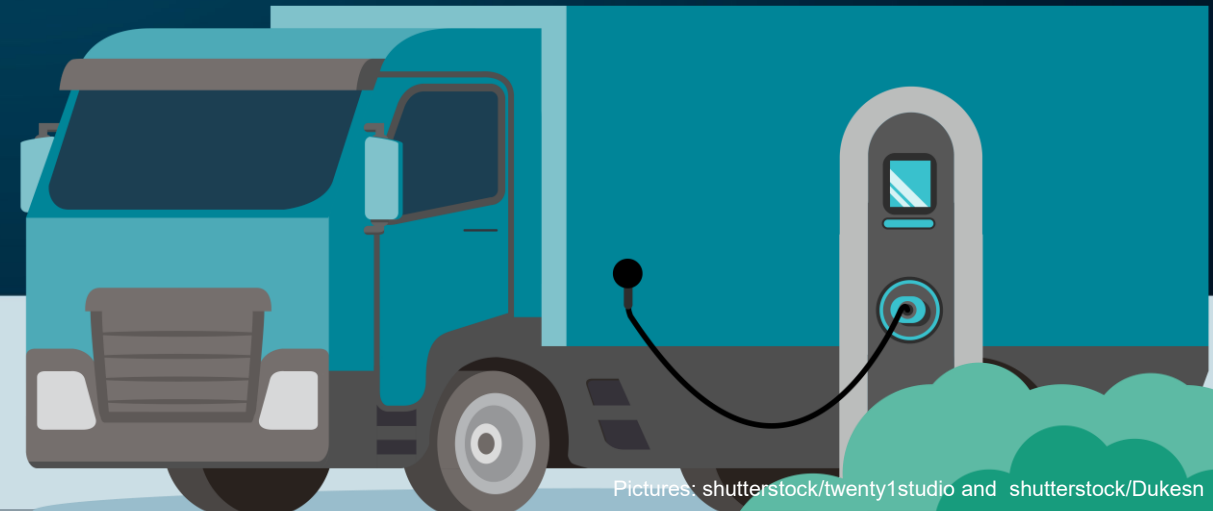


Erfolgsfaktoren für die Elektrifizierung von Logistikflotten

Dr. Till Gnann, Prof. Dr. Patrick Plötz, Steffen Link,
Dr. Daniel Speth

Fraunhofer ISI – 02.04.2025



Agenda

Erfolgsfaktoren für die Elektrifizierung von Logistikflotten

1. Begrüßung und Einführung

2. Wirtschaftliche Elektrifizierung von Logistikflotten
3. Infrastruktur und Ladeanforderungen für Elektro-Lkw
4. Offene Diskussion



Picture: shutterstock/twenty1studio

Motivation und Zielsetzung

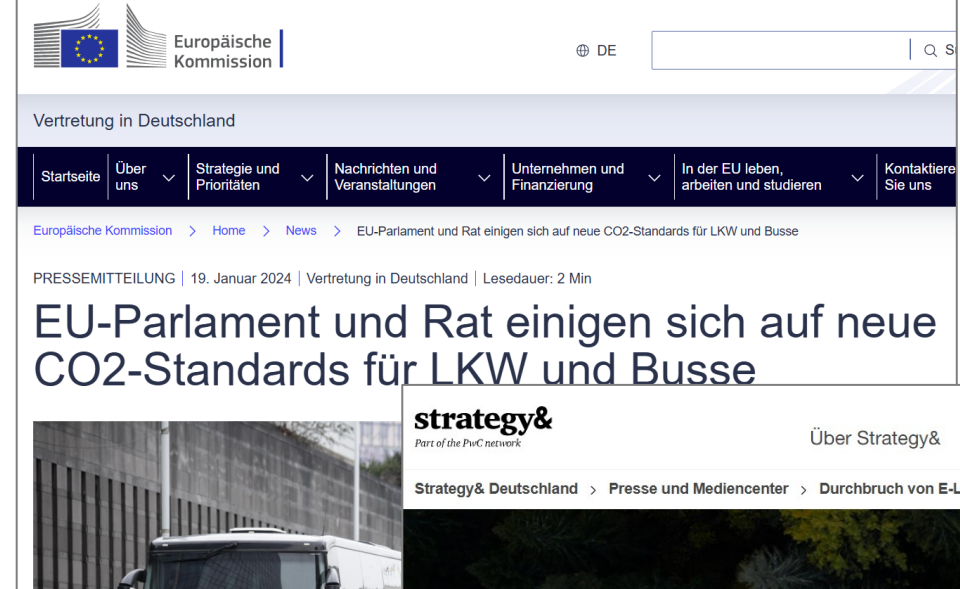
Erfolgsfaktoren für die Elektrifizierung von Logistikflotten

Wichtiges und aktuelles Thema

- Klimaziele der Bundesregierung und EU
- Flottengrenzwerte
- Wunsch von Kunden nach Treibhausgasarmer Belieferung

Viele Unsicherheiten bei Unternehmen

- Gibt es überhaupt passende Fahrzeuge?
- Passt mein Fahrverhalten zu einem Elektro-Lkw?
- Welche Infrastruktur brauche ich und was bedeutet das für meinen Netzanschluss?
- Reicht die öffentliche Ladeinfrastruktur nicht aus?



Europäische Kommission

Vertretung in Deutschland

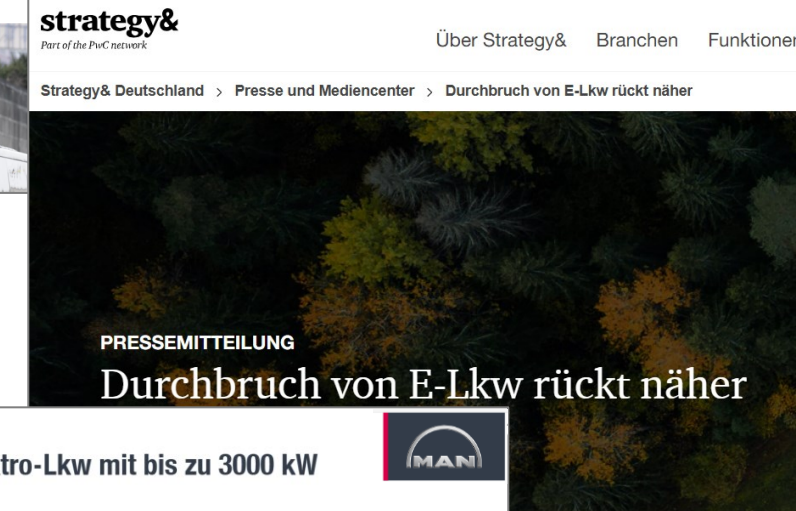
Startseite Über uns Strategie und Prioritäten Nachrichten und Veranstaltungen Unternehmen und Finanzierung In der EU leben, arbeiten und studieren Kontaktiere Sie uns

Europäische Kommission > Home > News > EU-Parlament und Rat einigen sich auf neue CO2-Standards für LKW und Busse

PRESSEMITTEILUNG | 19. Januar 2024 | Vertretung in Deutschland | Lesedauer: 2 Min

EU-Parlament und Rat einigen sich auf neue CO2-Standards für LKW und Busse

Quelle: [1]



strategy& Part of the ProC network

Über Strategy& Branchen Funktionen

Strategy& Deutschland > Presse und Medientcenter > Durchbruch von E-Lkw rückt näher

Durchbruch von E-Lkw rückt näher

Quelle: [2]



19-07-2024

Megawattladen für Elektro-Lkw mit bis zu 3000 kW

NEFTON liefert Ladekonzepte für emissionsfreien Güterverkehr

- MAN Truck & Bus, Technische Universität München und weitere Partner stellen Ergebnisse von Lade-Infrastruktur-Forschungsprojekt NEFTON vor
- **Erstmals öffentliche Lade-Demonstration mit über 1000 kW im Beisein von Staatsminister Hubert Aiwanger**
- Ladeleistungen bis 3000 kW und bidirektionales Laden bereits im Fokus
- Öffentlicher Ladeinfrastrukturausbau dringend benötigt

Quelle: [3]

Motivation und Zielsetzung

Erfolgsfaktoren für die Elektrifizierung von Logistikflotten

Themen

- Technisch-wirtschaftliche Machbarkeit von E-Lkw
- MCS und MCS-Ladennetze
- Markteinführung von alternativen Antriebssystemen für Lkw
- Ladestationen für Batterie-Lkw
- Elektrische Straßensysteme (v.a. Oberleitungs-Lkw)
- Auswirkungen E-Lkw auf das Stromsystem

Projekte

- Rewe Machbarkeit E-Lkw; HoLa (Hochleistungsladen E-Lkw im Fernverkehr)
- HoLa, STORM, MACBETH, BW eRoads
- ACEA Blue Slide, UBA Pathways NetZero, Langfristszenarien, P&G Innovation Platform
- EDEKA Machbarkeit, Einride, T&E Depotladen, MAN-Laden
- COLLERS 2, eWayBW, BOLD
- Langfristszenarien, HoLa, Ariadne

