LANGFRISTSZENARIEN FÜR DIE TRANSFORMATION DES ENERGIESYSTEMS IN DEUTSCHLAND (LFS4)

Vorstellung Vorabanalyse Ladeinfrastruktur E-Lkw | 18.11.2025

Fraunhofer ISI consentec ifeu TU berlin E&R Energy and Resources

Ladeinfrastruktur E-LKW inkl. Modellerweiterungen

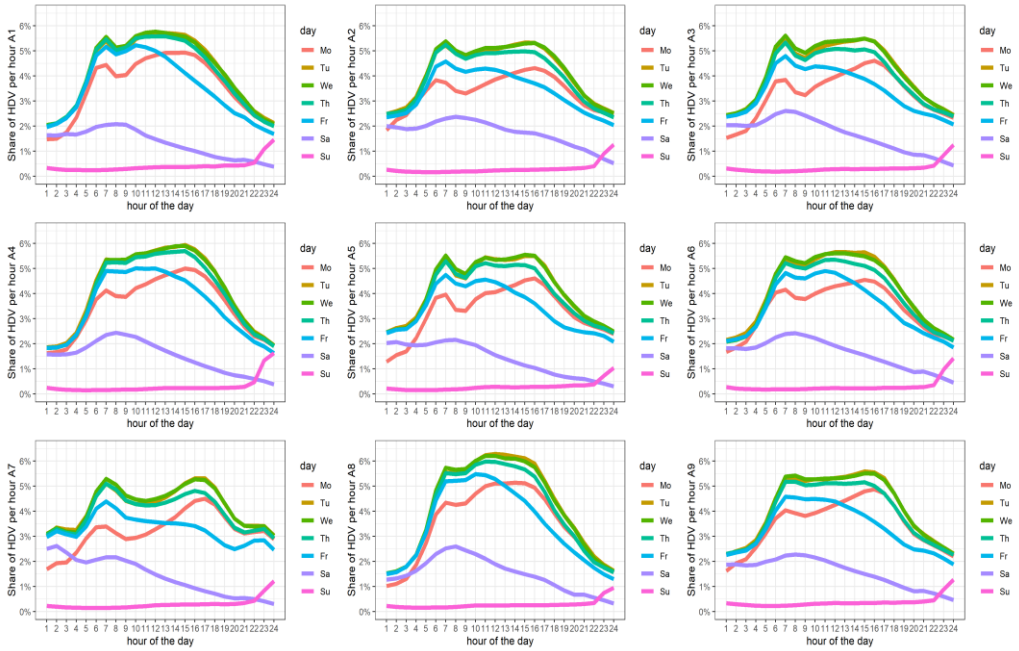
Quelle: Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur
(https://nationale-leitstelle.de/nutzfahrzeuge/)

Quelle: eWayBW (Bild: Renata Sas)
(https://ewaybw.de/de/ewaybw/)

Während in früheren Szenarien die Elektrifizierung des Lkw-Langstreckenverkehrs zu relevanten Teilen über Oberleitungsinfrastruktur (Bild rechts) erfolgte, deuten aktuelle Entwicklungen in der Praxis sowie die Modellergebnisse der O45-Szenarien verstärkt auf stationäres, öffentliches Laden hin (Bild links). Entsprechend verändert sich der Strombezug. Dies erfordert zusätzliche Analysen im Hinblick auf das Lastprofil.

Ladeinfrastruktur E-Lkw: Ausgangssituation mit hohem Anteil von Oberleitungs-Lkw

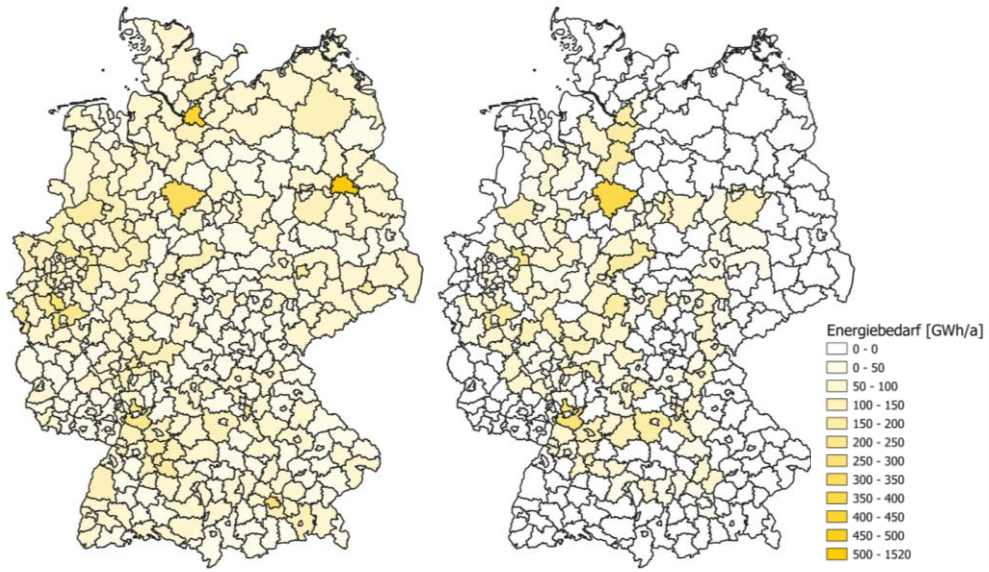
Lastkurven für Lkw-Stromnachfrage (Verkehr auf deutschen Autobahnen im Tagesverlauf)



