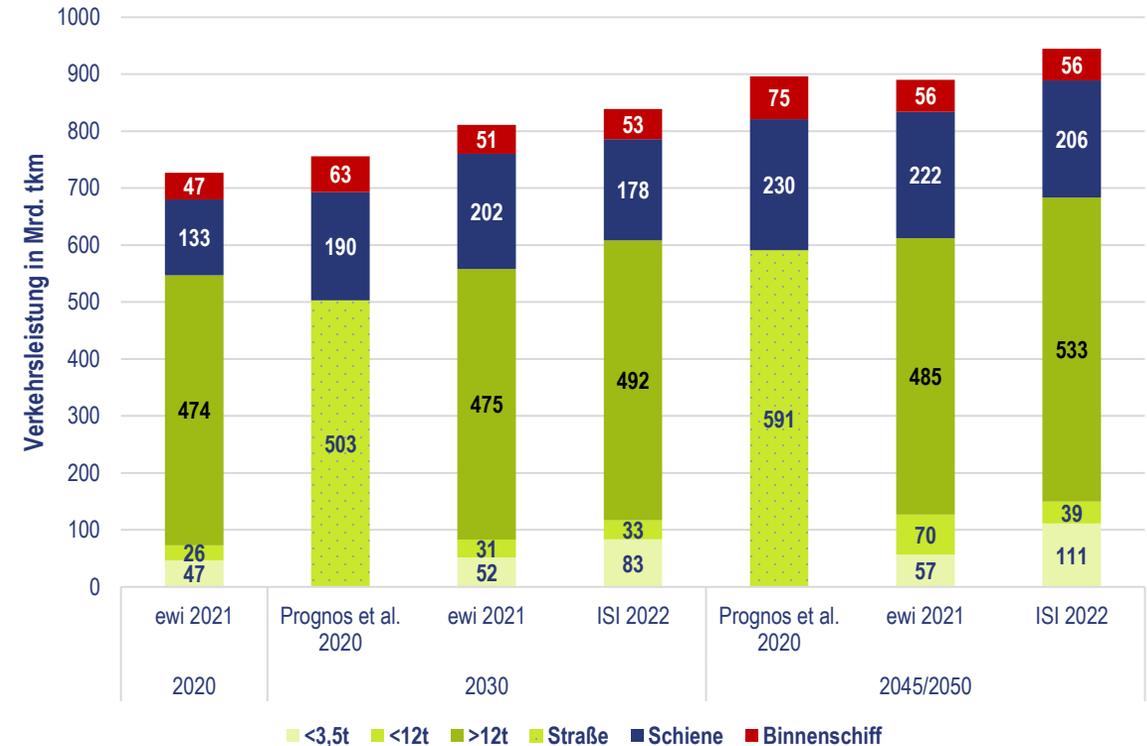


Prognosen Entwicklung Güterverkehr

- **Zunahme der gesamten Verkehrsleistung im Güterverkehr bis 2045 ggü. 2020 um 22-30%**
 - Wesentliche Treiber: allgemeines Wirtschaftswachstum, Zunahme straßenaffiner Güter, Abnahme der Massengüter
 - Güterverkehr über die Straße mit besonders **hohen Zuwachsraten (insb. Lkw (3,5-12 t))**
- Auch „Letzte Meile“ bleibt Straßenverkehr vorbehalten

→ Ausgleich nur durch **massive Dekarbonisierung des Schwerlastverkehrs möglich**