Kunden und Partner



Agenda

Erfolgsfaktoren für die Elektrifizierung von Logistikflotten

1. Begrüßung und Einführung

2. Wirtschaftliche Elektrifizierung von Logistikflotten

3. Infrastruktur und Ladeanforderungen für Elektro-Lkw

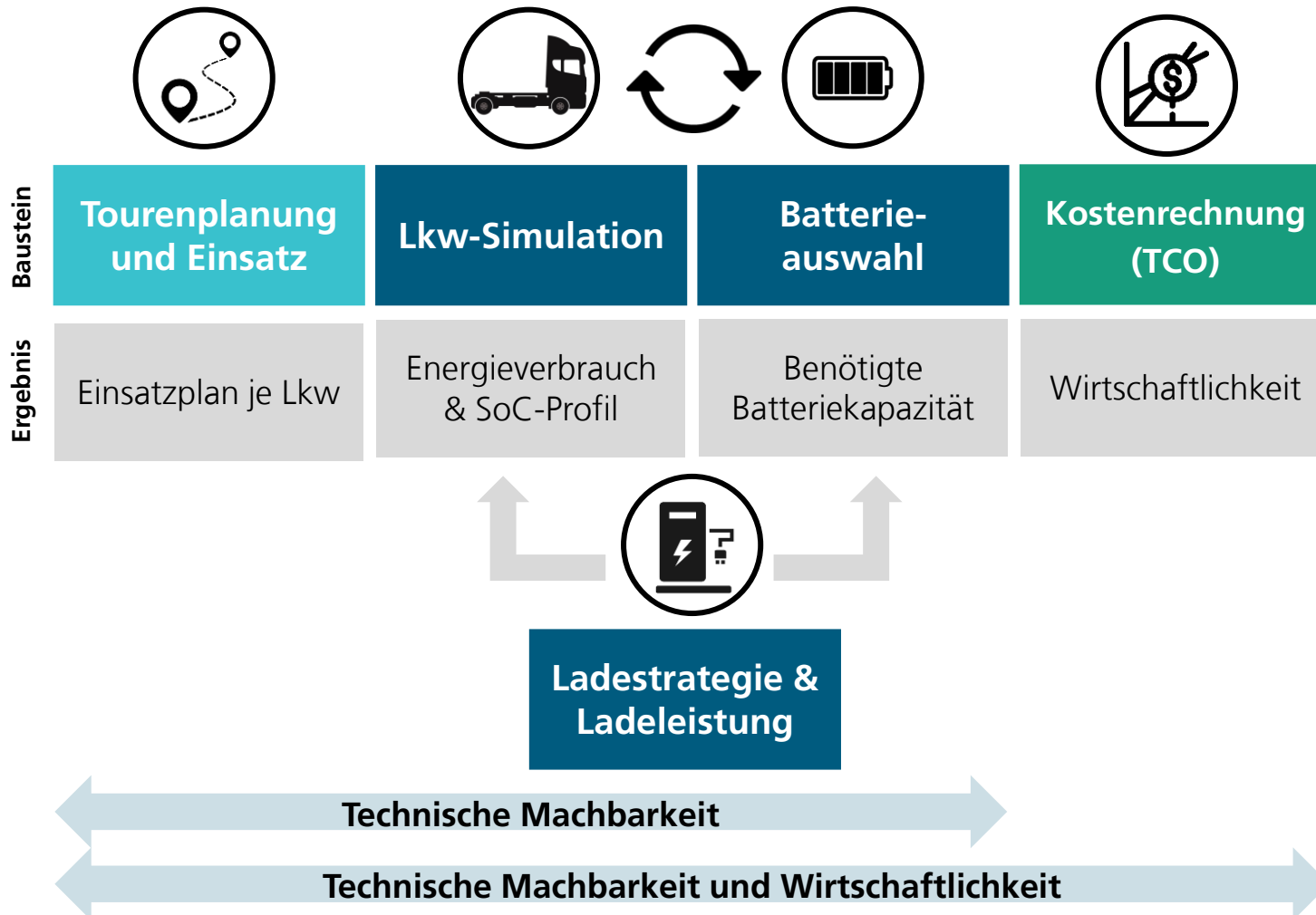
4. Offene Diskussion



Picture: shutterstock/twenty1studio

Fünf Bausteine im Zusammenspiel für eine gesamtheitliche Betrachtung

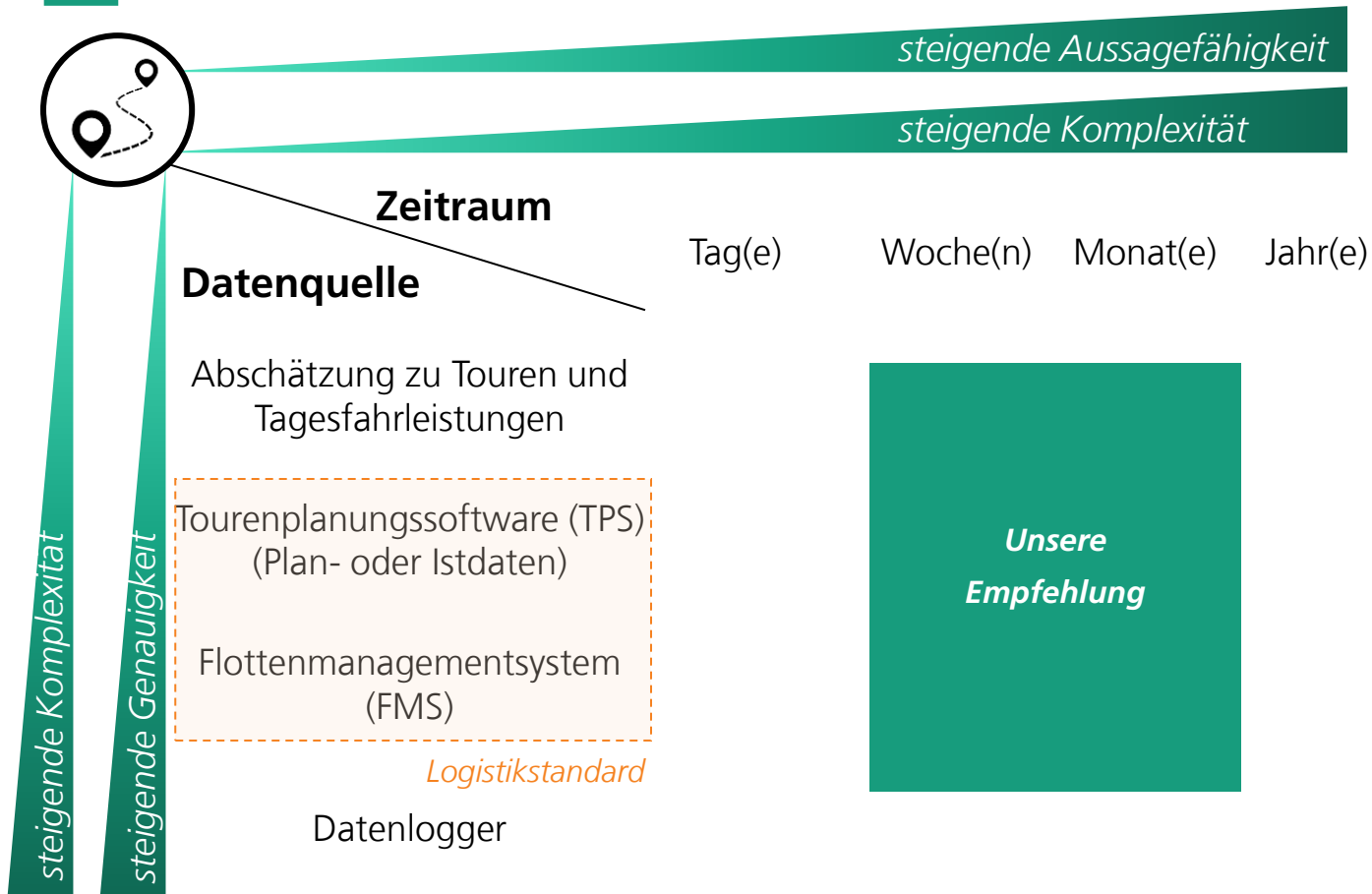
Unsere Vorgehensweise und Empfehlung



Technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit sind für eine erfolgreiche Elektrifizierung von Logistikflotten entscheidend.

Fahrdaten und Einsatzpläne bildet die Grundlage für spätere Analysen

Baustein 1: Tourenplanung und Einsatz (1/2)

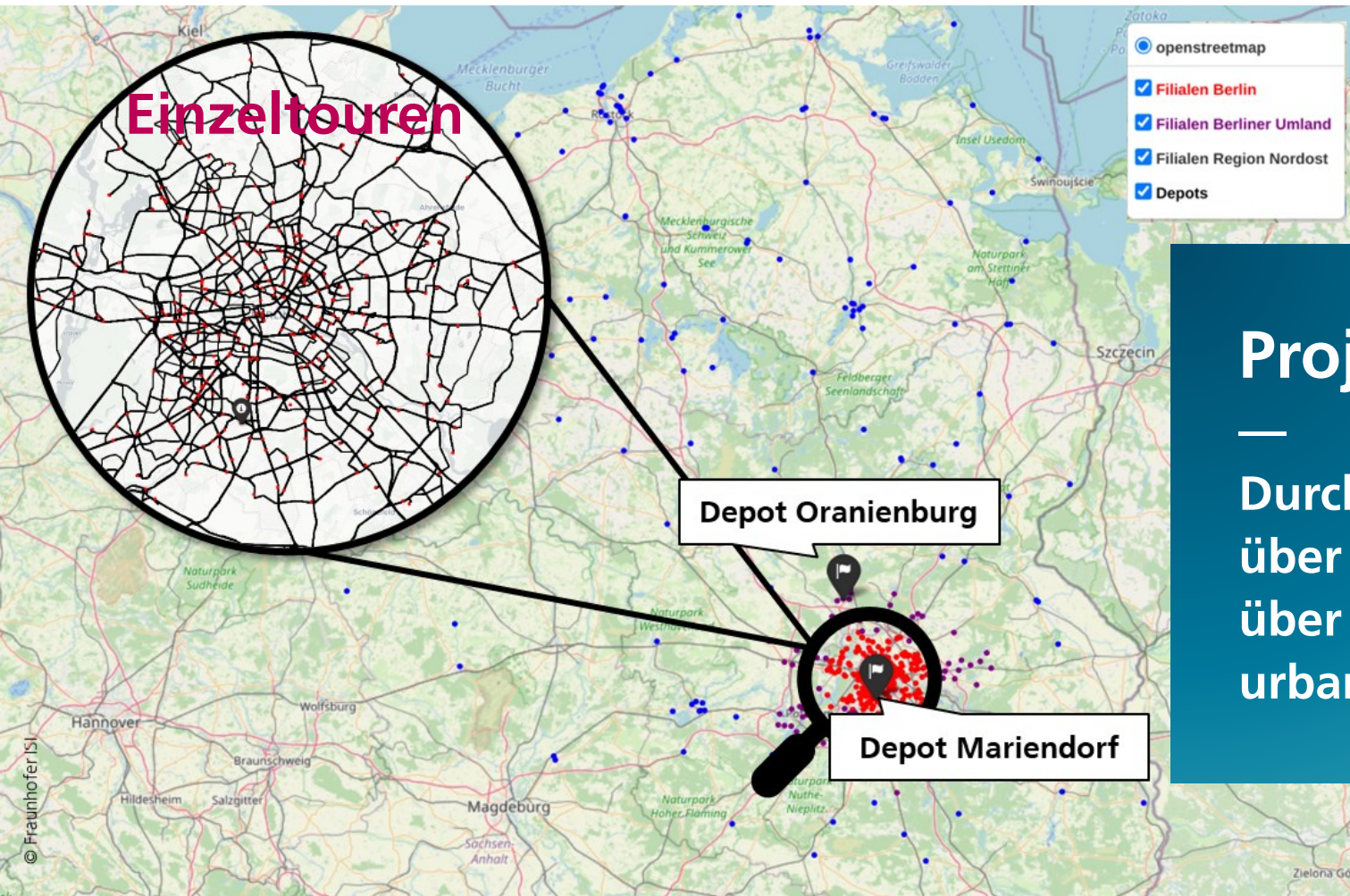


Leitfrage: Welche Daten sind verfügbar, und wie lassen sich die Touren und Einsatzbedingungen der Fahrzeuge beschreiben?

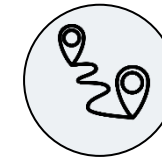
Ein mehrwöchiger Beobachtungszeitraum auf Basis von TPS- oder FMS-Daten erlaubt eine hohe Aussagefähigkeit

Fallbeispiel: Lieferverkehr mit Batterie-Lkw (Stand 2021)

Baustein 1: Tourenplanung und Einsatz (2/2)



543 belieferte
Filialen



9.500 Touren
1 Mio. km



224 Lkw
Klasse N3 (>18t)

Projekt ZeroEmissionDeliveries

Durchführung der Studie auf Basis von über 9.500 realen Touren zu 543 Filialen über einen Monat aus zwei Depots. Fokus urbaner und regionaler Verkehr.