Der Ladebedarf fällt an, wenn die Fahrzeuge unterwegs sind. Verschiebung von dynamischem Laden (Oberleitung) zu statischem Laden (Schnellladen) verschiebt den Bedarf in Standzeiten.

Quelle: Speth et al. (2022): *Public fast charging infrastructure for battery electric trucks—a model-based network for Germany*. Environmental Research: Infrastructure and Sustainability. 2 025004.

Regionale Verteilung des Lkw-Ladebedarfs



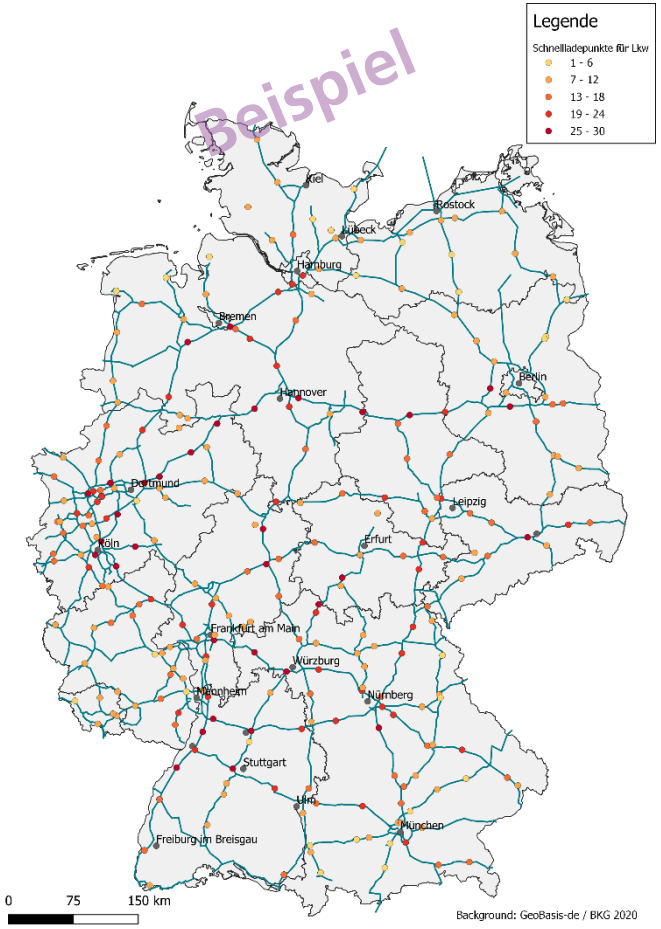
Die regionale Verteilung erfolgt anhand der Fahrzeugzulassung (Depotladen, Bild links) sowie anhand des Verkehrsaufkommens (Oberleitung, Bild rechts) und wird dann kumuliert betrachtet.

Quelle: Beispielhafte Darstellung, basierend auf Langfristszenarien 3

Ladeinfrastruktur E-Lkw: Einfluss von Infrastruktur auf den Markthochlauf - Annahmen