Entwicklung Verkehrsleistung Güterverkehr



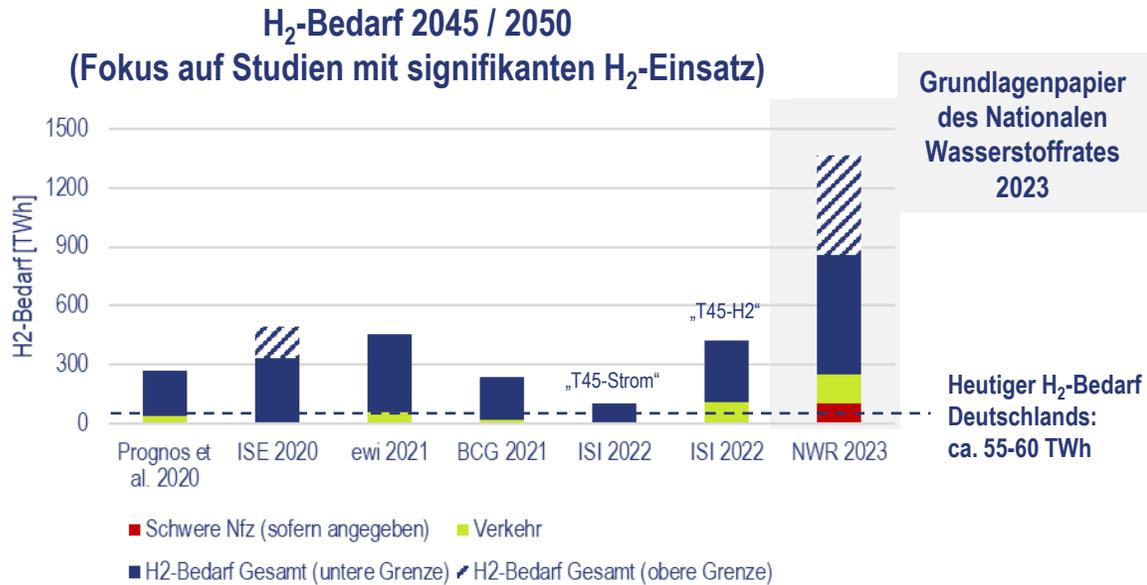
Hinweis: Datenwerte ISI 2022 abgelesen. Ungenauigkeiten möglich.

Der Güterverkehr braucht neue Lösungen für emissionsarme Mobilität. Verlagerung auf Schiene nur ein Element.

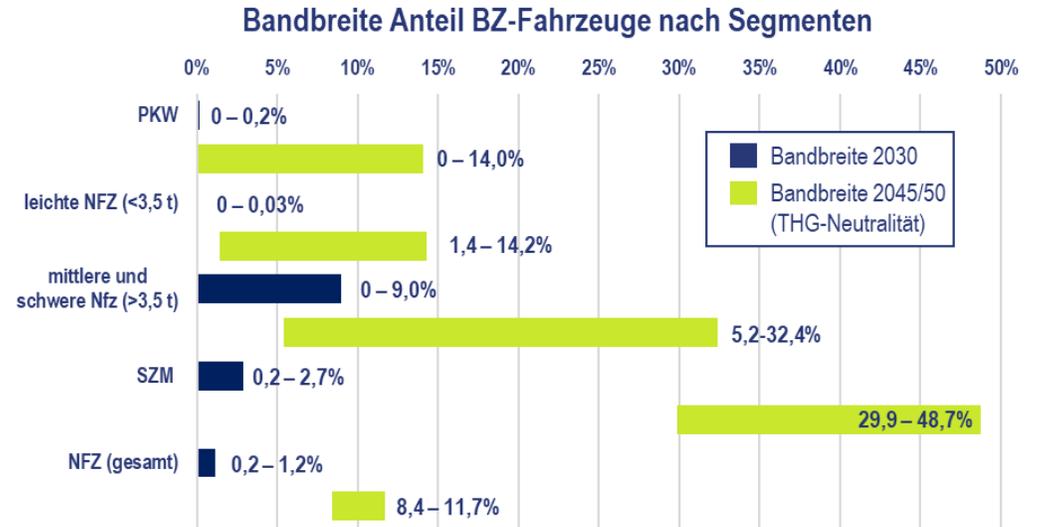
Zunehmend wird in der existierenden Studienlandschaft die langfristige Notwendigkeit von Wasserstoff im Verkehrssektor (an)erkannt.