Eine tourenspezifische Betrachtung ermittelt individuelle Energieverbräuche

Baustein 2&3: Lkw-Simulation und Batterien (1/3)



Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch

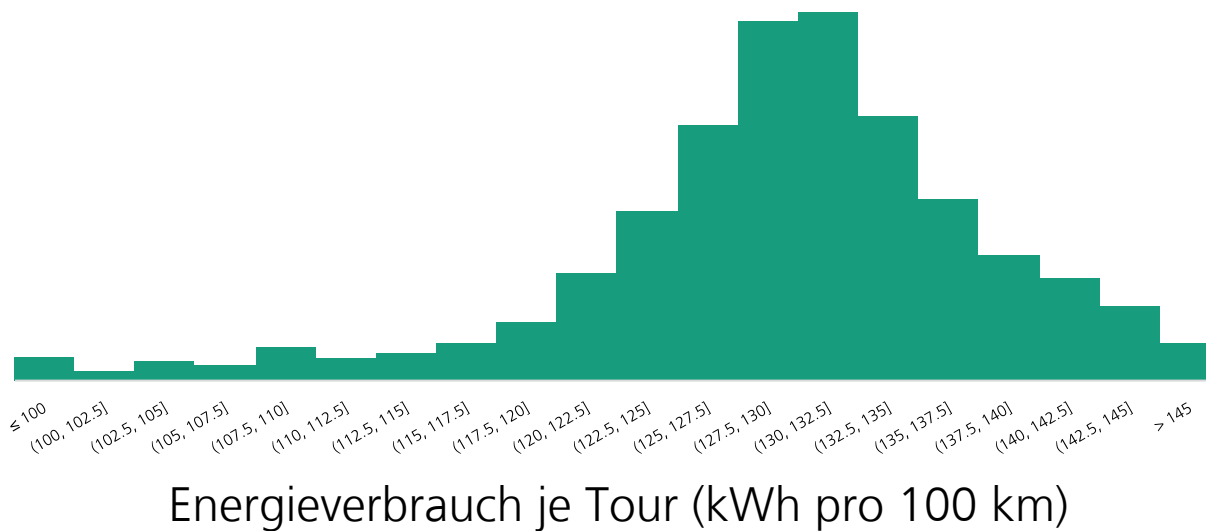
Tourspezifisch:

- Zuladung (Hänger, etc.)
- Geschwindigkeit & Dynamik
- Topographie
- Nebenverbraucher (Kühlung, etc.)

Weitere:

- Temperatur und Saisonalität

Häufigkeitsverteilung für
einen Lkw (Gliederzug)

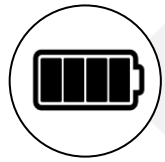


Aktuelle Energieverbräuche von Elektro-Lkw schwanken im Mittel zwischen 90 und 140 kWh/km, je nach Einsatzbedingungen.

„Den einen“ Energieverbrauch gibt es nicht – diese Schwankungen (und Unsicherheiten) sollten bei der Analyse berücksichtigt werden.

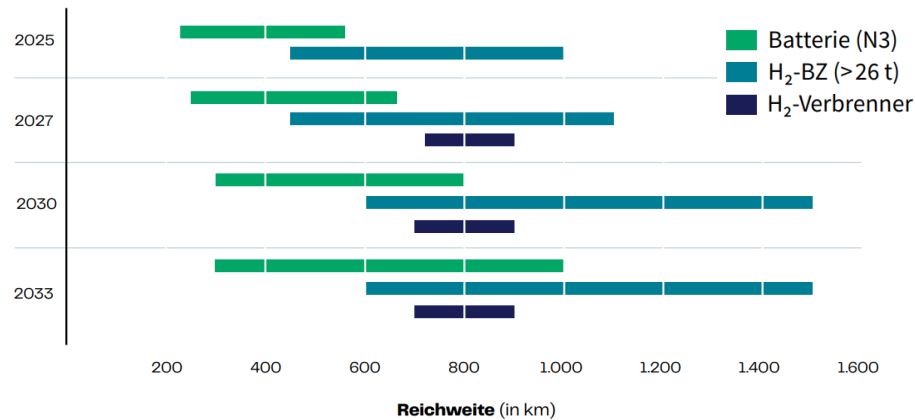
Die Batterieentwicklung wird die Elektrifizierung weiter vereinfachen

Baustein 2&3: Lkw-Simulation und Batterien (2/3)

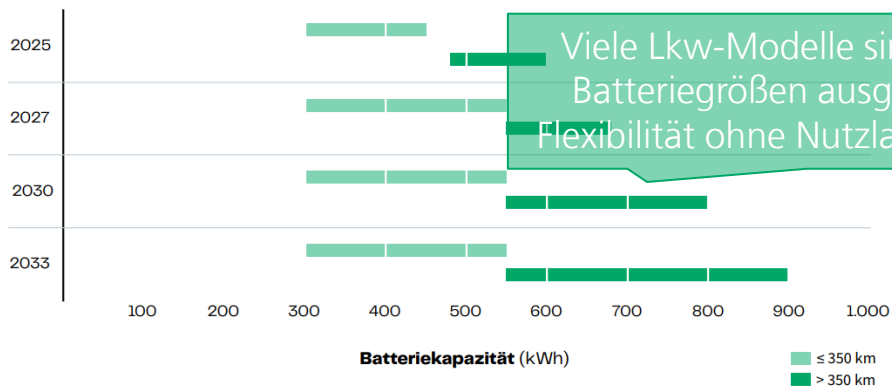


Reichweiten und Batteriegrößen

Prognostizierte Reichweiten
alternativ angetriebener
schwerer Lkw [1]



Prognostizierte
Batteriekapazitäten schwerer
Elektro-Lkw [1]



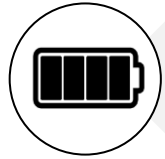
Viele Lkw-Modelle sind mit modularen Batteriegrößen ausgestattet, für volle Flexibilität ohne Nutzlasteinschränkungen

Leitfrage: Welche Reichweiten und Batteriegrößen sind für den individuellen Einsatz notwendig?

Anhand der Energieverbräuche im Einsatzplan können passende Batteriegrößen ausgewählt werden.

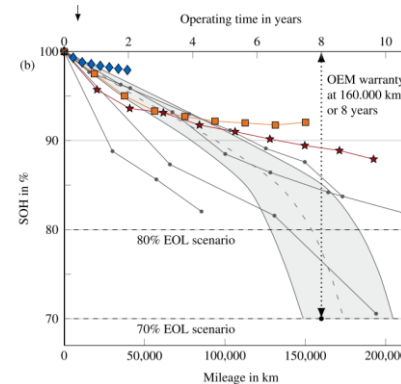
Unsicherheit aber Zuversicht bei Restwerten und Batteriealterung

Baustein 2&3: Lkw-Simulation und Batterien (3/3)



Batteriealterung

- Überlagerung von kalendarischen (ohne Nutzung) und zyklischen Alterungseffekten
- Typischerweise 70-80% State-of-Health (SoH) der Batterie (danach oftmals nicht-lineare / beschleunigte Alterungseffekte mit höherer Unsicherheit)



Quelle: Wassiliadis et al. (2022)

Status-Quo Batterien

- LFP: ~15-20 Jahre (kalendarisch) und ~5000 Zyklen (1C/1C, FEC)
- NMC: ~12-15 Jahre (kalendarisch) und ~3000 Zyklen (1C/1C, FEC)

Rechenbeispiel: 100,000 km pro Jahr @ 1,3 kWh pro km und 500 kWh Batterie

- -> **260 Vollzyklen pro Jahr**

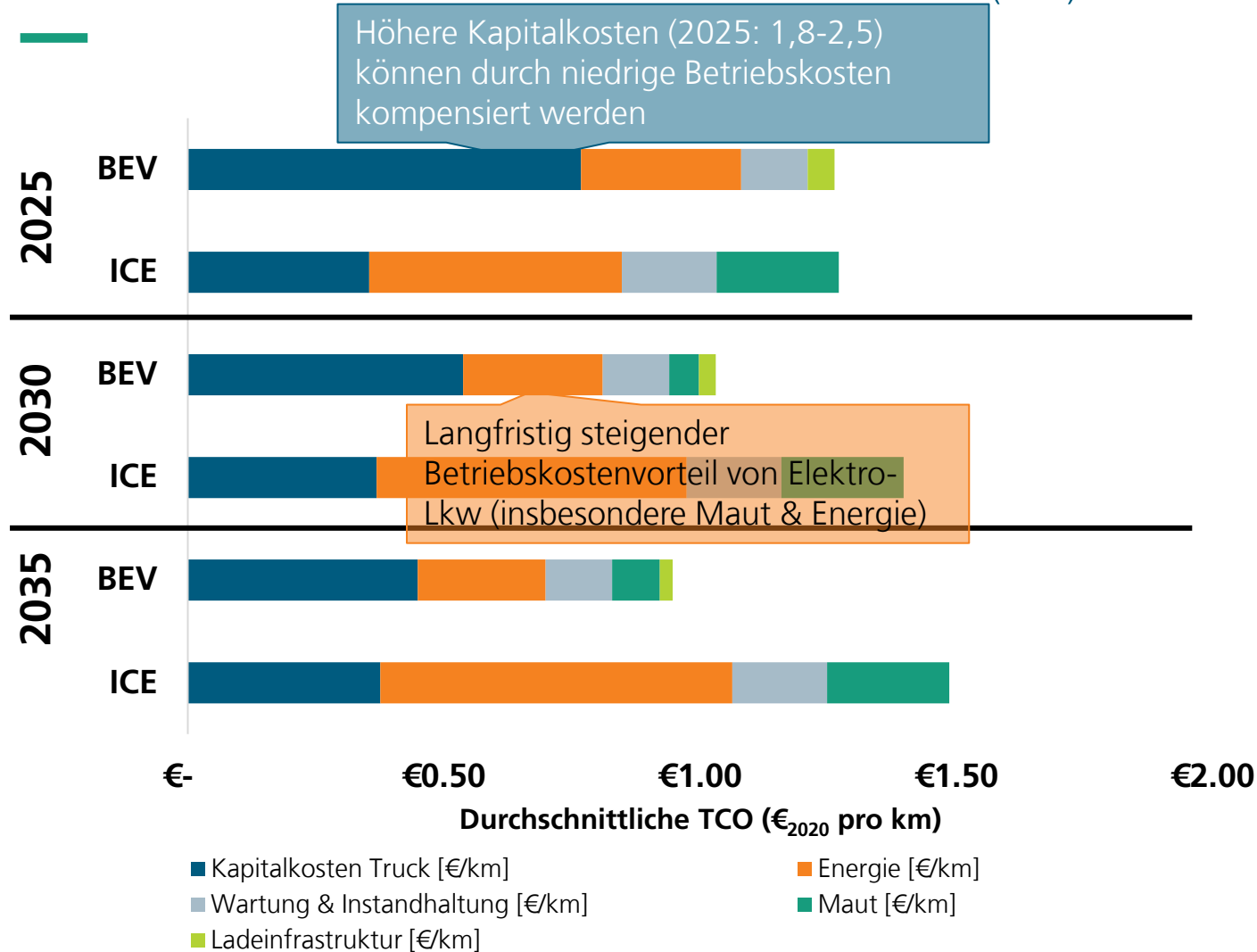
Aktuelle Batterietechnologien versprechen Haltbarkeiten von deutlich über 10 Jahren und 1 Million km.

Aktuelle Fortschritte legen nahe, dass Batterien mit hoher Wahrscheinlichkeit das gesamte Lkw-Leben durchhalten werden.

Aktuelle Daten & Studien deuten an, dass Batterien unter realen Nutzungsbedingungen deutlich langsamer altern als erwartet.

