

ELEKTRIFIZIERUNG DES SCHWERLASTVERKEHRS

Herausforderungen für die
Ladeinfrastruktur und den Netzausbau
entlang des Autobahnnetzes

18.11.2025





WENN ALLE SCHWEREN LKW ELEKTRISCH FAHREN – WAS BEDEUTET DAS FÜR UNSER STROMNETZ?

- Wie groß sind der Energie- und der Leistungsbedarf?
- Reicht der geplante Infrastrukturausbau aus?
- Welchen Beitrag kann H₂ leisten?

Worum es in dieser Studie geht – und worum nicht

Diese Studie...

- ... bekennt sich ausdrücklich zu Klimaschutz und zur notwendigen Transformation des Verkehrssektors! Die aufgezeigten Herausforderungen sind Ansporn und Handlungsauftrag.
- ... bietet eine übersichtliche, modellbasierte Einordnung des Strom- und Infrastrukturbedarfs eines vollständig elektrifizierten Fernverkehrs.
- ... arbeitet bewusst mit vereinfachten Annahmen – die Ergebnisse liefern Richtwerte, keine planungsfähigen Zahlen.
- ... zeigt: Der Energieverbrauch allein der deutschen Long-Haul-Flotte ist enorm und stellt das Energiesystem vor sehr große Herausforderungen.
- ... bewertet unter denselben vereinfachten Annahmen, wie weit der geplante Ladeinfrastruktur-Ausbau an Autobahnen trägt und wo strukturelle Lücken entstehen.
- ... unterstützt ausdrücklich die batterie-elektrische Mobilität – und diskutiert H₂ als möglichen komplementären Pfad.
- ... schafft Transparenz über die relevanten Größenordnungen.
- ... hat das Ziel, eine realistische Einordnung der Herausforderung zu vermitteln, nicht die Ableitung detaillierter Infrastrukturpläne.



Gliederung

1	Ausgangslage und Zielsetzung	5
2	Methodik und Annahmen	9
3	Modellierungsergebnisse für verschiedene Szenarien	13
4	Zusammenfassung	35

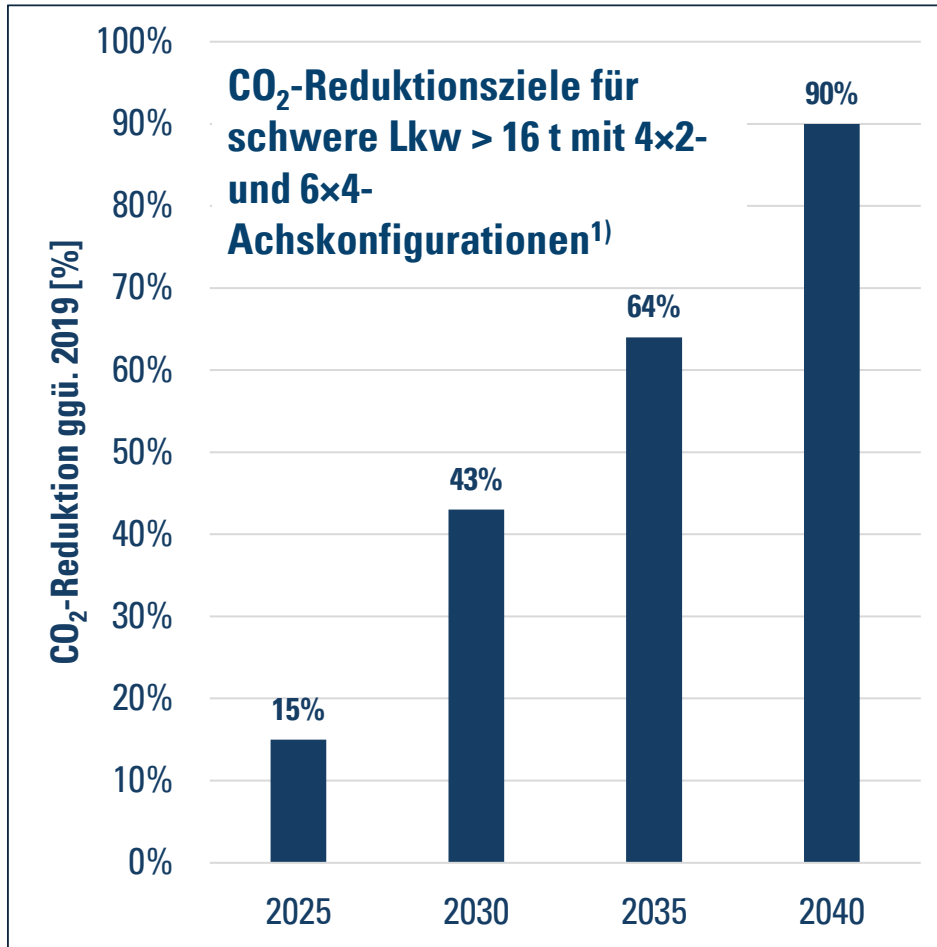
A photograph of three wind turbines standing on rolling green hills under a cloudy sky. The hills are covered in lush green grass, and the turbines are white with three blades each. In the background, there are more hills and a hazy horizon.

01

AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

● Bis 2040 müssen die CO₂-Emissionen schwerer Lkw um 90 % sinken

● – an ZEV-Lkw führt kein Weg vorbei



- **Straßenverkehr als Klimafaktor:** verursacht rund 21% der CO₂-Emissionen der EU-27, davon ein erheblicher Anteil durch schwere Lkw.²⁾
 - **Rasche Verschärfung der EU-Vorgaben:** CO₂-Reduktionsziele steigen steil von –15 % (2025) auf –90 % (2040)¹⁾.
 - **Hoher Sanktionsdruck:** Strafzahlungen i.H.v. 4.250 € je Fahrzeug und gCO₂/tkm – schon geringe Zielverfehlungen bedeuten Milliardenstrafen für OEMs.
 - **ZEV-Flotten werden alternativlos:** Diesel verliert schrittweise seine Marktberechtigung – Elektrifizierung ist unausweichlich.
- **Infrastruktur als Schlüssel:** Nur ein tragfähiges Lade- und Tanknetz schafft die betriebswirtschaftlichen Voraussetzungen, um den ZEV-Hochlauf zu realisieren – mit enormen Herausforderungen für das Energiesystem.

1) EU-Verordnung 2024/1610 <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1610/oj?eliuri=eli%3Areg%3A2024%3A1610%3Aoj&locale=de>

Außerdem: https://theicct.org/wp-content/uploads/2024/05/ID-130-%E2%80%93-EU-CO2_policy_update_final.pdf

2) <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/sustainability-of-europes-mobility-systems/climate>

• Elektrifizierung zwingt zum Umdenken – BEV und H₂ als • komplementäre Bausteine der Dekarbonisierung

● Hintergrund und Modellierungsansatz dieser Studie

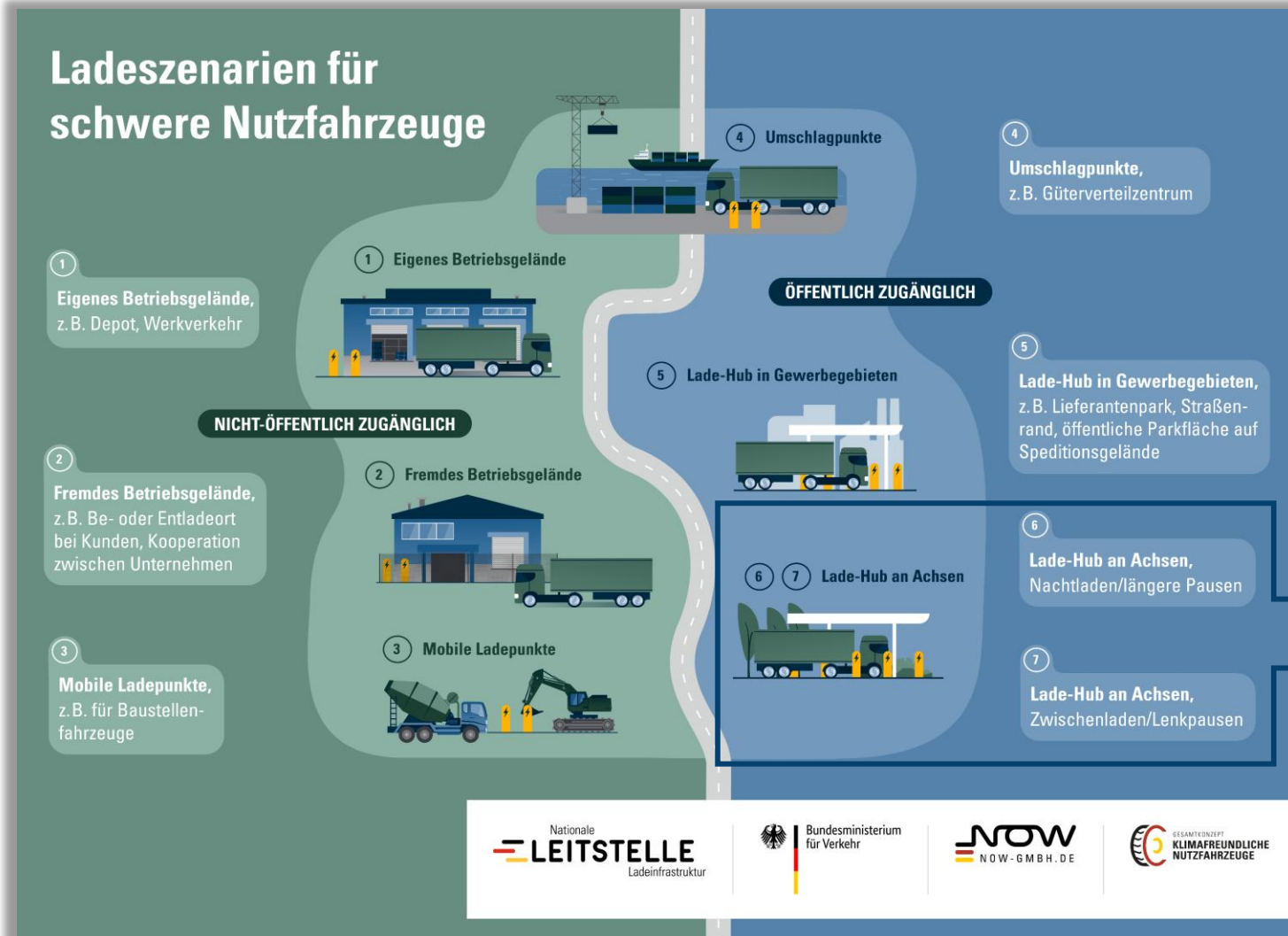
Hintergrund:

- **Strenge EU-CO₂-Vorgaben** und **drohende Strafzahlungen** erzwingen einen schnellen Hochlauf **emissionsfreier Lkw-Flotten** im Langstreckenverkehr.
- Daraus entstehen **massive zusätzliche Strom- und Leistungsbedarfe**, vor allem entlang der **Autobahnkorridore** mit hohen Fahrleistungen und kurzen Standzeiten.
- Für batterieelektrische Schwerlast-Lkw (VECTO 4-, 5-, 9-, 10-LH) müssen **bedarfsgerechte Ladeparks** konzipiert werden, die **Fahrleistungen, logistische Abläufe, Fahrzeiten und Pausenregeln (4,5 h → 45 min → 4,5 h)** realistisch abbilden.
- Eine **rein elektrische Strategie** würde bei **hohen Ausbaurkosten** in Spitzenzeiten zu **hohen Netzlasten, und Wartezeiten** führen.
- **Ergänzende H₂-Mobilität** kann diese Belastungsspitzen **deutlich abmildern** und zur **Netz- und Systemstabilität** beitragen

Ansatz:

- Hochrechnung der **Anzahl, Fahrleistungen und Energieverbräuche fossilfreier Long-Haul-Fahrzeuge** (VECTO-Klassen 4-, 5-, 9-, 10-LH) bis 2045.
- Modellierung der **Energie- und Leistungsbedarfe** während der **Peak-Ladezeiten** (z. B. Mittag) entlang deutscher und europäischer Autobahnen.
- Ableitung erforderlicher **Anschlussleistungen, Ladeparkausstattungen und Standortbedarfe** für einen flüssigen Betrieb.
- Bewertung, **in welchem Umfang eine H₂-Infrastruktur (Tanken statt Laden) Lastspitzen, Wartezeiten und Netzvulnerabilitäten reduzieren kann.**

Fokus dieser Studie: Herausforderungen für die Ladeinfrastruktur und den Netzausbau entlang des Autobahnnetzes durch e-Lkw



Relevante Ladeszenarien für Infrastrukturausbau entlang der Autobahnen



02



METHODIK UND ANNAHMEN

Wie wir die Auswirkungen auf Netz und Infrastruktur modellieren

- Basis: reale Fahrprofile und Energieverbräuche der Long-Haul-VECTO-Klassen
- Hochlauf der ZEV-Flotte nach EU-Zielpfad (2025–2040)
- Simulation von Lade- und Tankvorgängen über typische Tageszyklen
- Vergleich der Netz- und Energieanforderungen in drei Szenarien

Systembetrachtung des elektrifizierten Schwerlastverkehrs in verschiedenen Szenarien

- ZEV-Hochlaufkurven und Tagesfahrleistungen in allen Szenarien identisch!

Szenario 1: 100% BEV – Flottenperspektive (Bedarfssicht)

- Wie viel Leistung und Energie benötigt die LH-Flotte, um reale Fahr- und Pausenzeiten einzuhalten?
- Fokus auf Mittags-Peakladen: Vormittagsverbrauch wird in der Mittagspause (45 min) per MWC nachgeladen. (vgl. FfE¹): Fahrzeuge decken 50% ihres Energiebedarfs mit MWC)

Szenario 2: 100% BEV – Infrastrukturperspektive (Angebotssicht)

- Welche Leistungskapazitäten kann die geplante öffentliche Ladeinfrastruktur für Nutzfahrzeuge (BMV / Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur) tatsächlich bereitstellen?
- Reicht das geplante Netz, oder entstehen Engpässe und Überlastsituationen?

Szenario 3: H₂ als Ergänzung: Entlastung für Netz und Ladeinfrastruktur

- In welchem Umfang kann H₂ die Stromnetze entlasten und Betriebsspitzen abfedern?
- Welche stabilitäts- und betriebsrelevanten Vorteile entstehen durch einen signifikanten H₂-Anteil?

1) Engwerth, Veronika; Sommer, Katharina et al.: Einfluss der Elektrifizierung schwerer Nutzfahrzeuge auf das Energiesystem - FfE Discussion Paper 2024-02.
München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2024

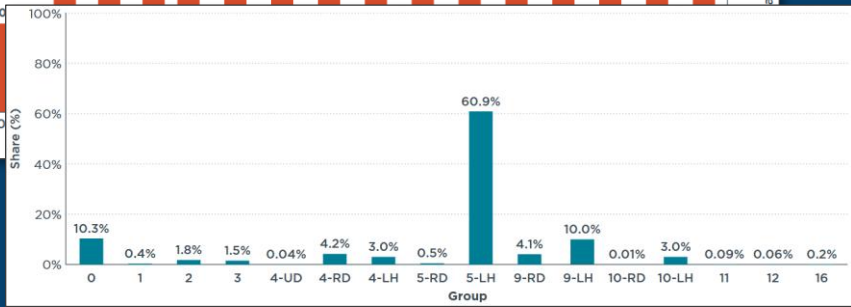
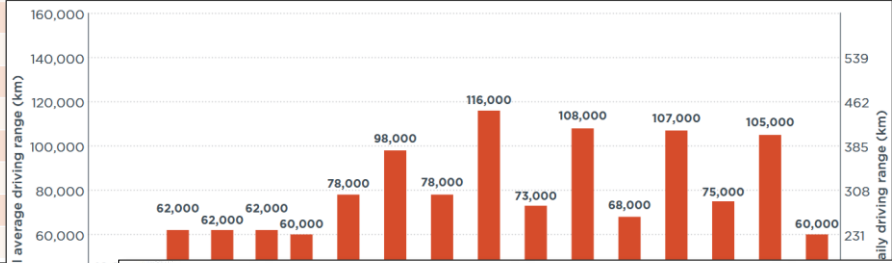
Herleitung der Fahrzeugzahlen für schwere Long-Haul-Lkw (4-LH, 5-LH, 9-LH, 10-LH) in Deutschland

Mangels exakter Daten sind die Fahrzeugzahlen nur als grobe Näherung zu betrachten!



- Bestands- und Neuzulassungszahlen SZM und schwere Lkw
- mittlere Jahresfahrleistungen

VECTO group	Axle type	Chassis configuration	Gross vehicle weight (tonnes)	Covered by HDV CO ₂ standards
0	4x2	Rigid	< 7.5	No
1	4x2	Rigid/Tractor	7.5 - 10	No
2	4x2	Rigid/Tractor	10 - 12	No



- Klassifizierung, Anteile und Fahrleistungen der VECTO-Klassen gemäß [ICCT]

LH-Fahrzeuge in DE 4-LH, 5-LH, 9-LH, 10-LH

Bestand:	129.000
Neuzulassungen p.a.:	18.100
Fahrtage pro Jahr	232
Fahrleistung km/Fzg/Jahr	123.000
Fahrleistung km/Fzg/Tag	530
Mittlerer Energieverbrauch [kWh/100km]	120

Modellierungsergebnis: Schwere Long-Haul-Lkw in Deutschland

	SZM gesamt	5-LH (4x2 Tractor)	10-LH (6x2 Tractor)	4-LH (4x2 Rigid)	9-LH (6x2 Rigid)	LH-Lkw gesamt (gerundet)
Bestand:	226.103	102.531	5.051	5.051	16.836	129.000
Neuzulassungen p.a.:	31.665	14.359	707	707	2.358	18.100
Anteil an LH-Gruppe:		79 %	4 %	4 %	13 %	
Fahrtage pro Jahr⁵⁾	232	232	232	232	232	232
Fahrleistung km/Fzg/Jahr	86.585	127.600	107.000	98.000	108.000	123.000
Fahrleistung km/Fzg/Tag	373	550	461	422	466	530
Datenbasis/Quelle	KBA ^{1),2),3)}	ICCT ⁴⁾ , Comité national routier ⁵⁾		ICCT	ICCT	eigene Modellierung

1) KBA 2025: Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken, 1. Januar 2025 (FZ 1)

2) KBA 2024: Verkehr in Kilometern – Zeitreihe 2014-2024 (VK 2024)

3) KBA 2024: Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen, Jahr 2024 (FZ 14)

4) ICCT 2023: The European Heavy-Duty Vehicle Market Until 2040: Analysis of Decarbonisation Pathways

5) Comité national routier: <https://www.cnr.fr/en/detail-pays/2> (Fahrtage pro Jahr aus dieser Quelle für alle Fahrzeugklassen angenommen)