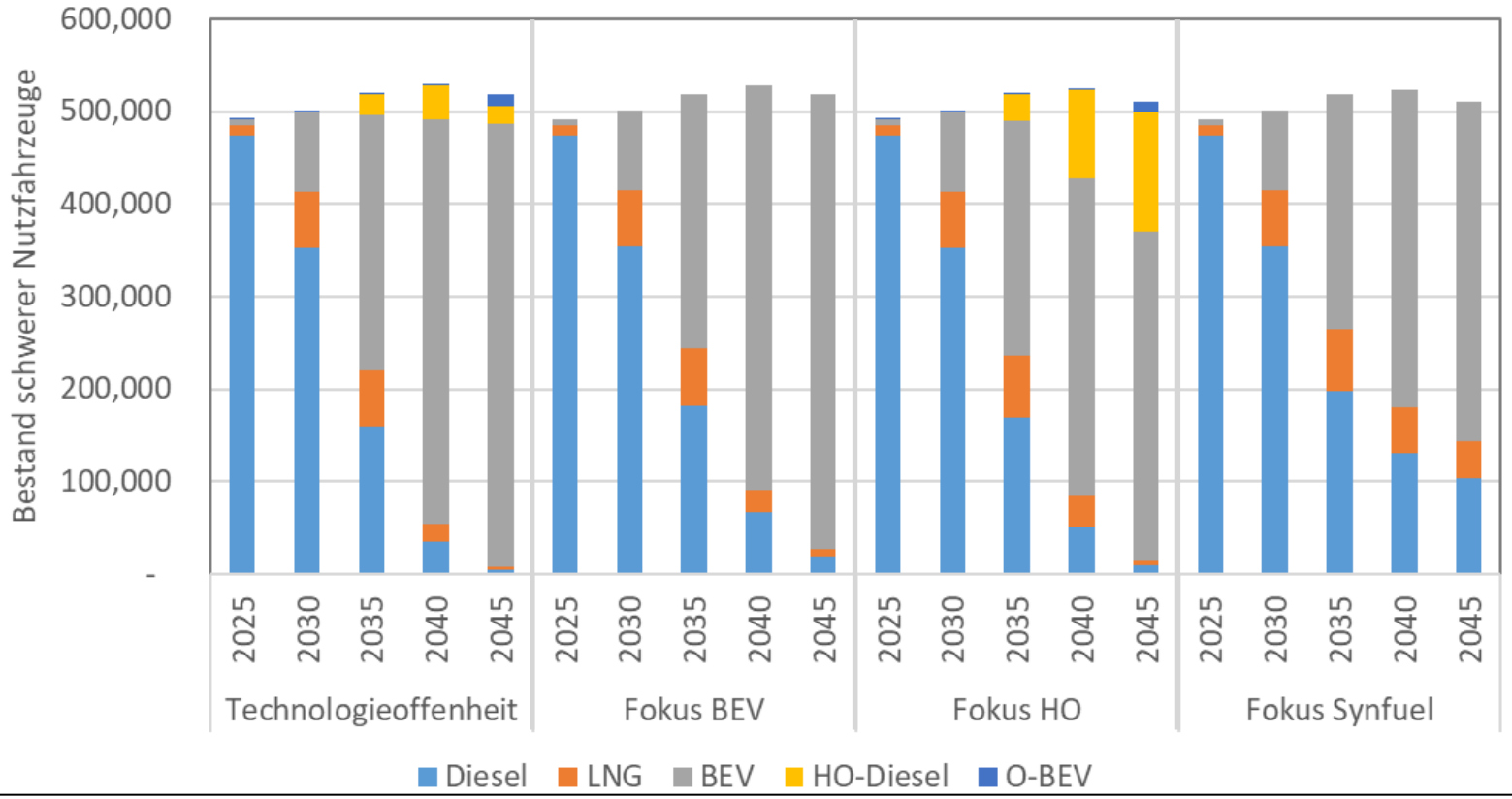
Szenario	MCS-Ladepunkte	Oberleitung [km]	MCS-Ladepunkte	Oberleitung [km]
Jahr	**2030**		**2045**	
Technologieoffenheit (=O45-Strom)	1000	1000	~3800	4000
Fokus BEV	1000	0	~3800	0
Fokus HO	1000	1000	1000	4000
Fokus Synfuel	1000	0	1000	0

In einer Szenarionvariation, basierend auf dem Szenario O45-Strom, wird der Einfluss der Infrastruktur auf den Markthochlauf untersucht. Im Szenario „Fokus BEV“ wird die Infrastruktur für stationäres Laden vollständig ausgebaut. Im Szenario „Fokus HO“ wird die dynamische Ladeinfrastruktur (Oberleitung) vollständig ausgebaut. Im Szenario „Fokus Synfuel“ wird keine der Infrastrukturen vollständig ausgebaut. In allen Szenarien wird davon ausgegangen, dass die aktuellen Vorgaben der AFIR (vereinfacht dargestellt als 1000 MW-Lader) erfüllt werden. Außerdem steht in allen Szenarien Depotladen zur Verfügung.