Ein wirtschaftlicher Betrieb ist bereits heute möglich

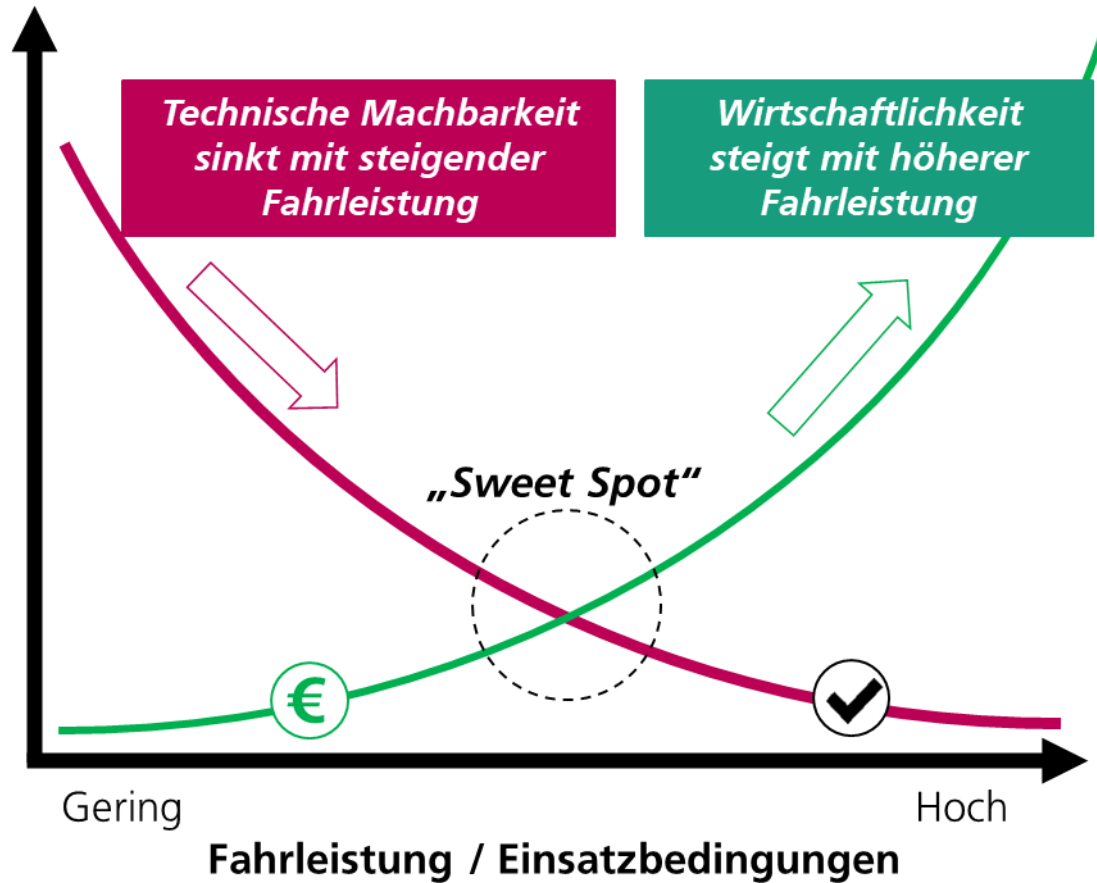
Baustein 5: Wirtschaftlichkeit und Ersetzbarkeit (1/3)



Elektro-Lkw erreichen bereits heute Kostenparität zu Diesel-Lkw und erzielen langfristig einen deutlichen Kostenvorteil.

Die Ersatzbarkeit als Schnittmenge von Wirtschaftlichkeit und Machbarkeit

Baustein 5: Wirtschaftlichkeit und Ersetzbarkeit (2/3)



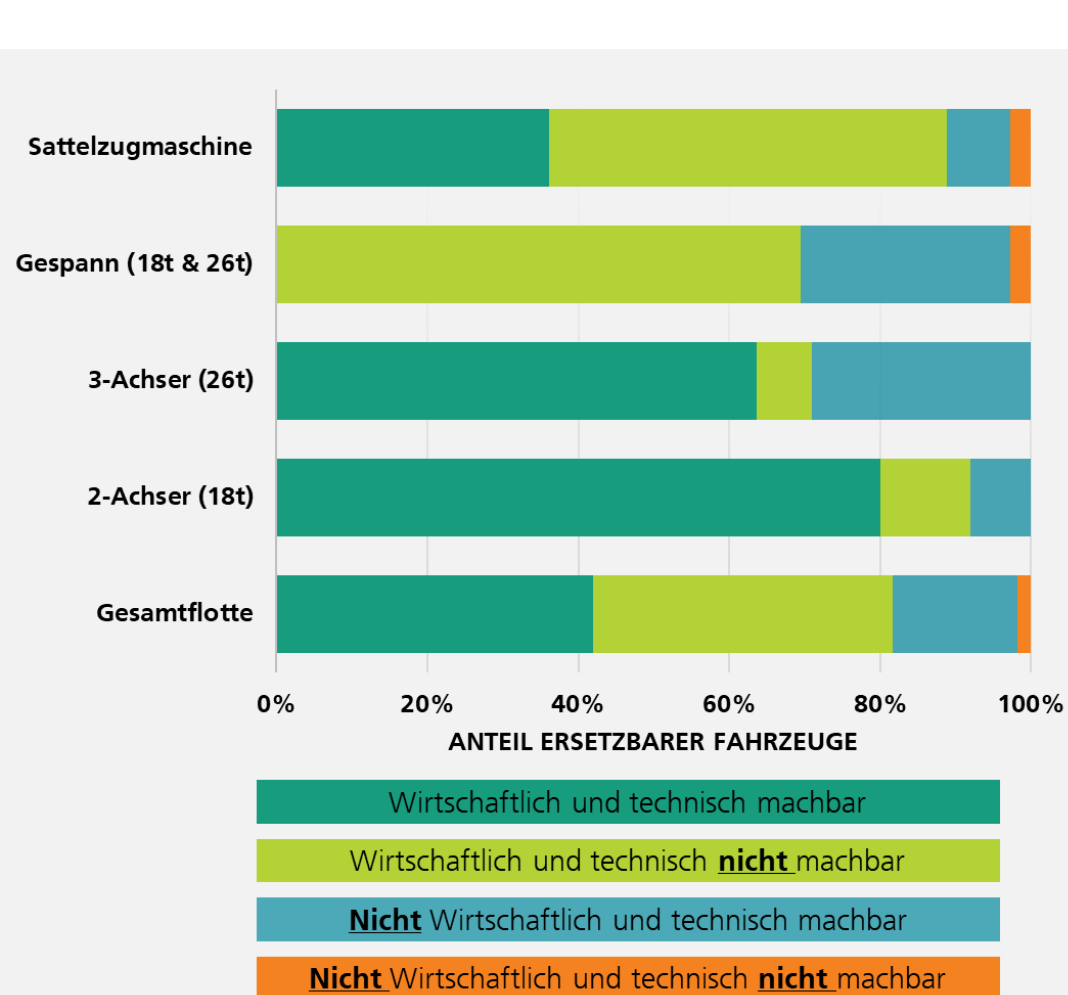
Der wirtschaftliche und praktikable Einsatz* von Elektro-Lkw sollte sorgfältig geprüft werden.

*Tages- und Jahresfahrleistungen, und Haltedauern

Großer Hebel für die Neuplanung der Touren, um trotz hoher Fahrleistungen die technische Machbarkeit zu gewährleisten.

Fallbeispiel: Lieferverkehr mit Batterie-Lkw (Stand 2021)

Baustein 5: Wirtschaftlichkeit und Ersetzbarkeit (3/3)



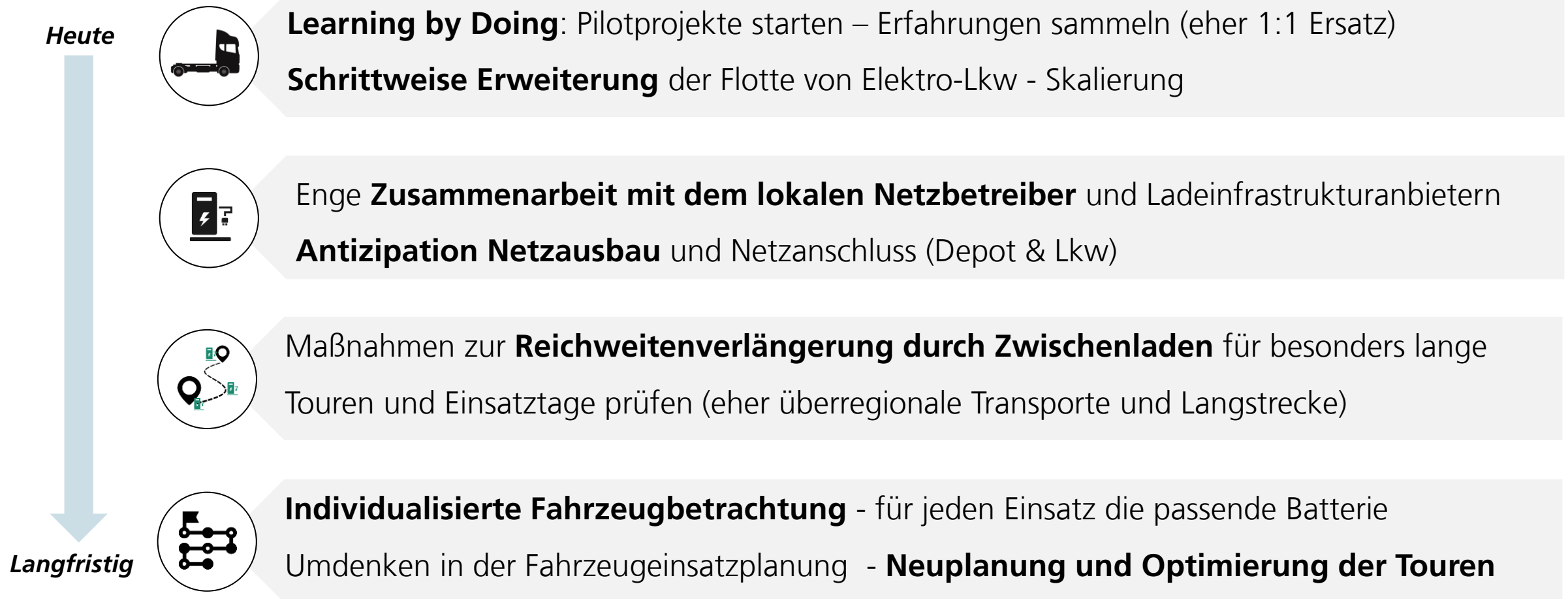
	2021	Heute
• Städtisch:	Technische Machbarkeit	✓ ➔ ✓
	Wirtschaftlichkeit	! ➔ ✓
• Regional:	Technische Machbarkeit	! ➔ ✓
	Zusatzmaßnahmen	! ➔ !
	Wirtschaftlichkeit	✓ ➔ ✓

Kernergebnisse – Stand 2021

Die technische Machbarkeit und der wirtschaftliche Betrieb von E-Lkw ist bereits in 2021 möglich – für bis zu 40% der Fahrzeuge und 33% der Transportleistung (tkm).

Empfehlungen an Logistiker und Spediteure: Wie gelingt die Elektrifizierung?

Ausblick und Fahrplan



Agenda

Erfolgsfaktoren für die Elektrifizierung von Logistikflotten

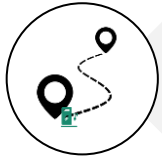
1. Begrüßung und Einführung
2. Wirtschaftliche Elektrifizierung von Logistikflotten
- 3. Infrastruktur und Ladeanforderungen für Elektro-Lkw**
4. Offene Diskussion



Picture: shutterstock/twenty1studio

Ladestrategien beeinflussen die Batteriewahl und technische Machbarkeit

Leitfragen für die Planung von Ladestrategie & Ladeleistung



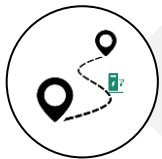
Laden am eigenen Depot:

- Welche Ladeleistung soll berücksichtigt werden?
- Nur Nachtladen am Depot? (eher 1:1 Ersatz)
- Kann zwischen aufeinanderfolgenden Touren geladen werden?