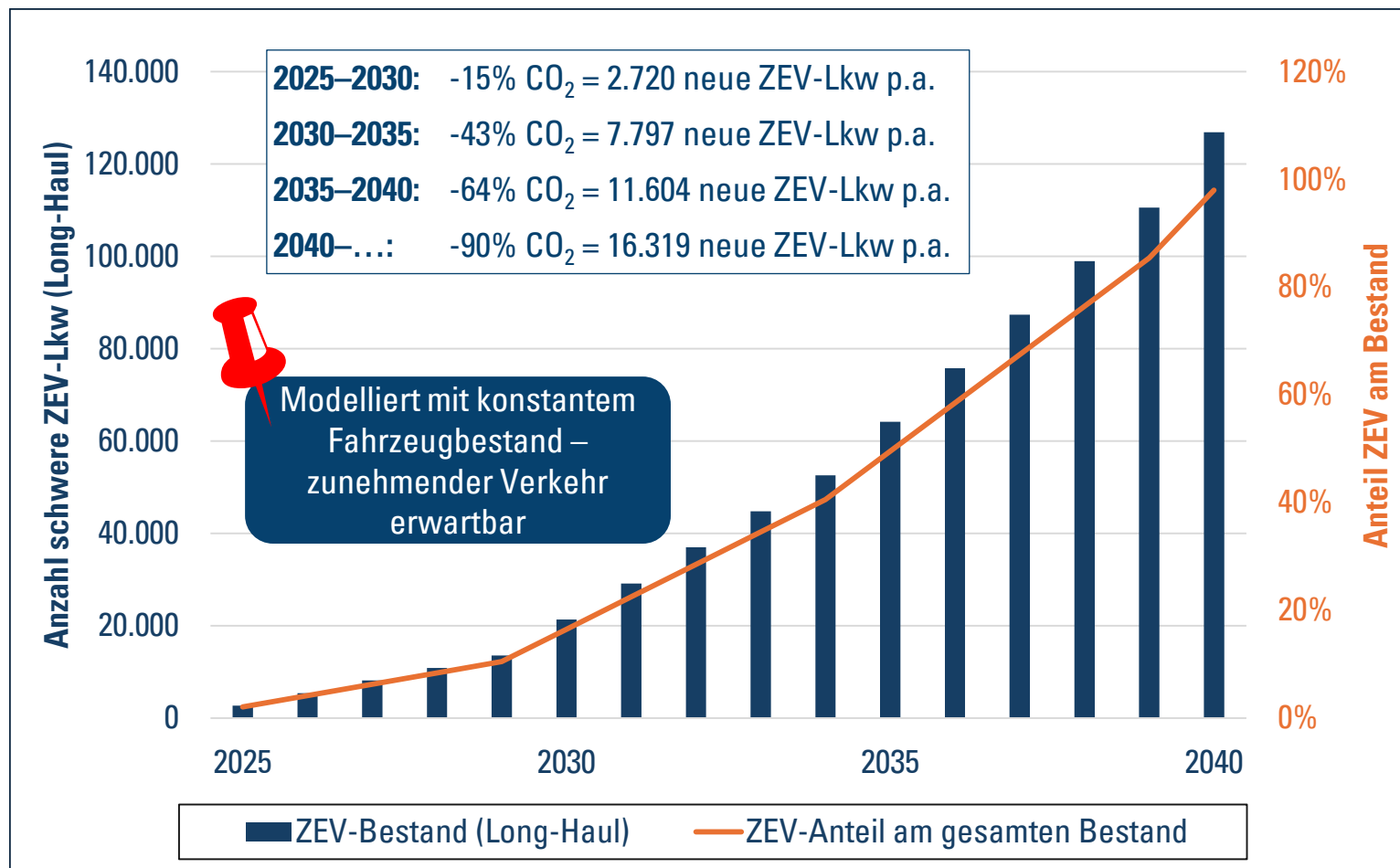


03

- MODELLIERUNGSERGEBNISSE
- FÜR VERSCHIEDENE
- SZENARIEN



Modellierter Hochlauf der ZEV-Long-Haul-Lkw auf Basis der EU-Verordnung

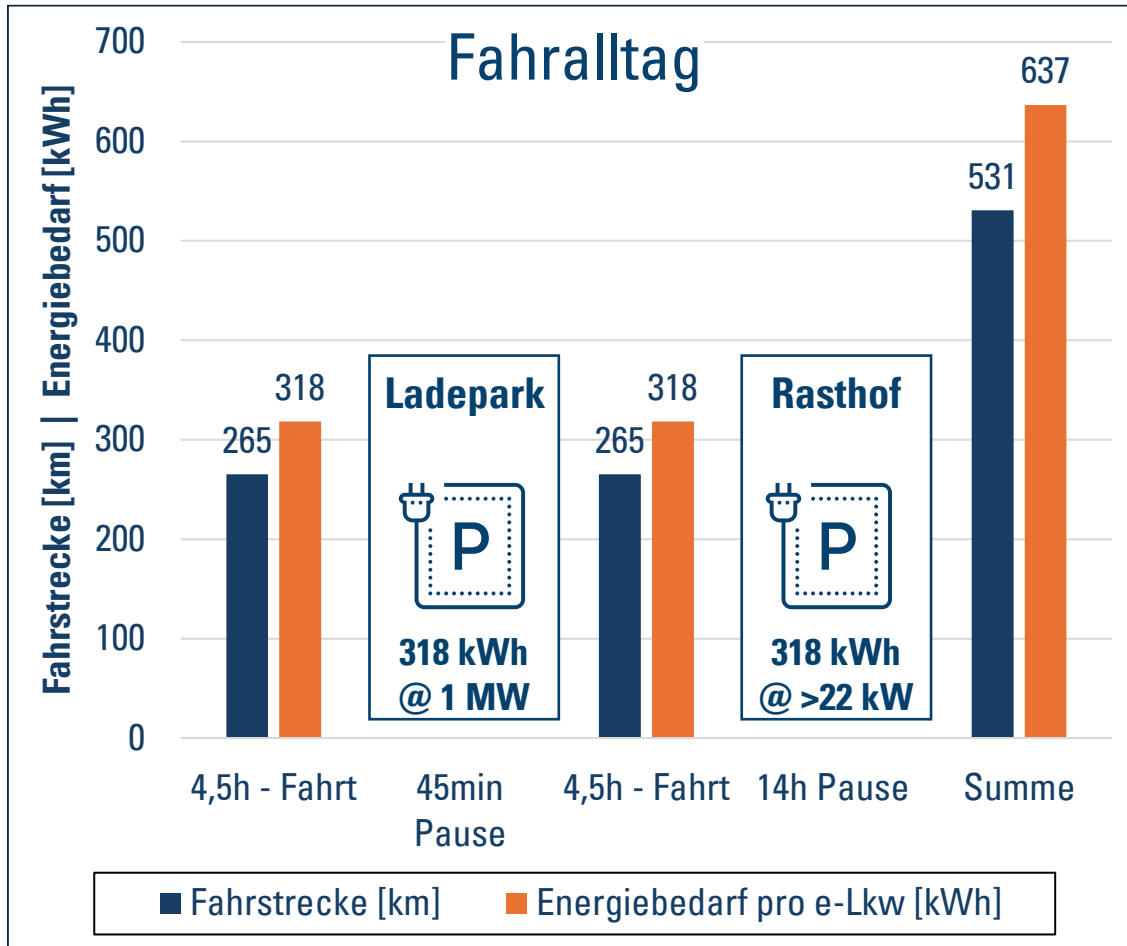


- Unter diesen vereinfachten Modellierungsannahmen ist der Fahrzeugbestand **2040 zu 98% dekarbonisiert** und erreicht etwa **130.000 schwere ZEV-Long-Haul-Lkw**.
- Davon sind im Jahr 2040 **pro Tag etwa 100.000 im Einsatz**.

Annahmen:

- Die CO₂-Minderung gemäß EU-Verordnung wird in Form von BEV-Quoten in Höhe der CO₂-Reduktionsziele (15, 43, 64, 90%) erreicht.
- BEV-optimaler Hochlauf → Verbrenner werden aus dem Markt gedrängt bis zur Erreichung 100% BEV.

- Ein elektrischer Long-Haul-Lkw benötigt in 5-7 Tagen etwa so viel
- Strom wie ein 4-Personen-Haushalt im Jahr



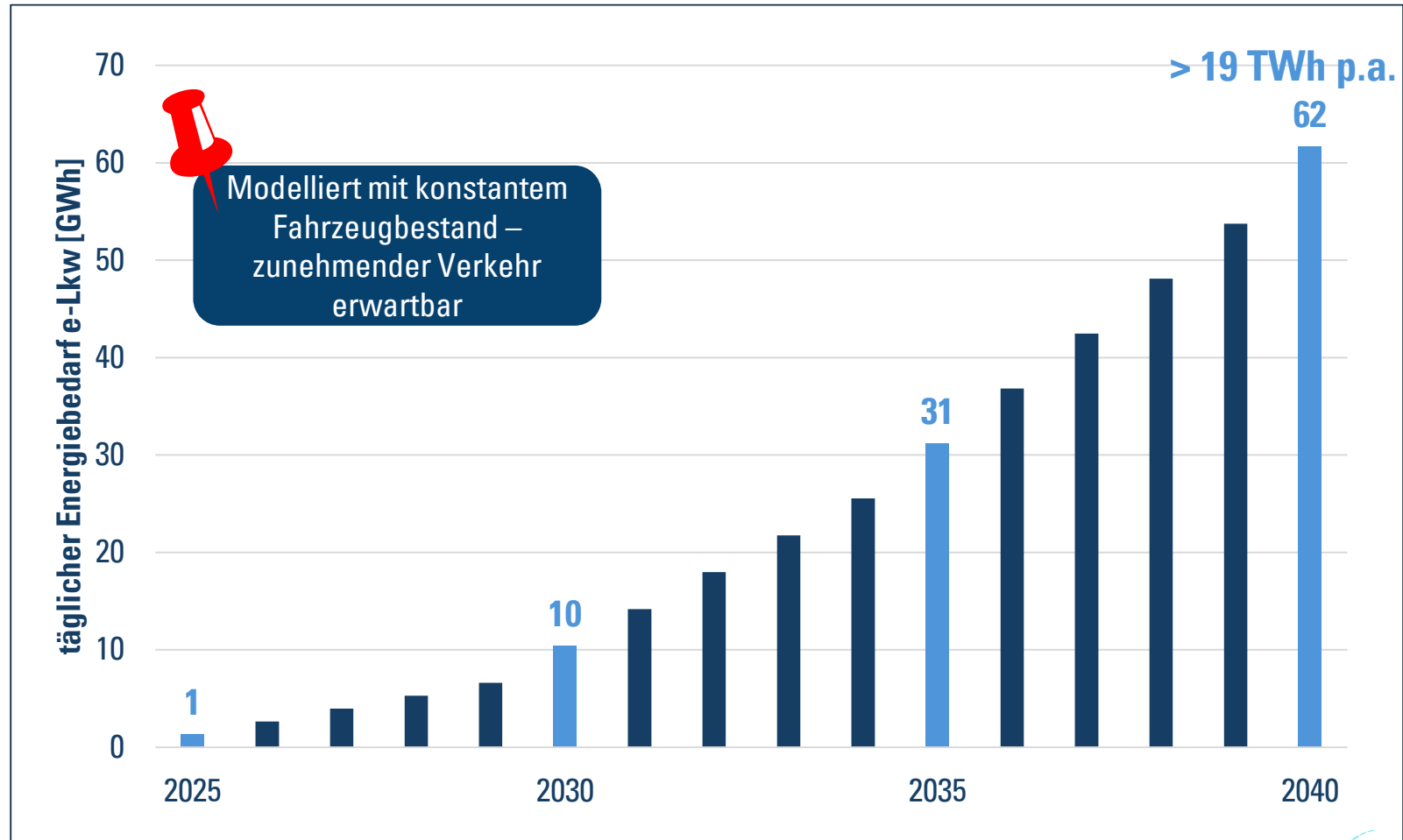
- **Fahralltag:**
45 min Pause nach 4,5 Std. Lenkzeit sowie eine maximale Tagesfahrzeit von 9 Std. sind gesetzlich vorgeschrieben.
- **Modellannahmen:**
 - Jedes Fahrzeug startet morgens mit voller Batterie
 - Ladepark: Die vormittags verbrauchte Batteriekapazität wird mittags per Megawatt-Charging (MWC) nachgeladen
 - Rasthof: Über Nacht wird jeder Lkw „langsam“ (≥ 22 kW) geladen



Der Strombedarf der elektrifizierten Long-Haul-Flotte erreicht im Jahr 2040 über 60 GWh pro Tag



Der jährliche Strombedarf (*tank-to-wheel*) der schweren e-Lkw wird 2040 mit über 19 TWh etwa 26 % der deutschen PV-Erzeugung 2024¹⁾ oder dem 1,5-Fachen des heutigen Jahresstromverbrauchs in Berlin²⁾ entsprechen.