Quelle: Eigene Berechnung basierend auf Speth et al. (2022): *Public fast charging infrastructure for battery electric trucks—a model-based network for Germany*. Environmental Research: Infrastructure and Sustainability. 2 025004.

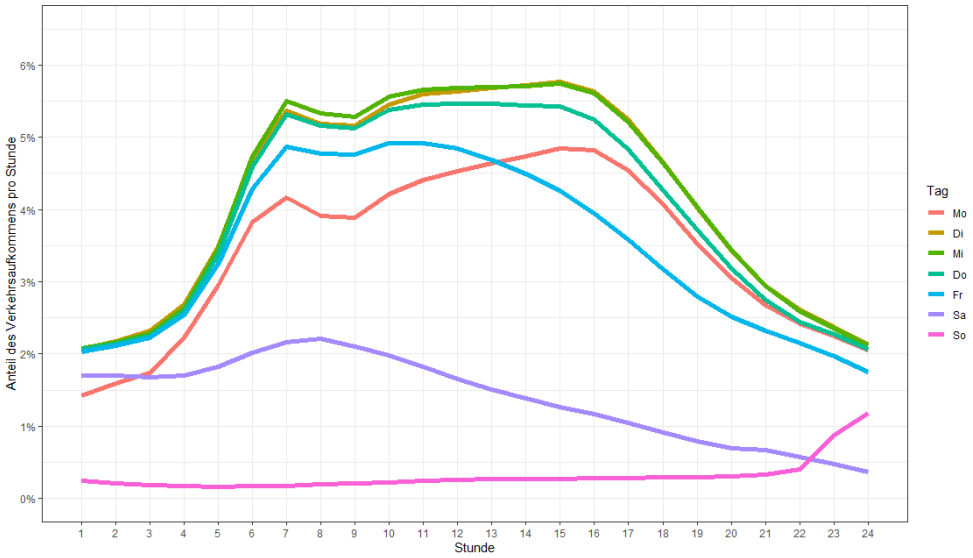
Ladeinfrastruktur E-Lkw: Einfluss von Infrastruktur auf den Markthochlauf - Ergebnisse



Circa 20 % aller schweren Nutzfahrzeuge (nicht elektrifizierter Teil im Szenario Fokus Synfuel) sind auf eine hoch ausgebaute öffentliche Ladeinfrastruktur angewiesen. Diese kann sowohl als Oberleitung (Fokus HO) als auch als stationäres Laden (Fokus BEV) ausgeführt sein. Falls beide Infrastrukturen zur Verfügung stehen (Technologieoffenheit) wird – unter den hier getroffenen Annahmen – verstärkt stationäres Laden genutzt.

Ladeinfrastruktur E-Lkw: Weiterentwicklung der Lastkurve

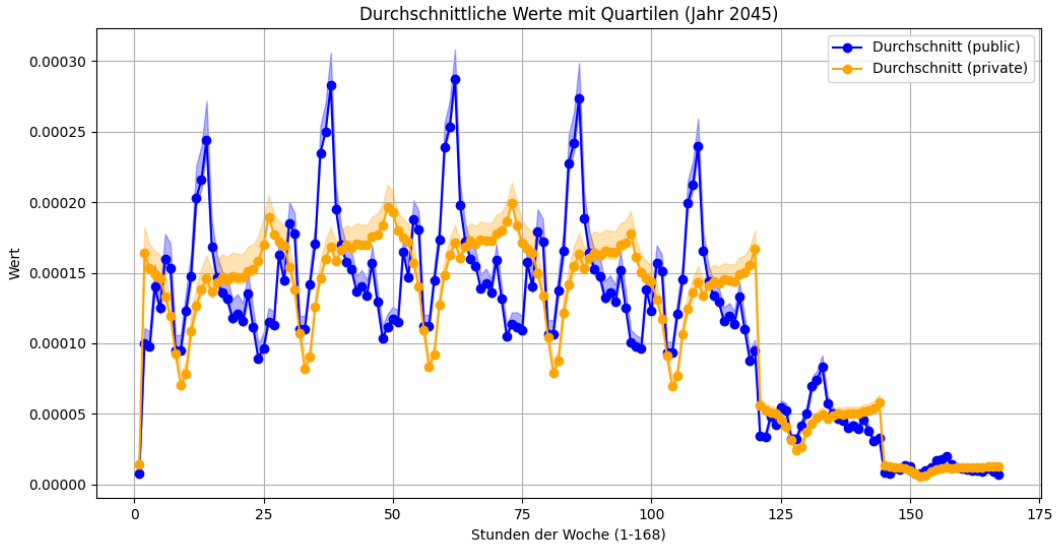
Ausgangspunkt



Bislang beruhte die unterstellte Lastkurve auf dem Verkehrsaufkommen auf deutschen Autobahnen, da die Oberleitung Nachladen während der Fahrt erlaubt.