Metastudie H₂-Bedarf: Verkehr vs. Gesamtbedarf



Fokus: BZ-Fahrzeuge nach Segmenten



Quelle: LBST nach Prognos et al. 2022, ewi 2021, ISI 2022, BCG 2021, NOW 2023, Daten KBA

- Studienlandschaft: **zunehmende Rolle von H₂** (allgemein und im Straßenverkehr) für Erreichung der Klimaziele

- Fokus des BZ-Einsatzes auf schweren Nfz (>12t + SZM)
- Bestand: BZ-Lkw (>3,5t + SZM): 6.000 – 54.000 (2030)
62.000 – 315.000 (2045)

Großteil der Maßnahmen zur Dekarbonisierung der Fahrzeugflotte im Schwerlastsegment erst nach 2030.

Doch auch für die Erreichung der kurzfristigen Klimaschutzziele ist ein rascher Markthochlauf emissionsfreier Fahrzeuge im schweren Nfz-Segment erforderlich.



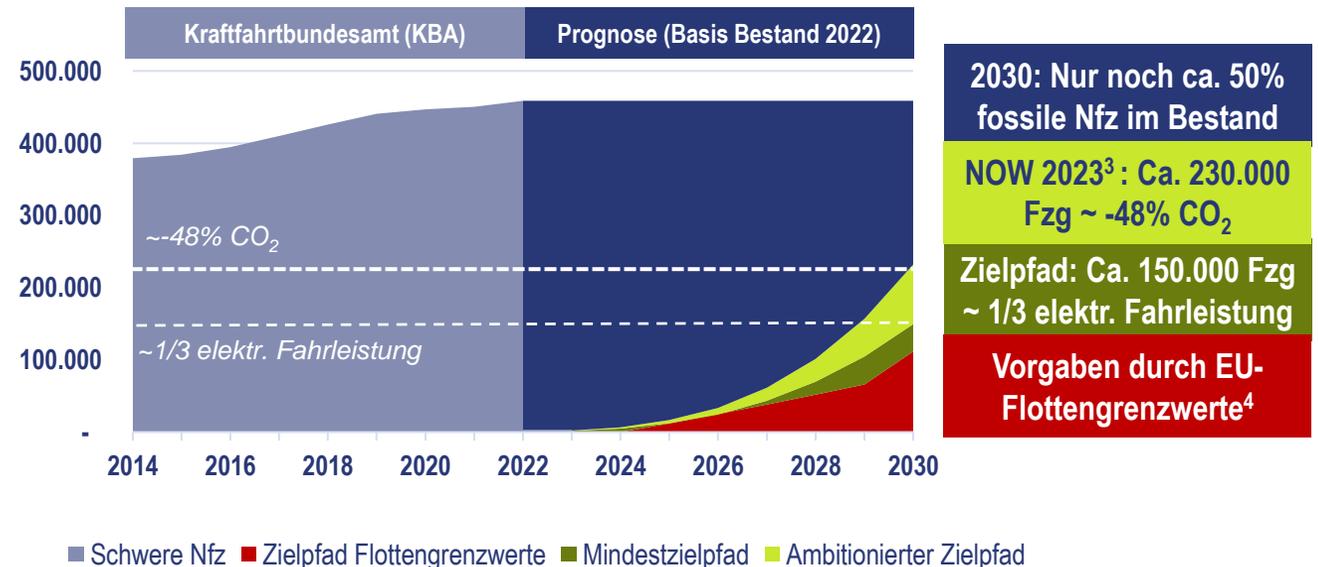
Kurzfristige Klimaschutzziele im Verkehrssektors:

- 1) Gesetzliches Ziel*: -48% CO₂-Minderung vs. 1990 (auf 85 Mt CO₂ 2030)¹
- 2) Politisches Ziel: 1/3 elektrische Fahrleistung bis 2030 bei schweren Nfz²

Diskussion Ergebnisse bisheriger Studien (z.B. ISI 2022):

- **Batterie-Fzg: <25%** im Nfz-Bestand (>12t), Fokus auf Regional- und Verteilerverkehr
 - Entscheidende **Rolle LNG im Fernverkehr** bis 2030 (bis zu 1/3 der Energiemenge bei schweren Nfz)
 - Signifikanter Einsatz von **Bio- oder synth. Kraftstoffe**
- Ziel der Drittelfahrleistung wird trotzdem verfehlt (nur 11-20% bis 2030)
- Unzureichende langfr. Lösungen (Nullemissions-Fzg)
- **Notwendig: rascherer Hochlauf emissionsfreier schwerer Nfz (siehe Abbildung)**

Indikativer Markthochlauf emissionsfreier Nfz (N3 + SZM, >12t) zur Zielerreichung im Bestand (Basis: Daten KBA)



Konkreter Fahrplan (durch Gesetzgeber) für signifikanten Markthochlauf emissionsfreier Fahrzeuge erforderlich.