Annahmen:

- 304 Regelfahrtage pro Jahr, 232 Fahrtage pro Fahrzeug → Fahrzeuge gleichverteilt auf Regelfahrtage

1) PV gesamt ~72,2 TWh – https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/press-releases/2025/0125_ISE_en_PR_electricity_generation2024.pdf
2) Stromverbrauch Berlin 2024: 12,3 TWh – <https://www.stromnetz.berlin/en/about-us/facts-figures-and-dates/>

● Szenario 1 – 100 % BEV: Wie viel Ladeleistung braucht eine vollelektrische Long-Haul-Flotte?

Ziel: Abschätzung des realen Energie- und Leistungsbedarfs, um den täglichen Fernverkehrsbetrieb vollständig elektrisch abzubilden.

Fragestellung

- Wie groß sind Energie- und Leistungsbedarf bei realistischen Fahr- und Pausenzyklen (4,5 h → 45 min → 4,5 h) und logistische Abläufe bedienen zu können?
- Welche Ladeinfrastruktur wäre nötig, um den Betrieb ohne Wartezeiten sicherzustellen?

Modellierungsannahmen:

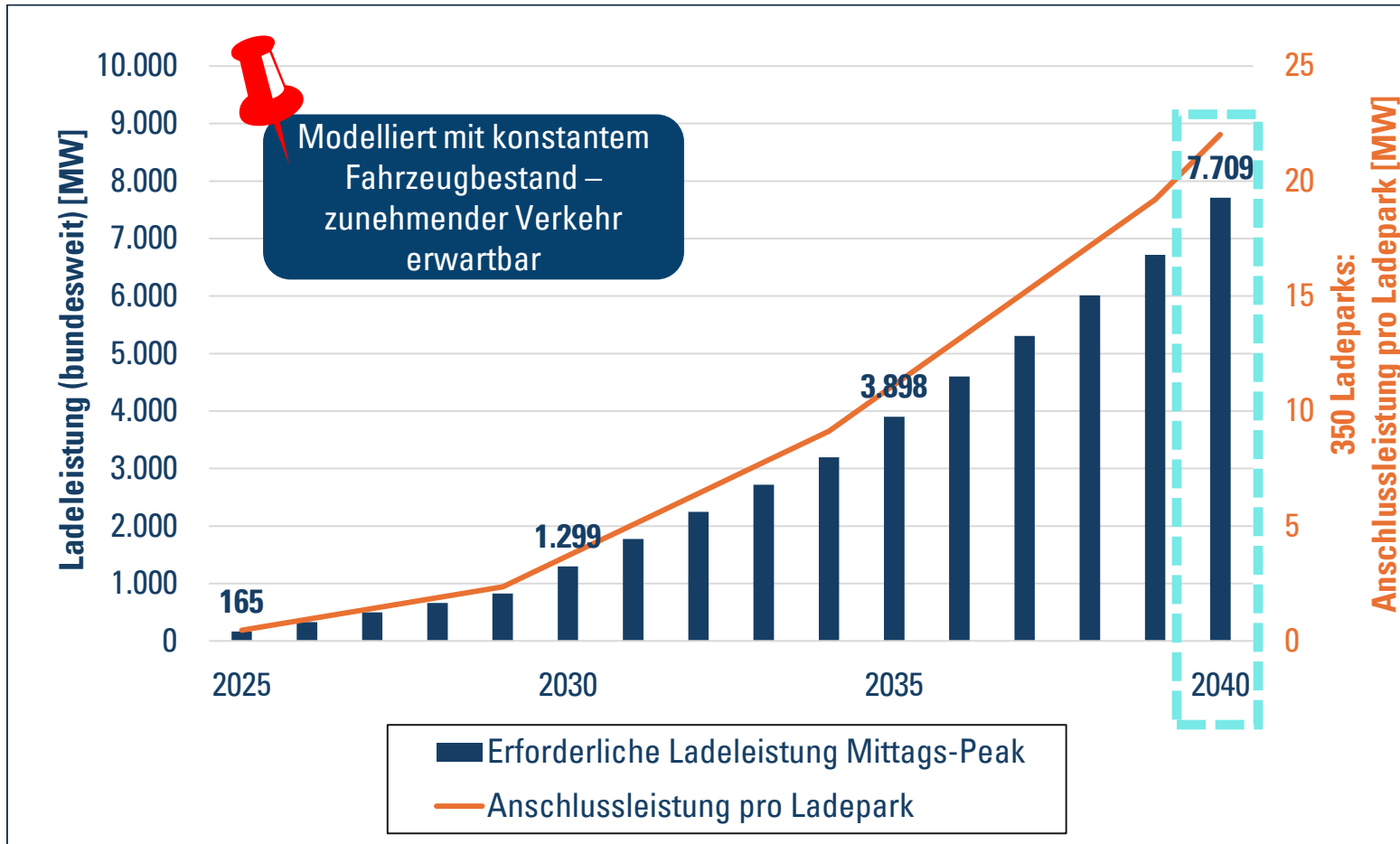
- **Mittags-Peakladen:**
Alle täglich eingesetzten e-Lkw laden im 4-Stunden-Mittagsfenster per Megawatt-Charging (MWC) die vormittags verbrauchte Energie (~ 50 % des Tagesbedarfs) nach (vgl. FfE¹⁾)
- **Overnight-Laden:**
Nachts lädt jeder Lkw per CCS-Ladepunkt ≥ 100 kW bis zum nächsten Morgen vollständig auf → Jeder aktive Lkw benötigt über Nacht einen Stellplatz mit Ladeanschluss

1) Engwerth, Veronika; Sommer, Katharina et al.: Einfluss der Elektrifizierung schwerer Nutzfahrzeuge auf das Energiesystem - FfE Discussion Paper 2024-02.
München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2024



● Szenario 1: Im Mittagszeitraum von 4 Std. laden alle Fahrzeuge ● ihre bis dahin verbrauchte Energie per MWC auf¹⁾

- Modellannahme zeigt energetische Größenordnung – reale Netzbelastung liegt deutlich höher



- Zum Nachladen der benötigten **31 GWh** (= 50% des Tagesenergiebedarfs) in der Mittagszeit wird 2040 über **4 Stunden** eine konstante Leistung von rund **8 GW** benötigt (entspricht etwa **8.000 MW-Chargern**).
- Bei **350 Ladeparks** (NLL-Planungsstand) ergibt sich daraus ein mittlerer Leistungsbedarf von **über 22 MW pro Standort** (alternativ: 1.000 Ladeparks à 8 MW).
- Für das langsame **Laden über Nacht** wären im Jahr 2040 an **Raststationen 60.000–80.000 AC-Charger** erforderlich (basierend auf ca. 100.000 ZEV-Lkw im täglichen Einsatz, von denen 60–80% nachts an der BAB rasten und laden).

Annahme: keine Zeitverluste beim Fahrzeugwechsel an der Säule (kontinuierliches Laden)

1) **Annahme:** Die Hälfte des gesamten Energiebedarfs wird per MWC geladen. Siehe dazu: Engwerth, Veronika; Sommer, Katharina et al.: Einfluss der Elektrifizierung schwerer Nutzfahrzeuge auf das Energiesystem - fFe Discussion Paper 2024-02. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2024



● Szenario 1: Im Mittagszeitraum von 4 Std. laden alle Fahrzeuge ● ihre bis dahin verbrauchte Energie per MWC auf¹⁾

- Modellannahme zeigt energetische Größenordnung – reale Netzbelastung liegt deutlich höher

Ladeleistung (bundesweit) [MW]

Dieses idealisierte Szenario modelliert stark vereinfachend einen großen, ununterbrochenen Ladevorgang in der Mittagszeit, der den bundesweiten Energiebedarf innerhalb von 4 Std. bereitstellt.

Realität:

- Verkehrsdichte und Auslastung an den Ladeparks schwanken erheblich
- Zeitverluste durch Belegung, Fahrzeugwechsel und Kommunikationszeiten an der Ladesäule
- Während der Mittagspause bleibt der Ladepunkt meist bis zum Ende der Pause belegt – nicht nur bis zum Ladeende



1. Der reale Leistungsbedarf zur Abdeckung des Mittags-Peaks dürfte deutlich höher liegen als modelliert.
2. Nicht nur die Anschlussleistung, sondern auch die Anzahl der Ladepunkte hat enorme Wichtigkeit für die Vermeidung von Staubildung mit enormen ökonomischen Schäden.
3. Mit der Annahme, dass jeder BEV-Lkw eine Ladesäule über die gesamte Mittagspause von 45 min blockiert, muss auch die Anzahl an Ladesäulen entsprechend hoch sein, um Staubildung zu vermeiden:

100.000 e-Lkw, 45 min MW-Charging, Mittagsfenster 4 Std. → Bedarf: 18.750 MW-Charger

Vh
der
eine
benötigt
,
(nd) ergibt
bedarf von
1.000
wären im
0.000 AC-
ca. 100.000
nen 60-
aden).

chsel an



Szenario 2 – 100 % BEV: Reicht die geplante Ladeinfrastruktur aus?

Ziel: Bewertung der Leistungsfähigkeit des geplanten öffentlichen Ladenetzes und seiner Grenzen bei flächendeckender Elektrifizierung des Schwerlastverkehrs.

Fragestellung

- Welche Leistungskapazitäten kann die geplante öffentliche Ladeinfrastruktur (BMV / Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur) in der Zielarchitektur tatsächlich bereitstellen?
- Wie weit decken diese Kapazitäten den modellierten Energiebedarf der ZEV-Flotten, und wo entstehen mögliche Engpässe oder Überlasten im Netz?

Modellierungsannahmen:

- Vergleich von realem Energiebedarf (Szenario 1) mit der installierten und geplanten Anschlussleistung der Ladeparks
- Annahme: 350 Ladeparks × 8 MW bis 2030 (Planungsstand NLL)
- Prüfung, ob diese Zielarchitektur ausreicht, um den täglichen Strombedarf (≈ 60 GWh in 2040) ohne Wartezeiten und Netzüberlast zu decken

● Szenario 2: Planungsstand BMV / Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur – ● Rund 350 Ladeparks mit durchschnittlich 8 MW Anschlussleistung bis 2030



Planungsstand NLL / BMV (2025):

- 350 Standorte bis 2030
- 1.800 MCS- und 2.400 CCS-Ladepunkte
 - MCS (Megawatt Charging System):
≥ 1 MW pro Ladepunkt
 - CCS (Combined Charging System) – „Zwischenladen“:
≥ 400 kW pro Ladepunkt
- Ø Leistung pro Ladepunkt: ≈ 660 kW
- geplante Gesamt-Anschlussleistung 2030:
2.846 MVA ≈ 2,80 GW (entspricht 67 GWh pro 24 Std.)