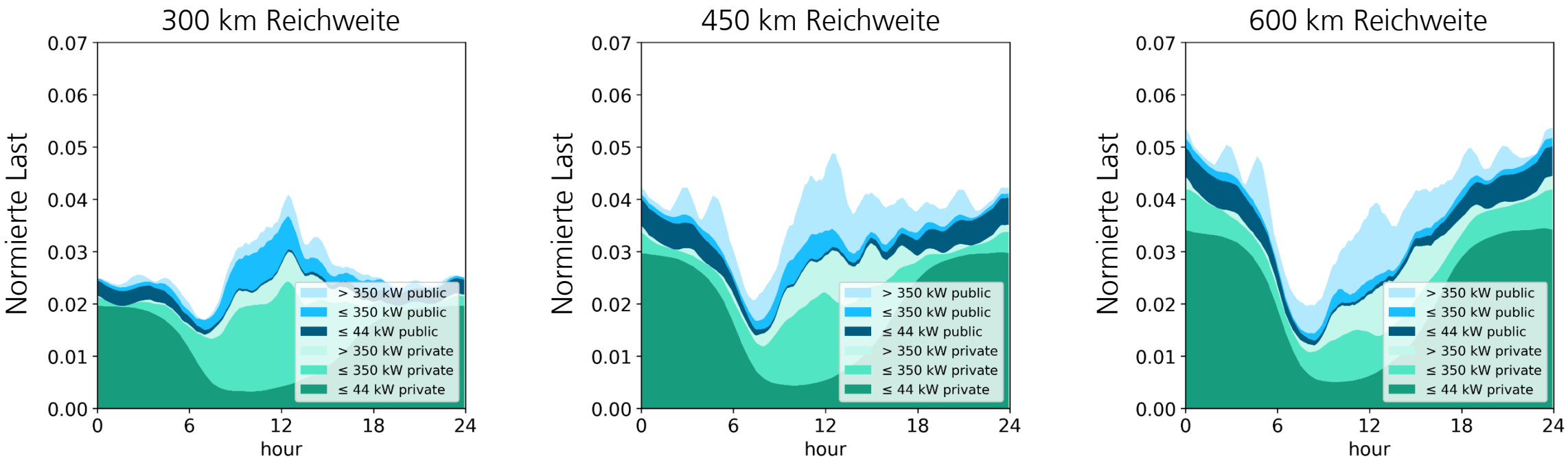
Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf Speth et al. (2022): *Public fast charging infrastructure for battery electric trucks—a model-based network for Germany*. Environmental Research: Infrastructure and Sustainability. 2 025004.

Neumodellierung



Die neuen Lastkurven unterscheiden zwischen öffentlichem, stationärem Laden (deutlicher Mittagspeak in der Lenkzeitunterbrechung) und privatem Depotladen (in den Abend- und Nachstunden, wenn die Fahrzeuge abgestellt sind). Die ursprüngliche Lastkurve wird weiterhin für Oberleitungs-Lkw verwendet. Insgesamt erfolgt also eine detailliertere Betrachtung.

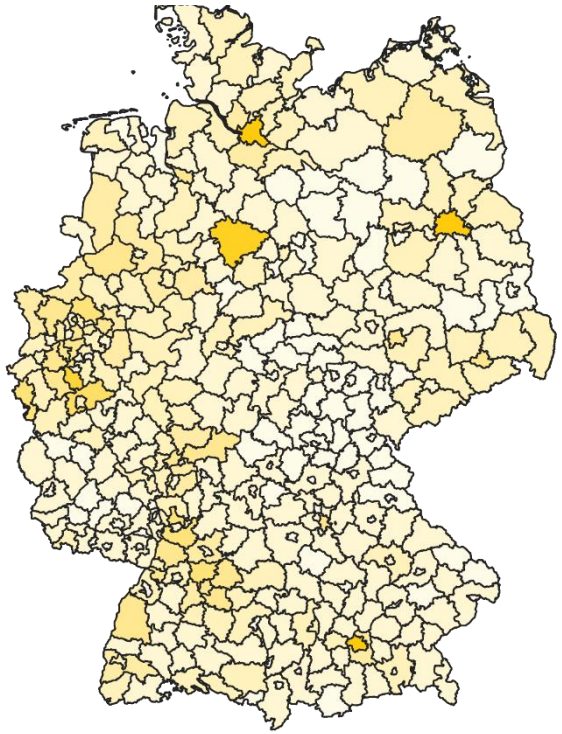
Ladeinfrastruktur E-Lkw: Reichweitenabhängigkeit der Lastkurve