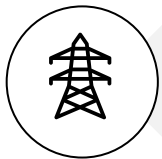
Laden am Zielort:

- Darf am Zielort geladen werden?
- Nur Nachtladen am Depot?



Zwischenladen entlang der Tour:

- Sollen Möglichkeiten zum Zwischenladen während der Tour (45min Pause) berücksichtigt werden?



Netzanschluss am Depot:

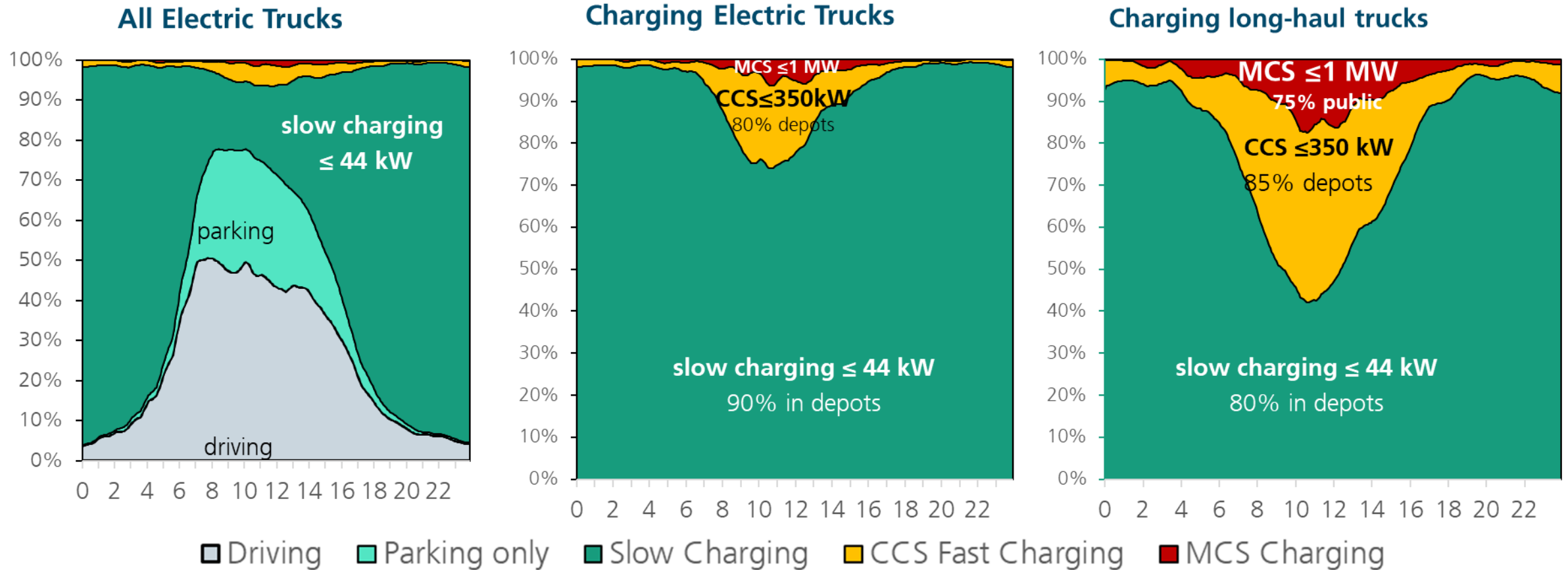
- Liegen Informationen zum aktuellen Verbrauch vor?
- Liegen Informationen zur restlichen Anschlussleistung vor?
- Ist eine PV-Anlage vorhanden?

Leitfrage: Welche Ladestrategien und –Orte sollen berücksichtigt werden, wo darf gebaut werden?

Im Zusammenspiel mit der Lkw-Simulation kann die Anzahl an Ladepunkten bestimmt werden.

Langsames Depot Laden wird dominieren aber MCS nötig für Fernverkehr

Simulation heutiger Lkw: Langsamladen für viele Wege, MCS wichtig im Fernverkehr und Energie

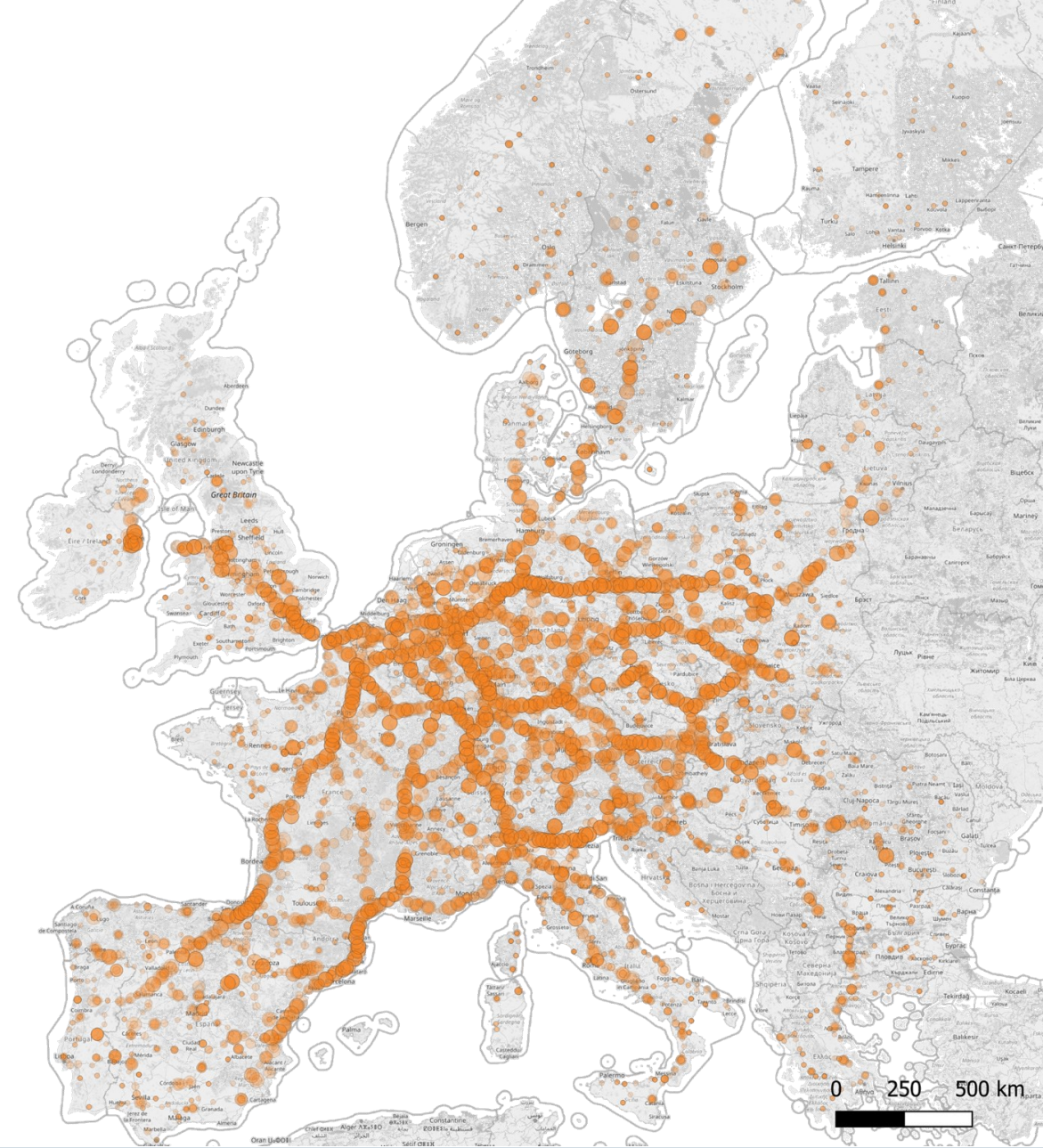


Quelle: [Speth & Plötz \(2024\)](#). Transportation Res. D 128, 104078. Simulation von 2500 Lkw-Fahrprofilen in Deutschland. Angenommene Reichweite ist ca. 400 km; "Fernverkehr": >500 km pro Tag

Megawatt-Laden vor allem Fernverkehr

Insbesondere auf europäischen Verkehrsachsen

- Hoher Anteil des Langstreckenverkehrs auf Korridoren, z. B. in Mitteleuropa hauptsächlich von Ost nach West und von den Niederlanden nach Südost
- In Deutschland vor allem entlang der Hauptautobahnen
- Optimierte Standorte: 1'000 Standorte ermöglichen 91% des Lkw-Verkehrs für 15% E-Lkw im Bestand
- Europäische Verordnung (AFIR) sieht insgesamt ca. 3000 Schnellladeparks für E-Lkw entlang der Autobahnen bis 2030 vor



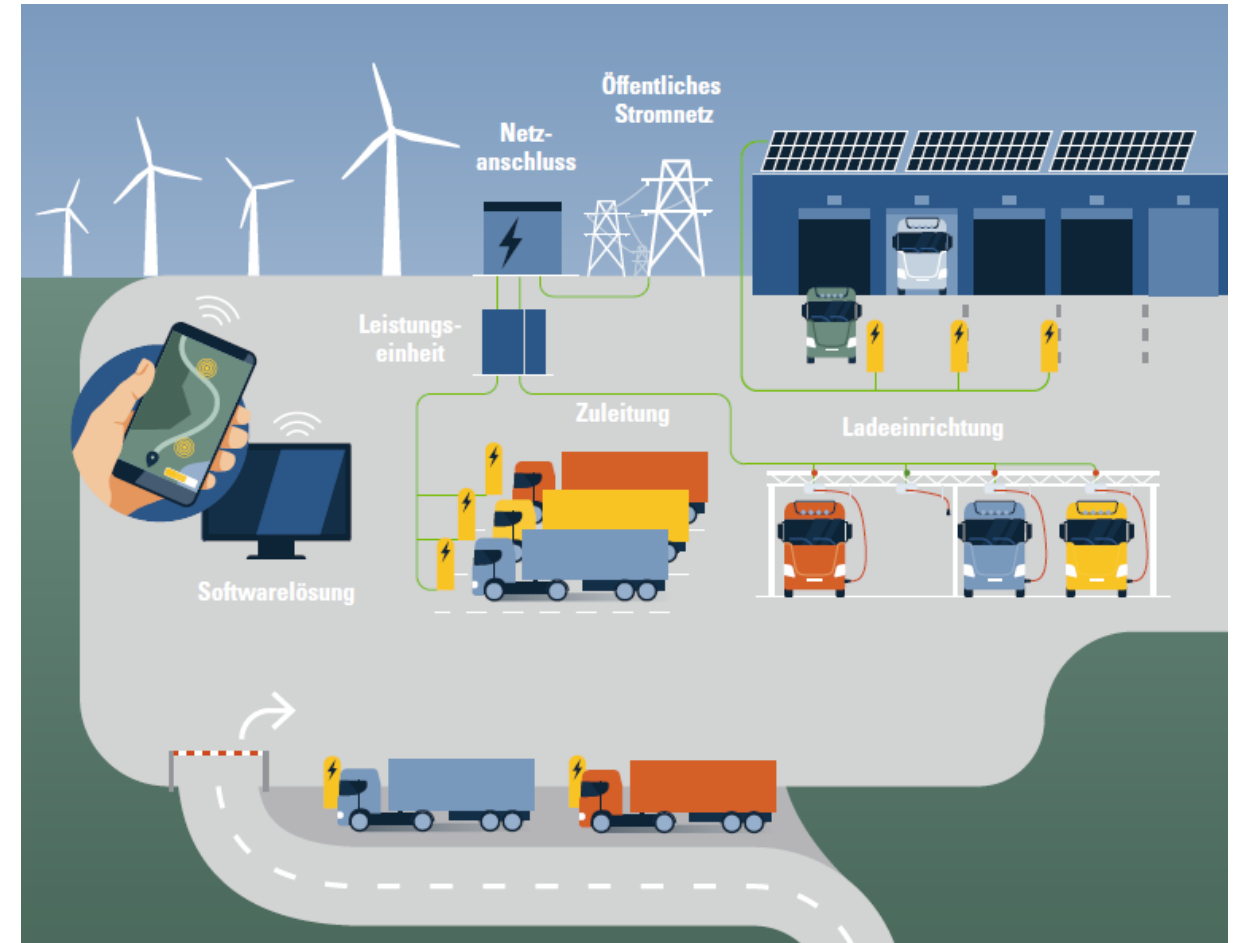
Quelle: Lange, Speth und Plötz (2024): Optimized demand-based charging networks for long-haul trucking in Europe. Environ. Res.: Infrastruct. Sustain. 4 045004 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2634-4505/ad889e>