Masterplan Ladeinfrastruktur 2030 (BMV)
denen Anwendungsfällen. Insbesondere für das Laden von E-Lkw, das sich noch in einer frühen Marktphase befindet, stehen erhebliche Investitionen an. Die Bundesregierung strebt an, privates Kapital mit Hilfe von zielgerichteten Investitionszuschüssen zu aktivieren und damit mittel- und langfristige Folgeinvestitionen anzureizen. Zusätzlich soll die Bereitstellung von Flächen im Eigentum des Bundes die Investitionsvorhaben unterstützen. Die Umsetzung aller finanzwirksamen Maßnahmen des Masterplans ist dabei abhängig von den verfügbaren Haushaltsmitteln.

Quellen:

- 1) NLL 2025: Ladeinfrastruktur für Nutzfahrzeuge, <https://nationale-leitstelle.de/nutzfahrzeuge>
- 2) NLL 2025: Dashboard Lkw-LadeinfrastrukturMONITORING, <https://nationale-leitstelle.de/nutzfahrzeuge/lkwmonitoring/>
- 3) NLL 2024: Standorte für das LKW-Schnellladenetz, https://nationale-leitstelle.de/wp-content/uploads/2025/07/20241113_Standortliste_Lkw-Ladenetz_Netzbetreiber_Versand.pdf
- 4) Autobahn GmbH des Bundes 2024: Projektexposé zur Ausschreibung „Lkw-Schnellladenetz an unbewirtschafteten Rastanlagen“, https://www.autobahn.de/storage/user_upload/qbank/Projektexpose_Ausschreibung_LKW-Schnellladenetz_unbewirtschaftete_Rastanlagen.pdf
- 5) dena 2025: Dossier: Ausbau der Ladeinfrastruktur für E-Lkw – Ergebnisse der Begleitforschung zum BMDV-Förderprogramm für klimafreundliche Nutzfahrzeuge und Infrastruktur (KsNI). https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2025/Dossier_Ausbau_der_Ladeinfrastruktur_fuer_E-Lkw_BF.pdf



Szenario 2: Planungsstand BMV / Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur –

Rund 350 Ladeparks mit durchschnittlich 8 MW Anschlussleistung bis 2030

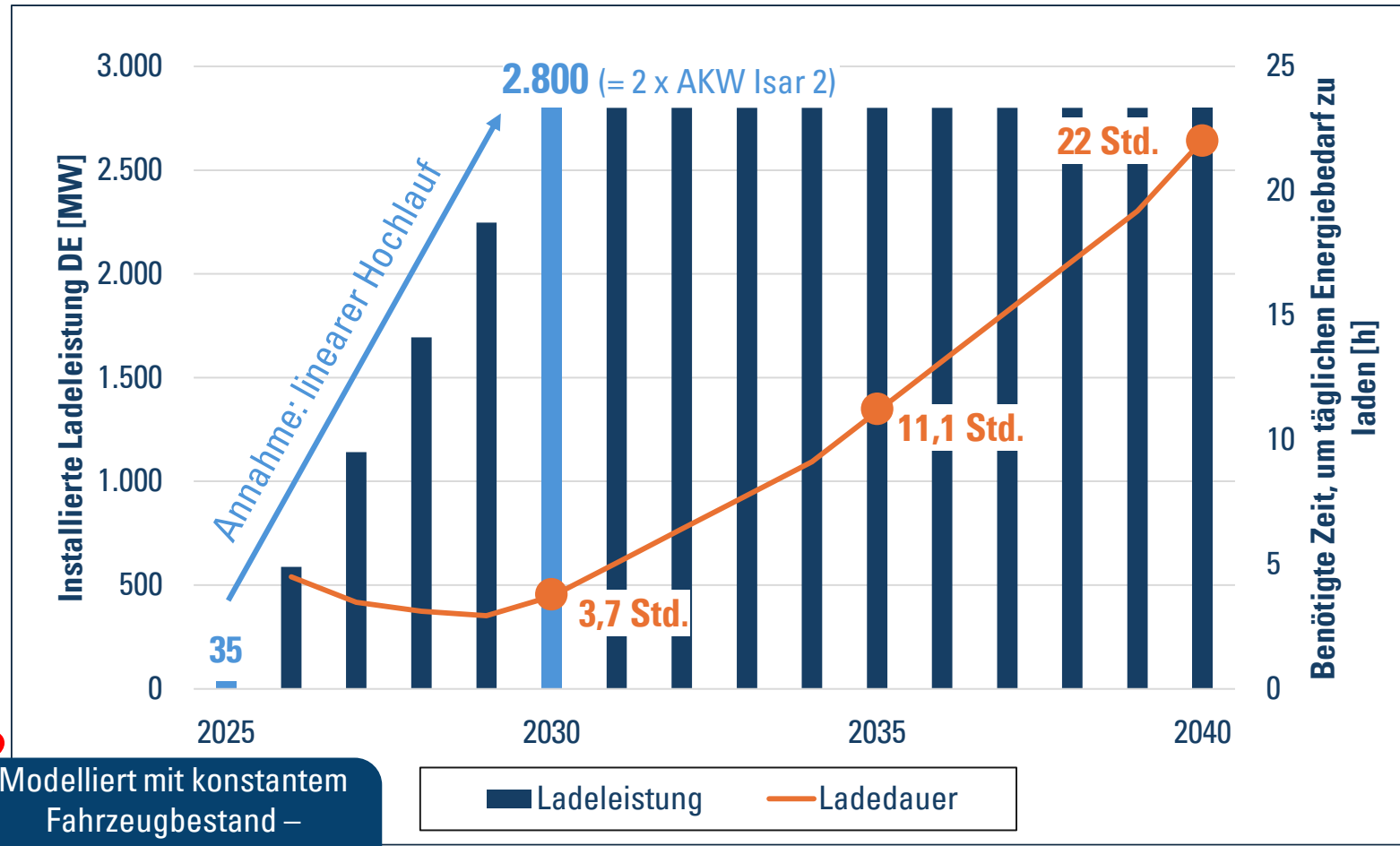


Bundesland	Anzahl Standorte	Anteil Standorte	Lkw-Netzanschlussleistung 2035 [kVA]	Anteil Anschlussleistung
Baden-Württemberg	34	10%	290.840	10%
Bayern	73	21%	627.880	22%
Berlin	0	0%	-	0%
Brandenburg	24	7%	184.800	7%
Bremen	1	0%	3.960	0%
Hamburg	0	0%	-	0%
Hessen	23	7%	237.160	8%
Mecklenburg-Vorpommern	21	6%	77.000	3%
Niedersachsen	35	10%	311.080	11%
Nordrhein-Westfalen	48	14%	400.400	14%
Rheinland-Pfalz	23	7%	151.030	5%
Saarland	4	1%	14.960	1%
Sachsen	15	4%	155.760	5%
Sachsen-Anhalt	20	6%	184.360	6%
Schleswig-Holstein	17	5%	90.640	3%
Thüringen	13	4%	113.080	4%



Datenbasis: NLL 2024: Standorte für das LKW-Schnellladenetz,
https://nationale-leitstelle.de/wp-content/uploads/2025/07/20241113_Standortliste_Lkw-Ladenetz_Netzbetreiber_Versand.pdf

Szenario 2: Planungsstand BMV / Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur – Rund 350 Ladeparks mit durchschnittlich 8 MW Anschlussleistung bis 2030



Modelliert mit konstantem Fahrzeugbestand – zunehmender Verkehr erwartbar

Annahme: keine Downtimes der Ladeparks berücksichtigt!

- **2030:** Die geplante Infrastruktur ist bei **2,8 GW Anschlussleistung** bereits **täglich 3,7 Stunden Vollausslastung** ausgesetzt, um den Energiebedarf der elektrischen Long-Haul-Flotte zu decken (Auslastung 15,4%).
- **Aktionsbedarf:** Auch nach 2030 ist eine **massive Kapazitätserweiterung in Leistung und Anzahl der Ladepunkte unabdingbar.**
- **Kritische Auslastung:** 11 oder gar 22 Stunden Volllastbetrieb pro Tag aller Ladeparks bundesweit sind **logistisch und betrieblich nicht erreichbar.**



● Szenario 3 – H₂ als Ergänzung: Entlastung für Netz und Ladeinfrastruktur

Ziel: Bewertung, wie eine Wasserstoffinfrastruktur die Engpässe des 100 %-BEV-Szenarios abmildern und zugleich zur Systemstabilität beitragen kann.

Fragestellung

- Wie stark kann Wasserstoff den Strombedarf und die Anschlussleistungen an Autobahnstandorten reduzieren?
- Welche betrieblichen und systemischen Vorteile ergeben sich durch kurze Tankzeiten, hohe Standortflexibilität und planbaren Netzausbau?

Vergleichslogik:

- Gegenüberstellung von H₂-, BEV- und e-Diesel-Systemen hinsichtlich Energieverbrauch, Lade-/Tankzeiten, Flächenbedarf und Strombedarf Well-to-Wheel (WtW)
- Bewertung des „Trade-off: Effizienz vs. Resilienz“ – höherer WtW-Strombedarf bei gleichzeitig geringerer Netzabhängigkeit
- Ableitung: H₂ als komplementäre Technologie, die Strom-Peaks, Netzausbaukosten und Betriebsvulnerabilitäten deutlich reduzieren kann



• Szenario 3 – H₂ als Ergänzung: Entlastung für Netz und Ladeinfrastruktur

• Warum H₂ im Fernverkehr?