Die zu erwartende Lastkurve variiert auch in Abhängigkeit von der Fahrzeugreichweite. Je höher die Reichweite, desto geringer ist der Bedarf nach Zwischenladen. Große Batterien reduzieren den Ladebedarf am Mittag und erhöhen den Ladebedarf in den Abend- und Nachstunden. In allen Fällen wurde unterstellt, dass möglichst langsam geladen wird. Ein anderes Ladeverhalten würde zusätzliche Peaks verursachen.

Ladeinfrastruktur E-Lkw: Verteilung des Energiebedarfs in Deutschland für privates und öffentliches Laden von Lkw

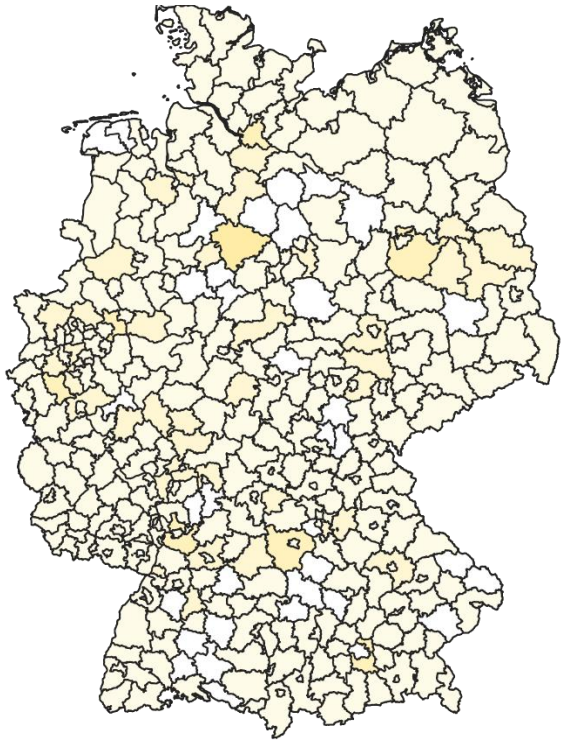
O45-Strom 2045 - privat



Energiebedarf [GWh/a]

- 0 - 0
- 0 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- 200 - 250
- 250 - 300
- 300 - 350
- 350 - 400
- 400 - 450
- 450 - 500
- 500 - 1520

O45-Strom 2045 - öffentlich



Der private Ladebedarf (Depotladen) verteilt sich annahmengemäß analog zu den Fahrzeugbeständen in Deutschland.

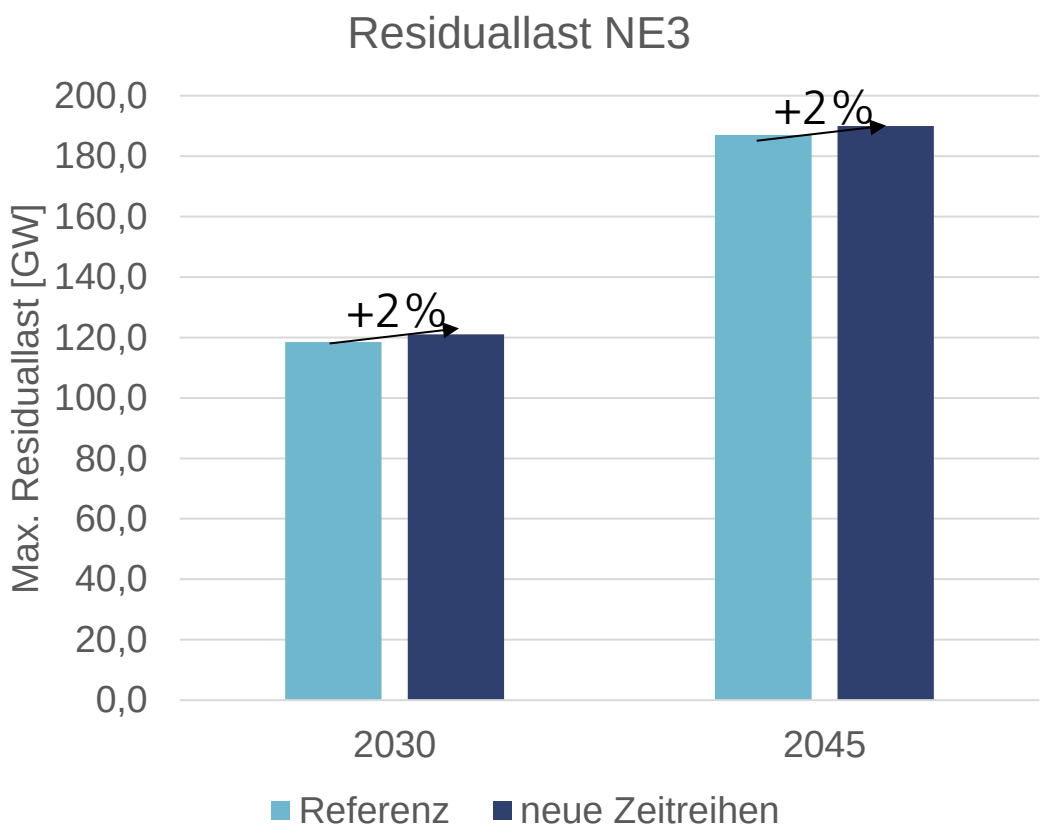
Der öffentliche Ladebedarf verteilt sich regional anhand des Verkehrsaufkommens auf Autobahnen auf die NUTS3-Regionen.