Laden im Depot: Ein komplexes Thema mit vielen Aspekten

Abschätzung der Ladebedarfe über Simulation Energie- und Leistungsbedarf möglich

Vorgehen

1. Simulation Energieverbräuche und notwendige Batteriegrößen
2. Ggf. Berücksichtigung von Zwischenladen
3. Ergebnis: Standzeiten am Depot und Energiebedarfe pro Lkw gemäß Tourenplan
4. Prüfung versch. Ladestrategien:
 1. Minimale Ladeleistung gemäß Standzeit zwischen Touren
 2. Maximale Ladeleistung direkt nach letztem Weg (bspw. 50 kW oder 150 kW)
 3. Optimierende Betrachtung: minimaler Netzanschluss durch Verschiebung von Ladezeiten



Planungstool Logistikzentren – Lastgang und Ladepunkte pro Depot

Das Planungstool erlaubt die Abschätzung des zukünftigen Lastgangs anhand realer Lkw-Fahrprofile

Input-Daten:

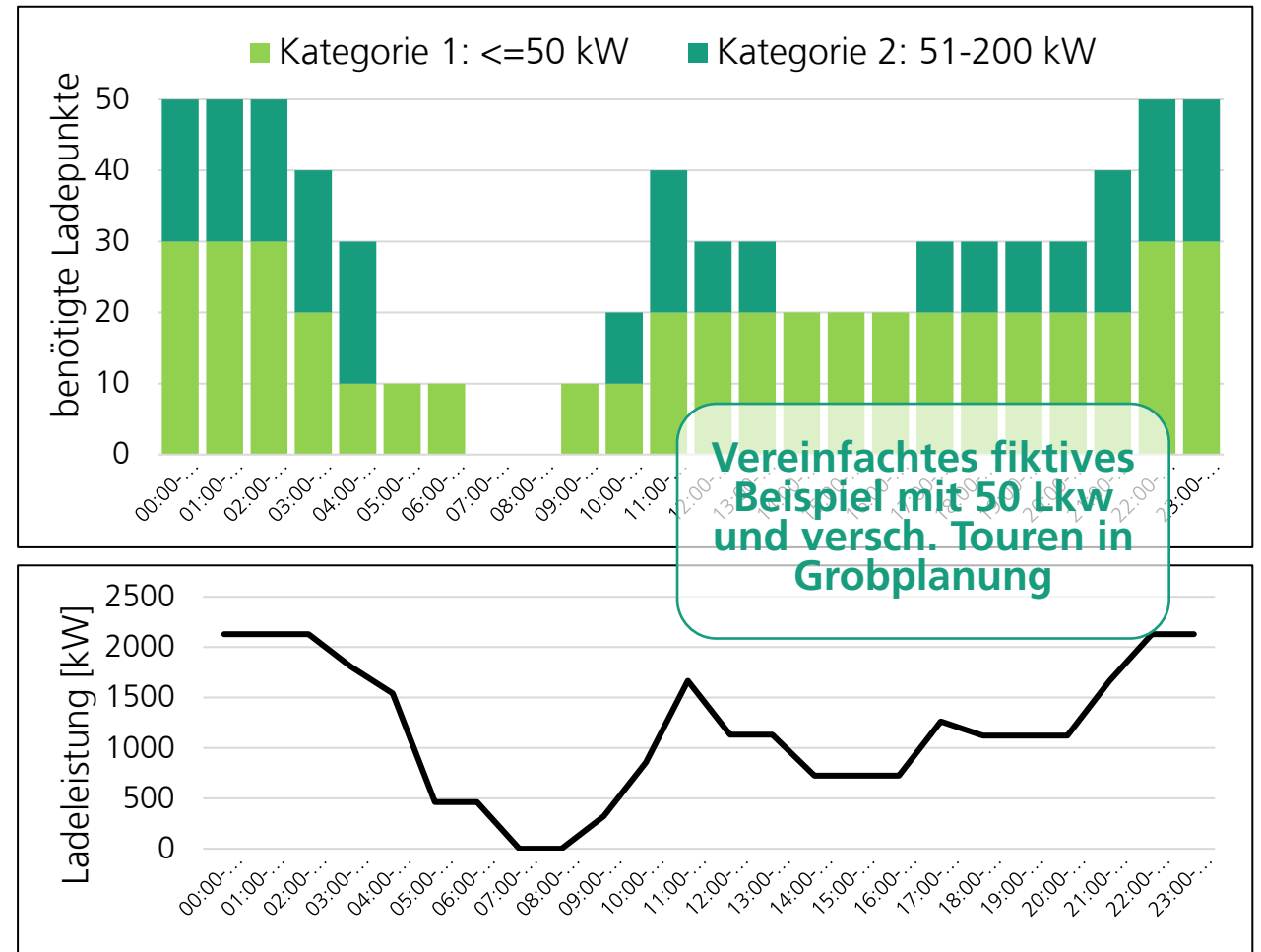
- Elektrischer Lastgang Logistikzentrum
- Tourenplan Lkw am Logistikzentrum für einen typischen Tag (Ankunft, Abfahrt, Strecke)
- Vorhandener und potenzieller Netzanschluss
- PV-Anlagen, Batteriespeicher, Blockheizkraftwerke
- Ladeinfrastruktur Pkw

Methodischer Ansatz:

- Simulation Laden E-Lkw anhand der nachzuladenden Energiemenge sowie der verfügbaren Standzeiten:
 - Statisch: mit fester Ladeleistung je Lkw
 - Dynamisch: mit minimaler Ladeleistung je Lkw
- Addition des Ladens zur elektrischen Last Logistikzentrum

Modelloutput:

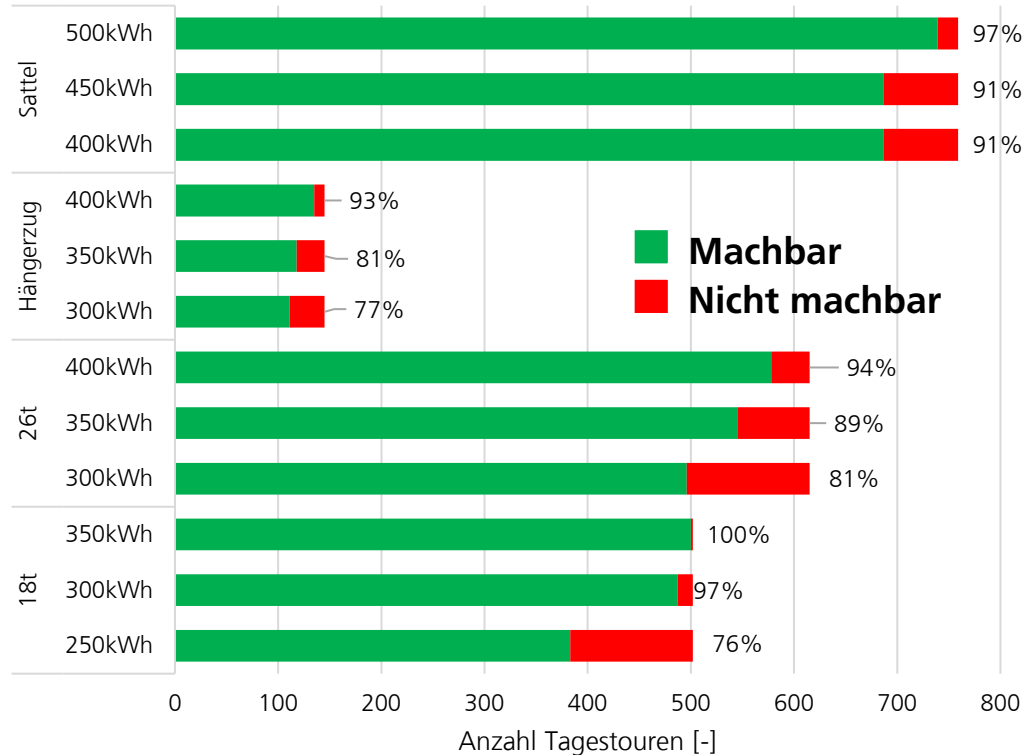
- Täglicher Energiebedarf
- Anzahl benötigter Lkw-Ladepunkte (inkl. Leistung/Punkt)
- Lastgang inklusive elektrischer Lkw
- Benötigter Netzanschluss



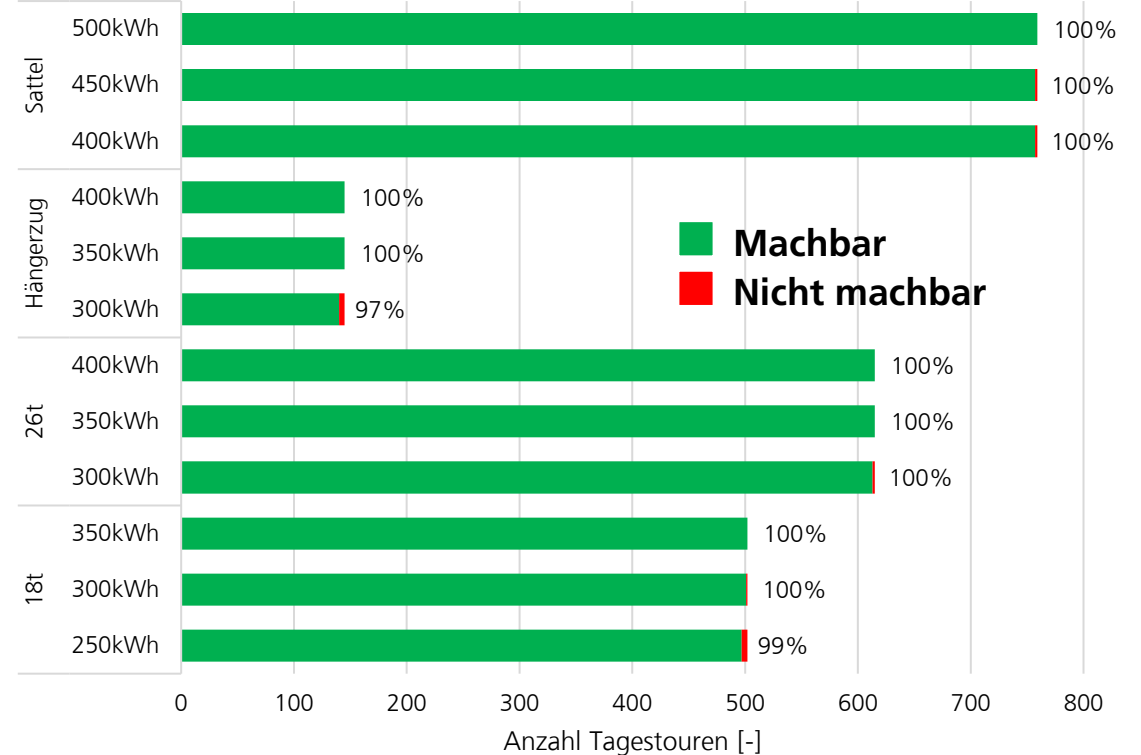
Fallbeispiel: Lieferverkehr mit Batterie-Lkw (Stand 2021)