- **Netzentlastung**
Stromproduktion & Verbrauch (H₂-Produktion) zeitlich entkoppelt
- **Geringe Anschlussleistung vor Ort**
H₂-Station < 1 MW statt > 8 MW (MCS)
- **Hoher Energie-Durchsatz pro Standort**
bis ~50 MWh/Tag je Tankstelle
- **Kurze Tankzeiten – hohe Verfügbarkeit – flüssiger Betriebsablauf**
10-15 min statt Stundenladen → keine Wartezeiten, keine Staubbildung, hohe Fahrzeugverfügbarkeit
- **Geringerer Flächenbedarf an Rastanlagen**
kein Parken während des Ladevorgangs, kompaktere Stationen
- **Planbarer Netzausbau – skalierbare Standorte**
Strombedarf verlagert in vorgelagerte Erzeugung
- **Synergie mit dem gesamten Energiesystem**
Saisonale Speicherbarkeit von EE-Strom, Nutzung von Überschussstrom & Netzpufferung
- **Hohe Standort- und Versorgungsflexibilität – hohe Versorgungssicherheit**
Kombination aus zentraler Produktion, regionalen H₂-Hubs, Trailer- oder Pipeline-Verteilung; keine gedrosselte Ladeleistung
- **Betriebsähnlich zu Diesel**
Reichweite, Taktung, Tanklogik bleiben erhalten
- **Europäisch skalierbar**
kompatibel mit transeuropäischen H₂-Korridoren



● Szenario 3 – 350 „Clean Energy Hubs“: Geplante

● Lade-Infrastruktur (BMV/NLL) synergistisch um H₂ erweitert

● Vorschlag für ein erweitertes Standortkonzept

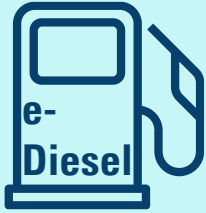
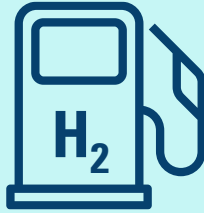
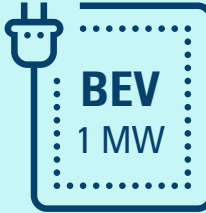
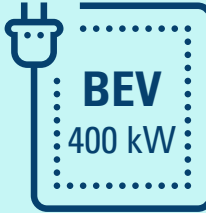
- **Effiziente Systemergänzung:** Integration von H₂-Infrastruktur an bestehenden bzw. geplanten 350 Ladeparkstandorten vermeidet zusätzlichen Flächenbedarf
- **H₂-Setup:** Erweiterung der Standorte um Tankinfrastruktur und Speicher (jeweils rund 5 t H₂-Kapazität pro Standort)
- **Reichweite:** Bis zu 125 H₂-Lkw pro Tag und Standort versorgbar¹⁾
- **Massive Entlastung:** Über 40.000 H₂-Lkw können täglich bundesweit betankt werden ($\approx$ 40% der Long-Haul-Lkw)
- **Ziel:** Deutliche Entlastung der BEV-Ladeinfrastruktur durch parallelen Betrieb
- **Energiesystem-Synergie:** Bundesweit dezentrale H₂-Speicher (5 t) ermöglichen Pufferung und Rückverstromung von überschüssigem erneuerbarem Strom



Visualisierung: KI-generierte Illustration (OpenAI DALL-E, 2025)

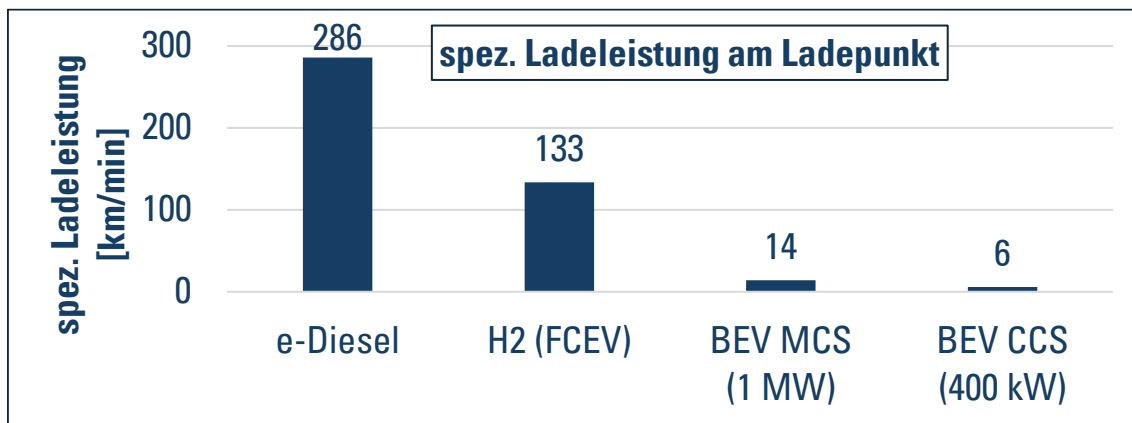
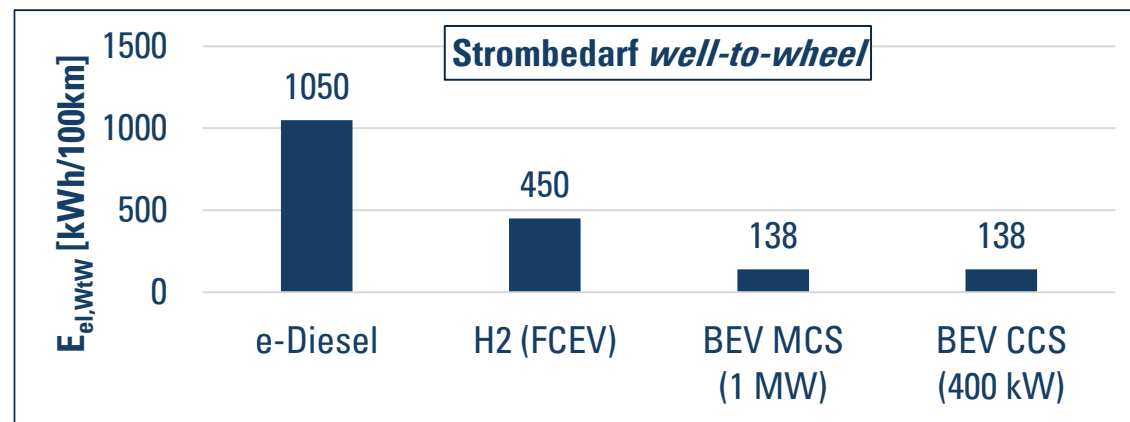
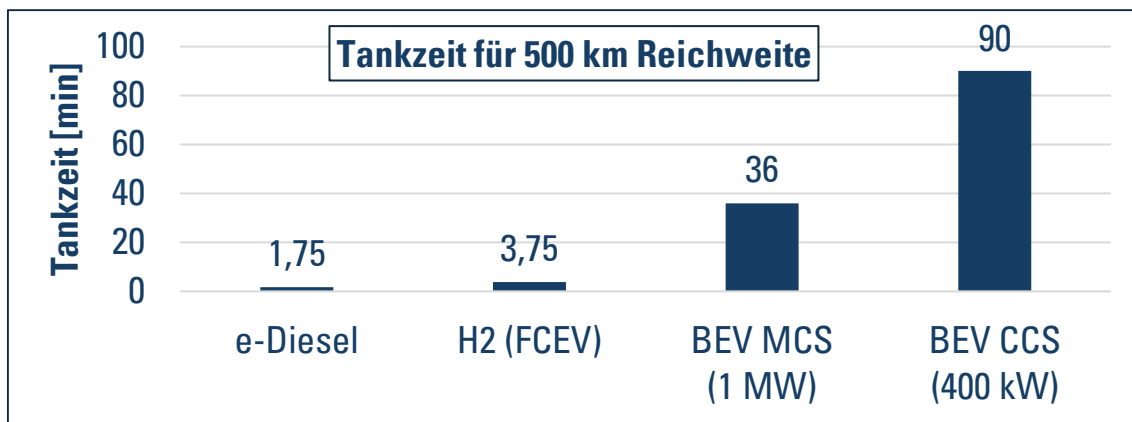
1) Annahme: 530 km Fahrleistung pro Tag mit 7,5 kgH₂/100km

- **H₂ ergänzt BEV:** kurze Tankzeiten reduzieren Standzeiten und sichern Verkehrsfluss – Entlastung für Stromnetz und Ladeinfrastruktur
-

				
	e-Diesel	H2 (FCEV)	BEV MCS (1 MW)	BEV CCS (400 kW)
Energieinhalt Kraftstoff	9,8 kWh/l	33,3 kWh/kg	1 kWh/kWh	1 kWh/kWh
Strombedarf <i>well-to-tank</i>	30 kWh/l	60 kWh/kg	1,15 kWh/kWh	1,15 kWh/kWh
Verbrauch 40t-SZM (5-LH)	35 l/100km	7,5 kg/100km	120 kWh/100km	120 kWh/100km
Typische Reichweite 40t-SZM (5-LH)	2500 km	700 km	500 km	500 km
Reichweite : Tagesfahrleistung (530km)	472 %	132 %	94 %	94 %
Tank-/Laderate Säule	100 l/min	10 kg/min	16,67 kWh/min	6,67 kWh/min
Tankzeit für 500 km Reichweite	1,75 min	3,75 min	36 min	90 min
Energetische Ladeleistung Ladepunkt	58,8 MW	19,98 MW	1 MW	0,4 MW
spez. Ladeleistung am Ladepunkt¹⁾	286 km/min	133 km/min	14 km/min	6 km/min
Strombedarf <i>well-to-wheel</i>	1050 kWh/100km	450 kWh/100km	138 kWh/100km	138 kWh/100km

1) gemeint ist: nachgeladene Reichweite pro Minute

● **H₂ ergänzt BEV:** kurze Tankzeiten reduzieren Standzeiten und sichern Verkehrsfluss – Entlastung für Stromnetz und Ladeinfrastruktur



- **BEV am effizientesten:** nur 13% des WtW-Energiebedarfs von e-Diesel
 - **BEV-Laden begrenzt durch Leistung und Zeit:** selbst mit 1 MW dauert das Nachladen für 500 km über 30 Minuten
 - **Energiespeicherung und Systemresilienz mit H₂:** der höhere Strombedarf ist ein legitimer „Preis“, um erneuerbare Energie speicherbar zu machen und Resilienz des Energiesystems aufzubauen
- **Fazit: Kombination aus BEV (Effizienz) und H₂ (Tankgeschwindigkeit, Netzentlastung) schafft ein robustes Gesamtsystem**



Herleitung der Fahrzeugzahlen für Europa (EU)