Modellerweiterung LIS E-LKW
Motivation und Umsetzungsvorschlag

- **Bisherige Annahme:** überwiegend Depotlader und O-LKW mit nur geringen Auswirkungen auf netzdimensionierungsrelevante Spitzenlast
- **Neue Annahme:** Zunehmend mehr batterieelektrische LKW mit untertägiger Nachladung und Hochleistungslader entlang Autobahnen
- *Frage 1: Wie wirken geänderte Nachfrageprofile auf Spitzenlast?*

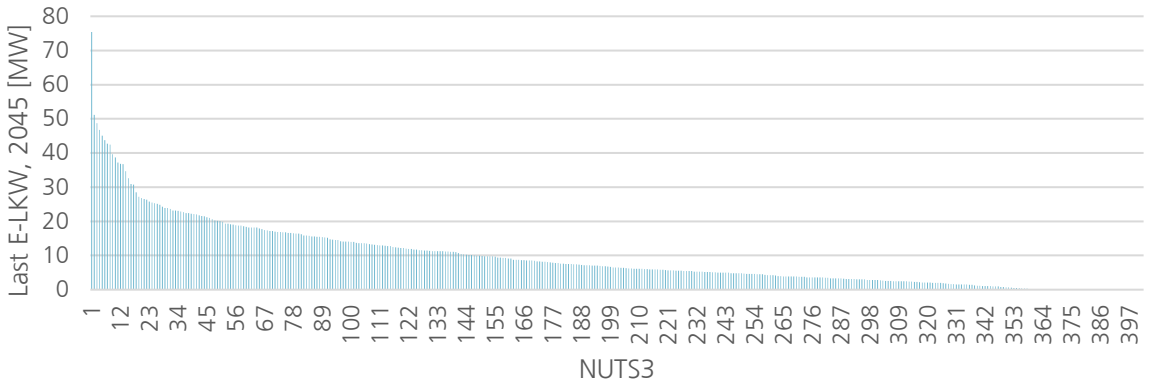
- **Bisherige Annahme:** Lasten innerhalb NUTS3 homogen verteilt
- **Neue Annahme:** Hochleistungsladen ist Punktlast → Modellanpassung erforderlich
- *Frage 2: Wie wirken geänderte Nachfrageprofile und Modellanpassung auf Netzausbaukosten?*

Wie wirken geänderte LKW-Nachfrageprofile?



(dargestellt ist die Summe der zeitungleichen Residuallasten je NUTS3)