Mit Zwischenladen nahezu alle Touren städtischem Lieferverkehr Fahrzeugen elektrifizierbar

Berlin & Umland – Ohne Zwischenladen



Berlin & Umland – Ø150 kW (am Depot)



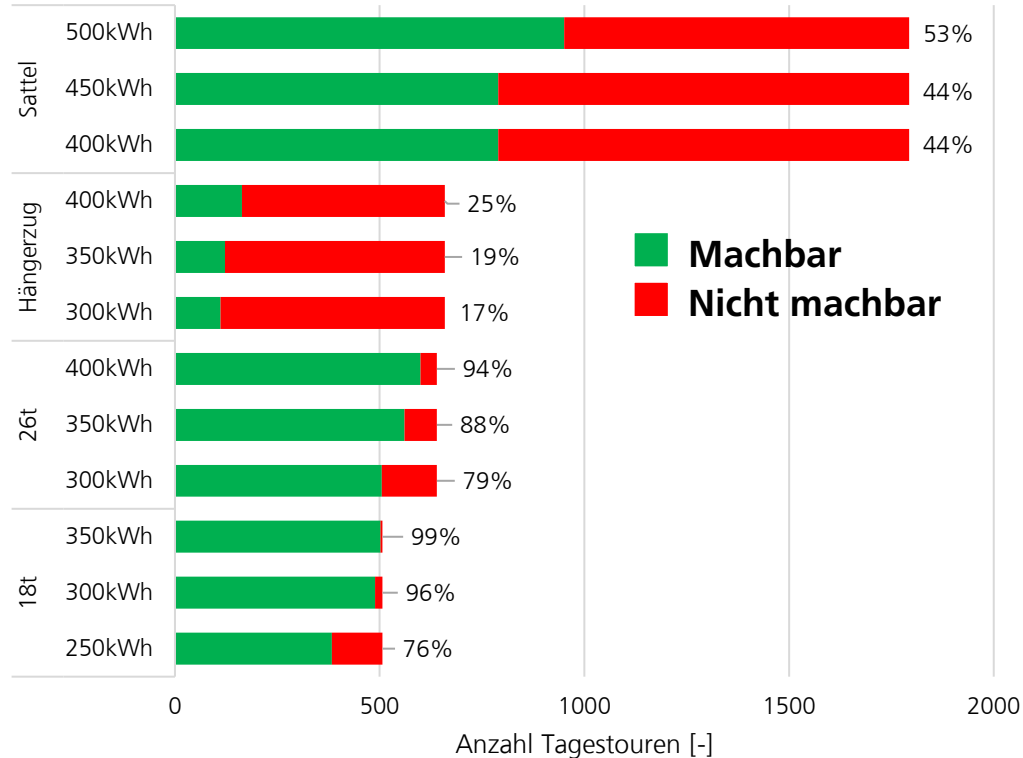
Mit **Zwischenladen** bereits in 2021 nahezu **alle Touren in Berlin & Umland** in allen Segmenten und **mit damaligen Elektro-Lkw zu 100% elektrifizierbar**

Quelle: Link et al. (2021): Lieferverkehr mit Batterie-Lkw: Machbarkeit 2021. <https://doi.org/10.24406/publica-fhg-301266>

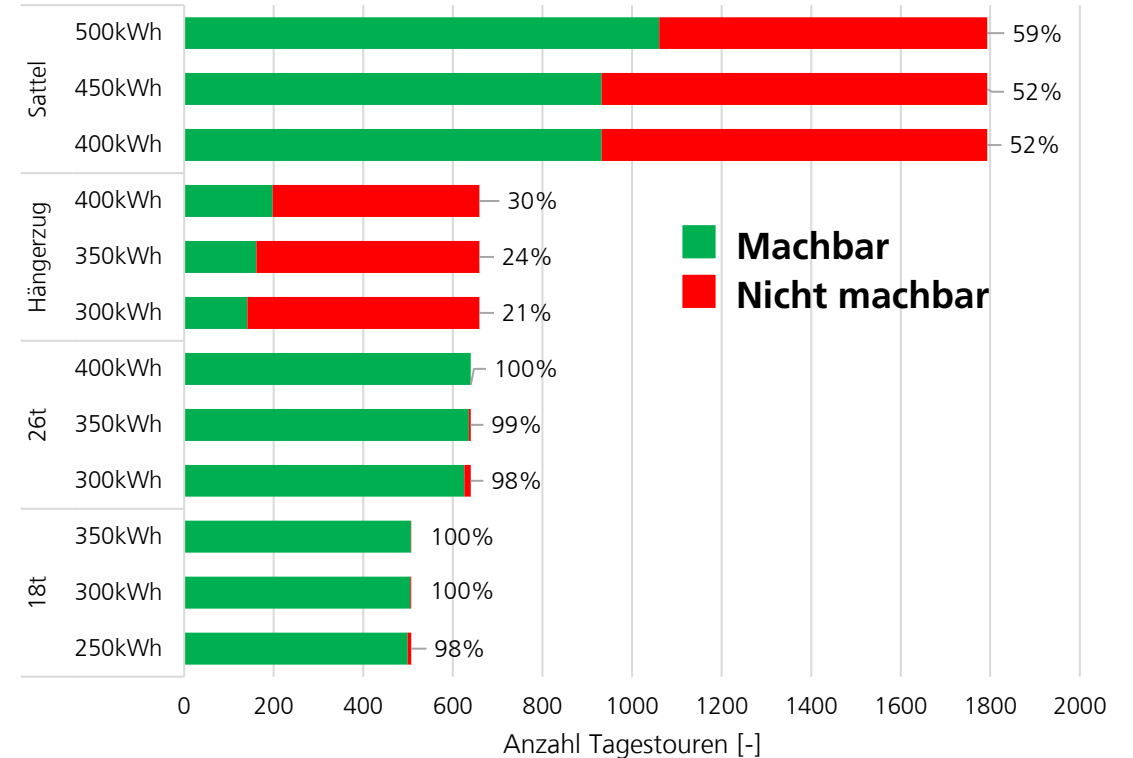
Fallbeispiel: Lieferverkehr mit Batterie-Lkw (Stand 2021)

Bei wirklich langen Touren hilft Zwischen im Depot nur begrenzt

Nordost-DE, kein Zwischenladen



Nordost-DE – Ø 150kW (am Depot)

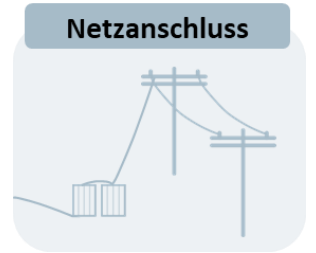


Ohne **Zwischenladen** ist das Elektrifizierungspotential in der **Region Nord-Ost** für große Fahrzeuge (**Sattel und Hängerzug**) eingeschränkt. **18t und 26t** dagegen sind machbar.

Quelle: Link et al. (2021): Lieferverkehr mit Batterie-Lkw: Machbarkeit 2021. <https://doi.org/10.24406/publica-fhg-301266>

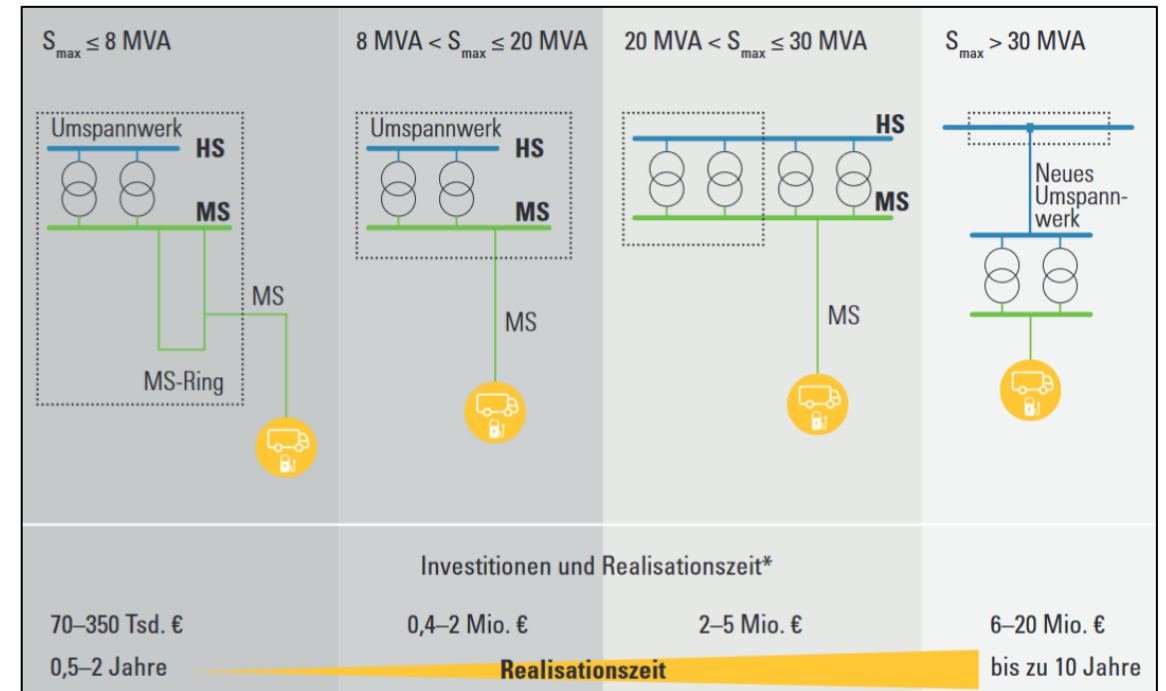
Aber: Bei hoher PV-Leistung heute schon großer Netzanschluss

Aber bei vielen Depots guter Start oder mehr mit E-Lkw direkt möglich (1/2)



„Die Zusammenarbeit mit dem Netzbetreiber ist sehr wichtig. Kalkuliert und geplant werden muss mit einem Vorlauf von circa fünf Jahren. Hierbei sollte auch für die finanzielle Förderung und für die notwendigen Genehmigungen genug Zeit eingeplant werden.“

Vorstand Technik der Kölner Verkehrs-Betriebe [Quelle](#).



Quelle: NOW (2022)

Frühzeitige Planung zur Erweiterung des Netzanschlusses

Ausreichend Zeit für mögliche Erweiterung Netzanschluss einplanen

Aber bei vielen Depots guter Start oder mehr mit E-Lkw direkt möglich (2/2)

Netzanschluss



Produzieren Sie eigenen Solarstrom?