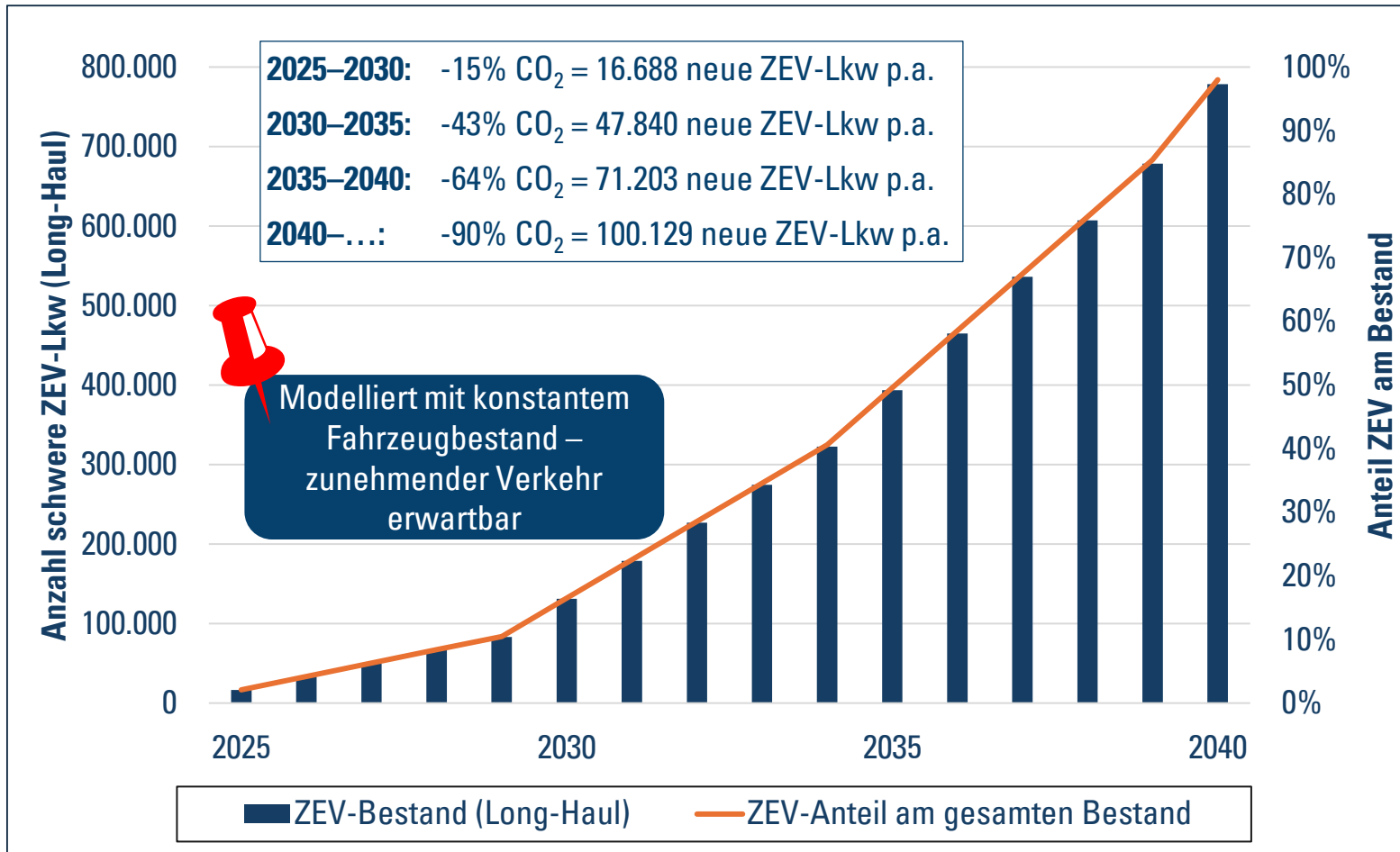
- Es existieren keine belastbaren Bestandszahlen zu verschiedenen Fahrzeugklassen, aus denen sich die hier betrachteten LH-Schwerlast-Lkw sauber ableiten ließen.
- **Methode:**
 - Basis-Annahme: DE Fahrzeuganteile auf EU übertragbar → DE→EU-Hochrechnung
 - Daten ACEA¹⁾:
 - Trucks²⁾ in EU: 5.998.915
 - Trucks in DE: 977.673 = 16,3 % der EU-Flotte
- **Ergebnis:**
 - ca. 800.000 LH-Fahrzeuge in EU, 110.000 Neuzulassungen p.a.
 - **hohe Modellierungsunsicherheit! ($\pm 20\%$)**



1) ACEA Report – Vehicles on European roads 2025: <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-on-european-roads-2025/>

2) Trucks laut ACEA: Commercial vehicles >3,5 t (N2+N3)

Modellierter Hochlauf der ZEV-Lkw auf Basis der EU-Verordnung



Unter diesen vereinfachten Modellierungsannahmen ist der Fahrzeugbestand 2041 vollständig dekarbonisiert.

Annahmen:

- Die CO₂-Minderung gemäß EU-Verordnung wird in Form von BEV-Quoten in Höhe der CO₂-Reduktionsziele (15, 43, 64, 90%) erreicht.
- BEV-optimaler Hochlauf → Verbrenner werden aus dem Markt gedrängt bis zur Erreichung 100% BEV.
- Gesamtbestand und Neuzulassungen bleiben konstant.

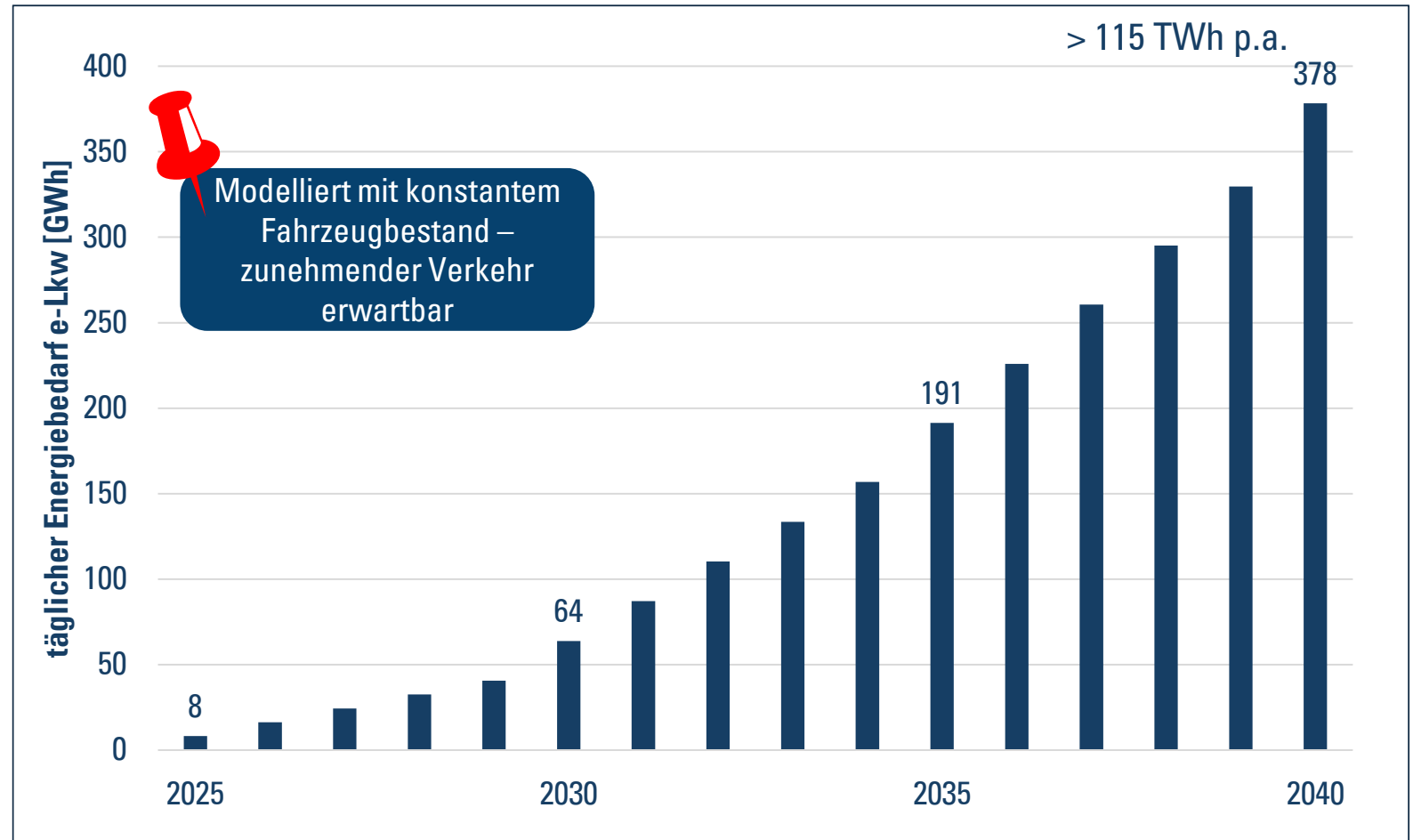
Der Strombedarf der elektrifizierten Long-Haul-Flotte erreicht im Jahr 2040 über 375 GWh pro Tag



Der Jahresstrombedarf der europäischen schweren Long-Haul-Nutzfahrzeuge wird 2040 mit über 115 TWh etwa so hoch sein wie die Bruttostromerzeugung der Niederlande¹⁾.

Annahmen:

- 304 Regelfahrtage pro Jahr, 232 Fahrtage pro Fahrzeug → Fahrzeuge gleichverteilt auf Regelfahrtage
- Energiebedarf seitens Fahrzeug betrachtet, keine Berücksichtigung von Lade- und sonstigen Verlusten

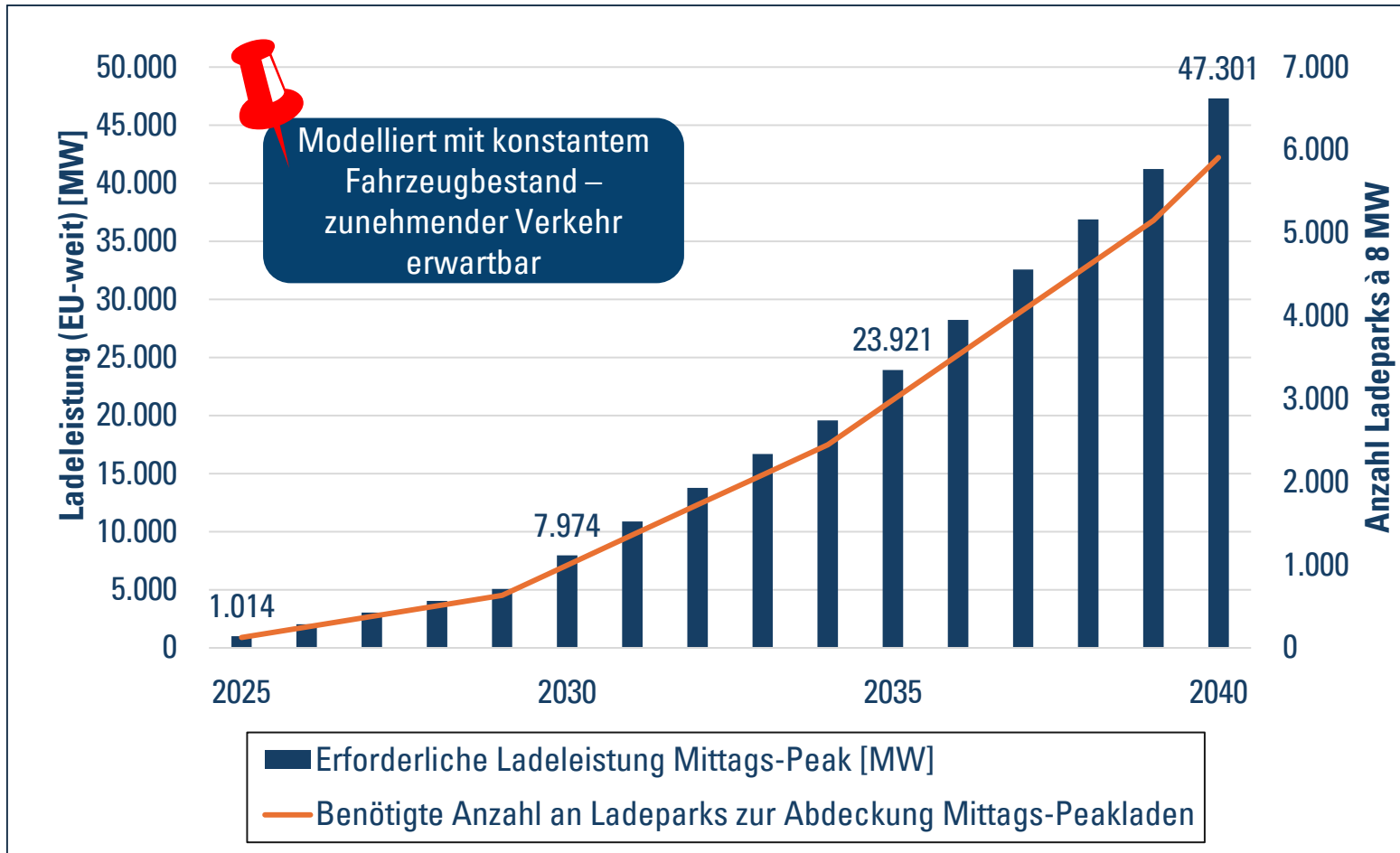


1) Bruttostromerzeugung Niederlande 2022: 121 TWh
(<https://www.weltenergieat.de/energie-fuer-deutschland-2023/energie-in-der-europaeischen-union-zahlen-und-fakten/>)