1 – Bundes-Klimaschutzgesetz - KSG (Anlage 2 zu § 4)

2 – Klimaschutzprogramm 2030 der BdeG. zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050 (Kap. 3.4.1.1)

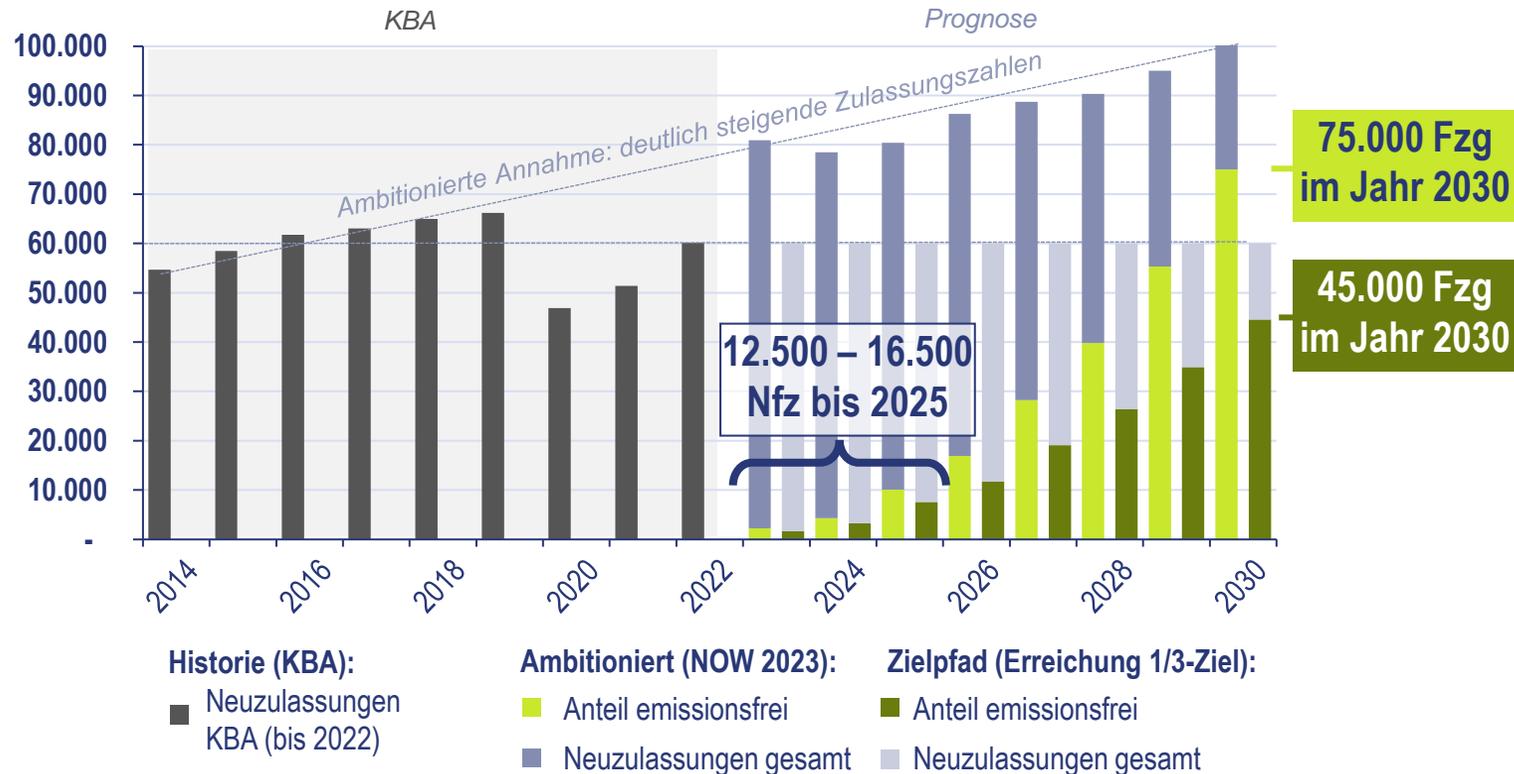
3 – NOW 2023 – Auswertung Cleanroom-Gespräche 2022