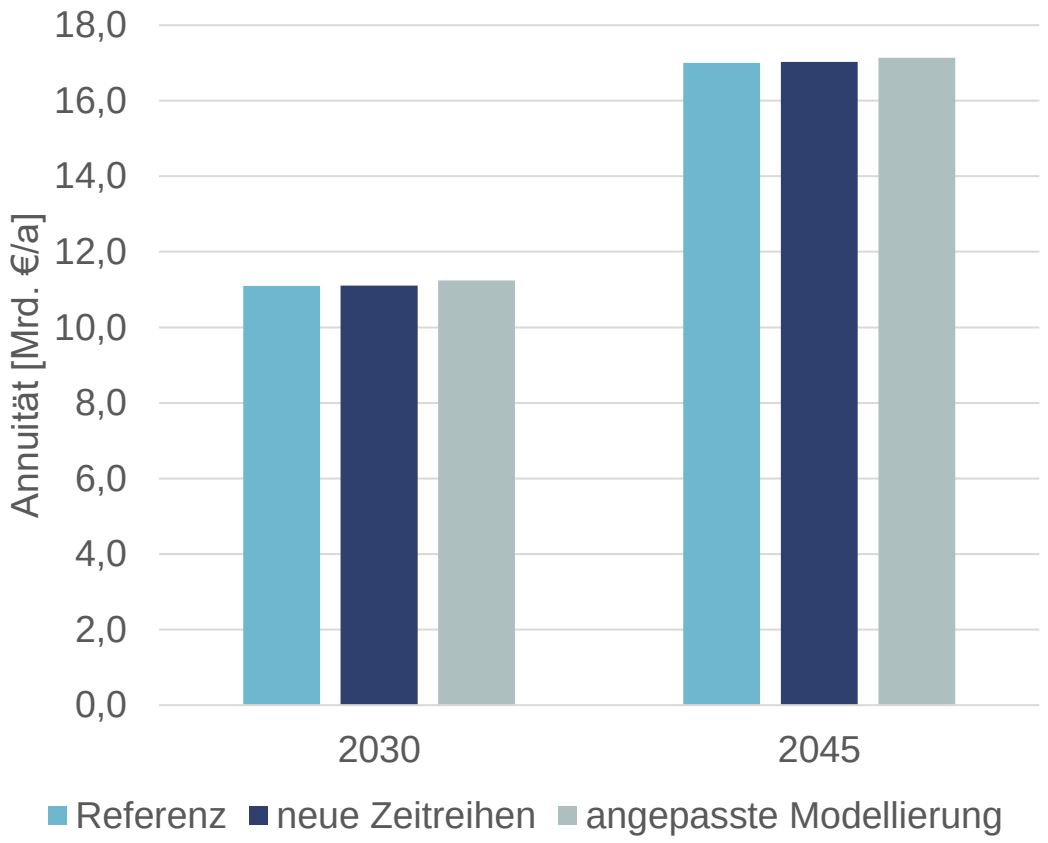
- Neue Nachfrageprofile führen zu leicht höherer potenziell auslegungsrelevanter Residuallast (ca. +2%)
- Residuallastanstieg ca. 50% der Leistungsspitze der LKW-Zeitreihe (2045: ~ 2 vs. 4 GW), d.h. Ladungen nur teilweise zur Belastungsspitze (Hinweis: Ladezeitpunkte praxisnah als inflexibel angenommen)
- Nur wenige Regionen mit sehr hohen oder gar keinen Lasten, Mittelwert ca. 10 MW je NUTS3
- Höchste Lasten in NUTS3 mit Verkehrsknotenpunkten



Modellerweiterung der Stromverteilnetzmodellierung (Modellnetzanalyse, MNA)

- Grundidee
  - Anbindung der E-LKW-Lasten (öffentliche Ladepunkte) je NUTS3 mittels singulär genutztem HS-/MS-UW und NE3-Kabel an (bestehende) NE2-Station
  - Berechnung des übrigen erforderlichen Netzausbaus ohne Beitrag durch E-LKW
  - Superposition der beiden Kostenbeiträge
- Herausforderungen
  - Separierung des Lastbeitrags von E-LKW in NE3: gegeben, da E-LKW separate Zeitreihe (inflexibel)
  - Dimensionierung der Anbindung der E-LKW-Punktlasten je NUTS3
    - Ermittlung Anzahl HS-/MS-UW aus separater E-LKW-Zeitreihe
    - Leitungslänge NE3 entspricht Versorgungsradius NE2-Station je NUTS3 (maximal möglicher Anbindungsabstand)
    - anschließend Bewertung Anzahl UW und Leitungslänge mit Standard-Kostenansätzen

Wie wirken geänderte LKW-Nachfrageprofile und Modellanpassung auf VN-Kosten?



- Kostenwirkung in beiden Varianten recht gering; Höhe der Leistungsänderung aber auch nur sehr moderat
- E-LKW-Lasten befinden sich entweder in Gebieten (ca. 50%) mit sehr geringer oder (ca. 30%) sehr hoher EE-Durchdringung; damit ist die Wirkung auf die Kosten insgesamt gedämpft
- Zusätzliche Kosten durch geänderte Modellierung ca. 110 Mio. €/a, entspricht ca. 8,50 €/MWh → voraussichtlich nicht entscheidungsrelevant