● Szenario 1: Im Mittagszeitraum von 4 Std. laden alle Fahrzeuge ● ihre bis dahin verbrauchte Energie per MWC auf¹⁾

- Modellannahme zeigt energetische Größenordnung – reale Netzbelastung liegt deutlich höher



- Zum Nachladen der benötigten **189 GWh** (= 50% des Tagesenergiebedarfs) in der Mittagszeit wird über **4 Stunden** eine konstante Leistung von rund **47 GW** benötigt (entspricht etwa **47.000 MW-Chargern**).
- Bei 8 MW Leistung pro Ladepark ergäbe sich ein Bedarf von etwa 5.900 Ladeparks.
- Für das langsame **Laden über Nacht**, wären im Jahr 2040 an **Raststationen 360.000–480.000 AC-Charger** erforderlich (basierend auf ca. 600.000 ZEV-Lkw im täglichen Einsatz, von denen 60–80 % nachts an der BAB rasten und laden).

Annahme: keine Zeitverluste beim Fahrzeugwechsel an der Säule (kontinuierliches Laden)

1) **Annahme:** Die Hälfte des gesamten Energiebedarfs wird per MWC geladen. Siehe dazu: Engwerth, Veronika; Sommer, Katharina et al.: Einfluss der Elektrifizierung schwerer Nutzfahrzeuge auf das Energiesystem - FfE Discussion Paper 2024-02. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2024

A photograph of three wind turbines on a green, rolling hill under a cloudy sky. The turbines are white with three blades each. The hill is covered in lush green grass, and the sky is filled with soft, white clouds.

04



ZUSAMMENFASSUNG

Zentrale Erkenntnisse der Stromnetzstudie

- **Elektrifizierung des Schwerlastverkehrs verändert das Energiesystem fundamental**
→ Allein der deutsche Long-Haul-Verkehr verursacht künftig > 60 GWh Strombedarf pro Tag – rund 26 % der heutigen PV-Erzeugung
- **Die Ladeinfrastruktur wird zum Engpassfaktor**
→ Für den täglichen Betrieb wären rund 1.000 Ladeparks à 8 MW oder 350 Ladeparks à über 22 MW und > 60 000 AC-Ladepunkte nötig
→ Das geplante Netz ($\approx$ 350 Parks à durchschnittlich 8 MW bis 2030) deckt den Bedarf nach 2030 nur zu einem Bruchteil
- **Hohe Netzlasten entstehen insbesondere in Peak-Zeiten**
→ Gleichzeitiges Mittagsladen erzeugt Leistungsspitzen > 8 GW – real noch höher wegen Blockierzeiten und Lastverschiebungen
- **H₂ kann Stromnetz und Betrieb deutlich entlasten**
→ < 1 MW Anschlussleistung je Tankstelle, keine Lade-Wartezeiten, planbarer Netzausbau
→ H₂ nutzt grünen Strom flexibler (zeitlich entkoppelt) und erhöht Systemresilienz
- **Trade-off: Effizienz vs. Resilienz**
→ H₂ hat höheren Strombedarf well-to-wheel, bietet aber entscheidende Vorteile für Usability im Transportsektor, Netzstabilität, Versorgungssicherheit und Skalierbarkeit

Ohne H₂-Ergänzung bleibt ein 100 %-BEV-Szenario technisch, wirtschaftlich und marktdynamisch kaum realisierbar – nur ein dualer Infrastrukturpfad ermöglicht CO₂-Zielerreichung und Planungssicherheit für Flottenbetreiber und Energieinfrastrukturakteure.

Kontaktdaten



Dr. Manuel Bax
Project Manager / Consultant

T: +49 (0)1522 / 3183473
E: manuel.bax@LBST.de



Martin Zerta
Senior Project Consultant / Prokurist

T: +49 (0)89 / 608 110-25
M: +49 176 10 14 45 91
E: martin.zerta@LBST.de

Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH

Daimlerstraße 15 · 85521 Ottobrunn · Deutschland
+49 89 6081100 · +49 89 6099731 (Fax)
info@lbst.de · www.lbst.de
<https://de.linkedin.com/company/lbst-gmbh>

*Eine Studie im Auftrag des Projekts HyMobility
des Deutschen Wasserstoff-Verbandes (DWW) e.V.*

Über HyMobility



Das Projekt HyMobility wird im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie mit insgesamt 1,8 Mio. Euro durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördert. Die Förderrichtlinie wird von der NOW GmbH koordiniert und durch den Projektträger Jülich (PTJ) umgesetzt.



Gefördert durch:



Koordiniert durch:



Projektträger:



Weitere Informationen unter: www.dww-hymobility.de



ANHANG

VERTIEFUNG: MODELLIERUNG DER
FAHRZEUGZAHLEN IN DEUTSCHLAND

Herleitung der Fahrzeugzahlen für schwere Long-Haul-Lkw (4-LH, 5-LH, 9-LH, 10-LH) in Deutschland

- **Ausgangspunkt:** KBA-Daten zu schweren Lkw und Sattelzugmaschinen^{1),2),3)}
 - Bestand: 226.103 SZM
 - mittlere Fahrleistung: 86.585 km/Jahr
 - Neuzulassungen: 31.665 SZM/Jahr
- **VECTO-Klassifizierung (ICCT)⁴⁾:**
 - Nutzung der EU-weiten Shares und mittleren Fahrleistungen je Klasse
 - Relevante Long-Haul-Klassen: 4-LH, 5-LH, 9-LH, 10-LH
- **Zuordnung der SZM:**
 - 5-LH (4×2 SZM) und 10-LH (6×2 SZM) gelten als Untermenge der KBA-Sattelzugmaschinen
 - Anzahl dieser Klassen wird über Verrechnung der VECTO-Shares mit KBA-Bestand und Fahrleistungen abgeschätzt
- **Ergänzung um Rigid-Fahrzeuge:**
 - 4-LH (4×2 Rigid) und 9-LH (6×2 Rigid) abgeleitet über relative Anteile der ICCT-Shares am Gesamtbestand
 - ergibt Gesamtzahl der Long-Haul-Fahrzeuge in DE
- **Ergebnis (aggregiert):**
 - ca. 129.000 Long-Haul-Fahrzeuge in DE (4-LH, 5-LH, 9-LH, 10-LH)
 - durchschnittliche Fahrleistung: 123.000 km/Jahr bzw. 530 km/Tag
 - mittlerer Energieverbrauch: 120 kWh/100 km

1) KBA 2025: Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken, 1. Januar 2025 (FZ 1)

2) KBA 2024: Verkehr in Kilometern – Zeitreihe 2014-2024 (VK 2024)

3) KBA 2024: Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen, Jahr 2024 (FZ 14)

4) ICCT 2023: The European Heavy-Duty Vehicle Market Until 2040: Analysis of Decarbonisation Pathways

Datenbasis: VECTO-Fahrzeugklassen schwerer Lkw

Relevant für diese Studie sind ausschließlich Long-Haul-Fahrzeuge (vorwiegend Autobahnbetrieb)

VECTO-Klasse	Achskonfig.	Typ	Einsatzprofil	Typischer Anwendungsfall	Anteil am VECTO-Gesamtbestand (EU, alle zertifizierten Lkw) ¹⁾	Mittlere Fahrleistung [km/Jahr] ^{1), 2)}	Tagesfahrleistung [km/Tag] ^{1), 2)}
5-LH	4×2	SZM	Long Haul	klassischer 40-t-Fernverkehr mit Curtainsider/Kühlaufleger auf BAB-Achsen	60,9%	127.600	550
5-RD	4×2	SZM	Regional Delivery	Werks-/Distributionsverkehre, häufiger Wechsel BAB/B-Straße, mehr Stopps	0,5%	78.000	
10-LH	6×2	SZM	Long Haul	3-Achs-SZM für hohe Nutzlast/Spezialaufleger im Fernverkehr	3,0%	107.000	461
10-RD	6×2	SZM	Regional Delivery	3-Achs-SZM in regionalen Schwer-/Spezialverkehren, anspruchsvolle Achslasten	0,01%	68.000	
4-LH	4×2	Rigid	Long Haul	18–26-t-Sololastwagen/Gliederzug im Linien-/Fernverkehr (z. B. Paket-Linehaul, Getränke/Handel, Tank/Silo ohne SZM)	3,0%	98.000	422
4-RD	4×2	Rigid	Regional Delivery	18–26-t-Sololastwagen/Gliederzug im Verteiler-/Werksverkehr (LEH, Getränketurnen, Baustoffe, Tank/Silo ohne SZM), viele Stopps	4,2%	78.000	
9-LH	6×2	Rigid	Long Haul	6×2-Sololastwagen/Gliederzug mit Schlafkabine für lange Distanzen (z. B. Tank/Silo, Getränke/Volumen)	10,0%	108.000	466
9-RD	6×2	Rigid	Regional Delivery	6×2-Sololastwagen/Gliederzug mit höherer Achslast/Volumen, regionale Tank/Silo-, Getränke-, Stückgut- und Werksverkehre	4,1%	73.000	

1) ICCT 2023 – The European Heavy-Duty Vehicle Market Until 2040: Analysis of Decarbonisation Pathways

2) Comité national routier – <https://www.cnr.fr/en/detail-pays/2>