4 – EU-Flottengrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge (Proposal 2023)

Brennstoffzellenfahrzeuge können wesentlich dazu beitragen, die anvisierten Neuzulassungszahlen emissionsfreier schwerer Nfz bis 2030 zu erreichen.



Zielkorridor für Neuzulassungen (emissionsfreier) Nfz (N3 + SZM, >12t) bis 2030



- Bereits bis 2025: 12.500 bis 16.500 emissionsfreie schwere Nfz auf der Straße
- Bedarf: 45.000 bis 75.000 jährliche Neuzulassungen im Jahr 2030
- Hersteller (NOW 2023): amb. Szenario mit deutlich steigenden Zulassungszahlen → Marktanreize erforderlich
- BZ-Fzg insb. im Ferngüterverkehr ohne Alternative (kurze Betankungszeit, Infrastrukturanforderungen und Reichweite) → Markthochlauf im schweren Nfz-Segment nur mit **Kombination aus Batterie- und BZ-Fzg** erreichbar

Maßgeschneiderte Instrumente für Markthochlauf emissionsfreier schwerer Nfz sollten BZ-Mobilität umfassen.

Folglich sind rechtzeitige Weichenstellungen nun zwingend erforderlich, damit die BZ-Mobilität den erforderlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann.



Die künftige Verfügbarkeit der BZ-Mobilität erfordert rechtzeitigen Markthochlauf, insbesondere im Nfz-Segment.

Supply-Push

- **Hersteller & Zulieferer:** Produktionshochlauf und Kostensenkungen erfordern Skalierung durch breiten Markthochlauf in allen Segmenten (Pkw und Nfz)
- **Infrastruktur:** Ausreichende Zahl und flächendeckende Bereitstellung H₂-Tankstellen an Knotenpunkten
- **Bereitstellung (grüner) Wasserstoff** für Mobilitätssektor (inkl. z.B. Förderung dezentraler Elektrolyse)
- Weiterentwicklung der unterstützenden **Regulatorik** (z.B. REDII DA, CO₂-Flottengrenzwerte, AFIR)



Verfügbarkeit (grüner) H₂, BZ-Fzg und H₂-Infrastruktur

Market-Pull

- **Flottenbetreiber:** Unterstützung der Front-Runner (trotz/wegen (noch) fehlender Geschäftsmodelle)
- **Kommunen:** Luftreinhaltepläne, Umsetzung regionaler Projekte unter Einbindung lokaler Akteure (= lokaler Wertschöpfung)
- **Bund/Länder:** ausreichende und rasche finanzielle Unterstützung (CAPEX und OPEX, z.B. über NIP II)
- Weiterentwicklung der unterstützenden **Regulatorik** (z.B. Clean Vehicle Directive, Air Quality Directive)



Bedarfshochlauf für BZ-Fzg



Zusammenfassung und Fazit

Fazit: Beide Studienteile unterstreichen den dringenden und kurzfristigen Handlungsbedarf für die erfolgreiche Einführung von BZ im Nfz-Segment.