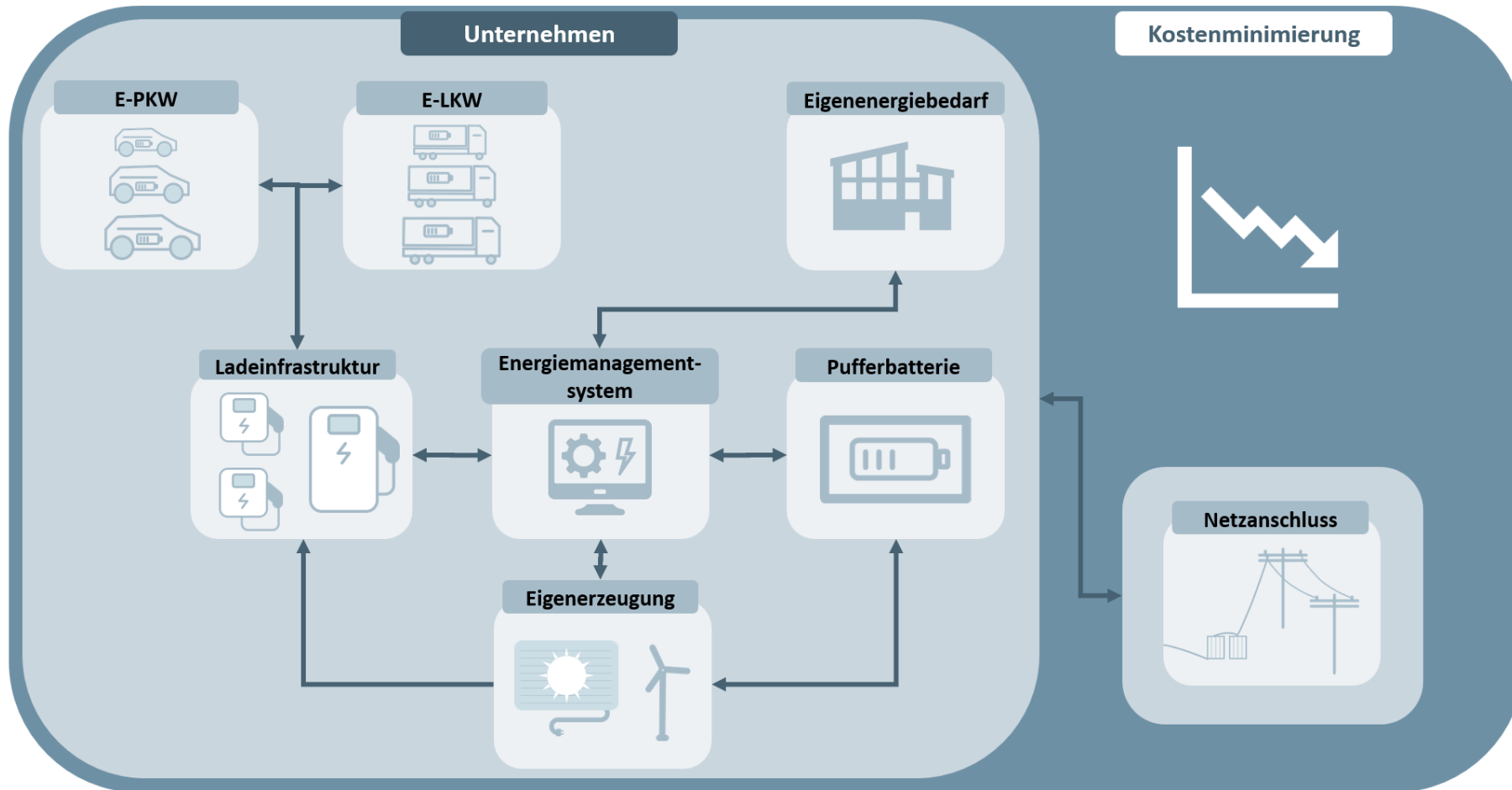
- 58 % Ja 42 % Nein



Quelle: [4]

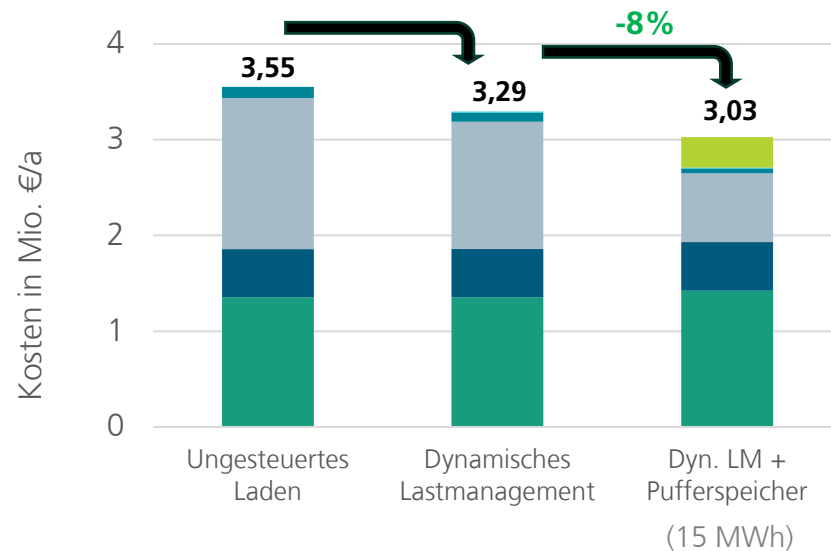
Integration von Batteriespeichern und Lastoptimierung in Depotplanung

Überblick Gesamtsystem



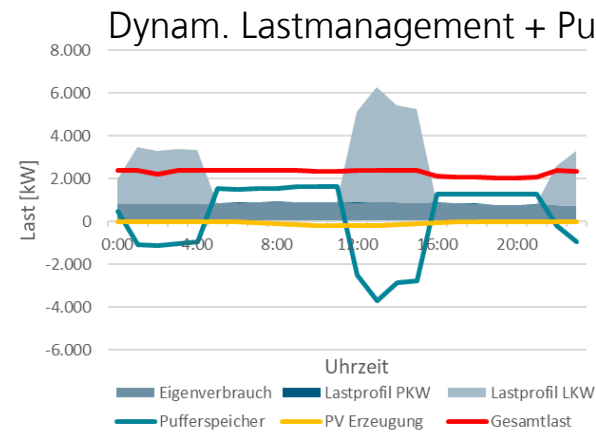
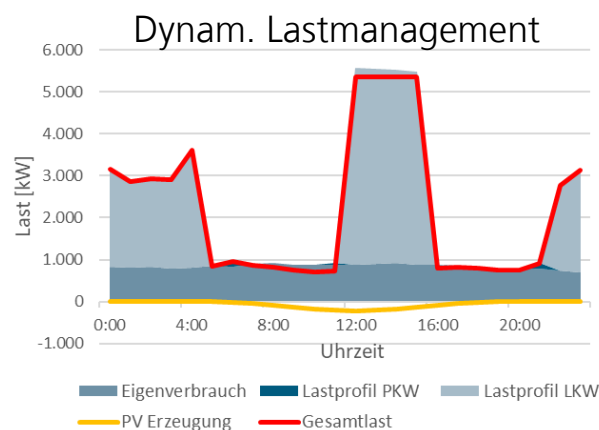
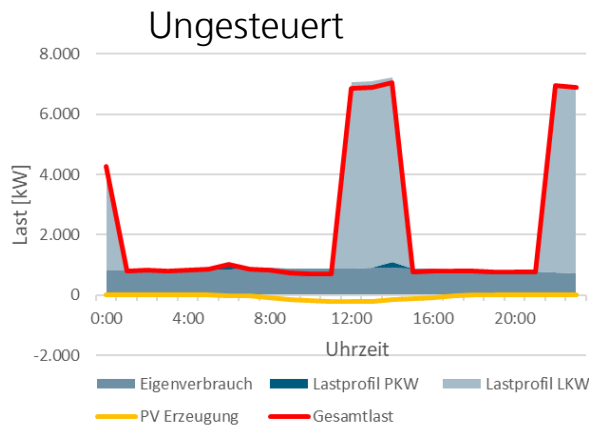
Integration von Batteriespeichern in Depotplanung kann Kosten reduzieren

Ergebnisse für ein Szenario 2030 regionaler Lieferverkehr – individuelle Planung notwendig



- Strombezug Fzg.
- Ladesäulen
- Netzentgelte
- Netzanschluss
- Lastmanagement-System
- Pufferspeicher

- **Flottengröße:** 124 e-Lkw (500 kWh); 40 e-PKW (85 kWh)
- **Ladeleistung:** 11 kW Pkw, 50 kW Lkw
- **Ladezeitraum Lkw:** 14:00 – 5:00 Uhr
→ 12:00 – 16:00 & 22:00 – 05:00 Uhr
- **PV-Eigenerzeugung:** 500 kW_p
- **Investition Pufferspeicher:** 175 €/kWh



Quelle: J. Oebel (2024): Ökonomische Analyse der Ladeinfrastruktur und Pufferspeicher für elektrische Fahrzeugflotten. Masterarbeit KIT & Fraunhofer ISI

Fazit Ladeinfrastruktur für die Elektrifizierung von Logistikflotten

Depotladen zentral – MCS vor allem Fernverkehr – Laden simulieren – Netzanschluss frühzeitig prüfen.

1

Depotladen ist zentral. Je nach Ladestrategie kann die Gesamtlast optimiert werden. Langfristig ist auch eine optimierende Tourenplanung sinnvoll.

2

Megawattladen vor allem in Fernverkehr.

Zwischenladen auf langen Touren entlang zentraler Fernverkehrskorridore.

3

Ladebedarfe und Zwischenladen Simulieren. Daraus ergibt sich der Bedarf an langsamen und schnellen Ladesäulen für die Umstellung der Flotte auf E-Lkw.

4

Netzanschluss frühzeitig prüfen. Start mit E-Lkw in der Regel direkt möglich. Bei eigener PV-Anlagen oft schon gute Netzanschlüsse. Mögliche Erweiterung braucht Zeit und muss früh abgesprochen werden.

Agenda

Erfolgsfaktoren für die Elektrifizierung von Logistikflotten

1. Begrüßung und Einführung
2. Wirtschaftliche Elektrifizierung von Logistikflotten
3. Infrastruktur und Ladeanforderungen für Elektro-Lkw

4. Offene Diskussion



Picture: shutterstock/twenty1studio

Fragestellungen für einzelne Unternehmen – wir unterstützen Sie gerne!

Erfolgsfaktoren für die Elektrifizierung von Logistikflotten

- **Passfähigkeit für Umstellung des Fuhrparks anhand von Nutzungsverhalten prüfen**
- **Individuelle Planung von Lademöglichkeiten definieren**
- **Netzanschlussgegebenheiten ermitteln (Netzanschlussebene wechselt evtl. bei Energiebedarf größerer Fuhrparks)**
- **Möglichkeit / Notwendigkeit für Pufferspeicher prüfen, ggfs. auch mit größerer Dimensionierung für Vehicle2Grid**



Quelle: [5]



Fraunhofer

ISI

Prof. Dr. Patrick Plötz

Fraunhofer ISI - Abteilung Energietechnologien und Energiesysteme
Mail: Patrick.Ploetz@isi.fraunhofer.de



Dr. Till Gnann

Fraunhofer ISI - Abteilung Energietechnologien und Energiesysteme
Mail: Till.Gnann@isi.fraunhofer.de



Steffen Link

Fraunhofer ISI - Abteilung Energietechnologien und Energiesysteme
Mail: Steffen.Link@isi.fraunhofer.de



Dr. Daniel Speth

Fraunhofer ISI - Abteilung Energietechnologien und Energiesysteme
Mail: Daniel.Speth@isi.fraunhofer.de