Kernbotschaften Umweltstudie

- **CO₂-Ziele** im Verkehrssektor (2030 & 2045) **nur durch** Umstellung wesentlicher Teile des **Nfz-Segments erreichbar** (Nfz sind starker Hebel: 1 SZM = 50 Pkw)
- **Bisheriger regulatorischer Rahmen ist nicht ausreichend:** Verschärfungen (z.B. Flottengrenzwerte, ETS II) erhöhen weiter den Handlungsdruck auf Gesetzgeber, OEMs und Betreiber
- **Rascher Markthochlauf** emissionsfreier schwerer Nfz erforderlich (bis 2030 150.000-225.000 Fzg), wichtige Rolle für BZ-Nfz

Kernbotschaften Verkehrsstudie

- Gesundheitsrisiken durch **Lärm und Luftschadstoffe** drängen Kommunen und Betreiber zu akutem Handeln im Verkehr
- Hot Spots – Luftschadstoffe / Lärm: **BZ-Mobilität** kann helfen, **Fahrverbote /-einschränkungen zu vermeiden** – v.a. für Nfz
- **BZ-Einsatz bietet (signifikante) Vorteile** gegenüber batterieelektrischen Fahrzeugen (insb. im Nfz-Segment)
- **Kommunen** können mittels eigener Maßnahmen H₂-Mobilität beschleunigen

- **Studienlage adressiert nur unzureichend** den steigenden **Handlungsdruck** auf Kommunen, Bund, OEMs und Betreiber **vor 2030**.
- Im **schweren Nfz-Segment: Bedarf für etwa 45.000 bis 75.000 emissionsfreie Neuzulassungen im Jahr 2030**. **BZ-Fzg** können neben Batterie-Fzg **wesentlichen Beitrag** für den Hochlauf leisten.
- **Deutschland darf Markthochlauf von BZ-Nfz nicht verpassen** (bereits bis 2025: >12000 schwere Nfz emissionsfrei auf Straße), um Technologieführerschaft und Wertschöpfung zu erhalten.
- Ohne rasches und entschlossenes gesetzgeberisches Handeln für BZ werden **Verkehrs- und Umweltschutzziele verfehlt** werden.



Martin Zerta

Projektleiter

T: +49 (0)89 / 608 110-25

E: martin.zerta@LBST.de



Dr. Leo Diehl

Projektmanager

T: +49 (0)89 / 608 110-42

E: leo.diehl@LBST.de



Franz Lust

Projektmanager

T: +49 (0)89 / 608 110-15

E: franz.lust@LBST.de



Christopher Kutz

Projektmanager

T: +49 (0)89 / 608 110-41

E: christopher.kutz@LBST.de

LBST · Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH

Daimlerstr. 15 · 85521 München/Ottobrunn · Germany

www.lbst.de



- **BCG 2021:** BCG: Klimapfade 2.0. Gutachten für den BDI, OKT 2021.
- **ewi 2021:** Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 - Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems – Gutachterbericht, OKT 2021.
- **EEA 2021:** European Environment Agency (EEA): Germany – Air Pollution Country Fact Sheet – Health Impacts, 2021
- **EEA 2023:** European Environment Agency (EEA): The NOISE Observation & Information Service for Europe – Übersichtskarte zu Verkehrslärm in Europa, 2023
- **ISE 2020:** FhG ISE: Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem: Update unter einer Zielvorgabe von 65% CO₂-Reduktion in 2030 und 100% in 2050, DEZ 2020.
- **ISI 2022:** Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland - Treibhausgasneutrale Hauptszenarien, T45, NOV 2022.
- **NOW 2023:** Nationale Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NOW): Marktentwicklung klimafreundlicher Technologien im schweren Strassengüterverkehr - Auswertung der Cleanroom-Gespräche 2022 mit Nutzfahrzeugherstellern, FEB 2023.
- **NWR 2023:** Nationaler Wasserstoffrat (NWR): Grundlagenpapier - Treibhausgaseinsparungen und der damit verbundene Wasserstoffbedarf, FEB 2023.
- **Prognos et al. 2020:** Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut: Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität, FEB 2021.
- **LBST nach Sustainability 2022:** Impact of Changes in Membership on Prices of a Unified Carbon Market: Case Study of the European Union Emissions Trading System, Sustainability 2022, 14(21), 13806.
- **UBA 2022:** Umwelt Bundesamt (UBA): Themenblatt Straßenverkehrslärm – Option Lkw-Fahrverbot, APR 2022